



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## Links

**Capa**

**Ficha catalográfica**

**Referenciação de artigos**

**Prefácio**

**Sumário**

**Índice remissivo por autor**

**Índice remissivo por palavra-chave**

**Contracapa**



Editores

Edinéia Aparecida dos Santos Galvanin – Unesp

Laercio Massaru Namikawa – INPE

João dos Santos Vila da Silva - Embrapa

Sandra Mara Alves da Silva Neves – Unemat





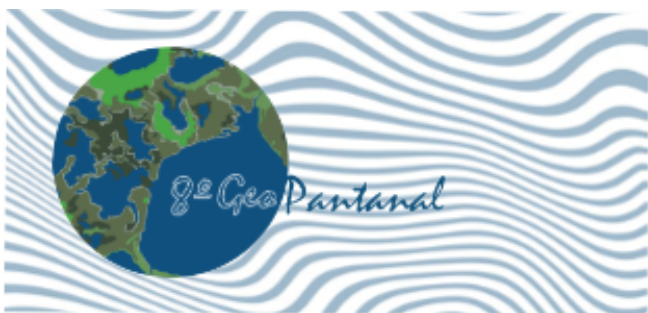
8º SIMPÓSIO DE  
GEOTECNOLOGIAS  
NO PANTANAL  
11 A 13 DE NOVEMBRO DE 2024

# Descoberta e conexão

PIONEIRISMO EM  
GEOTECNOLOGIAS NO  
CORACÃO DO PANTANAL



Anais do  
8º GeoPantanal



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

S157 Simpósio de Geotecnologias no Pantanal (8.: 2024: Poconé, MT)

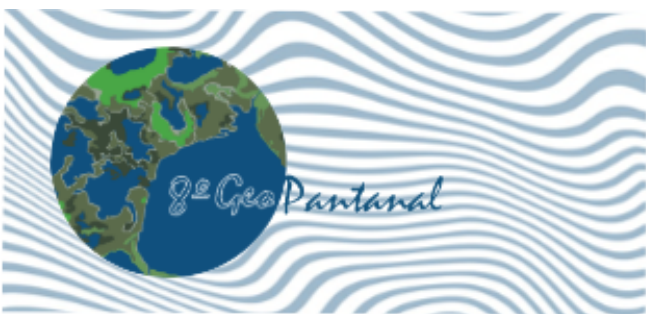
Anais do 8º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal: Geopantanal, Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024. / editado por Edinéia Aparecida dos Santos Galvanin, Laercio Massaru Namikawa, João dos Santos Vila da Silva, Sandra Mara Alves da Silva Neves. – São José dos Campos: INPE, 2024.

848p.: il.

ISBN: 978-65-89159-15-5

1. Geotecnologia. 2. Sistema de Informação Geográfica. 3. Análise espacial. 4. Geoprocessamento. 5. Sensoriamento remoto. I. Galvanin, E. A. S. II. Namikawa, L. M. III. Silva, J. S. V. VI. Neves, S. M. A. A.

CDU: 528(292.86)



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## Prefácio

É com grande satisfação que apresentamos o Anais do 8º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal – 8º GeoPantanal, realizado entre os dias 11 a 13 de novembro de 2024, no hotel SESC Porto Cercado, na zona rural de Poconé, MT. Este evento, que reúne especialistas, acadêmicos e profissionais da área, promoveu a discussão e a troca de conhecimentos sobre a aplicação das geotecnologias para estudos no Pantanal, incluindo-se a região do entorno, situada na Bolívia e Paraguai, contida na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraguai.

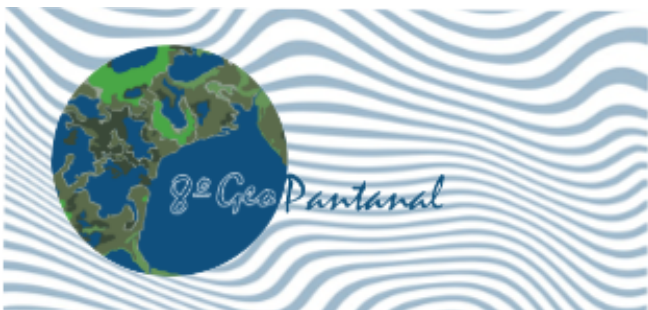
Nesta publicação, o leitor encontrará uma seleção de 81 artigos completos, dos 90 analisados, além de 17 resumos de palestras convidadas. Os trabalhos refletem a diversidade de temas abordados durante o simpósio, incluindo gestão ambiental, conservação, uso sustentável dos recursos naturais e inovação tecnológica. Os artigos foram organizados de forma a facilitar o acesso por autores, temas e palavras-chave.

A realização deste simpósio é fruto da colaboração entre instituições renomadas, como a Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat), a universidade Estadual Paulista (Unesp), a Embrapa e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), que têm se empenhado em promover a pesquisa e a formação continuada na área das geotecnologias. Agradecemos também o apoio das agências de fomento e empresas que contribuíram para o sucesso do evento.

Um agradecimento especial vai para os revisores que compuseram o comitê técnico-científico, garantindo a qualidade dos trabalhos apresentados. A participação ativa de todos os autores enriqueceu as discussões e fortaleceu o compromisso com a pesquisa científica voltada para o Pantanal. Esperamos que o Anais do 8º GeoPantanal sirva como uma valiosa contribuição para a comunidade acadêmica e para todos aqueles que se dedicam à preservação e ao desenvolvimento sustentável deste bioma único.

### **Editores Técnico-científicos**

Edinéia Aparecida dos Santos Galvanin  
Laercio Massaru Namikawa  
João dos Santos Vila da Silva  
Sandra Mara Alves da Silva Neves

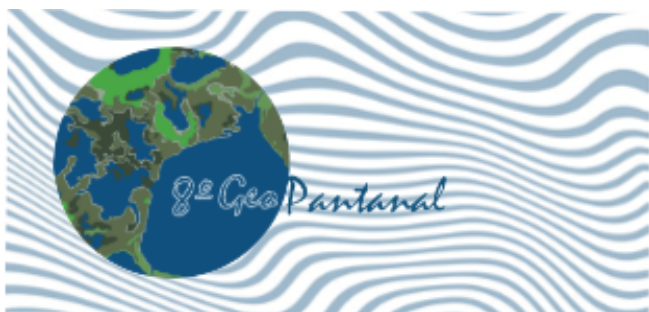


# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## Sumário

<b>Análise do risco potencial de poluição por cargas difusas no pantanal de Cáceres – Mato Grosso</b>	<b>42</b>
Edinéia Aparecida dos Santos Galvanin Felipe Keiji Feital Harano	
<b>Avaliação de geotecnologias de aterros estaqueados em solos moles e úmidos: uma abordagem numérica e analítica</b>	<b>53</b>
Juliana Araujo da Cunha Juan Félix Rodrigues Rebolledo Ennio Marques Palmeira	
<b>Modelo de Distribuição de Espécies Arbóreas no Pantanal Brasileiro</b>	<b>62</b>
Carlos Henrique de Moura Silva	
<b>Análise espacial do uso da terra e dos focos de calor no município de Miranda-MS</b>	<b>72</b>
Emerson Figueiredo Leite Elisângela Martins de Carvalho Fernando Rodrigo Farias Edwina Santos da Costa Aline Vargas de Moraes Cleudinéia Santos Domingos Ruiz Iverson Moraes Gomes	
<b>Machine Learning para el Análisis Geoespacial de Humedales en Grandes Volúmenes de Datos</b>	<b>84</b>
Natalia V. Revollo Edinéia Aparecida dos Santos Galvanin Carlos E. Berger Verónica Gil Sandra Mara Alves da Silva Neves	
<b>Estudo da influência de parâmetros de configuração da câmera na classificação de imagens de aeronaves remotamente pilotadas por geobia</b>	<b>96</b>
João Edson Costa Ferreira da Silva Débora Paula Simões Marcelo Junqueira Ferraz	



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

**Combinação de dados remotos de satélite geostacionário com heliossíncrono na identificação e mapeamento sistemático de incêndios florestais no Estado de Mato Grosso do Sul** 107

Alessandro Copatti  
Waleria Menezes Barros  
Antonio Conceição Paranhos Filho

**Landscape dynamics of floodplain rangelands under different management units on a ranch in the Pantanal, Brazil** 117

Sandra Aparecida Santos  
Humberto Perotto-Baldivieso  
Balbina Maria Araújo Soriano

**Como a modelagem atmosférica pode ajudar a encontrar as possíveis causas do comportamento inesperado dos incêndios no Pantanal** 126

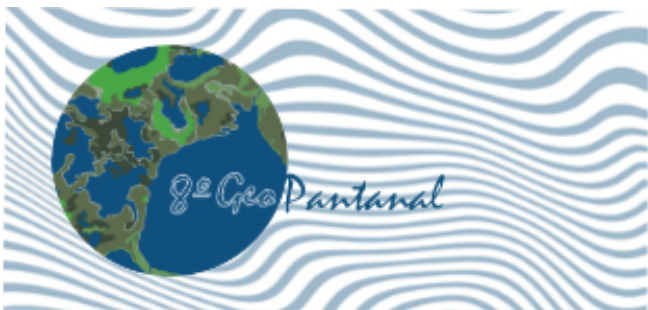
Flavio Tiago Couto  
Filippe Lemos Maia Santos  
Cátia Campos  
Carolina Purificação  
Nuno Andrade  
Juan Manuel López Vega  
Matthieu Lacroix

**Avaliação de produção de massa verde e massa seca em gramíneas forrageiras tropicais do gênero *Urochloa* no planalto de Vitória da Conquista usando imagens RGB** 137

André Luiz de Jesus Dantas  
Bárbara Louise Pacheco Ramos  
Juan Mark Silva Amorim  
Jaislânia de Jesus Nunes  
Andrei dos Santos Souza  
Filipe Soares Araújo  
Odair Lacerda Lemos  
Márcio dos Santos Pedreira

**Variação espacial da fração de areia estimada no bioma Pantanal com dados de emissividade do produto ASTER GED 100** 147

Fábio Marcelo Breunig  
Edenilson Roberto Nascimento  
Tony Vinicius Moreira Sampaio  
Elias Fernando Berra  
Elaine de Cácia de Lima Frick  
Marcos Adami  
Lênio Soares Galvão



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

Romário Trentin  
William Gaida  
Leonardo José Cordeiro Santos  
José Guilherme Oliveira

## **Variação de isótopos estáveis na precipitação do município de Cuiabá, Mato Grosso, entre 2019 e 2021** **157**

Danielle Dall Amaria Soffiatt  
Kátia Kellem da Rosa  
Rafael da Rocha Ribeiro  
Ronaldo Bernardo  
Wellinton Nardes Ferreira

## **Índices espectrais na identificação de áreas queimadas no Pantanal mato-grossense utilizando a classificação orientada ao objeto** **164**

Roger de Sá Silva  
Ana Paula Cardoso Tavares  
Eduarda Thais Goulart  
Allan Pereira Arantes  
Fausto Weimar Acerbi Júnior

## **Influência da sazonalidade nos recursos hídricos na Bacia do alto Paraguai em Cáceres - MTs** **174**

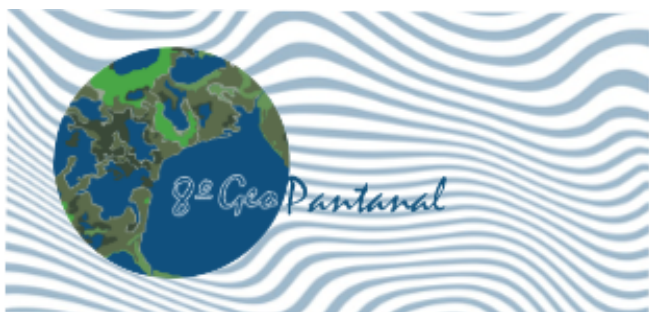
João Paulo Ropke Schuster  
Rafaella Andrade Pistore  
Emanuele Rebeca Maximiano Almeida  
Jefferson do Nascimento  
Maykon Cristian Laueremann  
Amanda Ferreira da Silva  
Carlos Antônio da Silva Junior

## **Território Mato Grosso: transparência dos dados fundiários e subsídio à conservação e uso sustentável da terra e dos recursos naturais** **184**

Mônica A. Cupertino-Eisenlohr  
Weslei Butturi  
Lucas Neris Araújo  
Vinícius Freitas Silgueiro

## **El Niño e os focos de incêndio em Poconé - MT: Um estudo comparativo dos anos de 2002, 2009, 2015 e 2019** **192**

Joelma Nayara da Silva Garcia  
Tatiane Deoti Pelissari  
Amanda Ferreira da Silva  
Carlos Antonio da Silva Junior



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## **Queimadas no Pantanal em 2020: avaliando a gravidade e a amplitude do desastre** 200

Joelma Nayara da Silva Garcia  
Handrya da Silva  
Nephtali Mitchell França  
Daniela Mendes Nunes da Silva  
Ronaldo Vilarinho da Silva  
Rafael Gomes de Carvalho  
Neydara da Silva Perin  
Carlos Antonio da Silva Junior

## **Utilização da Avaliação Multicritério no apoio à identificação áreas adequadas à ocupação urbana** 207

Anderson de Freitas Barros  
André Luiz Santos Portela  
Natalya Loverde Parpinelli  
Leandro Almeida da Silva

## **A polêmica na denominação, delimitação e dominialidade de Rios contribuintes do Pantanal: o exemplo dos Rios Cuiabá e São Lourenço** 221

Renato Gatto de Moraes  
Marinés Alejandra Gonzalez Colina  
Peter Zeilhofer

## **Caracterização Físico Ambiental e Feições Morfológicas no Alto Curso do Rio Jauru, Mato Grosso** 230

Vinicius de Souza Silva  
Leila Nalis Paiva da Silva Andrade  
Fabio Junior do Espírito Santo Andrade  
Alfredo Zenén Dominguez Gonzalez  
João Henrique da Silva Massavi  
Lourena de Araújo Félix

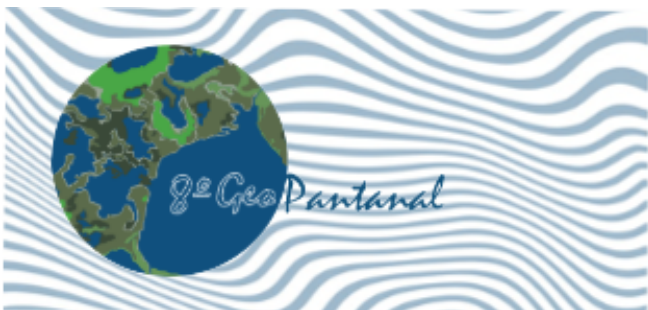
## **Uso e Ocupação da Terra no Alto Curso do Rio Jauru-Pantanal Norte, Mato Grosso** 240

Vinicius de Souza Silva  
Leila Nalis Paiva da Silva Andrade  
Fabio Junior do Espírito Santo Andrade  
Alfredo Zenén Dominguez Gonzalez  
João Henrique da Silva Massavi  
Lourena de Araújo Félix

## **Qualidade da água subterrânea em poços licenciados por Outorga na Alta e Média Bacia do Rio Cuiabá** 249

Marinés Alejandra González Colina  
Renato Gatto de Moraes  
Peter Zeilhofer





# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

**Distribuição de carbono nos solos do entorno de lagoas salino-alcálinas (LSA) do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul (MS), Brasil** 258

André Renan Costa Silva  
Célia Regina Montes  
Yves Lucas  
Adolpho José Melfi

**O uso das geotecnologias na comp[re]ensão e análise dos crimes sexuais no município de Cáceres, Mato Grosso, Brasil** 265

Camila Macedo de Souza  
Sandra Mara Alves da Silva Neves  
Laís Fernandes de Souza Neves  
Bruno de Souza Lima  
Joliene da Silva Pereira

**Cartografia de síntese para a avaliação temporal da planície do Pantanal sul-mato-grossense** 273

Vanderlei Leopold Magalhães  
Giovana Clarice Poggere

**Avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra na Região de Planejamento Sudoeste de Mato Grosso-Brasil** 286

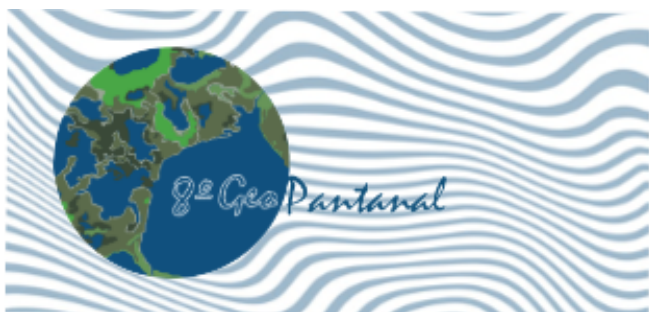
Adilson Ribeiro de Araújo  
Diego Tarley Ferreira Nascimento

**Arquitetura da paisagem e interfaces com a ecologia da paisagem: o caso do campus da Universidade Federal de Santa Maria em Cachoeira do Sul/RS** 297

Pedro Henrique Taschetto Marin  
Raquel Weiss

**Desenvolvimento e aplicação do SIGBT como software livre no IBGE, sua aplicação no Censo 2022 e a variação populacional no bioma Pantanal no último período intercensitário** 309

Nelson Wellausen Dias  
Lucas Halberstadt da Rosa  
Fabiano Saraiva  
Carlos Eduardo Cagna  
Ivan Donisete Lonel  
Fabio Luiz de Oliveira Santos  
Diogo José Nunes da Silva  
Roberto Ferreira Tavares



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

**Mapeamento de série temporal de áreas úmidas para a região brasileira da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (BAP) com imagens Planet** **319**

Mariana Dias Ramos  
Eduardo Reis Rosa  
Marcos Reis Rosa  
Helga Correa Wiederhecker

**Canais de drenagem e estradas-dique, ameaças ao pulso de inundação no Pantanal: estudo de caso em uma fazenda no município de Itiquira – MT** **330**

Joyce Alves de Souza Ferreira  
Nayara Luisa Werner Moreira  
Catia Nunes da Cunha  
Stela Rosa Amaral Gonçalves

**Proposta metodológica de diagnóstico de destinação de efluentes domésticos em áreas rurais** **340**

Ana Laura de Paula  
Marielle Rezende de Andrade  
Mireile Reis dos Santos  
Ana Maria dos Santos Ferreira  
Roosevelt Heldt Júnior  
Arthur Pereira dos Santos  
Darllan Collins da Cunha e Silva  
Roberto Wagner Lourenço

**Avaliação da cristalinidade de caulinitas em solos ao redor de lagoas salino- alcalinas do Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil** **351**

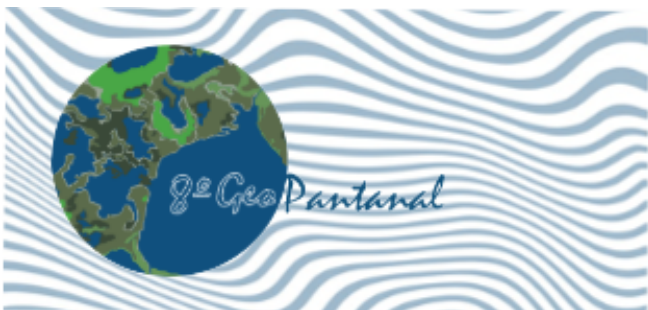
Ingred Nóbrega Teixeira  
André Renan Costa e Silva  
Débora Ayumi Ishida  
Adolpho José Melfi  
Celia Regina Montes

**Análise comparativa de soluções metodológicas para detecção de água no Pantanal** **357**

Jonas Ramos Pimentel  
Carla Bernadete Madureira Cruz  
Felipe Gonçalves Amaral

**Identificação de índices de vegetação e bandas multiespectrais para estimativa de clorofila total por imagens de VANT** **368**

Marley Lamounier Machado  
Kamila Fernanda de Souza  
Margarete Lordelo Volpato



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

Vanessa Castro Figueiredo  
Sthéfany Airane dos Santos  
Vania Aparecida Silva  
Maria Helena Ramos

## **Deteccção de áreas de queimada no Pantanal com o uso de imagens do satélite meteorológico GOES-16** **375**

Renata Ribeiro do Valle Gonçalves  
João Victor Gomes Carneiro  
Felipe de Lorenzi1

## **Comparação de VANT's para monitoramento de cultivos de feijão** **387**

Breno Henrique Gomes dos Santos Freitas  
Marley Lamounier Machado  
Aurinelza Batista Teixeira Conde  
João Roberto de Mello Rodrigues  
Wallisson Geraldo de Souza Cardoso

## **Análise sazonal do uso e cobertura da terra no Pantanal de Cáceres MT** **395**

Mateus Cruz Rocha  
Edineia Aparecida dos Santos Galvanin

## **Precipitação e Índice de Seca no Pantanal Brasileiro, de 1994 a 2023** **401**

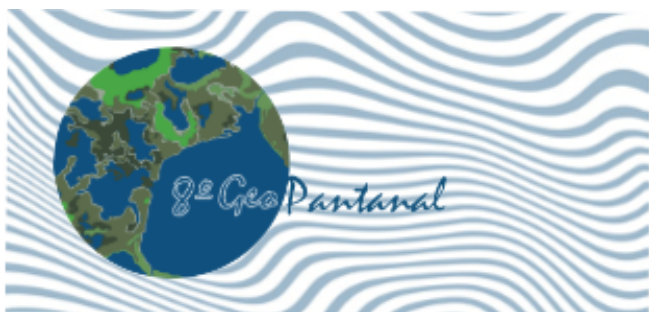
Moisés Damasceno Souza  
Rivanildo Dallacort  
Vanessa Raket de Moraes Dias  
Sandra Mara Alves da Silva Neves  
Dionei José da Silva  
Gabriela Custodio Oliveira  
Eduardo Nunes Viana

## **Armazenamento total de água utilizando dados GRACE na Região Hidrográfica do Paraguai - bacia do Rio Paraguai** **410**

Mayara Cristina Santos Marques  
Daniel Andrés Rodriguez  
Caroline Melo Ribeiro

## **Transformações na cobertura florestal e perda de habitat para um ungulado chave na transição Pantanal-Cerrado (1986-2022)** **420**

Douglas Stefanello Facco  
Mozart Sávio Pires Baptista  
Alexine Keuroghlian  
Cibele Biondo  
Pedro Daniel da Cunha Kemerich



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## **Dinâmicas Espaço-Temporais das Formações Florestal e Savânica do Pantanal do Abobral, Mato Grosso do Sul** 429

Uelison Mateus Ribeiro  
Mauro Henrique Soares da Silva  
Samuel Corgne  
Damien Arvor

## **Modelagem climática regional no Pantanal e impactos sob cenários de mudanças climáticas** 440

Lindsay Assunção Silva Pimenta  
Chou Sin Chan

## **Obtenção de dados para o treinamento de modelos de aprendizado de máquina para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região amazônica da Bacia do Alto Paraguai** 450

Glauber José Vaz  
André Silva Tavares  
João Francisco Gonçalves Antunes  
Alexandre Camargo Coutinho  
Júlio César Dalla Mora Esquerdo

## **Da borda para o interior: o desmatamento avança no Pantanal brasileiro** 461

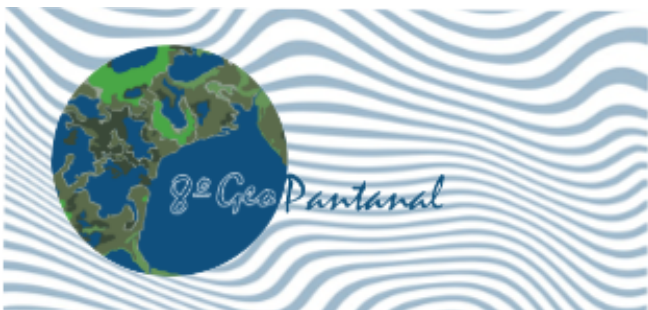
Tatiane Deoti Pelissari  
Thaís Lourençoni  
Daniel Henrique dos Santos  
Dthenifer Cordeiro Santana  
Paulo Eduardo Teodoro  
Larissa Pereira Ribeiro Teodoro  
Carlos Antonio da Silva Junior

## **Análise multicritério para mapear os avanços no desenvolvimento social das cidades brasileiras** 470

Carlos Daniel Pinheiro da Silva  
Murilo Góis de Sousa  
Karoliny Rocha Santos  
Moisés Gomes Ferreira  
Adrielly Santos Gonçalves  
Diego de Sousa Ribeiro Fonseca

## **Plataformas Orbitais Sentinel-2 e CBERS-4A para o monitoramento de áreas incendiadas e em restauração ecológica no Pantanal Mato-Grossense** 479

Bruna Caroline Paspardelli Cortelete  
Érico Fernando de Oliveira Martins



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

Ellen Cristina Magalhães Nacanishi  
Wisllene da Silva Souza  
Ana Livia Borges Farias  
Solange Kimie Ikeda-Castrillon

**Caracterização de propriedades rurais quanto ao escoamento da produção e acesso à recursos hídricos superficiais na Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e entorno-MT, Brasil** 489

Tamires Fornazari  
Rafael Mingoti  
Salette Gürtler

**Regionalização estatística e predisposição hierárquica para as infecções por dengue: o caso do Estado da Bahia** 497

Ariana Natalia de Oliveira de Oliveira  
Sâmya Sofia Alves Teixeira  
Maria Eduarda Porto Silva  
Maria Eduarda Ribeiro Gomes  
Julia Moreira Costa  
Diego de Sousa Ribeiro Fonseca

**Plataforma de inteligência territorial de apoio ao desenvolvimento da Agricultura Familiar na Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e Entorno** 508

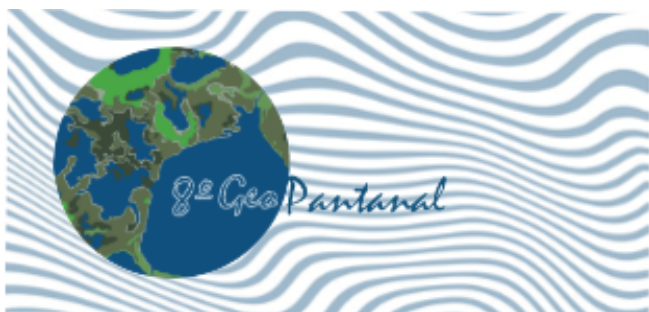
Jaudete Daltio  
Salette Gürtler  
Lucíola Alves Magalhães  
André Rodrigo Farias  
Marcelo Fernando Fonseca  
Hilton Luís Ferraz da Silveira  
Paulo Martinho  
Carlos Alberto de Carvalho  
Rafael Mingoti  
Fabrício Tomaz Ramos

**Utilização do modelo linear de mistura espectral para mapeamento de corpos de água a partir de dados CBERS-04A/WPM** 519

Bianca Perin Malaghini  
Ana Laura Cardoso Santos  
Ana Cláudia dos Santos Luciano

**Impactos no escoamento superficial em função das alterações de uso e ocupação do solo na microbacia hidrográfica do igarapé Altamira** 525

Carlos Marcelo Felix Guimarães



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

Érico Fernando de Oliveira Martins  
Francisco Lledo Dos Santos  
Rodrigo Bruno Zanin

## **Identificação e delimitação de áreas impactadas por pulverização de agrotóxicos sobre a vegetação nativa no Pantanal de Barão de Melgaço, Mato Grosso** 539

Jean Carlos Ferreira  
André Pereira Dias  
Jobberth Firmino Gambati

## **Análise da dinâmica do uso e cobertura da terra na Bacia do Alto Paraguai por meio da Plataforma Digital TerraClass** 549

João Francisco Gonçalves Antunes  
João Luís dos Santos  
Lídia Sanches Bertolo  
Victor Pedroso Curtarelli  
Adriane Calaboni  
Alexandre Camargo Coutinho  
Júlio César Dalla Mora Esquerdo

## **Aplicação do método VERAH para análise da Baía do Malheiros Cáceres Mato Grosso** 559

Yara Emy Yoshida  
Joaquim Corrêa Ribeiro

## **O uso de geotecnologias com a análise de percepções ambientais relacionadas às árvores urbanas: revisão sistemática e estudo de caso** 570

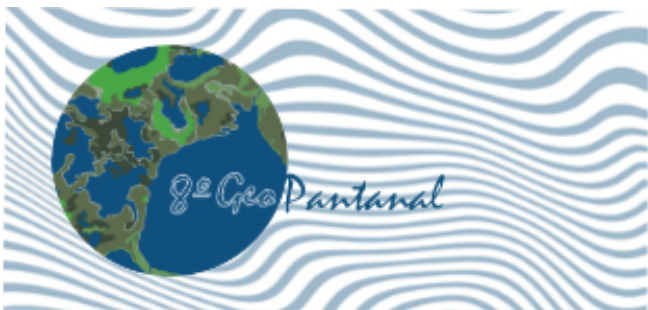
Luã Gustavo da Silva Tachibana  
Jéssica Lima Viana  
Roberto Macedo Gamarra  
Antonio Conceição Paranhos Filho

## **O uso de Aeronave Remotamente Pilotada e de MDT (Modelo Digital de Terreno) e MDS (Modelo Digital de Superfície) para análise de área de alagamento** 580

Polyana Oliveira dos Santos Hanse  
Beatriz de Azevedo do Carmo  
Judite de Azevedo do Carmo  
Neumuel da Silva Faria

## **Análise multitemporal de uso e ocupação do solo dos municípios de Dourados e Caarapó em Mato Grosso do Sul** 590

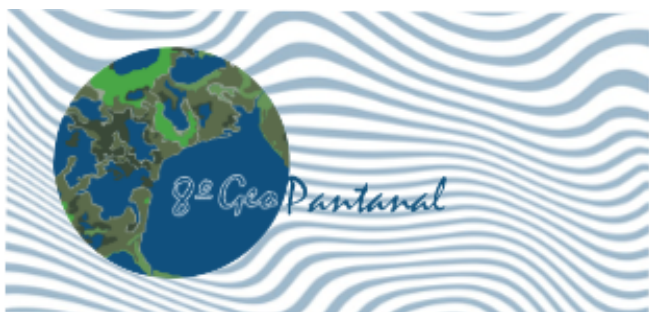
Chern Jenn Yuan



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

<b>Análise da cobertura do solo e configuração socioeconômica do bioma Chaco no Brasil</b>	<b>599</b>
Jô Vinícius Barrozo Chaves João dos Santos Vila da Silva Eduardo Antonio Speranza	
<b>Acurácia de modelos digitais de elevação derivados do SRTM em planícies de inundação no Pantanal</b>	<b>610</b>
Larisse Rodrigues de Jesus Rejane Ennes Cicerelli Tati de Almeida	
<b>Evolução da Regularização Ambiental e Fundiária do Vale do Guaporé, Mato Grosso</b>	<b>619</b>
Eloyl Aparecido Cintra Franco João dos Santos Vila da Silva	
<b>Monitoramento da biodiversidade na região da Rede Amolar, Pantanal, MS</b>	<b>627</b>
Mariana Alves Carvalho Queiroz Geovani Vinco Tonolli Franciele Oliveira Wener Hugo Arruda Moreno Igor Pinho Souza Rayssa Aparecida Pinheiro Noveli Sergio Eduardo Barreto de Aguiar Grasiela Edith de Oliveira Porfirio Petry	
<b>Uso de geotecnologias para mapeamento de comunidades tradicionais no Pantanal do Paraguai</b>	<b>634</b>
Wanessa Rodrigues Jessyka Karolaine da Fonseca Alvares Vinicius Lacerda da Silva Oliveira Rayssa Aparecida Pinheiro Noveli Grasiela Edith de Oliveira Porfirio Petry	
<b>Projeções de mudanças climáticas para o Pantanal - uma análise dos cenários do CMIP6</b>	<b>640</b>
Vânia Rosa Pereira Daniel de Castro Victoria Aryeverton Fortes de Oliveira Santiago Vianna Cuadra José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro Rafael Galib Arthur Welle	



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

**Políticas públicas de Turismo na Faixa de Fronteira em Mato Grosso, Brasil: uma análise voltada para o planejamento** 649

Bruno de Souza Lima

Renato Fonseca de Arruda

Sandra Mara Alves da Silva Neves

João Henrique da Silva Massavi

Jordi Alcântara Ferreira

Edgar Aparecido da Costa

**Expansão da pastagem no pantanal de Cáceres/MT, Brasil** 659

Helibera Rita Ramos Capistrano Aquino

Sandra Mara Alves da Silva Neves

**Vulnerabilidade ambiental e natural da bacia hidrográfica do Rio Sepotuba, Mato Grosso, Brasil** 669

Carlos Eduardo Pereira Fornazari

Lívia Angélica Siqueira de Oliveira

Sandra Mara Alves da Silva Neves

Joliene da Silva Pereira

**Análise da capacidade de uso da bacia hidrográfica do rio Cabaçal, Mato Grosso - Brasil** 678

Daniely Deluque Silva

Sandra Mara Alves da Silva Neves

**Geotecnologias na preservação do patrimônio cultural em Mato Grosso, Brasil: mapeamento como ferramenta para diagnóstico e formulação de políticas públicas** 686

Renato Fonseca de Arruda

Sandra Mara Alves da Silva Neves

Márcio Ferreira Rangel

**Impactos do uso e cobertura do solo na dinâmica hídrica da bacia hidrográfica córrego Cachoeirinha** 698

Camila Macedo de Souza

Lívia Angélica Siqueira de Oliveira

Wesley dos Santos Leite

Sandra Mara Alves da Silva Neves

**Alterações na cobertura vegetal por ações antrópicas, do município de Glória D'Oeste, no estado de Mato Grosso, Brasil** 708

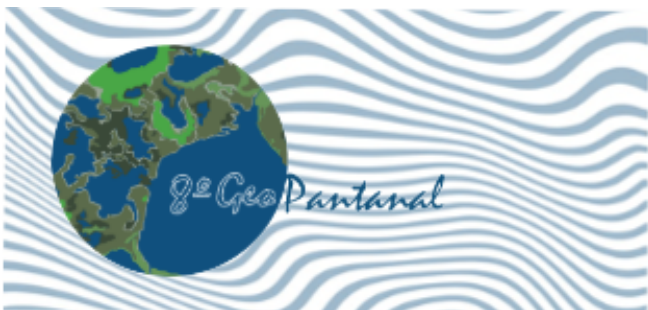
Joliene da Silva Pereira

Sandra Mara Alves da Silva Neves

João dos Santos Vila da Silva

Lívia Angélica de Oliveira





# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

**Análise da Transformação Antropogênica na Bacia Hidrográfica do rio Santana/  
Mato Grosso, Brasil** 718

Andressa Geovana Santiago Schiavinato  
Sandra Mara Alves da Silva Neves  
Jesã Pereira Kreitlow  
Lívia Angélica Siqueira da Oliveira  
Luciene da Costa Rodrigues

**Chaco em Mato Grosso do Sul, Pantanal brasileiro** 729

João dos Santos Vila da Silva  
Arnildo Pott  
Jo Barroso Chaves

**O estado atual do conhecimento das geotecnologias aplicadas ao bioma Pantanal:  
uma análise da paisagem científica** 738

Ivo Pierozzi Junior  
Márcia Izabel Fugisawa Souza  
João dos Santos Vila da Silva  
Magda Cruciol  
Luiz Manoel Silva Cunha

**Análise do potencial à erosão laminar na bacia hidrográfica do Rio dos Bugres –  
Mato Grosso, Brasil** 755

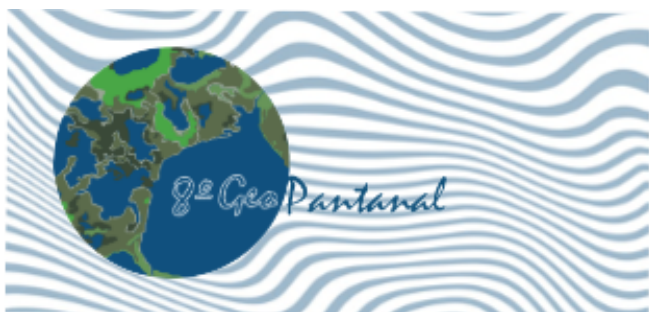
Maribel Velasco Revilla  
Lívia Angélica Siqueira de Oliveira  
Sandra Mara Alves da Silva Neves

**Geotecnologias aplicadas ao planejamento turístico: investigação dos meios de  
hospedagens do município de Cáceres, Mato Grosso, utilizando o software QGIS** 765

Cheiene Batista Oliveira  
Guilherme Gomes Ribeiro  
Bruno de Souza Lima

**Uso da terra e tendência de supressão vegetal na área de influência do rio Paraguai  
no município de Cáceres-MT** 773

Jesã Pereira Kreitlow  
Sandra Mara Alves da Silva Neves  
Solange Kimie Ikeda Castrillon



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

**Hierarquia fluvial dos cursos de água da bacia hidrográfica do Rio Jauquara,  
Mato Grosso – brasil** 784

Emili Vitória da Silva Oliveira  
Sandra Mara Alves da Silva Neves  
Andressa Geovana Santiago Schiavinato  
Wesley dos Santos Leite

**Análise dos impactos socioambientais nos córregos Gunitá, Barbado e do rio  
Coxipó para a cidade de Cuiabá-MT.** 793

Diego Carvalho dos Santos  
Levi Jefferson Santos Andrade

**Análise das áreas urbanizadas na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (2019)** 801

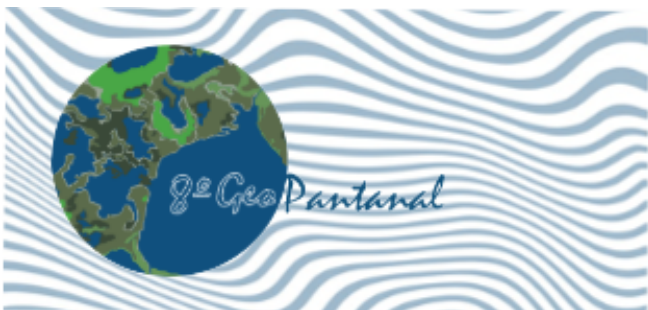
Bruna Aparecida Silva Dias  
Carolina Garcia de Figueiredo Colin  
Vera Aparecida de Figueiredo  
Luiz Antônio Falaguasta Barbosa  
João dos Santos Vila da Silva

**Uma breve análise sobre a espacialização de áreas urbanizadas, na Bacia do Alto  
Paraguai (BAP), no ano de 2019** 812

Natália de Souza Santos  
João Paulo da Silva  
Marcos de Castro Santos Junior  
Jean Victor Barrozo Chaves  
Eduardo Antonio Speranza  
João dos Santos Vila da Silva

**Uso de imagens de satélite com diferentes resoluções espaciais para estudo da  
temperatura de superfície da Bacia do Alto Paraguai (BAP)** 820

Renata Ribeiro do Valle Gonçalves  
João Paulo da Silva  
Bruna Aparecida Silva Dias  
João dos Santos Vila da Silva

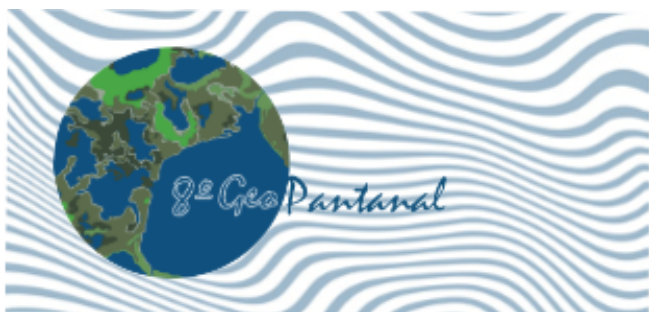


# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## Palestras

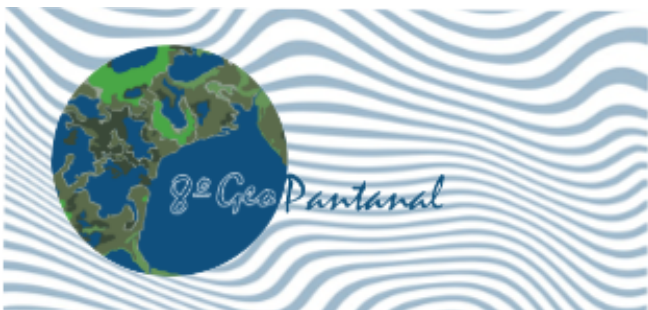
- |  |            |
|--|------------|
| <b>Tutela jurídica das áreas úmidas: Pantanal, Guaporé e Araguaia</b>  | <b>830</b> |
| Ana Luiza A. Peterlini de Souza  |            |
| <b>A atuação do IBGE frente às novas tecnologias para o mapeamento urbano</b>  | <b>831</b> |
| Cassio Freitas Pereira de Almeida  |            |
| <b>Jornalismo ambiental: como comunicar? Contribuição do jornalismo ambiental para a divulgação científica, conservação e proteção de seus recursos naturais e comunidades</b> | <b>832</b> |
| Cláudia Gaigher  |            |
| <b>Implementação da Cultura Analítica dos Dados Geoespaciais na Execução da Política Pública Ambiental Brasileira pelo IBAMA</b>   | <b>833</b> |
| Daniel Moraes de Freitas   |            |
| <b>Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Pantanal (PPPantanal)</b>  | <b>834</b> |
| Diego Henrique Costa Pereira   |            |
| <b>Desafios para o mapeamento da urbanização no Brasil usando Google Earth Engine</b>  | <b>835</b> |
| Edimilson Rodrigues dos Santos Junior  |            |
| <b>Seca extrema e incêndios no Pantanal em 2024 – Nota Técnica do MapBiomass</b>   | <b>836</b> |
| Eduardo Reis Rosa  |            |
| <b>Landscape Ecology, Grazing, and Drones</b>  | <b>837</b> |
| H.L. Perotto-Baldivieso  |            |
| D.J. Goodwin   |            |
| J.S. Avila-S   |            |
| K.F. Perez   |            |
| L. Massey  |            |
| E.P. Tanner  |            |
| J.A. Ortega-S.   |            |



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

<b>Brazil Data Cube: grandes volumes de imagens modeladas como cubos de dados multidimensionais e análise de séries temporais</b>	<b>838</b>
Karine Reis Ferreira	
<b>Operação do Sistema de Alerta e da RHN pelo SGB no Alto Paraguai (Pantanal)</b>	<b>839</b>
Mauro Campos Trindade	
<b>Monitoreo de Humedales a través del uso de Geotecnologías e Inteligencia Artificial: Aplicación en Humedales de la República Argentina</b>	<b>840</b>
Natalia V. Revollo	
<b>Análisis de grandes incendios en el Complejo de Reserva Pantanal Paraguayo y sus áreas de influencia mediante el uso de geotecnologías</b>	<b>841</b>
Paula Alejandra Paniagua Rodas	
<b>Restauração Ecológica: A importância de um Pacto pela Restauração no Pantanal</b>	<b>842</b>
Solange Ikeda-Castrillon	
<b>A importância do Cadastramento Ambiental Rural – CAR no diagnóstico de ativos ambientais no pantanal mato-grossense, conforme a legislação estadual</b>	<b>843</b>
Tatiana Monteiro Costa e Silva	
<b>Integração de dados espaciais para monitoramento ambiental no Pantanal</b>	<b>844</b>
Thiago Gonçalves Rodrigues	
<b>Projeto Map MT</b>	<b>845</b>
Rodrigo Bruno Zanin	
<b>Combate aos incêndios florestais no Pantanal no ano de 2024: Geoespacialização das informações</b>	<b>846</b>
Lawrence Nóbrega de Oliveira Bruno Monteiro Blanco	



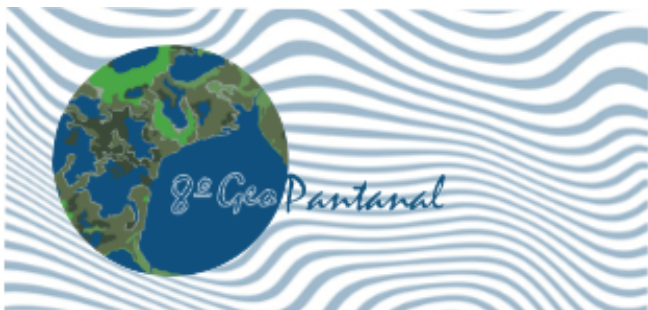
# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## Autores

### A

Adilson Ribeiro de Araújo .....	286
Adolpho José Melfi .....	258, 351
Adriane Calaboni .....	549
Adrielly Santos Gonçalves .....	470
Alessandro Copatti .....	107
Alexandre Camargo Coutinho .....	450, 549
Alexine Keuroghlian .....	420
Alfredo Zenén Dominguez Gonzalez .....	230, 240
Aline Vargas de Moraes .....	72
Allan Pereira Arantes.....	164
Amanda Ferreira da Silva .....	174, 192
Ana Cláudia dos Santos Luciano .....	519
Ana Laura Cardoso Santos .....	519
Ana Laura de Paula .....	340
Ana Livia Borges Farias .....	479
Ana Luiza A. Peterlini de Souza .....	830
Ana Maria dos Santos Ferreira .....	340
Ana Paula Cardoso Tavares.....	164
Anderson de Freitas Barros.....	207
Andrei dos Santos Souza .....	137
André Luiz de Jesus Dantas .....	137
André Luiz Santos Portela .....	207
André Pereira Dias .....	539
André Renan Costa Silva .....	258, 351
André Rodrigo Farias .....	508
André Silva Tavares .....	450



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

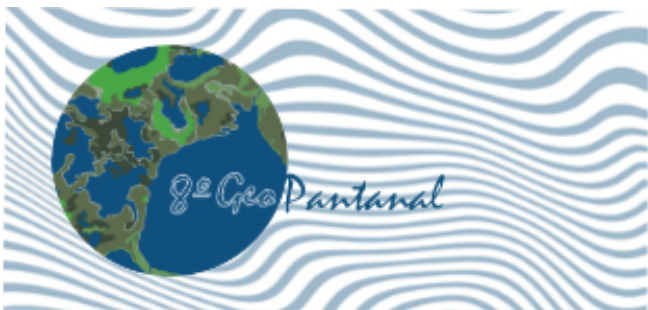
Andressa Geovana Santiago Schiavinato .....	718, 784
Antonio Conceição Paranhos Filho .....	107, 570
Ariana Natalia de Oliveira de Oliveira .....	497
Arnildo Pott .....	729
Arthur Pereira dos Santos .....	340
Arthur Welle .....	640
Aryeverton Fortes de Oliveira .....	640
Aurinelza Batista Teixeira Conde.....	387

## B

Balbina Maria Araújo Soriano .....	117
Bárbara Louise Pacheco Ramos .....	137
Beatriz de Azevedo do Carmo .....	580
Bianca Perin Malaghini .....	519
Breno Henrique Gomes dos Santos Freitas .....	387
Bruna Aparecida Silva Dias .....	801, 820
Bruna Caroline Paspardelli Cortelete .....	479
Bruno de Souza Lima .....	265, 649, 765
Bruno Monteiro Blanco .....	846

## C

Camila Macedo de Souza .....	265, 698
Carla Bernadete Madureira Cruz .....	357
Carlos Alberto de Carvalho .....	508
Carlos Antonio da Silva Junior .....	192, 174, 200, 461
Carlos Daniel Pinheiro da Silva .....	470
Carlos E. Berger .....	84
Carlos Eduardo Cagna .....	309
Carlos Eduardo Pereira Fornazari .....	669
Carlos Henrique de Moura Silva .....	62
Carlos Marcelo Felix Guimarães .....	525
Carolina Garcia de Figueiredo Colín .....	801
Carolina Purificação .....	126
Caroline Melo Ribeiro .....	410
Cassio Freitas Pereira de Almeida .....	831



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

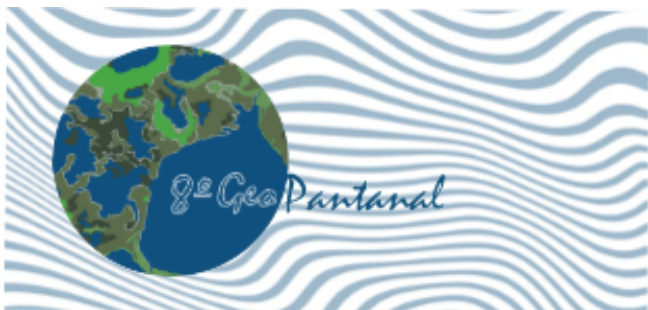
Cátia Campos .....	126
Catia Nunes da Cunha .....	330
Célia Regina Montes .....	258, 351
Cheiene Batista Oliveira .....	765
Chern Jenn Yuan .....	590
Chou Sin Chan .....	440
Cibele Biondo .....	420
Cláudia Gaigher .....	832
Cleudinéia Santos Domingos Ruiz .....	72

## D

Damien Arvor .....	429
Daniela Mendes Nunes da Silva .....	200
Daniel Andrés Rodriguez .....	410
Daniel de Castro Victoria .....	640
Daniel Henrique dos Santos .....	461
Danielle Dall Amaria Soffiatti .....	157
Daniel Moraes de Freitas .....	833
Daniely Deluque Silva .....	678
Darllan Collins da Cunha e Silva .....	340
Débora Ayumi Ishida .....	351
Débora Paula Simões .....	96
Diego Carvalho dos Santos .....	793
Diego de Sousa Ribeiro Fonseca .....	470, 497
Diego Henrique Costa Pereira .....	834
Diego Tarley Ferreira Nascimento .....	286
Diogo José nunes da Silva .....	309
Dionei José da Silva .....	401
D.J. Goodwin .....	837
Douglas Stefanello Facco .....	420
Dthenifer Cordeiro Santana .....	461

## E

Edenilson Roberto Nascimento .....	147
Edgar Aparecido da Costa .....	649



# Anais do 8º GeoPantanal

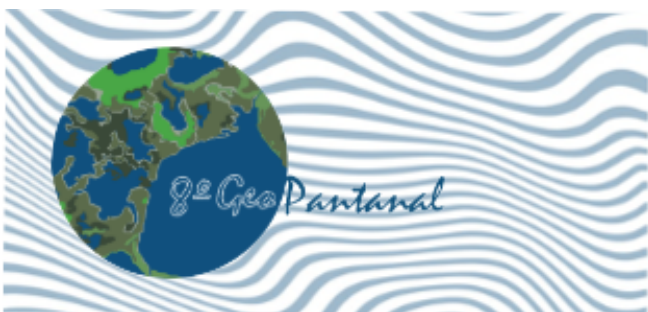
Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

Edimilson Rodrigues dos Santos Junior .....	835
Edinéia Aparecida dos Santos Galvanin .....	42, 84, 395
Eduarda Thais Goulart .....	164
Eduardo Antonio Speranza .....	599, 812
Eduardo Nunes Viana .....	401
Eduardo Reis Rosa .....	319, 836
Edwina Santos da Costa .....	72
Elaine de Cácia de Lima Frick .....	147
Elias Fernando Berra .....	147
Elisângela Martins de Carvalho.....	72
Ellen Cristina Magalhães Nacanishi .....	479
Eloyl Aparecido Cintra Franco .....	619
Emanuele Rebeca Maximiano Almeida .....	174
Emerson Figueiredo Leite .....	72
Emili Vitória da Silva Oliveira.....	784
Ennio Marques Palmeira .....	53
E.P. Tanner .....	837
Érico Fernando de Oliveira Martins .....	479, 525

## F

Fabiano Saraiva .....	309
Fabio Junior do Espírito Santo Andrade .....	230, 240
Fabio Luiz de Oliveira Santos.....	309
Fábio Marcelo Breunig .....	147
Fabrcio Tomaz Ramos .....	508
Fausto Weimar Acerbi Júnior .....	164
Felipe de Lorenzi .....	375
Felipe Gonçalves Amaral .....	357
Felipe Keiji Feital Harano .....	42
Fernando Rodrigo Farias .....	72
Filipe Soares Araújo .....	137
Filippe Lemos Maia Santos .....	126
Flavio Tiago Couto .....	126
Franciele Oliveira .....	627
Francisco Lledo dos Santos .....	525





# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## G

Gabriela Custodio Oliveira.....	401
Geovani Vinco Tonolli .....	627
Giovana Clarice Poggere .....	273
Glauber José Vaz .....	450
Grasiela Edith de Oliveira Porfirio Petry .....	627, 634
Guilherme Gomes Ribeiro .....	765

## H

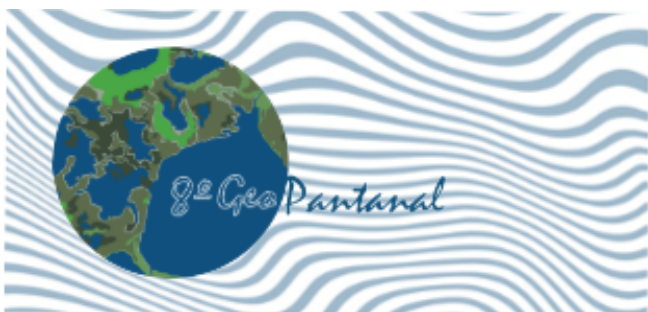
Handrya da Silva .....	200
Helga Correa Wiederhecker.....	319
Helibera Rita Ramos Capistrano Aquino .....	659
Herondino dos Santos Filho .....	258
Hilton Luís Ferraz da Silveira .....	508
Humberto Perotto-Baldivieso .....	117

## I

Igor Pinho Souza .....	627
Ingred Nóbrega Teixeira .....	351
Ivan Donisete Lonel .....	309
Iverson Moraes Gomes .....	72
Ivo Pierozzi Junior .....	738

## J

Jaislânia de Jesus Nunes .....	137
J.A. Ortega-S .....	837
Jaudete Daltio .....	508
Jean Carlos Ferreira .....	539
Jean Victor Barrozo Chaves .....	812
Jefferson do Nascimento .....	174
Jesã Pereira Kreitlow.....	718, 773
Jéssica Lima Viana .....	570
Jessyka Karolaine da Fonseca Alvares.....	634
João dos Santos Vila da Silva .....	599, 619, 708, 729, 738, 801, 812, 820



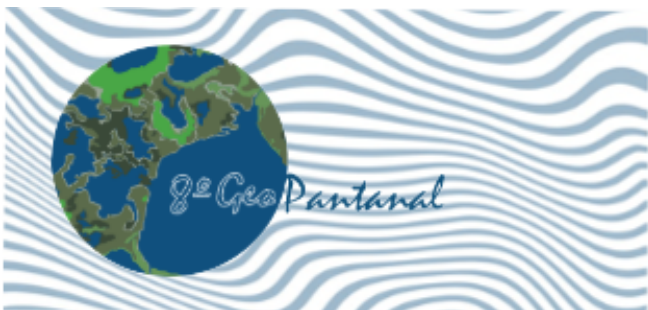
# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

João Edson Costa Ferreira da Silva .....	96
João Francisco Gonçalves Antunes .....	450, 549
João Henrique da Silva Massavi .....	230, 240, 649
João Luís dos Santos .....	549
João Paulo da Silva .....	812, 820
João Paulo Ropke Schuster .....	174
João Roberto de Mello Rodrigues .....	387
João Victor Gomes Carneiro .....	375
Joaquim Corrêa Ribeiro .....	559
Jo Barroso Chaves .....	729
Joberth Firmino Gambati .....	539
Joelma Nayara da Silva Garcia .....	192, 200
Joliane da Silva Pereira .....	265, 669, 708
Jonas Ramos Pimentel .....	357
Jordi Alcântara Ferreira .....	649
José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro .....	640
José Guilherme Oliveira .....	147
Jô Vinícius Barrozo Chaves .....	599
Joyce Alves de Souza Ferreira.....	330
J.S. Avila-S .....	837
Juan Félix Rodrigues Rebolledo .....	53
Juan Manuel López Vega .....	126
Juan Mark Silva Amorim .....	137
Judite de Azevedo do Carmo .....	580
Julia Moreira Costa .....	497
Juliana Araujo da Cunha .....	53
Júlio César Dalla Mora Esquerdo .....	450, 549

## K

Kamila Fernanda de Souza .....	368
Karine Reis Ferreira .....	838
Karoliny Rocha Santos.....	470
Kátia Kellem da Rosa .....	157
K.F. Perez .....	837



# Anais do 8º GeoPantanal

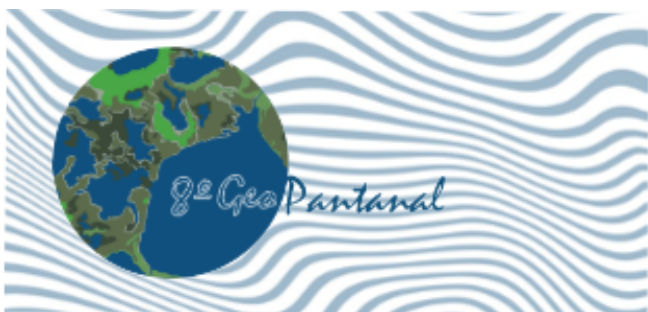
Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## L

Laís Fernandes de Souza Neves .....	265
Larissa Pereira Ribeiro Teodoro .....	461
Larisse Rodrigues de Jesus .....	610
Lawrence Nóbrega de Oliveira .....	846
Leandro Almeida da Silva .....	207
Leila Nalis Paiva da Silva Andrade .....	230, 240
Lênio Soares Galvão .....	147
Leonardo José Cordeiro Santos .....	147
Levi Jefferson Santos Andrade .....	793
Lídia Sanches Bertolo .....	549
Lindsay Assunção Silva Pimenta .....	440
Lívia Angélica de Oliveira .....	708
Lívia Angélica Siqueira de Oliveira .....	669, 698, 718, 755
L. Massey .....	837
Lourena de Araújo Félix .....	230, 240
Luã Gustavo da Silva Tachibana .....	570
Lucas Halberstadt da Rosa .....	309
Lucas Neris Araújo .....	184
Luciene da Costa Rodrigues .....	718
Lucíola Alves Magalhães .....	508
Luiz Antônio Falaguasta Barbosa .....	801
Luiz Manoel Silva Cunha .....	738

## M

Magda Cruciol .....	738
Marcelo Fernando Fonseca .....	508
Marcelo José de Oliveira .....	258
Marcelo Junqueira Ferraz .....	96
Márcia Izabel Fugisawa Souza .....	738
Márcio dos Santos Pedreira .....	137
Márcio Ferreira Rangel .....	686
Marcos Adami .....	147
Marcos de Castro Santos Junior .....	812
Marcos Reis Rosa .....	319



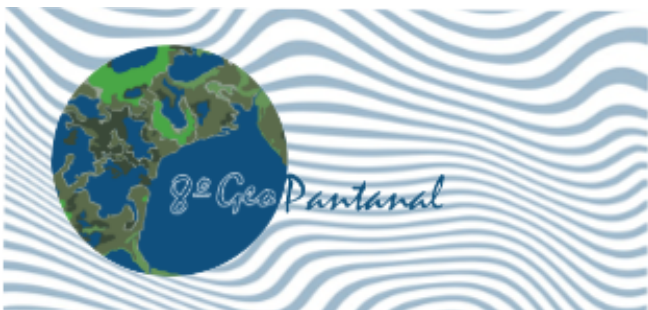
# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

Margarete Lordelo Volpato .....	368
Maria Eduarda Porto Silva .....	497
Maria Eduarda Ribeiro Gomes .....	497
Maria Helena Ramos .....	368
Mariana Alves Carvalho Queiroz .....	627
Mariana Dias Ramos .....	319
Maribel Velasco Revilla .....	755
Marielle Rezende de Andrade .....	340
Marinés Alejandra Gonzalez Colina .....	221, 249
Marley Lamounier Machado .....	368, 387
Mateus Cruz Rocha .....	395
Matthieu Lacroix .....	126
Mauro Campos Trindade .....	839
Mauro Henrique Soares da Silva .....	429
Mayara Cristina Santos Marques .....	410
Maykon Cristian Lauermann .....	174
Mireile Reis dos Santos .....	340
Moisés Damasceno Souza .....	401
Moisés Gomes Ferreira .....	470
Mônica A. Cupertino-Eisenlohr .....	184
Mozart Sávio Pires Baptista .....	420
Murilo Góis de Sousa .....	470

## N

Natália de Souza Santos .....	812
Natalia V. Revollo .....	84, 840
Natalya Loverde Parpinelli .....	207
Nayara Luisa Werner Moreira .....	330
Nelson Wellausen Dias .....	309
Nephtali Mitchell François .....	200
Neumuel da Silva Faria .....	580
Neydara da Silva Perin .....	200
Nuno Andrade .....	126



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## O

Odair Lacerda Lemos ..... 137

## P

Paula Alejandra Paniagua Rodas ..... 841

Paulo Eduardo Teodoro ..... 461

Paulo Martinho ..... 508

Pedro Daniel da Cunha Kemerich ..... 420

Pedro Henrique Taschetto Marin ..... 297

Peter Zeilhofer ..... 221, 249

Polyana Oliveira dos Santos Hanse ..... 580

## R

Rafael da Rocha Ribeiro ..... 157

Rafael Galib ..... 640

Rafael Gomes de Carvalho ..... 200

Rafaella Andrade Pistore ..... 174

Rafael Mingoti ..... 489, 508

Raquel Weiss ..... 297

Rayssa Aparecida Pinheiro Noveli ..... 627, 634

Rejane Ennes Cicerelli ..... 610

Renata Ribeiro do Valle Gonçalves ..... 375, 820

Renato Fonseca de Arruda ..... 649, 686

Renato Gatto de Moraes ..... 221, 249

Rivanildo Dallacort ..... 401

Roberto Ferreira Tavares ..... 309

Roberto Macedo Gamarra ..... 570

Roberto Wagner Lourenço ..... 340

Rodrigo Bruno Zanin ..... 525, 845

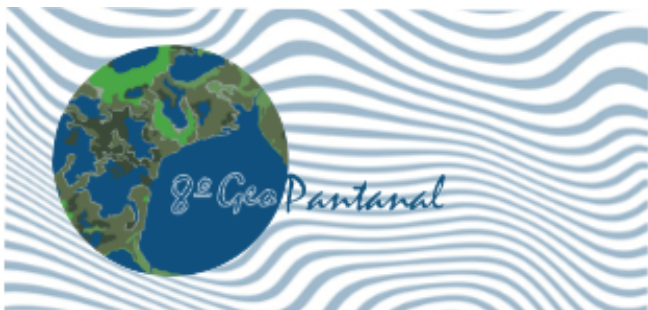
Roger de Sá Silva ..... 164

Romário Trentin ..... 147

Ronaldo Bernardo ..... 157

Ronaldo Vilarinho da Silva ..... 200

Roosevelt Heldt Júnior ..... 340



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## S

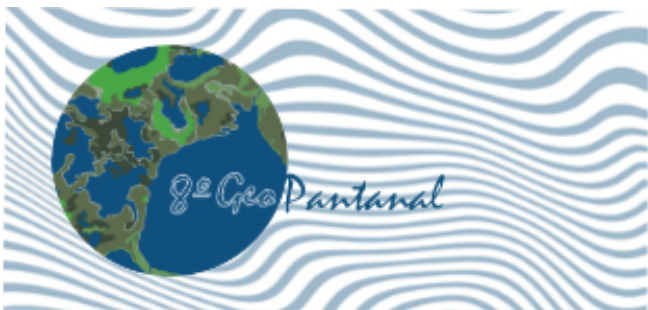
Salette Gürtler .....	489, 508
Samuel Corgne .....	429
Sâmya Sofia Alves Teixeira .....	497
Sandra Aparecida Santos .....	117
Sandra Mara Alves da Silva Neves .....	84, 265, 401, 649, 659, 669, 678, 686, 698, 708, 718, 755, 773, 784
Santiago Vianna Cuadra .....	640
Sergio Eduardo Barreto de Aguiar .....	627
Solange Ikeda-Castrillon .....	842
Solange Kimie Ikeda-Castrillon .....	479, 773
Stela Rosa Amaral Gonçalves .....	330
StepWise progressivo .....	497
Sthéfany Airane dos Santos .....	368

## T

Tamires Fornazari .....	489
Tatiana Monteiro Costa e Silva .....	843
Tatiane Deoti Pelissari .....	192, 461
Tati de Almeida .....	610
Thaís Lourençoni .....	461
Thiago Gonçalves Rodrigues .....	844
Tony Vinicius Moreira Sampaio .....	147

## V

Vanderlei Leopold Magalhães .....	273
Vanessa Castro Figueiredo .....	368
Vanessa Rakel de Moraes Dias .....	401
Vania Aparecida Silva .....	368
Vânia Rosa Pereira .....	640
Vera Aparecida de Figueiredo .....	801
Verónica Gil .....	84
Victor Pedroso Curtarelli .....	549
Vinicius de Souza Silva .....	230, 240
Vinícius Freitas Silgueiro .....	184
Vinicius Lacerda da Silva Oliveira .....	634



# Anais do 8º GeoPantanal

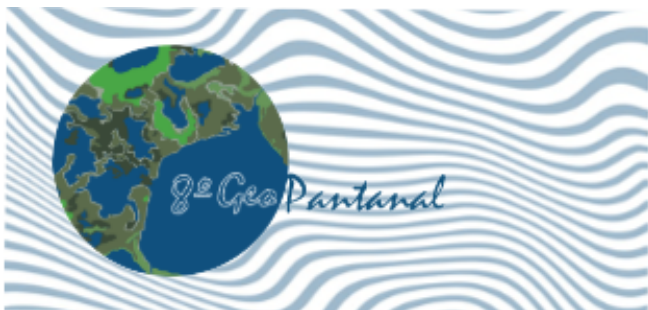
Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## W

Waleria Menezes Barros .....	107
Wallisson Geraldo de Souza Cardoso .....	387
Wanessa Rodrigues .....	634
Wellinton Nardes Ferreira .....	157
Wener Hugo Arruda Moreno .....	627
Weslei Butturi .....	184
Wesley dos Santos Leite .....	698, 784
William Gaida .....	147
Wisllene da Silva Souza .....	479

## Y

Yara Emy Yoshida .....	559
Yves Lucas .....	258



# Anais do 8º GeoPantanal

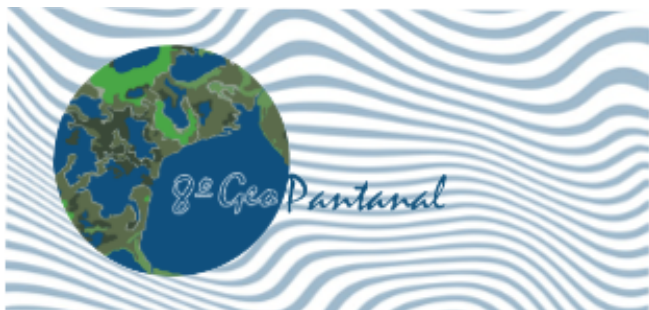
Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## Palavras-chaves

### A

acurácia vertical .....	610
agricultura de precisão .....	387
agrotóxico .....	539
água subterrânea .....	410
água superficial .....	410
análise ambiental .....	72, 559
análise descritiva .....	470
análise de séries temporais de imagens .....	838
análise espacial .....	508, 686
análise espaço-temporal .....	118
análise morfométrica .....	784
análise multicritério.....	207
Anthropogenic activities .....	241
aprendizado de máquina .....	62
Aprendizaje de Máquina.....	840
Aquíferos .....	249
Araguaia .....	830
arborização urbana .....	570
área de preservação permanente .....	773
áreas úmidas .....	42, 258, 330, 461, 479, 627, 729, 830
áreas úmidas tropicais .....	429
áreas urbanas .....	801, 835
área úmida .....	395
área urbanizada e fragmentos urbanos .....	812
arenização .....	147
Arquitetura da Paisagem.....	297





# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

assédio moral .....	265
atividades antrópicas.....	240
atividades humanas.....	718
atividade turística .....	649

## B

Bacia do Alto Paraguai .....	450, 832
bacia hidrográfica .....	525, 539, 698, 812
balanço hídrico .....	640
banco de dados geoespaciais .....	549
BAP .....	549
big data .....	833, 838
biodiversidade .....	793
bioma .....	401
bioma Pampa .....	297

## C

Cáceres .....	765
Cadastramento Ambiental Rural .....	843
carbono inorgânico.....	258
carbono orgânico.....	258
cartografia.....	221
cartography .....	222
caulinita .....	351
cenários futuros .....	773
Chaco brasileiro .....	599
CHIRPS .....	429
chuva .....	401
cicatriz de área queimada .....	846
cicatriz de fogo .....	836
ciência de dados .....	838
classificação orientada a objeto .....	96
classificação supervisionada .....	319
CMIP6 .....	640
cobertura e uso do solo .....	286



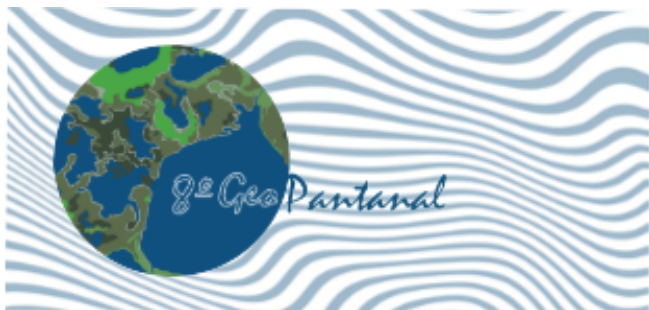
# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

código florestal .....	843
cokrigagem .....	497
combate .....	846
conflitos fundiários .....	184
conhecimento científico .....	830
conjunto de dados de treinamento .....	450
conservação .....	627, 634
conservação ambiental .....	519, 669, 718
conservação da paisagem .....	698, 755
conservação de espécies .....	62
contatos florísticos .....	729
cubos de dados .....	838

## D

dados de satélite .....	62
dados geoespaciais .....	842
dados sociais .....	634
dashboard .....	184
degradação .....	842
dengue .....	497
densidade de Kernel .....	461
densidade urbana .....	801
deposição .....	230
deposity .....	231
desastres naturais .....	107
desenvolvimento rural .....	508
desenvolvimento sustentável .....	470
desertificação .....	147
desmatamento .....	420, 773, 834, 844
diagnóstico turístico .....	649
diferença normalizada de água .....	539
dinâmica populacional .....	309
disponibilidade hídrica .....	249, 489
drenos .....	330
drone .....	137, 368



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## E

eCognition .....	164
ecologia .....	62
ecologia da paisagem .....	118, 297
educação ambiental .....	570
emissividade .....	147
espaço urbano .....	580
estação úmida .....	157
estado atual do conhecimento .....	738
estrutura cristalina .....	351
eventos climáticos .....	192
eventos extremos .....	401
excesso de deutério .....	157
expansão urbana .....	207, 801

## F

fauna .....	627
fenômenos hidrometeorológicos .....	580
ferrovias .....	53
fine-scale analysis .....	837
focos de incêndio .....	375
FTIR .....	351

## G

geoestatística .....	610
geoprocessamento .....	207, 221, 309, 368, 387, 519, 784, 831, 834
geossintético .....	53
geotecnologias .....	42, 395, 401, 580, 669, 678, 708, 718, 738, 755, 765, 784, 833, 836, 840
gestão cultural .....	686
gestão de recursos hídricos .....	221
gestão fundiária .....	619
gestão hídrica .....	784
gestão territorial .....	184, 549
GOES-16 .....	107, 375, 820



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

goethita.....	351
Google Earth Engine .....	319, 357
governança de dados .....	833
Governança de terras .....	184
Guaporé .....	830

## H

hematita .....	351
hidrometria .....	525
HLS .....	429
Humberto Perotto-Baldivieso .....	117
humedales .....	84, 840
hyperspectral.....	837
hypsothetic .....	259

## I

imágenes satelitales .....	84
imagens de satélite .....	410
IMASUL-MS .....	107
impactos ambientais .....	559
incêndios .....	164, 842
incêndios florestais .....	72, 479, 846
incêndios forestales .....	841
índice de transformação antrópica .....	708
índices de desenvolvimento .....	470
índices espectrais .....	357
índice triangular de verdor.....	539
instâncias de governança .....	649
Inteligência Artificial .....	845
inteligência territorial estratégica .....	508

## J

Jauru River .....	231, 241
-------------------	----------



# Anais do 8º GeoPantanal

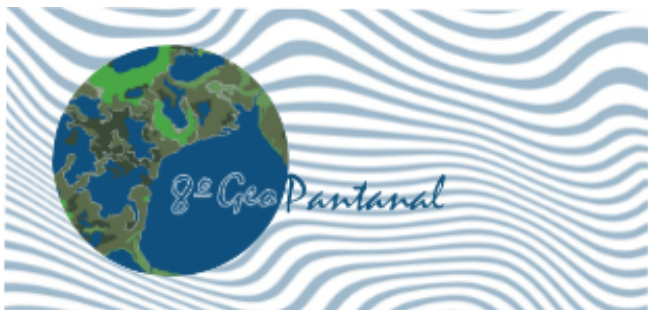
Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## L

lagoas salinas .....	258
Landsat .....	420, 590, 835
Landsat-8 .....	820
landscape change threshold .....	117
landscape configuration .....	837
landscape ecology .....	117
LiDAR .....	837
limiar de mudança da paisagem .....	118
lógica fuzzy .....	164

## M

machine learning .....	84
mapas temáticos .....	273
mapBiomass.....	286, 330, 590, 773
mapeamento .....	164, 836
mapeamento do uso e cobertura da terra .....	450
mapeamento, mapa interativo .....	549
mapeamento sistemático .....	845
MapFOGO-MS .....	107
massa de forragem .....	137
Mato Grosso .....	832
Mato Grosso do Sul .....	832
mega incêndios .....	127
métricas e padrões da paisagem .....	297
MLME .....	519
modelagem .....	42
modelagem atmosférica .....	127
modelagem climática regional .....	440
modelagem de habitat.....	62
modelagem hidrologia .....	610
modelo analítico .....	53
modelo Meso-NH .....	127
modelo numérico .....	53
modelos estatísticos .....	839



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

Monitoramento .....	184, 844, 410, 834
monitoramento ambiental .....	599, 833
monitoramento de lavoura .....	387
monitoramento e planejamento ambiental .....	708
monitoreo.....	841
Monitoreo Remoto .....	840
morfometria .....	698
mudança de uso do solo .....	72
mudança na cobertura da terra .....	599
mudanças climáticas .....	440, 640
mudanças de uso e cobertura da terra.....	838
multispectral .....	837
multivariada .....	368

## N

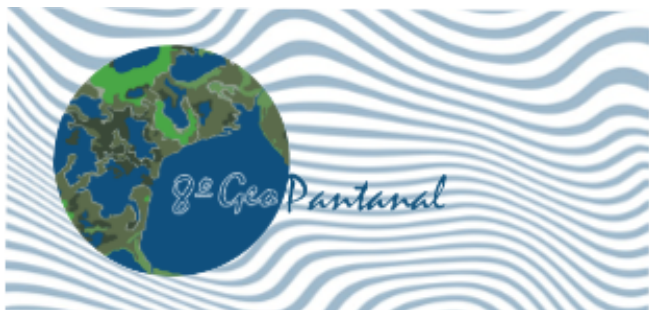
NDVI.....	375, 429, 820
notícias jornalísticas .....	832

## O

ocupação desordenada .....	559
ocupação do solo .....	590
ocupação urbana .....	207

## P

paisagem .....	669
Paisagem .....	297
paisagem científica .....	738
Pantanal .....	42, 62, 84, 127, 174, 192, 200, 221, .....230, 240, 258, 319, 330, 351, 357, 410, 440, .....479, 539, 559, 634, 640, 649, 659, 669, 738, .....773, 793, 832, 834, 836, 839
Pantanal: Destino turístico .....	265
Pantanal mato-grossense .....	830
Parâmetros de Câmera .....	96
pastagens .....	137
patrimônio ambiental .....	570



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

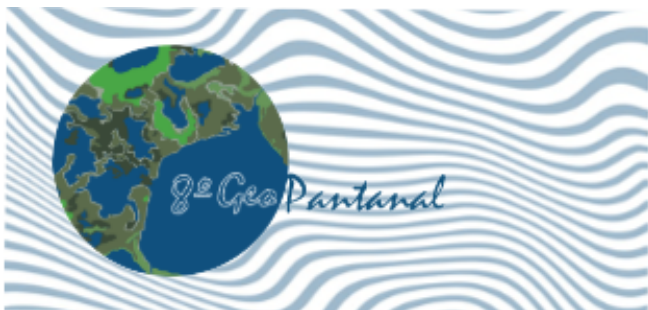
pecuária.....	599, 659
planejamento conservacionista .....	678
planejamento turístico .....	649, 765
planejamento urbano .....	831
planície de inundação .....	610
plataforma .....	844
PMT .....	765
políticas públicas .....	508, 634, 833, 834, 845
poluição .....	249
poluição difusa .....	42
problemas ambientais .....	832
processamento de imagens .....	96, 368, 461, 479
PRODES .....	461
produção agrícola .....	489
prognóstico .....	340
projeto MapBiomas .....	273
projeto RadamBrasil .....	273
psicologia ambiental .....	570
pulso de inundação .....	319, 330, 836

## Q

QGIS .....	765
qualidade da água .....	174
qualidade das cidades .....	470
qualidade de dados .....	450
queimada .....	107
queimadas .....	192, 309, 834
queixadas .....	420

## R

recuperação da vegetação .....	842
recursos hídricos .....	249, 519
região hidrográfica .....	801
regionalização .....	497
regularização fundiária .....	619
reserva legal .....	843



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

restauração ecológica .....	420, 479
Rio Jauru .....	230, 240
rodovias .....	53

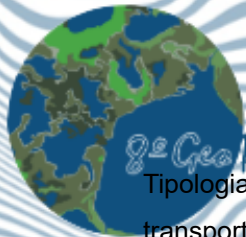
## S

saneamento .....	340
savana estépica .....	729
seca e cheia .....	839
segmentação .....	164
sensoriamento remoto .....	96, 192, 174, 357, 368, 387, 450, 479, 519, 525, 539, 590, 599, 137, 147, 164, 659, 678, 200, 755,
Sentinel-2 .....	107
séries temporais .....	375, 835
séries temporais de imagens de satélite .....	429
série temporal .....	319
SIG .....	265, 686
sistemas de informação geográfica .....	841
sistemas de informações geográficas .....	698, 729
solo .....	258, 755
solos moles .....	53
spatial data analysis .....	222
spatio-temporal analysis .....	117
SPI .....	401
StepWise progressivo .....	497
Sudeco .....	649
supressão da vegetação .....	461
sustentabilidade .....	590
sustentabilidade ecológica .....	830

## T

taxa de internação .....	497
temperatura de superfície .....	820
termal .....	147
terra .....	619
Teste de Normalidade .....	286





Tipologias fundiárias .....

transporte de mercadorias.....

tratamento de efluentes.....

turismo .....

tutela jurídica .....

# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024

[www.geopantanal.cnptia.br](http://www.geopantanal.cnptia.br)

184

489

340

765

830

## U

UAV .....

UNEMAT .....

urbanização .....

uso da terra .....

uso e cobertura da terra .....

uso e ocupação do solo .....

usos da terra .....

## V

vegetação .....

vegetação natural .....

Violência contra mulher .....

## W

water resource management.....



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## Referências

### **Exemplo de como referenciar trabalhos contidos nos Anais do 8º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**

Silva, A. R. C.; Montes, R. C.; Lucas, Y.; Melfi, A. J.. Distribuição de carbono nos solos do entorno de lagoas salino-alcálinas (LSA) do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul (MS), Brasil. IN: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 8., 2024, Poconé, MT. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2024. p. 15-25. Disponível em <<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/anais.php>> ISBN: 978-65-89159-15-5. Acessado em 23 de outubro de 2024.

## **Análise do risco potencial de poluição por cargas difusas no pantanal de Cáceres – Mato Grosso**

Edinéia Aparecida dos Santos Galvanin<sup>1</sup>  
Felipe Keiji Feital Harano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação, Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
Av. Renato da Costa Lima, 451 - Ville de France  
Ourinhos, SP - 19903-302  
edineia.galvanin@unesp.br

<sup>2</sup> Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
R. Roberto Símonsén, 305 - Centro Educacional  
Presidente Prudente - SP, 19060-900  
felipe.harano@unesp.br

**Resumo.** Este trabalho tem como objetivo avaliar o risco potencial de poluição por cargas difusas no Pantanal de Cáceres, Mato Grosso, nos anos de 2024 e 2022, utilizando geotecnologias. O Índice de Potencial de Poluição Não Pontual foi calculado com base em três subindicadores: Indicador de Distância, Indicador de Escoamento e Indicador de Cobertura da Terra. Cada subindicador representa fenômenos físicos distintos relacionados à proximidade de corpos d'água, transporte de poluentes, geologia, permeabilidade e características predominantes de uso da terra. Os dados de uso da terra foram obtidos do MapBiomás. O trabalho evidenciou uma diminuição das massas d'água, especialmente no centro-sul da área estudada, onde se encontram as áreas mais úmidas. A determinação do Indicador de Distância mostrou uma variação espacial significativa, com maiores alterações no uso da terra de florestas para pastagem, resultando em um aumento do indicador de Cobertura da Terra médio de 2,22%. A geologia local foi identificada como um fator crucial para o indicador de Retenção de Cargas Difusas, com solos de baixa permeabilidade contribuindo para uma diminuição de 4,58% na média do indicador durante o período analisado. A pesquisa destaca a importância da proteção ambiental e da análise espacial para compreender melhor as dinâmicas ambientais e apoiar a gestão sustentável do Pantanal.

**Palavras-chave:** poluição difusa, modelagem, geotecnologias, áreas úmidas, Pantanal.

**Abstract.** This study aims to assess the potential risk of diffuse pollution in the Pantanal of Cáceres, Mato Grosso, in the years 2024 and 2022, using geotechnologies. The Non-Point Pollution Potential Index was calculated based on three sub-indicators: Distance Indicator, Run-off Indicator, and Land Cover Indicator. Each sub-indicator represents distinct physical phenomena related to the proximity of water bodies, pollutant transport, geology, permeability, and predominant land use characteristics. Land use data were obtained from MapBiomas. The study revealed a decrease in water bodies, particularly in the south-central part of the study area, where the wettest regions are located. The determination of the Distance Indicator showed significant spatial variation, with major land use changes from forests to pastures, resulting in an average increase of 2.22% in the Land Cover Indicator. Local geology was identified as a crucial factor for the Retention of Diffuse Loads Indicator, with low-permeability soils contributing to a 4.58% decrease in the average indicator during the analyzed period. The research underscores the importance of environmental protection and spatial analysis to better understand environmental dynamics and support sustainable management of the Pantanal.

**Key-words:** diffuse pollution, modeling, Geotechnology, wetlands, Pantanal.

## Introdução

Mudanças globais nas condições climáticas e distúrbios antropogênicos estão transformando o ecossistema da Terra, com impactos evidentes na degradação e diminuição das águas superficiais Lane et al., (2023).

Uma das maiores áreas alagadas contínuas do planeta, o Pantanal é particularmente afetado por essas mudanças. Reconhecido como Patrimônio Nacional pela Constituição de 1988, o Pantanal também é designado como Reserva da Biosfera e Patrimônio Natural da Humanidade pela UNESCO Brasil, (1997).

No contexto do Pantanal de Mato Grosso, garantir a segurança hídrica futura dependerá significativamente da precisão no mapeamento dos processos hidrológicos, biológicos e biogeoquímicos da região. Segundo Barros (2008), a poluição dos ecossistemas aquáticos resulta principalmente das descargas de altas concentrações de nutrientes, que modificam a natureza dos corpos hídricos e podem prejudicar diversas formas de uso da água.

Von Sperling (1996) indica que os poluentes afetam os recursos hídricos por meio de duas formas básicas: poluição pontual e poluição difusa. As fontes pontuais, como os efluentes domésticos e industriais, são lançadas de maneira concentrada em locais específicos, sendo facilmente identificáveis e previsíveis Lima et al., (2016). Em contraste, a poluição difusa ocorre de forma distribuída ao longo do corpo hídrico, transportada pelo escoamento superficial, e não concentrada em um único ponto Aprígio e Brandão, (2011); Martins, (2017).

Devido à sua natureza difusa, o controle da carga poluente é complexo e depende de múltiplos fatores, como o uso da terra, a geologia e as condições meteorológicas da região. Essas variações de uso e cobertura da terra têm um impacto direto nos parâmetros quantitativos e qualitativos da água, resultando em alterações nos índices de fósforo e nitrogênio quando há substituição de fragmentos florestais por atividades agrícolas.

Algumas metodologias têm sido utilizadas para o estudo da poluição difusa, como a desenvolvida por Munafò et al. (2005), que se fundamenta na avaliação de um indicador conhecido como Índice de Potencial de Poluição Não Pontual (PNPI). Além disso, o aumento na disponibilidade de dados geoespaciais e sua integração com Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm promovido avanços significativos na modelagem da qualidade da água, especialmente em áreas onde os dados monitorados são limitados.

Esses avanços são particularmente relevantes no contexto do Pantanal, uma região reconhecida como um hotspot de biodiversidade e ainda pouco estudada. A importância científica e tecnológica de monitorar a poluição difusa nesta área é ampliada pelos progressos em soluções geoespaciais. Este trabalho visa contribuir para os objetivos da Agenda 2030 ONU,

(2015), com destaque para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, que busca assegurar o acesso à água limpa e ao saneamento para a humanidade.

Neste contexto, este artigo apresenta como hipótese que a geração de cargas difusas pode ser potencializada pela ação antrópica, principalmente pela alteração do uso da terra, tornando fundamental o uso de geotecnologias integradas aos modelos matemáticos para identificar e auxiliar a gestão hídrica da região.

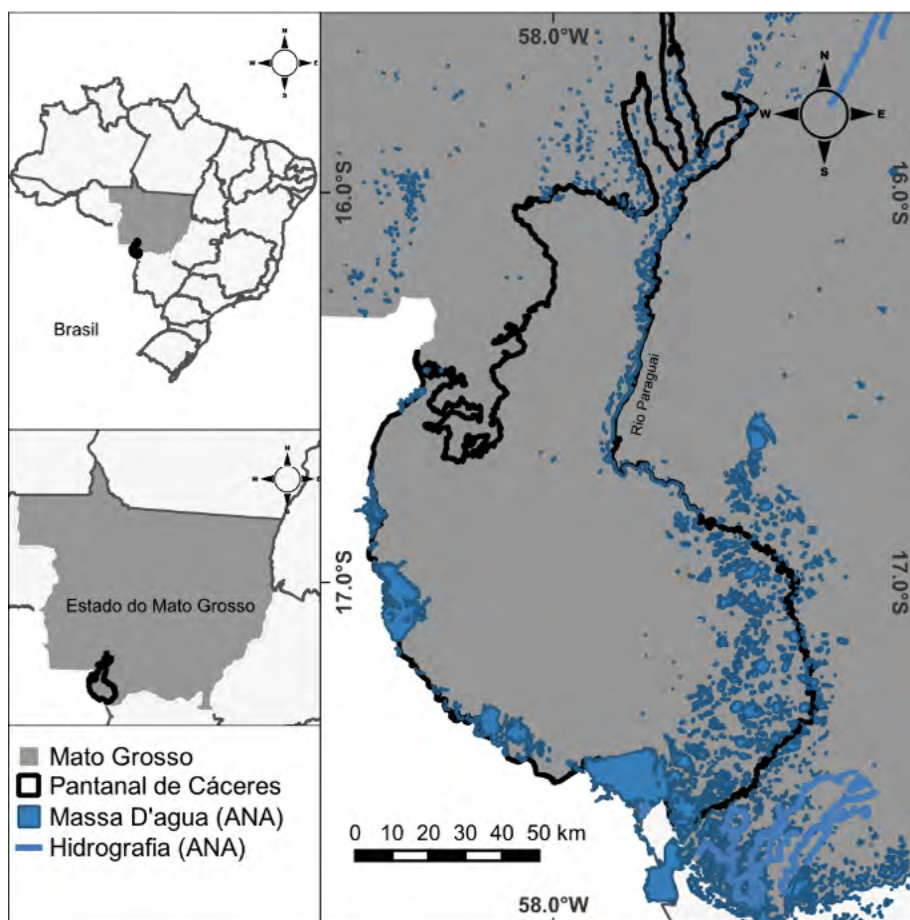
## 2. Objetivo

Analisar a influência da dinâmica da cobertura da terra no potencial de geração de cargas difusas por meio das geotecnologias no pantanal de Cáceres nos anos de 2004 e 2022.

## 3. Material e Métodos

### 3.1 Area de estudo

O Pantanal está localizado no centro-sul da América do Sul, com a maior parte de sua área em território brasileiro. O Pantanal de Cáceres representa aproximadamente 9,01% dessa região e é uma das sub-regiões do Pantanal no Mato Grosso Silva e Abdon, (1998). Está situado na bacia do Alto Paraguai (BAP), na região centro-oeste do país (**Figura 1**).



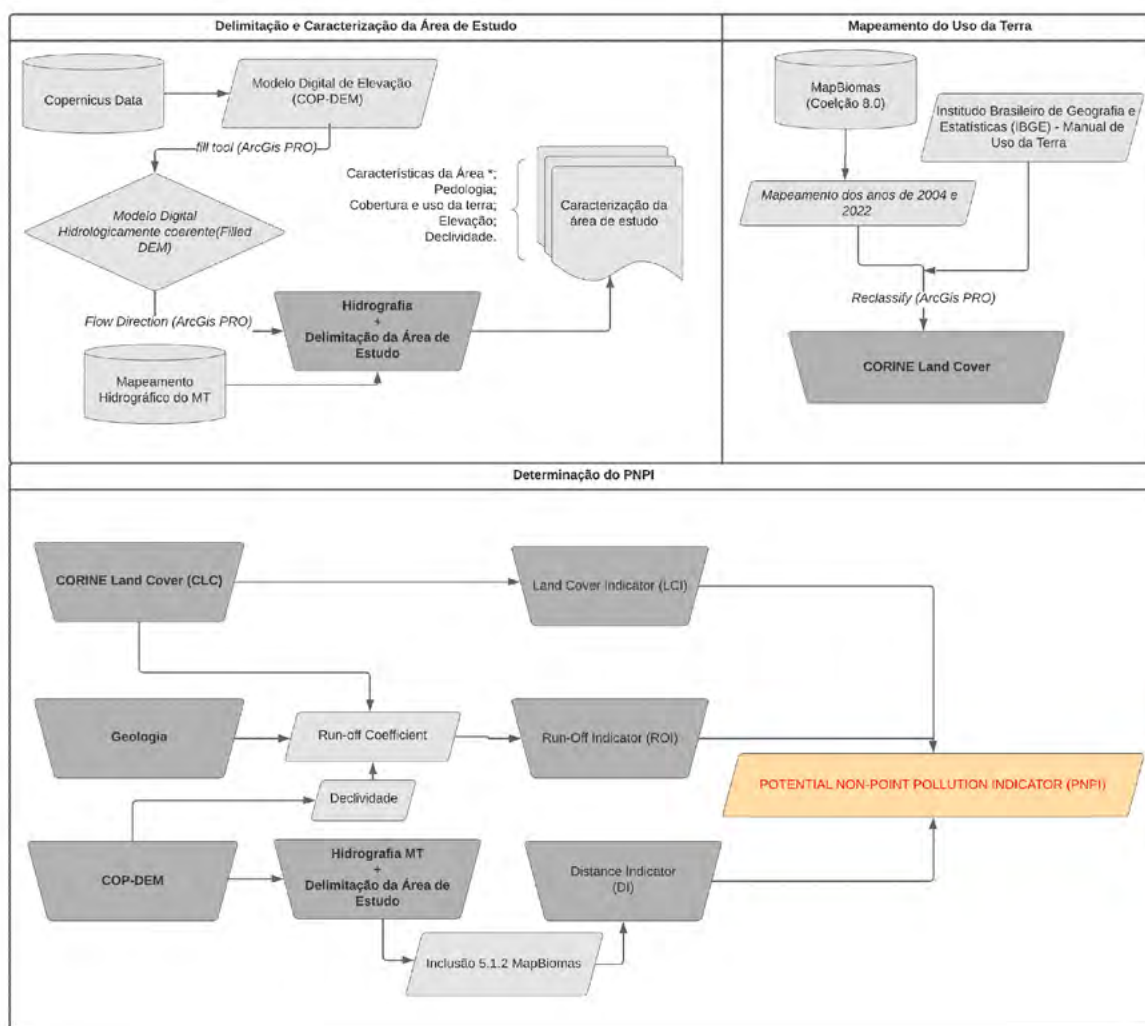
**Figura 1.** Localização do Pantanal de Cáceres, Mato Grosso, Brazil.

O Pantanal de Cáceres inclui Savana Arborizada, Savana Florestada e Savana Gramíneo-Lenhosa IBGE, (2013), abrigando uma variedade de espécies adaptadas à dinâmica da planície de inundação. A temperatura média anual é de 22,6°C Brasil, (2007), com índice pluviométrico anual de 1200 a 1500 mm Neves et al., (2011) e altitude variando entre 90 e 150 metros Ana, (2005); Alho e Silva, (2012).

### 3.2 Procedimentos metodológicos

A Metodologia foi fundamentada em uma adaptação do modelo PNPI desenvolvido por Munafò et al. (2005) (**Figura 2**). As camadas de uso e cobertura da terra para os anos de 2004 e 2022 foram obtidas a partir da base de dados gratuita do MapBiomas. O período de análise foi selecionado com base no início de um plano estratégico adotado em 2004 e atualizado em 2018 para delimitar Áreas prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade MMA, (2018).

Com as camadas *Raster*, foram realizados os processamentos no software ArcGis Pro Esri, (2021) a reclassificação para o sistema de classes do Corine Land Cover (CLC), e adequação à metodologia desenvolvida por Munafò et al. (2005). Para a reclassificação, foi utilizado o Manual de Uso da Terra do IBGE.



**Figura 2.** Fluxograma da metodologia adaptada para determinação do PNPI.  
Fonte: MUNAFÒ et al. (2005) modificado.

Além disso, utilizou-se fontes secundárias, como os tipos de solo, do Mapa de Solos do Brasil elaborado pela Santos (2018). Para a obtenção da hidrografia, utilizou-se os dados disponíveis por órgãos governamentais do estado do Mato Grosso, cartografado como base oficial disponível no link: <https://www.intermat.mt.gov.br/-/11303036-banco-de-dados-cartograficos>.

Para que fosse possível realizar uma correção das massas d'água nesta na camada hidrográfica estadual, utilizou-se para cada ano de estudo a classe determinada como 5.1.2 Corpos d'água pelo mapeamento de uso da terra do MapBiomass, que, por meio da ferramenta de união, foram mescladas com a base de dados do estado. Esta metodologia também agrega a dinâmica hídrica entre os anos analisados, uma vez que traz diferentes condições de hidrografia no período.

A determinação do PNPI é expressa por três principais indicadores (**Figura 2**). O LCI (Land Cover Indicator) que apresenta o potencial de geração de poluição não pontual conforme o uso e cobertura da terra de cada pixel. O indicador é baseado no sistema de classificação de uso da terra europeu, denominado Corine Land Cover (CLC), e é o mais importante entre os parâmetros determinantes do PNPI. O DI (Distance Indicator) que indica a distância do pixel que gera um poluente até atingir o recurso hídrico mais próximo. Neste indicador é adotado um coeficiente de atenuação relacionando a rota teórica e a distância percorrida que a poluição, por meio do escoamento, se transportaria até o recurso hídrico mais próximo. Logo, quanto maior a proximidade de um pixel com o corpo hídrico, maior será o valor do indicador, maiores detalhes são encontrados em Cecchi et al. (2007). O ROI (*Run-off Indicator*) que representa a forma como a poluição é transportada, considerando a possibilidade de infiltração, a declividade do terreno, o tipo de uso e a geologia dos pixels.

Para modelar o LCI em "SIG", utilizou-se da ferramenta *Reclassify do ArcGis Pro* para que as classes de uso da terra obtivessem os seus índices relativos, porém, visto a impossibilidade da utilização de casas decimais na ferramenta, foi realizada a operação com o multiplicador 1000 para os pesos. Por fim, visto a necessidade de aplicação do LCI normalizado, na equação do PNPI, ou seja, variando de 0 a 1, os valores de "1000xLCI" foram corrigidos utilizando a calculadora *Raster*, dividindo os valores por 1000 (mil).

Um índice fundamental no indicador é a permeabilidade, que na metodologia pode variar entre Muito Alta (A), Alta (B), Moderada (C) e Baixa (D). Neste estudo, devido a inexistência de um mapa de permeabilidade foi adotada a metodologia praticada por Haupt (2009) e Toniolo (2020) proposta por Cecchi et. al. (2007), que classificou a permeabilidade do solo de acordo com os tipos pedológicos, litológicos e/ou geológicos encontrados nas regiões estudadas. A permeabilidade dos tipos pedológicos foi determinada de acordo com as descrições e termos utilizados no Manual Técnico de Pedologia do IBGE (IBGE, 2007) e por Santos (2018), sendo água (A), Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (C), Gleissolo Háptico Eutrófico (D), Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (A), Neossolo Quarzerenicos Orticos (A), Planossolos Hápticos Eutróficos (D) e Plintossolo Hápticos Distróficos (D).

Os valores de ROI propostos por Cecchi et. al (2007) foram adaptados para as classes reclassificadas no presente estudo. A intersecção entre os tipos de uso da terra e os tipos de solo (permeabilidade) foram realizados pela calculadora *Raster* em "SIG". Para tanto, esta etapa foi segmentada em três fases, a primeira fase compreendeu a reclassificação da camada de uso da terra correlacionada anteriormente, adotando-se valores relativos para que pudessem ser modeladas no "SIG". Foram atribuídos valores para cada Classe de Permeabilidade, A (valor 0), B (1000), C (2000) e D (3000). Finalmente, as camadas foram somadas na calculadora *Raster*, e, com a mesma metodologia aplicada ao LCI, foi reclassificado para os valores de "100xROI".

A última etapa da determinação do ROI, consiste na correção do coeficiente obtido anteriormente com a inclusão da declividade do terreno para cada pixel. Para integrar a correção

da declividade do terreno, foi somado o respectivo coeficiente de correção ao ROI ambos com fator 100.

Após a determinação dos indicadores, estes devem ser normalizados em valores de 0 a 1. Então, o PNPI é calculado por meio da Equação 1 para cada pixel da bacia de estudo, apresentando um resultado de 0 a 10.

$$PNPI = p_{LCI} * LCI + p_{DI} * DI + p_{ROI} * ROI \quad (1)$$

onde:  $p_{LCI}$ ,  $p_{DI}$  e  $p_{ROI}$ , são pesos relativos dos indicadores LCI, DI e ROI.

De acordo com Haupt (2009) e Toniolo (2020) o PNPI pode ser classificado em 5 (cinco) classes (**Tabela 1**).

**Tabela 1.** Classes de potencial geração de cargas não pontuais empregados para o método PNPI.

Classes	PNPI
Classe I – Potencial muito baixo	$\leq 4,5$
Classe II – Potencial baixo	$4,5 < PNPI \leq 5,5$
Classe III – Potencial Moderado	$5,5 < PNPI \leq 6,5$
Classe IV – Potencial alto	$6,5 < PNPI \leq 7,5$
Classe V – Potencial muito alto	$PNPI > 7,5$

Fonte: [Cecchi et al. \(2007\)](#).

#### 4. Resultados e Discussão

Com a obtenção da subdivisão do Pantanal de Cáceres, foi gerada a camada *Raster* direção de fluxo para toda a área drenagem (**Figura 3a**). Com base nos dados apresentados, observou-se que a área de estudo possui uma predominância de fluxo nas direções oeste (22,49%) e sul (22,16%).

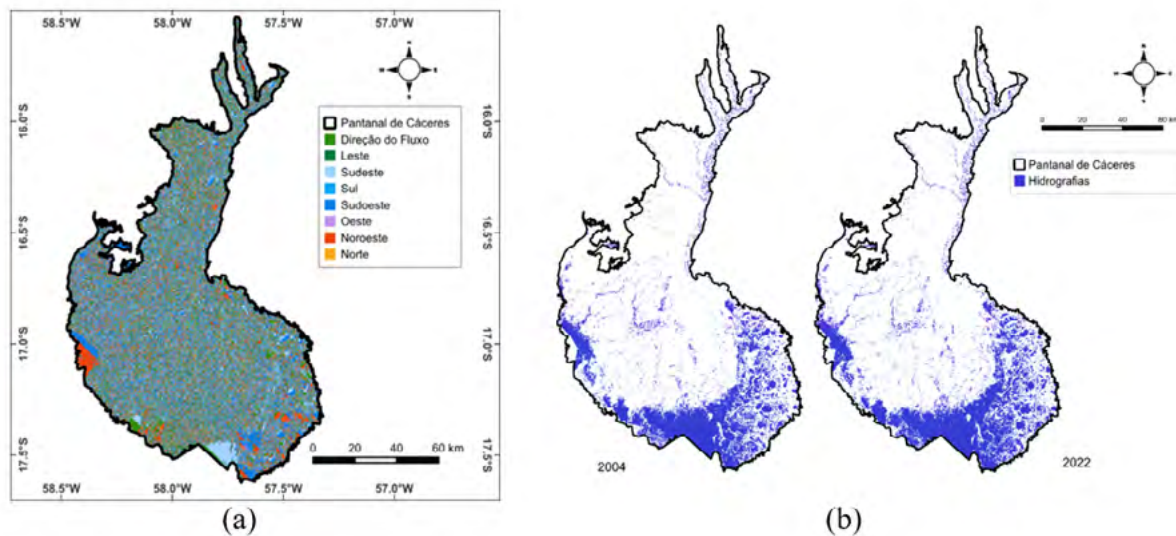
Na **Figura 3b**, são apresentados os resultados das camadas hidrográficas utilizadas na elaboração do modelo. Para cada ano do estudo, foram utilizados os mapeamentos realizados pelo MapBiomas, os quais incluem as massas d'água e hidrografias não registradas pela cartografia do estado.

Nesta análise, observa-se uma diminuição das massas d'água no Pantanal de Cáceres, principalmente no centro-sul da área estudada, onde se localizam as áreas mais úmidas Galvanin et al., (2017).

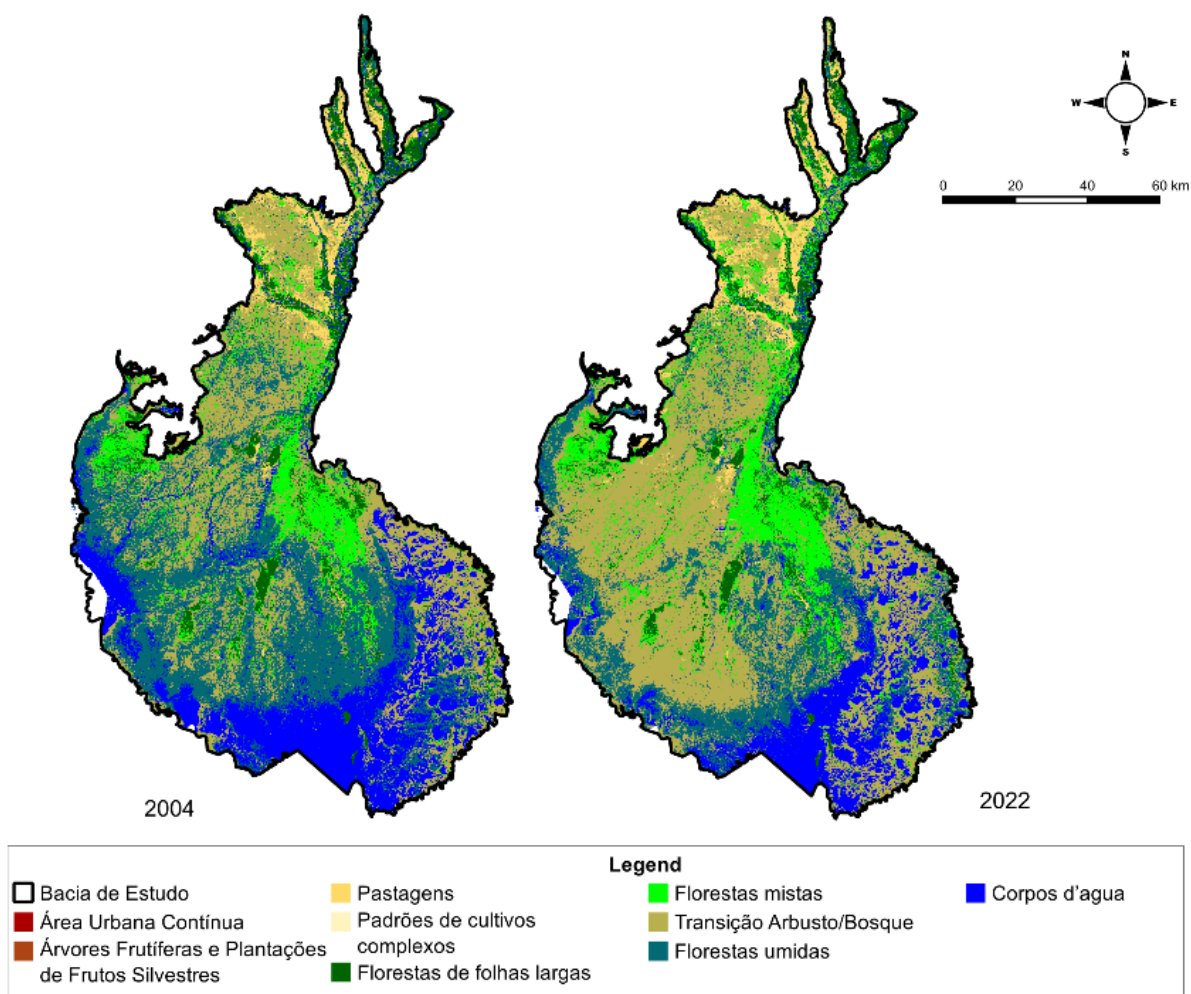
Ao analisar a variação de uso da terra entre os anos (**Figura 4**), verificou-se que a classe Transição Arbusto Bosque apresentou um crescimento de 13,94%, sendo que a que as zonas úmidas e os corpos d'água apresentaram uma diminuição conjunta de -18,76%, demonstrando a grande transição ocorrida entre estas classes, o que acorda com o mapeamento de hidrografia apresentado na **Figura 3b**.

Os resultados da determinação do DI para cada ano, especializados na área de estudo, podem ser verificados na **Figura 5a**. A **Figura 5b** representa o mapa da dinâmica espacial do LCI, mostrando que, em 2022, a região das cabeceiras e norte da área apresenta uma coloração mais amarelada. Isso indica uma maior alteração no uso da terra, de florestas para pastagens, correspondendo a um aumento médio de 2,22% no indicador LCI durante o período.

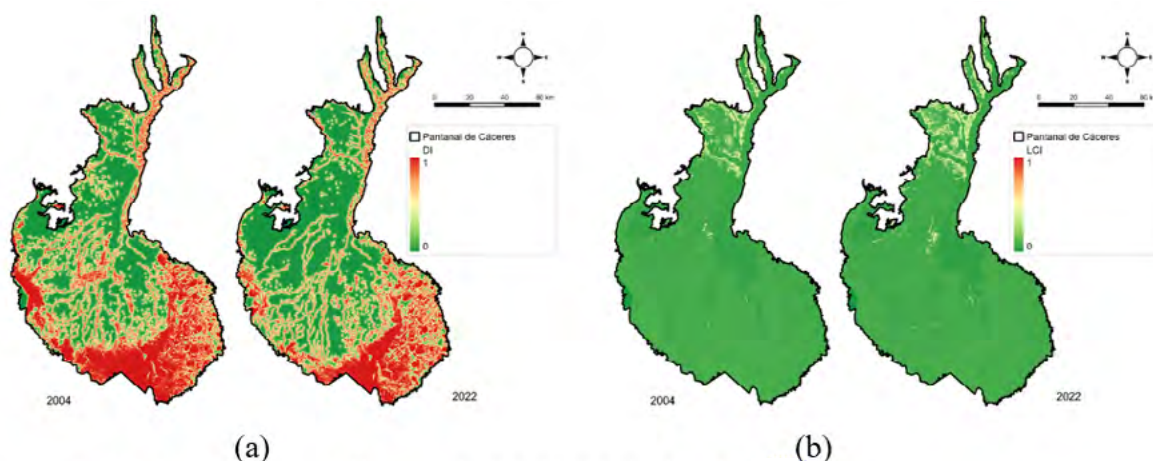




**Figura 3.** a) Mapa com a direção dos fluxos de escoamento na área de estudo; b) Hidrografias geradas para os anos de estudo.



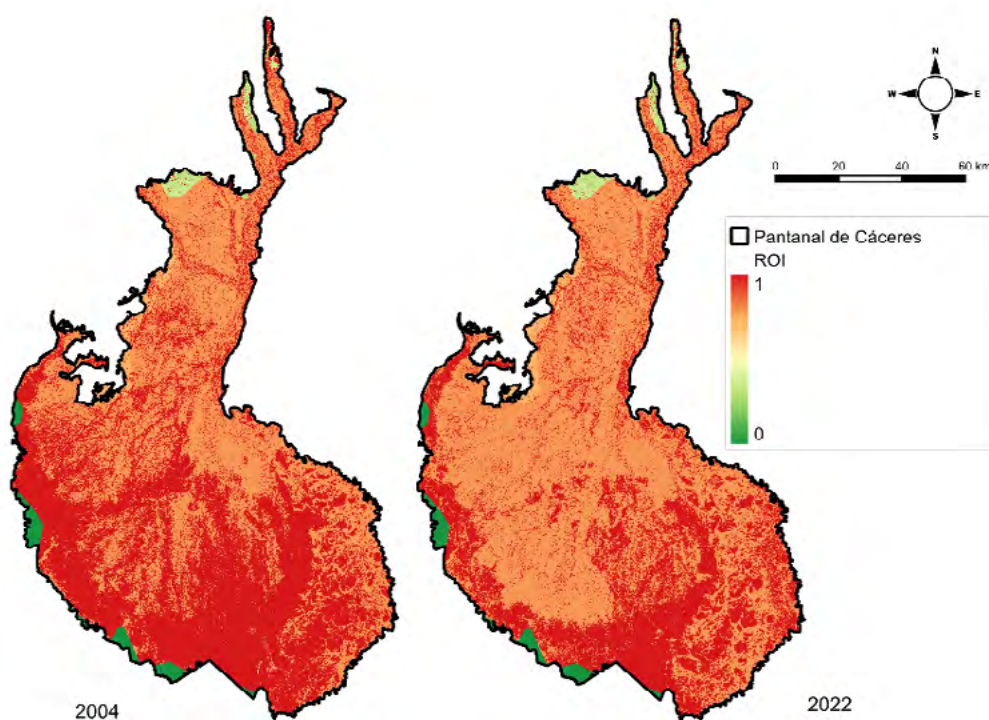
**Figura 4.** Mapa da dinâmica da cobertura da terra do Mapbiomas correlacionado para o sistema europeu Corine Land Cover (CLC) no período.



**Figura 5.** a) Mapa de espacialização do DI; b) Dinâmica do LCI.

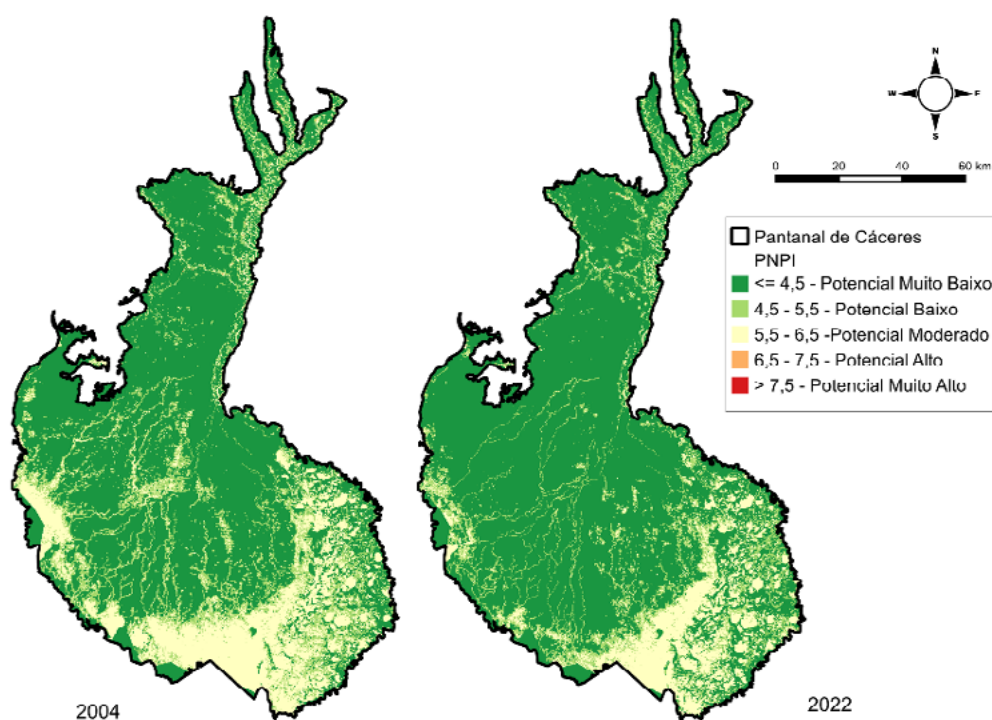
Como resultado, o Indicador DI apresentou uma diminuição de 20,85%, fato relacionado diretamente com a diminuição das áreas úmidas e de corpos d'água no Pantanal, uma vez que a presença destas classes representa um potencial maior para o indicador que está diretamente relacionado com a presença de água.

A **Figura 6** apresenta os resultados obtidos para o indicador ROI. Nota-se que um fator fundamental para este indicador é a geologia local. As regiões centrais e do sul da área de estudo são compostas por Plintossolos Háplicos e Planossolos Háplicos, que formam solos de classe D com baixa permeabilidade. Nas cabeceiras, observam-se valores inferiores do indicador, sobrepostos a latossolos e neossolos que apresentam maior permeabilidade e, conseqüentemente, uma maior retenção das cargas difusas.



**Figura 6.** Distribuição do ROI.

O ROI apresentou uma diminuição média de 4,58% no período, variação ocasionada pela maior alteração antrópica nas cabeceiras, onde os solos são mais permeáveis e têm menor influência no indicador. Além disso, a significativa diminuição dos corpos d'água na região centro-sul, onde essas classes têm maior influência no indicador, também contribuiu para a variação observada. Na **Figura 7** são apresentados os resultados espacializados do PNPI para a bacia de estudo e sua dinâmica no período.



**Figura 7.** Distribuição do PNPI.

Como resultados gerais do PNPI, o ano de 2004 apresentou uma média total de 3,98 (Classe I – Potencial Muito Baixo), enquanto o ano de 2022 apresentou uma média total de 3,67, ainda enquadrada na mesma classe, mas com uma diminuição de 8,52% no período. Esses resultados indicam que, embora a média geral tenha diminuído, houve uma redistribuição do potencial, com um aumento na proporção de áreas classificadas como "Potencial Baixo" e "Potencial Moderado". No entanto, o PNPI não deve ser analisado apenas com valores médios, pois a análise do indicador deve ocorrer de forma distribuída ao longo da área estudada. A **Tabela 2** apresenta os resultados quantificados em pixel durante os anos.

**Tabela 2.** Quantidade de pixel por classes do PNPI.

Classificação	2004		2022	
	Otd. Pixel	%	Otd. Pixel	%
Classe I – Potencial Muito Baixo	9.471.718	72,46%	8.433.155	62,99%
Classe II – Potencial Baixo	1.891.170	14,46%	2.328.773	17,39%
Classe III – Potencial Moderado	1.702.971	13,02%	2.621.663	19,58%
Classe IV – Potencial Alto	4324	0,03%	3958	0,03%
Classe V – Potencial Muito Alto	339	0,00%	245	0,002%

Os resultados espacializados mostram uma diminuição de pixels de Classe I e um aumento das classes II e III. Isso demonstra que, apesar da média geral da área ter sofrido uma diminuição, na análise espacial houve um incremento de pixels nas classes com maior potencial.

## 5. Conclusões

Os resultados apresentados neste artigo demonstram que a região do Pantanal de Cáceres apresentou baixo potencial de contribuição por cargas difusas no período analisado. As principais alterações decorreram das mudanças no uso da terra nas cabeceiras e das alterações na dinâmica hídrica local, com uma notável diminuição dos corpos hídricos no período.

Em uma análise geral, ambos os anos foram classificados como Classe I – Muito Baixo Potencial, com uma diminuição na média geral ao longo do período. No entanto, uma análise espacial revelou que houve um deslocamento para classes de maior potencial, com uma redução na Classe I e um aumento nas classes II e III.

Este estudo destaca a importância de compreender os impactos das alterações ambientais para a conservação da biodiversidade no Pantanal brasileiro, oferecendo insights importantes para a formulação de políticas e estratégias de gestão ambiental na região. Sugere-se a realização de estudos voltados ao aprimoramento dos indicadores e valores do Land Cover Indicator e do Run-off Indicator. Esses indicadores podem ser refinados para cada região hidrográfica, bioma ou país por meio de estudos mais específicos que envolvam uma metodologia de campo e laboratório.

## 6. Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela aprovação do Projeto Regular (Processo 2021/14250-5).

## 7. Referências

Alho, C. J. R.; Silva, J. S. V. Effects of Severe Floods and Droughts on Wildlife of the Pantanal Wetland (Brazil) - A Review. **Animals**. 2(4), 2012.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Strategic Action Program for the Integrated Management of the Pantanal and the Upper Paraguay River Basin**. Brasília, DF: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2005. 315 p.

BRASIL. Ministérios do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) – PCBAP**. Diagnóstico dos meios físicos e bióticos: meio biótico. Brasília, DF: MMA, v. 2, t. 3., 1997. p. 3-68.

Aprígio, P. O.; Brandão, J. L. B. Modelos hidrológicos para simulação da poluição difusa. Em **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2011.

Barros, A. M. D. L. **Modelagem da poluição pontual e difusa: aplicação do modelo Moneris à Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca, Pernambuco**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco (UFP). 2008.

Boggione, G. A. **Restauração de imagens do satélite Landsat-7**. 2003. 160 p. (INPE-10462-TDI/929). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biomás**. Pantanal: Fauna e Flora. 2007.

Cecchi, G.; Munafò, M.; Baiocco, F.; Andreani, P.; Mancini, L. Estimating river pollution from diffuse sources in the Viterbo province using the potential non-point pollution index. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita*, 2007. 43(3), p. 295–301.

Esri. (2021). ArcGIS Pro (Versão 2.8.3) [Software]. Disponível em: <https://www.esri.com/pt-br/arcgis/products/arcgis-pro/overview>

Galvanin, E. A. S.; Cruz, C. B. M.; Vicens, R. S.; Pereira, M. H. X.; Neves, S. M. A. S. Study of the Floodflow Dynamics in the Pantanal of Cáceres/MT. In: 3rd International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management, 2017, Porto. Proceedings of the 3rd International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management, 2017. p. 195-200.

Haupt, J. P. O. Metodologia para avaliação do potencial de produção de poluição difusa: estudo de caso da bacia do rio Jundiá. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo (USP). 2009.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia 2a edição**. Em Manuais Técnicos em Geociências. 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**, 3rd ed. Rio de Janeiro: IBGE. 2013.

Lane, C. R. et al. **Vulnerable waters are essential to watershed resilience Ecosystems** 26 1–28. 2023.

Lima, R. N. S.; Ribeiro, C. B. M.; Barbosa, C. C. F.; Rotunno Filho, O. C. Estudo da poluição pontual e difusa na bacia de contribuição do reservatório da usina hidrelétrica de Funil utilizando modelagem espacialmente distribuída em Sistema de Informação Geográfica. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 21, n. 1, p. 139–150, 2016.

Martins, I. A. **Modelagem em SIG da fragilidade ambiental para o processo de eutrofização antrópica em reservatórios tropicais**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo (USP). 2017.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Portaria no 463, de 18 de dezembro de 2018**. Dispõe sobre o reconhecimento das Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira ou Áreas Prioritárias para a Biodiversidade.

Munafò, M.; Cecchi, G.; Baiocco, F.; Mancini, L. River pollution from non-point sources: A new simplified method of assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 77, n. 2, p. 93–98, 2005.

Nações Unidas No Brasil - ONU BR. **A Agenda 2030**. 2015.

Neves, S. M. A. S.; Nunes, M. C. M.; Neves, R. J. Caracterização das condições climáticas de Cáceres/MT-Brasil, no período de 1871 a 2009: subsídio às atividades agropecuárias e turísticas municipais. **Boletim Goiano de Geografia** (Impresso) v.31, p.55 - 68, 2011.

Santos, H. G. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Em re. e Ampl. (Org.), Embrapa (5 ed.). 2018.

Silva, J. S. V.; Abdon, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, Número Especial, p.1703-1711, 1998.

Toniolo, B. P. **Metodologia de avaliação de degradação ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na Bacia Hidrográfica do Rio Cotia – SP**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista (UNESP). 2020.

Von Sperling, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Em Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos (Vol. 1, Número 2ed). Universidade Federal de Minas Gerais. 1996.

## **Avaliação de geotecnologias de aterros estaqueados em solos moles e úmidos: uma abordagem numérica e analítica**

Juliana Araujo da Cunha <sup>1</sup>  
Juan Félix Rodrigues Rebolledo <sup>2</sup>  
Ennio Marques Palmeira <sup>3</sup>

Universidade de Brasília - UnB  
Laboratório de Engenharia Civil – SG12 -Asa Norte,  
70297-400 - Brasília- DF, Brasil  
{juliana.cunha, jrodriguezr72, palmeira}@unb.br

**Resumo.** No contexto geotécnico, os solos moles e úmidos representam desafios significativos para a fundação de aterros. A urbanização acelerada e a necessidade de expansão da infraestrutura têm levado à procura de soluções de geotecnologias robustas para esses tipos de terrenos. Entre as abordagens disponíveis, destaca-se a aplicação de aterros estaqueados reforçados com geossintéticos. Esta técnica é relevante em empreendimentos que exigem um controle rigoroso dos recalques como no caso de ferrovias e rodovias. Modelos físicos e numéricos possibilitam uma avaliação detalhada das respostas do solo e da transferência de cargas. Neste artigo, apresentam-se os resultados da modelagem numérica, com o Método de Elementos Finitos (MEF). Neste estudo, foram adotados modelos constitutivos avançados para representar adequadamente o comportamento do solo e do geossintético. Essas análises têm como objetivo ampliar o conhecimento acerca da transferência de cargas, contribuindo nos métodos analíticos existentes e, conseqüentemente, contribuir para o desenvolvimento normativo brasileiro desta técnica de engenharia.

**Palavras-chave:** modelo numérico, modelo analítico, solos moles, geossintético, ferrovias, rodovias.

**Abstract.** In the geotechnical context, soft and wet soils present significant challenges for landfill foundations. Accelerated urbanization and the need for infrastructure expansion have led to the search for robust geotechnical solutions for these types of terrain. Among the available approaches, the application of geosynthetic-reinforced pile-supported embankments stands out. This technique is particularly relevant in projects requiring stringent settlement control, such as in the case of railways and highways. Physical and numerical models enable a detailed assessment of soil responses and load transfer. This article presents the results of numerical modeling using the Finite Element Method (FEM). In this study, advanced constitutive models were adopted to adequately represent the behavior of both the soil and the geosynthetic. These analyses aim to expand knowledge about load transfer, contributing to existing analytical methods and, consequently, to the development of Brazilian regulatory standards for this engineering technique.

**Key-words:** Numerical model, analytical model, soft soils, geosynthetic, railways, highways.

## Introdução

O uso de geotecnologias no setor de engenharia civil e geotécnica tem crescido exponencialmente nas últimas décadas. Esse crescimento é impulsionado pela rápida urbanização e pela necessidade contínua de expansão da infraestrutura, exigindo estudos detalhados das características geotécnicas do solo para assegurar a viabilidade e segurança de grandes projetos. Um dos principais desafios enfrentados é a construção de aterros sobre solos moles e úmidos, que se caracterizam por sua baixa capacidade de suporte, alta compressibilidade e grande suscetibilidade a deformações ao longo do tempo. Para reduzir os riscos associados a essas condições geotécnicas, o uso de aterros com estacas tem se mostrado uma solução eficaz e segura.

Os solos moles, que são predominantemente argilosos, estão distribuídos por várias regiões do Brasil, especialmente nas áreas costeiras. Locais como a Baixada Fluminense, a Baixada Santista, e cidades como Recife, Porto Alegre e Florianópolis, são exemplos onde esses tipos de solo são comumente encontrados, conforme destacado por Almeida e Marques (2013). Além disso, áreas úmidas e trechos de solos moles também são observados em extensas áreas do Pantanal brasileiro. Na Baixada Cuiabana, que se situa em uma depressão no início da Bacia Sedimentar do Pantanal, é frequente encontrar solos com características argilo-siltosas, como descrito por Ribeiro Júnior (2005).

A construção de infraestrutura em áreas de solos moles e úmidos, como em projetos ferroviários e rodoviários, tem se beneficiado significativamente da aplicação de aterros estaqueados. Um exemplo notável é a Ferrovia de Integração Oeste-Leste (FIOL), que conectará Corumbá (MS) a Rondonópolis (MT), bem como a BR-262, que passa pelo Pantanal perto de Corumbá, Miranda e Aquidauana. Em ambos os projetos, identificou-se a presença de solos com baixa capacidade de carga, o que levou à escolha da técnica de aterros estaqueados em trechos específicos. Esse método construtivo é crucial para nivelar o terreno e formar uma base estável, minimizando o deslocamento e assegurando a segurança e eficácia das obras ferroviárias e rodoviárias.

Almeida e Marques (2011) descrevem diversas técnicas de melhoramento para solos moles e úmidos, que incluem a remoção do solo mole, aplicação de sobrecarga no aterro, construção em estágios, utilização de drenos verticais, emprego de aterros estaqueados com geossintéticos, instalação de colunas granulares, uso de materiais leves em aterros, bermas de equilíbrio e aterro reforçado. Entre essas técnicas, os aterros estaqueados com geossintéticos se destacam por serem adequados a projetos com prazos reduzidos, além de oferecerem várias configurações e materiais. Essa abordagem também apresenta um custo relativamente baixo em comparação com outras alternativas, tornando-a uma solução eficiente e econômica para o melhoramento de solos desafiadores

No contexto de um aterro estaqueado, ocorre um fenômeno de redistribuição de tensões conhecido como efeito de arqueamento. Esse fenômeno leva a uma concentração maior de tensão nas áreas de maior rigidez, incluindo os capitéis e as estacas, enquanto as áreas onde as estacas estão mais espaçadas apresentam menor rigidez.

Adicionalmente, quando camadas de solo são reforçadas com geossintéticos, observa-se um comportamento distinto. O reforço, ao receber cargas, gera forças de tração que redistribuem essas cargas para as cabeças das estacas. Esse fenômeno, conhecido como efeito membrana, resulta na diminuição das tensões no solo mole, oferecendo uma melhoria significativa na estabilidade e eficácia do sistema de reforço.

A interação entre solo e estrutura, assim como os mecanismos de transferência de carga em sistemas que incluem inclusões rígidas, introduzem complexidades que ainda não são completamente entendidas. Para que o efeito de arqueamento se manifeste de forma efetiva em um aterro estaqueado, é necessário que exista uma altura crítica. Esta altura é definida como o ponto a partir do qual a camada de distribuição de carga facilita a ocorrência do efeito de arqueamento. Portanto, é crucial compreender o comportamento do material usado nesta camada de distribuição. Materiais granulares são frequentemente escolhidos para essa finalidade, pois apresentam propriedades consistentes, mesmo em condições de saturação, o que os torna adequados para garantir a estabilidade e a eficácia do sistema de distribuição de carga.

O uso de ferramentas numéricas tem se tornado cada vez mais relevante para o dimensionamento estrutural, pois permitem analisar detalhadamente a interação entre solo, aterro e reforço. Essas ferramentas são especialmente úteis para quantificar características dos geossintéticos, como resistência à tração, rigidez e fluência. Também são indispensáveis para prever movimentações, recalques, deformações e tensões que o aterro e a fundação poderão sofrer.

Dada a urbanização acelerada e a crescente necessidade de expansão da infraestrutura, torna-se essencial dispor de soluções robustas para terrenos desafiadores. Este estudo visa aprimorar o entendimento dos mecanismos de transferência de carga através da modelagem numérica, com o objetivo de calibrar e validar modelos em alinhamento com dados experimentais. Assim, busca-se contribuir para a otimização de projetos e para uma implementação mais eficiente de aterros estaqueados em solos moles, auxiliando no desenvolvimento normativo brasileiro.

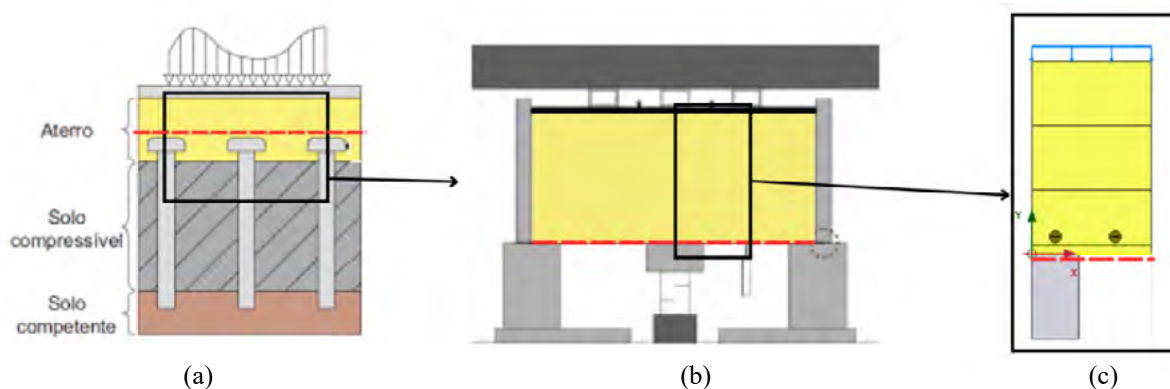
## 2. Objetivo

O objetivo principal deste estudo é ampliar o conhecimento sobre o mecanismo de transferência de carga em aterros estaqueados reforçados com geossintéticos, especialmente em solos moles e úmidos. Utilizando a modelagem numérica por meio do Método de Elementos Finitos (MEF), o estudo visa calibrar e validar um modelo com base em dados experimentais. Isso permitirá uma análise minuciosa dos materiais e da geometria do projeto, incluindo as dimensões das estacas e a espessura do aterro. Com isso, busca-se melhorar a otimização de projetos e a implementação mais eficiente de aterros estaqueados em solos moles.

## 3. Dados Experimentais

A metodologia deste trabalho consiste em simular numericamente o comportamento de um aterro estaqueado reforçado com geossintético. A **Figura 1** ilustra de forma exemplificada a elaboração do modelo experimental e do modelo numérico, destacando a parcela que se deseja representar no dimensionamento da estrutura em escala real.





**Figura 1.** Aterro Estaqueado Reforçado com Geossintético: (a) Aterro de Rodovia, (b) Modelo Físico (Melchior Filho, 2022) e (c) Modelo Numérico Axissimétrico.

### 3.1 Modelo Físico

Para a coleta dos parâmetros e calibração do modelo numérico, este estudo se baseou nos ensaios laboratoriais em grande escala desenvolvidos por Melchior Filho (2022). Ele elaborou um modelo físico de um equipamento, conforme ilustrado na **Figura 1(a)**, que representa na proporção de 1:5 a escala real de um aterro rodoviário.

A utilização de modelos físicos proporciona um ambiente controlado para a obtenção de parâmetros que, em campo, são de difícil obtenção para calibração e ajustes do modelo numérico. De acordo com a ISSMGE (Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica), os modelos físicos permitem uma representação simplificada de um problema de fronteira finita, para o qual a similaridade é buscada no contexto de leis de escala.

Os ensaios realizados por Melchior Filho (2022) incluíram testes de propriedades do solo como ensaios de caracterização do material do aterro e ensaios de cisalhamento direto de médio porte. Também a realização de testes de propriedades do geossintético como ensaios de resistência à tração em faixa larga e de gramatura dos materiais geossintéticos. Além disso, ensaios do comportamento da estrutura como análise das distribuições de tensões, por meio de células de carga e tensões totais, deslocamentos e deformações dos geossintéticos por meio da instrumentação de LVDT's no modelo físico.

Esses testes forneceram dados essenciais para a calibração do modelo numérico, permitindo uma representação precisa do comportamento do aterro reforçado.

### 3.2 Modelo Numérico e Constitutivo

Com base nos dados experimentais, foi elaborado um modelo numérico 2D simétrico em relação ao eixo (axissimétrico), seguindo as dimensões geométricas do modelo físico. Este modelo apresenta condições de contorno fixas na horizontal e livres na vertical para simular os recalques, conforme ilustrado na **Figura 1(c)**. A simulação representa o comportamento da estaca central do aterro reforçado, assim como a área de influência do geossintético em torno do capitel, utilizando um software de Método de Elementos Finitos (MEF).

Para uma análise numérica robusta, a seleção de um modelo constitutivo é crucial para representar com precisão o comportamento do material em estudo. Neste contexto, optou-se pelo modelo constitutivo Hardening Soil (HS) devido à sua capacidade de simular com fidelidade tanto os solos coesivos quanto os granulares.

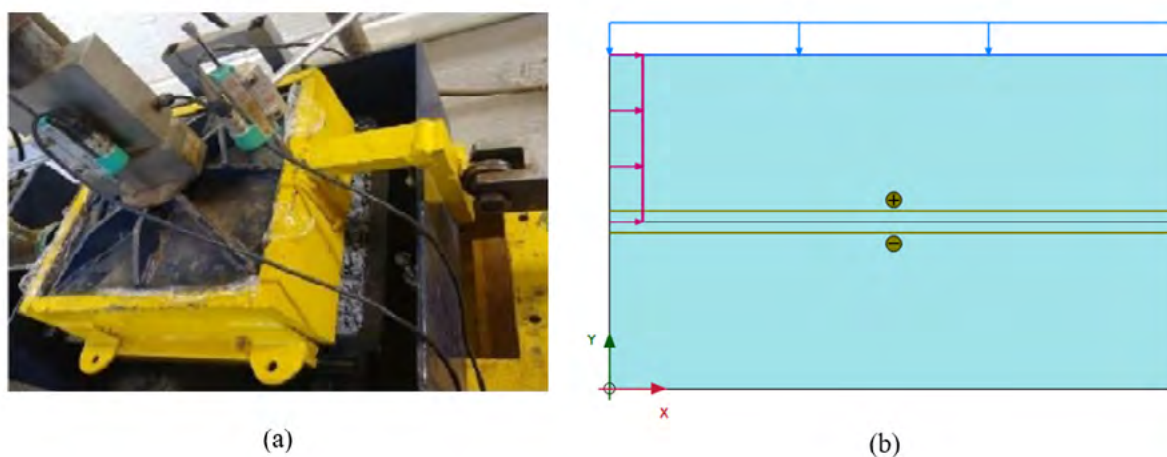
O modelo HS reformula o modelo constitutivo hiperbólico com fundamentação na teoria da plasticidade e apresenta o desenvolvimento de dilatância. Este modelo inclui endurecimento isotrópico, reproduzindo com maior precisão o comportamento elasto-plástico do solo. O critério de ruptura utilizado é o de Mohr-Coulomb.

Quando o solo é submetido a uma tensão desviadora primária, observa-se uma redução no seu módulo de rigidez e o desenvolvimento de uma deformação plástica irreversível, caracterizando o endurecimento por cisalhamento. Por outro lado, quando o solo é sujeito a uma carga odométrica ou isotrópica, ele desenvolve deformações plásticas irreversíveis, caracterizando o endurecimento por compressão.

Com o modelo 2D calibrado, foram conduzidas simulações numéricas detalhadas. Os resultados obtidos foram comparados com modelos analíticos e físicos, permitindo avaliar a acurácia dos diferentes métodos normativos de dimensionamento com os resultados obtidos por meio do modelo numérico.

#### 4. Resultados e Discussão

Os dados do modelo constitutivo referentes às características do aterro reforçado foram calibrados por meio da modelagem numérica desenvolvida neste estudo, alinhada aos resultados experimentais do modelo físico reduzido, conforme elaborado por Melchior Filho (2022) no Laboratório de Geotecnia do PPGG/UnB. A **Figura 2** apresenta uma imagem do ensaio realizado no laboratório (a) e do modelo numérico (b). A **Figura 3** mostra os dados referentes ao ajuste do modelo e os dados obtidos no ensaio de cisalhamento em laboratório.

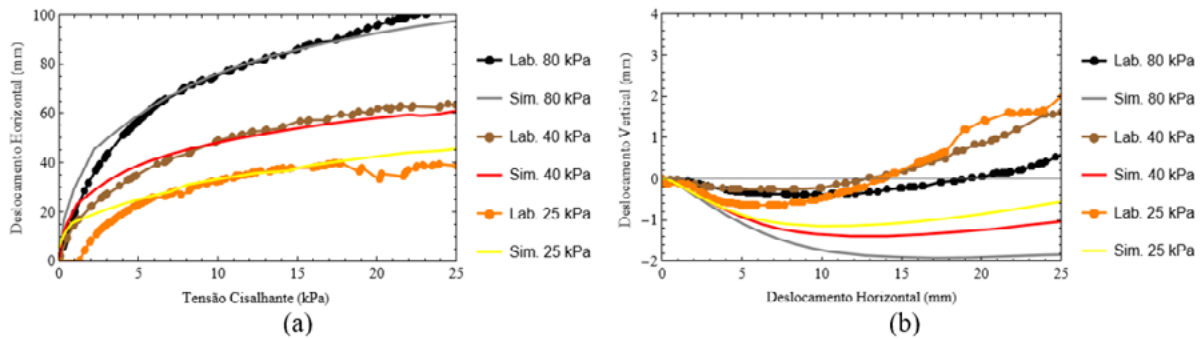


**Figura 2.** Ensaio de Cisalhamento: (a) no laboratório, (b) simulação numérica.

A utilização da simulação numérica, por meio de um modelo simplificado do ensaio de cisalhamento executado em laboratório, permitiu a obtenção de parâmetros que seriam inviáveis de serem mensurados diretamente devido à complexidade do processo. Após o processo de calibração do modelo, foram conduzidas simulações numéricas detalhadas.

As simulações numéricas analisaram fenômenos como o efeito do arqueamento de tensões e o efeito membrana proporcionado pela presença de geotecnologias, como as geogrelhas, que auxiliam no redirecionamento de tensões para as estacas.

As **Figuras 4 e 5** apresentam os resultados simulados numericamente, em laboratório, e os métodos analíticos presentes nas principais normativas europeias. As três principais normativas



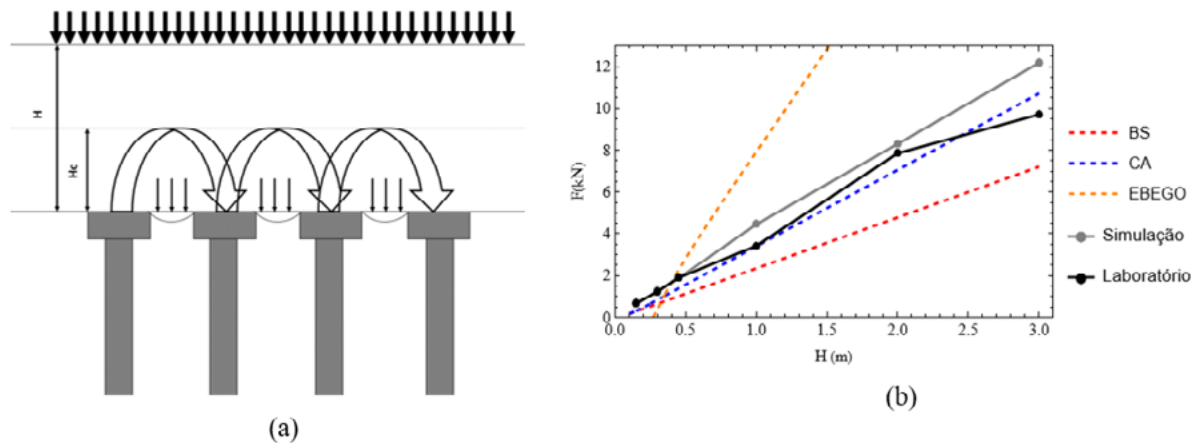
**Figura 3.** Ensaio de Cisalhamento em laboratório e modelagem numérica:(a) Tensão Cisalhante por Deslocamento Horizontal e (b) Variação Volumétrica.

e recomendações utilizadas na engenharia são:

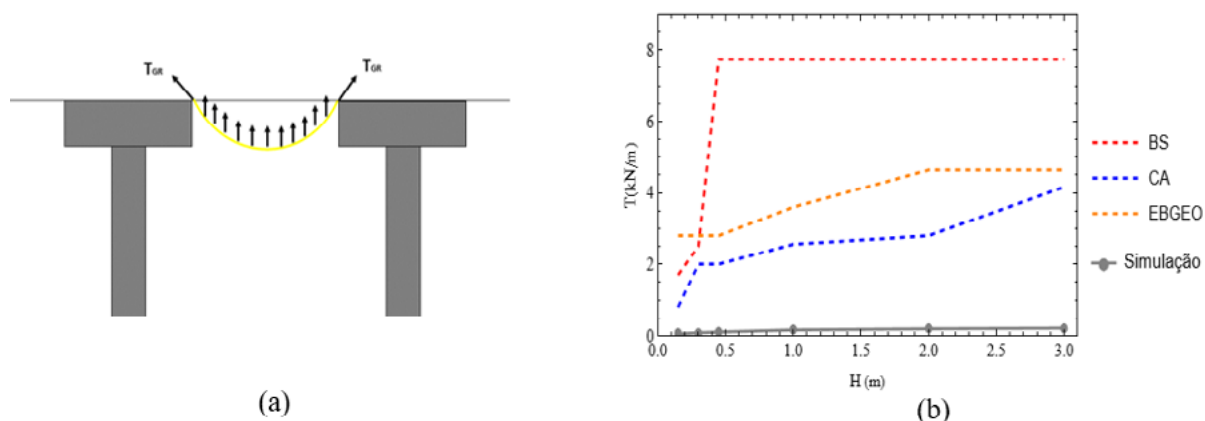
- Normativa britânica BS8006 (2010): Primeira a ser desenvolvida para o dimensionamento de aterros estaqueados reforçados com geossintéticos, considerada mais conservadora.
- Recomendação alemã EBGEO (2011): Indicada no dimensionamento pelo DNIT 380 (2022), leva em consideração a contribuição da capacidade de carga do solo mole.
- Método normativo holandês CUR 226 (2016): Mais complexo, incorporando mais variáveis e a presença do geossintético no efeito do arqueamento diferente das outras normativas que incluem a presença do geossintético somente no cálculo do efeito membrana. Além de levar em consideração a contribuição da capacidade de carga do solo mole, também tem opções de dimensionamento na presença de carga dinâmicas como tráfego de veículos.

Os resultados indicam que:

- O método britânico (BS) é o mais simples e atende bem.
- O método holandês (CA) apresenta um resultado semelhante, incorporando mais variáveis e a presença do geossintético no efeito.
- O método alemão (EBGEO) apresenta um superdimensionamento da estrutura, conforme constatado também em estudos como os de Van Eekelen et al. (2012) e Fonseca & Palmeira (2019).



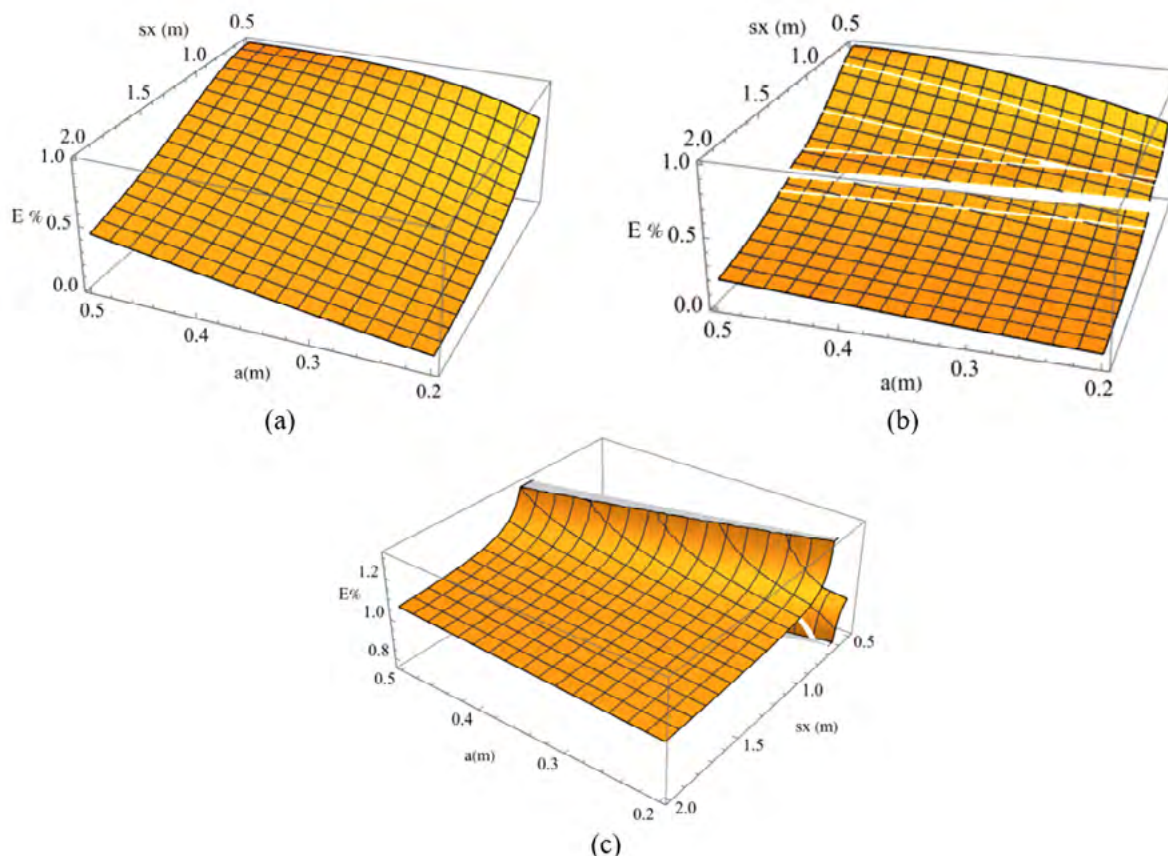
**Figura 4.** (a) Efeito do Arqueamento no Aterro Estaqueado Reforçado (b) Força aplicada no Captel vs Altura do Aterro.



**Figura 5.** (a)Efeito Membrana no Aterro Estaqueado Reforçado (b) Tração no Geossintético vs Sobrecarga.

As análises demonstraram a importância das simulações numéricas e laboratoriais na contribuição para o aprimoramento das normativas geotécnicas, representando de maneira mais realista o que ocorre em campo. Isso contribui para o avanço contínuo e a segurança das práticas geotécnicas no país.

A **Figura 6** apresenta como as variáveis geométricas do aterro, como o espaçamento ( $s_x$ ) e a largura do capitel ( $a$ ), influenciam na eficiência da formação do efeito do arqueamento de acordo com cada normativa. Pode-se constatar que os espaçamentos entre estacas é uma variável com maior sensibilidade, pois uma pequena mudança gera um grande impacto na eficiência. Outro



**Figura 6.** Eficiência vs Fatores Geométricos do Aterro Estaqueado Reforçado (a) Método Britânico -BS (b) Método Holandês -CA (c) Método Alemão – EBGEO.

fator é que as superfícies dos métodos inglês e holandês são semelhantes, enquanto a do método alemão é bem discrepante, justificando o superdimensionamento demonstrado no gráfico da **Figura 4**. Outro ponto é a questão das descontinuidades encontradas nos métodos holandês e alemão, devido à transição entre o efeito do arqueamento incompleto, quando ainda não atinge a altura crítica para a formação do arqueamento completo, quando o aterro atingiu altura crítica.

## 5. Conclusões

O método dos elementos finitos (MEF) é uma ferramenta essencial para análises geotécnicas, proporcionando um ambiente adequado para estudos detalhados sobre o comportamento de estruturas em diversos tipos de solos. Sua capacidade de integrar modelos constitutivos avançados e simular complexas interações solo-estrutura, solo-aterro e solo-geossintético o torna uma escolha apropriada para investigações nessa área.

A seleção cuidadosa de um modelo constitutivo que represente adequadamente o comportamento do material é fundamental para assegurar a qualidade dos resultados numéricos. A complexidade desses modelos, especialmente os mais avançados, demanda uma atenção especial à validação e calibração dos numerosos parâmetros envolvidos. A precisão e confiabilidade dos resultados dependem diretamente da qualidade desses parâmetros, ressaltando a importância de uma abordagem rigorosa na definição e ajuste destes.

Este estudo calibrou o ensaio numérico do material de aterro reforçado, atendendo satisfatoriamente ao objetivo de obter um modelo constitutivo avançado que permita uma simulação numérica mais representativa de aterros estaqueados reforçados.

As principais constatações foram:

- A utilização de simulação numérica, calibrada com ensaios laboratoriais, permitiu analisar os efeitos do arqueamento de tensões e o efeito membrana em aterros estaqueados reforçados com geossintéticos.
- Comparando os resultados das simulações com as normas britânica (BS8006), holandesa (CUR 226) e alemã (EBGEO):
- A Norma Britânica (BS8006) é a mais simples e conservadora.
- A Norma Holandesa (CUR 226) é mais complexa e incorpora de maneira eficaz a influência do geossintético.
- A Norma Alemã (EBGEO) tende a superdimensionar a estrutura no efeito do arqueamento, mas representa melhor o efeito membrana.

As análises demonstraram a importância das simulações numéricas e laboratoriais na contribuição para o aprimoramento das normativas geotécnicas, representando de maneira mais realista o que ocorre em campo. Isso contribui para o avanço contínuo e a segurança das práticas geotécnicas no país.

## 6. Agradecimentos

A este estudo foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 131292/2023-4) e pelo Programa de Pós-graduação de Geotecnia da Universidade de Brasília (PPGG-UnB).

## 7. Referências

BS 8006-1, 2010. Code of Practice for Strengthened/reinforced Soils and Other Fills. **British Standards Institution** BSI, London, UK. ISBN 978-0-580-53842-1.

CUR 226, 2016. Design guideline basal reinforced piled embankments. In: **Design Guideline Basal Reinforced Piled Embankments**. CRC press.

- Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. Dnit 380/2022- Pro Utilização de geossintéticos em aterros sobre solos moles para obras viárias- Procedimento. Brasília, jun.2022.
- EBGEO (2011). Recommendations for design and analysis of earth structures using geosynthetic reinforcements – **EBGEO**. Germany. ISBN 978-3-433-60093-1.
- Ferreira, R. S. M. (2007) Collapsible and swelling soils: An overview of Brazil. In: **Proceedings of Brazilian symposium on unsaturated soils**, Vol 6, N°2007, p. 593-618.
- Fonseca, E. C., & Palmeira, E. M. (2019). Evaluation of the accuracy of design methods for geosynthetic-reinforced piled embankments. **Canadian Geotechnical Journal**, 56(6), 761-773.
- Hewlett, W.J. & Randolph, M.F. (1988). Analysis of piled embankments. *Ground Engineering*, April 1988, Volume 22, Number 3, pp. 12–18.
- Márcio de Souza, S. A., & Marques, M. E. S. (2013). **Design and performance of embankments on very soft soils**. CRC Press/ Taylor & Francis, London, UK.
- Marston, A. (1930). The Theory of External Loads on Closed Conduits in the Light of the Latest Experiments. Bull. 96, Iowa Engineering Experiment Station, Ames, Iowa.
- Melchior Filho, J. (2022). **Estudo da interação solo–reforço geossintético em aterros estacados por meio de ensaios de grandes dimensões**. Dissertação de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília (PPGG/UnB), 121 p
- Palmeira, E. M. (2018). **Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente**. Oficina de Textos.
- Ribeiro Júnior, I. Conciani, W. (2005). Controle da expansão do solo saprolítico de filito com cal hidratada cálcica para construções populares. I seminário Mato-grossense de habitação de interesse social. Cuiabá, MT.
- Van Eekelen, S.J.M.; Bezuijen, A. & van Tol, A.F. (2011). Analysis and modification of the British Standard BS8006 for the design of piled embankments. **Geotextiles and Geomembranes** 29:345–359. DOI: dx.doi.org/10.1016/j.geotexmen.2011.02.001.
- Van Eekelen, S. J. M., Bezuijen, A., Lodder, H. J., and Van Tol, A. F. (2012a). “**Model experiments on piled embankments. Part I.**” *Geotextiles and Geomembranes*.
- Van Eekelen, S. J. M., Bezuijen, A., Lodder, H. J., and Van Tol, A. F. (2012b). “**Model experiments on piled embankments. Part II.**” *Geotextiles and Geomembranes*.
- Van Eekelen, S.J.M.; Bezuijen, A. & van Tol, A.F. (2013). An analytical model for arching in piled embankments. **Geotextiles and Geomembranes**. 39, pp. 78–102.
- Van Eekelen, S.J.M.; Bezuijen, A. & van Tol, A.F. (2015). Validation of analytical models for the design of basal reinforced piled embankments. *Geotextiles and Geomembranes*. 43:1, pp. 56 – 81.
- Zaeske, D. (2001). Zur Wirkungsweise von unbewehrten und bewehrten mineralischen Tragschichten über pfahlartigen Gründungselementen. **Schriftenreihe Geotechnik**, Universität Kassel, Heft 10 (em Alemão).

## **Modelo de Distribuição de Espécies Arbóreas no Pantanal Brasileiro**

Carlos Henrique de Moura Silva

Serpro - Serviço Federal de Processamento de Dados  
Av. Olívia Guedes Penteadó, 941-  
04766-900 – São Paulo - SP, Brasil  
carlos-henrique.silva@serpro.gov.br

**Resumo.** Este artigo apresenta um modelo de adequação de habitat para espécies de árvores no Pantanal, utilizando técnicas de aprendizado de máquina e dados de satélite. Com o uso de variáveis preditoras, como tipo de cobertura vegetal, densidade de dióxido de enxofre, pH do solo, cobertura arbórea, variáveis bioclimáticas e topografia, o estudo identifica áreas propícias para a ocorrência de 10 espécies de interesse. O modelo de probabilidade de presença ajuda a entender a distribuição espacial dessas espécies e fornece insights importantes para a conservação e manejo sustentável na região do Pantanal.

**Palavras-chave:** modelagem de habitat, aprendizado de máquina, Pantanal, conservação de espécies, dados de satélite, ecologia.

**Abstract.** This paper presents a habitat suitability model for tree species in the Pantanal, using machine learning techniques and satellite data. By employing predictive variables such as vegetation cover type, sulfur dioxide density, soil pH, tree cover, bioclimatic variables, and topography, the study identifies suitable areas for the occurrence of 10 species of interest. The probability of occurrence model aids in understanding the spatial distribution of these species and provides important insights for conservation and sustainable management in the Pantanal region.

**Key-words:** habitat modeling, machine learning, Pantanal, species conservation, satellite data, ecology.

## 1. Introdução

A região do Pantanal, caracterizada por sua elevada biodiversidade, é frequentemente acometida por incêndios que causam significativas perdas de vegetação nativa. A restauração dessas áreas é fundamental para a recuperação ecológica e a sustentabilidade econômica da região. Modelos de distribuição de espécies arbóreas emergem como ferramentas estratégicas para a seleção de espécies vegetais adequadas ao replantio, priorizando aquelas com potencial econômico Revista Pesquisa FAPESP, (2021).

Ao identificar as espécies mais apropriadas para diferentes condições ambientais, tais modelos otimizam o sucesso da restauração e promovem benefícios econômicos para as comunidades locais. A escolha de espécies com alto valor comercial, como madeiras e com outros usos, possibilita a geração de renda sustentável através da exploração controlada e manejada. Essa abordagem, além de contribuir para a recuperação ecológica, diversifica a composição das áreas restauradas, aumentando a resiliência do ecossistema frente a futuras perturbações Mato Grosso, (2021).

A aplicação de modelos de distribuição de espécies arbóreas que considerem o potencial econômico das espécies no contexto da restauração do Pantanal representa uma estratégia eficaz para equilibrar a conservação ambiental e o desenvolvimento socioeconômico. Ao maximizar as chances de sucesso do replantio e garantir benefícios sustentáveis para a região, essa abordagem contribui para a construção de um futuro mais promissor para o Pantanal e suas comunidades Santos et al., (2019).

## 2. Objetivos

O objetivo deste projeto é desenvolver um modelo de adequação de habitat para espécies Elith & Leathwick, (2009) arbóreas de alto valor econômico no bioma do Pantanal brasileiro, utilizando o banco de dados NeoTropTree (NTT) (NeoTropTree, n.d.) e técnicas de aprendizado de máquina. Este modelo visa identificar áreas propícias para a presença dessas espécies, facilitando a recuperação de áreas atingidas por incêndios florestais e promovendo o desenvolvimento socioeconômico sustentável da região.

Em última análise, este projeto visa criar uma base científica sólida para a tomada de decisões informadas sobre a restauração e o uso sustentável das espécies arbóreas no Pantanal, promovendo a conservação da biodiversidade e o desenvolvimento econômico da região MapBiomias, (2022).

## 3. Material e Métodos

O banco de dados NeoTropTree (NTT), compilado ao longo de 25 anos por Ary Oliveira-Filho, destaca-se como um exemplo significativo do poder da agregação de dados e da colaboração para o avanço do conhecimento científico. Inicialmente destinado a apoiar pesquisas sobre padrões florísticos e relações ambientais, o escopo do NTT expandiu-se para incluir uma ampla gama de estudos biogeográficos, filogenéticos, de conservação e ecológicos **Figura 1**. Ao integrar os dados do NTT com informações específicas do Pantanal, identificamos 782 espécies



de árvores neste ecossistema. Essa rica biodiversidade oferece uma oportunidade única para identificar espécies com potencial de mercado, contribuindo para o desenvolvimento econômico sustentável e a conservação.

## Search by taxonomy

Family  Genus

Species

Peltogyne confertiflora (Mart. ex Hayne) Benth.

Peltogyne confertiflora (Mart. ex Hayne) Benth.

### Species characteristics

Family: Leguminosae  
Genus: Peltogyne  
Growth habit: Tree  
Potential height: 20 m

### Phytogeographic domains

Atlantic Forest  
Caatinga  
Cerrado  
Gran Chaco


### Latitudinal bands

Equatorial  
Tropical

### Vegetation types

Coastal sandy mosaic  
Deciduous forest  
Montane woodland  
Rainforest  
Rocky woodland  
Savanna woodland  
Seasonal floodplain forest  
Semi-arid thorny woodland  
Semideciduous forest

**Main source of taxonomic status and geographic distribution:** Lima, H.C. de Peltogyne in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available in: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB22756>>. Access on: 10 Jun. 2014.



A world map showing the distribution of Peltogyne confertiflora. The species is highlighted in red in the Atlantic Forest region of South America, specifically in Brazil. The map labels major continents (North America, Europe, Asia, Africa) and oceans (Atlantic Ocean, North Atlantic Ocean, Indian Ocean).

**Figura 1.** Exemplo de uma espécie no site do NeoTropTree.

Para selecionar as 10 espécies de árvores com maior potencial de mercado, realizamos uma análise abrangente que incluiu a avaliação do valor econômico com base na demanda e nos preços de mercado para madeira, produtos florestais não madeireiros e outros produtos de valor comercial. Além disso, consideramos o impacto ecológico da exploração dessas espécies, assegurando que as práticas de manejo sejam sustentáveis e preservem a biodiversidade e a integridade do ecossistema. A análise também incorporou a importância cultural e tradicional dessas espécies para as comunidades locais, garantindo que o conhecimento e os valores dessas comunidades fossem respeitados e integrados na tomada de decisões (Ferreira, 2013). Por fim, avaliamos as taxas de crescimento, ciclos reprodutivos e adaptabilidade das espécies, fatores essenciais para o sucesso no cultivo e manejo.

A análise resultou na identificação de 10 espécies de árvores com maior potencial de mercado entre as 782 espécies avaliadas **Figura 2**. As espécies selecionadas são:

1. *Cedrela fissilis* (Cedro Rosa): Valorizada por sua madeira de alta qualidade, amplamente utilizada na fabricação de móveis finos, instrumentos musicais e acabamentos internos de alto padrão.
2. *Apuleia leiocarpa* (Garapeira): Madeira densa e resistente, amplamente utilizada na construção civil, fabricação de móveis e pisos.
3. *Amburana cearensis* (Cumarú): Conhecida por sua madeira durável e aromática, usada na fabricação de móveis, pisos e na indústria de perfumes.
4. *Anadenanthera colubrina* (Angico): Madeira resistente e durável, utilizada em construções rurais, cercas e na medicina tradicional.
5. *Handroanthus impetiginosus* (Ipê Roxo): Madeira extremamente densa e durável, usada em construções, mobiliário de luxo e pisos.
6. *Handroanthus serratifolius* (Ipê Amarelo): Semelhante ao Ipê Roxo, a madeira do Ipê Amarelo é altamente valorizada na construção civil e fabricação de mobiliário.
7. *Hymenaea courbaril* (Jatobá): Madeira dura e resistente, utilizada em construções, fabricação de móveis e produtos de madeira. Também é reconhecida por suas propriedades medicinais e produção de resinas.
8. *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira): Madeira altamente resistente, utilizada em construções pesadas, móveis e cercas, além de ter propriedades medicinais.
9. *Schinopsis brasiliensis* (Braúna): Conhecida por sua madeira extremamente dura e resistente, usada em construções, móveis e pisos de alta resistência.
10. *Peltogyne confertiflora* (Pau Roxo): Madeira dura e durável, apreciada pela cor roxa distinta, usada na fabricação de móveis finos, instrumentos musicais e artigos de luxo.

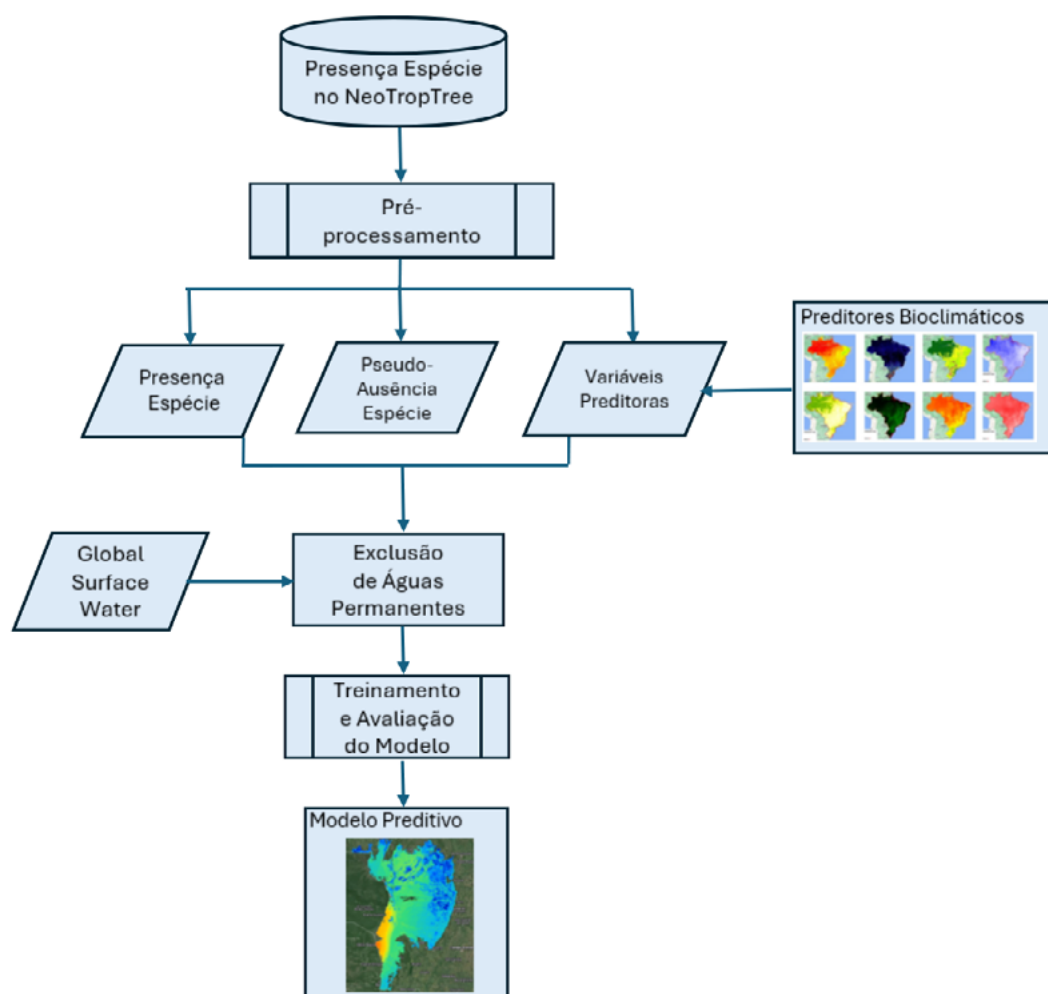
Estas espécies foram selecionadas com base em critérios de valor econômico, incluindo demanda de mercado, preço de mercado e produtos derivados. A resistência e durabilidade das madeiras, junto com suas propriedades únicas, como aroma e cor, tornam essas espécies de grande interesse para a exploração sustentável Vieira et al., (2018).



**Figura 2.** Presença do site NeoTropTree das 10 espécies selecionadas no Pantanal brasileiro.

As espécies mencionadas possuem um valor comercial substancial, com aplicações na indústria madeireira, construção civil e produtos de luxo. Estas espécies desempenham um papel crucial na economia do Pantanal, criando empregos e gerando renda para as comunidades locais. No entanto, a exploração destas espécies deve ser realizada com práticas de manejo sustentável, a fim de evitar a sobre-exploração e garantir a conservação das florestas. Políticas de conservação e certificação de madeira são essenciais para promover o uso sustentável dos recursos florestais.

Este estudo busca desenvolver modelos de adequação de habitat para cada uma das 10 espécies selecionadas na região do Pantanal Brasil, (2012)., utilizando dados de satélite e técnicas de aprendizado de máquina. O objetivo é identificar áreas adequadas para a ocorrência dessas espécies e fornecer informações valiosas para a conservação. O projeto abrange a coleta e análise de dados ambientais e de vegetação, aplicação de algoritmos de clustering e classificação, e a geração de mapas de adequação de habitat. O processo inclui a coleta e preparação de dados, utilizando a coleção de dados de presença das 10 espécies escolhidas, disponível no Google Earth Engine (GEE) **Figura 3**.



**Figura 3.** Fluxo do processo de treinamento a validação do modelo.

A coleção de dados utilizada inclui informações geográficas detalhadas sobre os locais de observação das espécies, fornecendo uma base robusta para o modelo preditivo. Os seguintes conjuntos de dados do catálogo do Google Earth Engine (GEE) (Google Developers, s.d.) foram empregados como preditores ambientais **Figura 4**:

- MODIS/061/MCD12Q1: Fornece dados sobre o tipo de cobertura vegetal (LC\_Type1), essenciais para identificar os diferentes tipos de vegetação na área de estudo. Valor:1 (Exemplo). Descrição: Florestas de folhas perenes: dominadas por árvores coníferas perenes (copa >2m). Cobertura de árvores >60%.
- COPERNICUS/S5P/OFFL/L3\_SO2: Contém informações sobre a coluna de dióxido de enxofre (SO2\_column\_number\_density), que podem impactar a qualidade do habitat. Valores mínimo e máximo: -0.4051 e 0.2079. Unidade: mol/m<sup>2</sup>. Descrição: Densidade da coluna vertical de SO2 ao nível do solo, calculada usando a técnica DOAS.
- OpenLandMap/SOL/SOL\_PH-H2O\_USDA-4C1A2A\_M/v02: Dados sobre o pH do solo (b100), influenciando a capacidade do solo de suportar certas espécies de plantas. Valores mínimo e máximo: 42 e 110. Escala: 10. Descrição: pH do solo em H2O a 100 cm de profundidade.
- MODIS/006/MOD44B: Dados anuais médios de cobertura arbórea (Percent\_Tree\_Cover), indicando a densidade de árvores na região. Valores mínimo e máximo: 0 e 100. Unidade: %. Descrição: Porcentagem de um pixel que é coberto pela copa das árvores.
- WORLDCLIM/V1/BIO: Variáveis bioclimáticas como temperatura e precipitação (bio04, bio05, bio06, bio12), cruciais para entender o clima da área de estudo.

Banda: bio04. Valores mínimo e máximo: 0.62 e 227.21. Escala: 0.01. Unidade: °C. Descrição: Sazonalidade da temperatura (Desvio padrão \* 100).

Banda: bio05. Valores mínimo e máximo: -9.6 e 49. Escala: 0.01. Unidade: °C. Descrição: Temperatura máxima do mês mais quente.

Banda: bio06. Valores mínimo e máximo: -57.3 e 25.8. Escala: 0.01. Unidade: °C. Descrição: Temperatura mínima do mês mais frio.

Banda: bio12. Valores mínimo e máximo: 0 e 11401. Escala: 0.01. Unidade: mm. Descrição: Precipitação anual.

- USGS/SRTMGL1\_003: Fornece dados de elevação, declive e aspecto do terreno, ajudando a entender a topografia da área. Valores mínimo e máximo: -10 e 6500. Tamanho do Pixel: 30 metros. Unidade: m. Descrição: Elevação.

Foi estabelecida uma resolução espacial de 1000 metros para a análise, buscando um equilíbrio entre detalhamento espacial e eficiência computacional. Utilizou-se uma função para eliminar pontos de dados duplicados dos registros de presença, garantindo a unicidade de cada ponto. Pixels oceânicos e outras áreas irrelevantes foram removidos para focar exclusivamente na área de interesse (AOI), correspondente ao habitat potencial das espécies. A AOI foi dividida em uma grade de células de 200 km para facilitar a análise espacial e a subsequente divisão em conjuntos de treinamento e validação. O algoritmo K-Means foi aplicado para identificar clusters nos dados ambientais, agrupando pixels com características semelhantes Kelleher et al., (2015).



**Figura 4.** Preditores ambientais do catalogo do Google Earth Engine (GEE).

A distância euclidiana foi utilizada como métrica de similaridade para agrupar pixels de acordo com suas características ambientais. Isso permitiu a identificação de clusters de pixels que são semelhantes ou distintos dos dados de presença das espécies, auxiliando na definição de áreas de pseudo-ausência. Pontos de pseudo-ausência foram gerados em áreas opostas aos clusters de presença, assegurando um conjunto de dados equilibrado com pontos de presença e ausência. Os dados foram divididos em conjuntos de treinamento (70%) e validação (30%) de maneira aleatória, garantindo a robustez do modelo em termos de treinamento e validação.

Para modelar a adequação de habitat, utilizamos o algoritmo de *Random Forest*. A escolha deste algoritmo se justifica por sua capacidade de lidar com grandes volumes de dados e variáveis, além de sua robustez em tarefas de classificação e regressão Witten et al. (2011). Configuramos o classificador para gerar tanto a probabilidade de presença quanto uma classificação binária (presença/ausência), permitindo uma análise mais abrangente dos resultados.

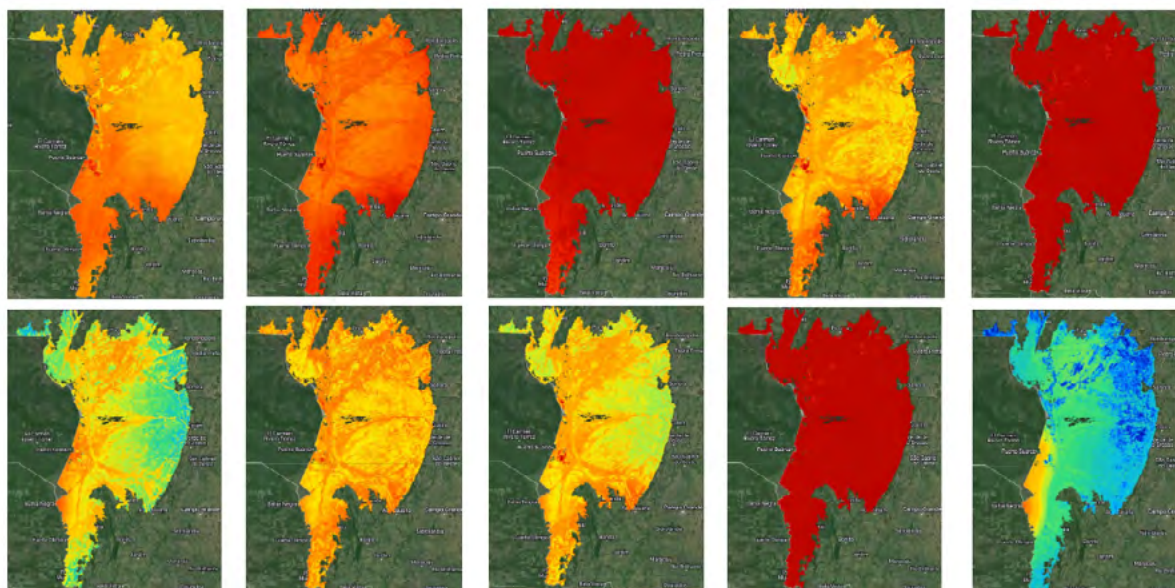
A fim de garantir a robustez dos resultados e minimizar o efeito de amostragens aleatórias, realizamos dez replicações do modelo. A média das probabilidades de presença e o modo das classificações binárias foram calculados para gerar um mapa de adequação final, representando uma síntese das múltiplas execuções. Os mapas de adequação foram exportados para o Google Drive para posterior análise e subsidiar estratégias de conservação.

Para facilitar a visualização e a análise dos resultados, desenvolvemos um *webapp* utilizando o Google Earth Engine (GEE). Essa ferramenta permite ao usuário selecionar cada uma das dez espécies estudadas e obter, a partir de um ponto específico do Pantanal, o percentual de probabilidade de ocorrência da espécie selecionada **Figura 5**.

#### 4. Resultados

Os modelos de distribuição de espécies, empregados neste estudo para as espécies selecionadas na região do Pantanal, consideraram um conjunto de variáveis ambientais predictoras que influenciam significativamente a adequação do habitat.

A cobertura vegetal emergiu como um fator determinante na definição da distribuição espacial das espécies. A relação entre a espécie e o tipo de cobertura vegetal é complexa e



**Figura 5.** Resultado do modelo preditivo para as 10 espécies escolhidas.

específica para cada táxon. Espécies adaptadas a florestas densas, por exemplo, tendem a apresentar maior probabilidade de ocorrência em áreas com essa característica, enquanto espécies pioneiras podem ser mais abundantes em áreas de vegetação secundária Instituto (Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2012).

A qualidade do ar, representada pela concentração de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), também influenciou significativamente a distribuição das espécies. Altos níveis de SO<sub>2</sub> podem causar danos diretos à vegetação e afetar a fauna, reduzindo a disponibilidade de recursos e alterando as interações ecológicas. Consequentemente, espécies sensíveis à poluição atmosférica tendem a evitar áreas com elevada concentração desse poluente.

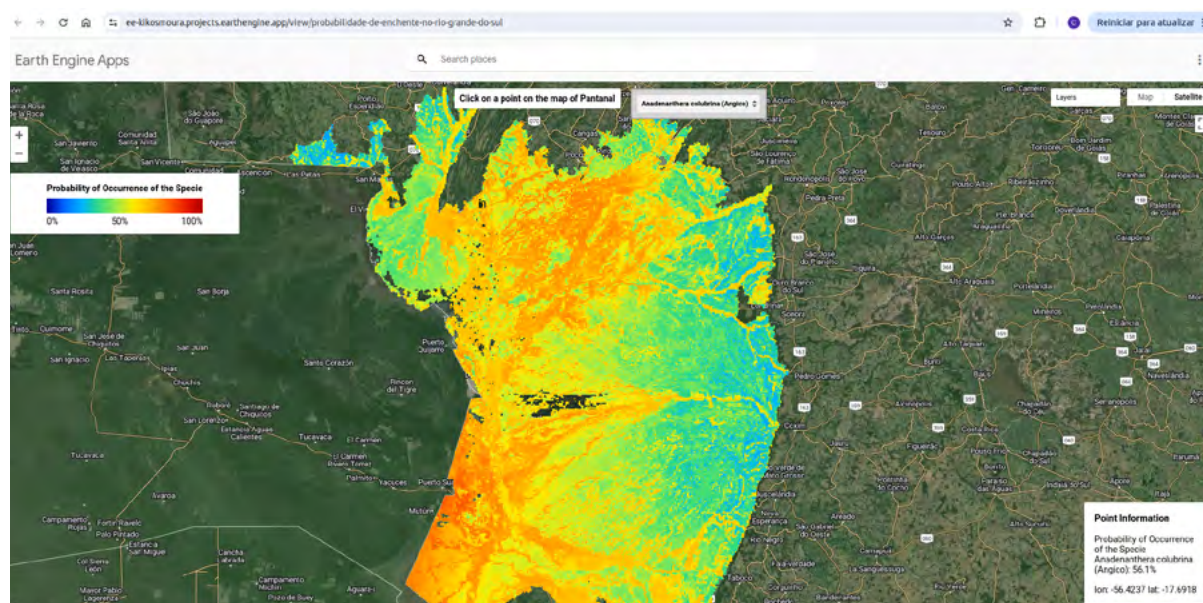
O pH do solo, por sua vez, exerce um controle importante sobre a distribuição da flora e, consequentemente, da fauna. A disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana são fortemente influenciadas pela acidez ou alcalinidade do solo. Espécies com estreitas faixas de tolerância ao pH tendem a apresentar distribuições mais restritas. A densidade de cobertura arbórea, um indicador da estrutura da vegetação, também se mostrou relevante para a modelagem da distribuição das espécies. A disponibilidade de recursos como sombra, umidade e locais para nidificação está diretamente relacionada à densidade da cobertura arbórea. Espécies florestais, por exemplo, tendem a apresentar maior probabilidade de ocorrência em áreas com alta densidade de árvores Rodrigues e Correia, (2022).

As condições climáticas exercem um papel fundamental na distribuição das espécies. Variáveis climáticas como temperatura mínima e máxima, amplitude térmica e precipitação anual influenciam diretamente a fisiologia e o comportamento dos organismos. Espécies adaptadas a climas úmidos, por exemplo, tendem a apresentar maior probabilidade de ocorrência em áreas com elevada precipitação, enquanto espécies adaptadas a climas mais secos são mais frequentes em regiões áridas. Além do clima, as características topográficas também exercem um controle significativo sobre a distribuição das espécies. A elevação, por exemplo, influencia a temperatura, a precipitação e a composição do solo, moldando os gradientes ambientais e, consequentemente, a distribuição das espécies. O declive e o aspecto do terreno afetam a exposição solar, a drenagem e a erosão, influenciando a microclimatologia e a disponibilidade

de recursos Lorenzi, (2020).

Os modelos de distribuição de espécies, ao incorporarem essas variáveis ambientais, permitem gerar mapas de probabilidade de ocorrência que refletem a adequação do habitat para cada espécie. A combinação de variáveis climáticas e topográficas fornece uma visão mais completa da distribuição potencial das espécies, auxiliando na identificação de áreas prioritárias para conservação e manejo.

O *webapp* interativo desenvolvido neste estudo (<https://ee-kikosmoura.projects.earthengine.app/view/pantanalmodelodistribuicaoespecies>) permite a visualização dos resultados dos modelos e a exploração das relações entre as espécies e as variáveis ambientais **Figura 6**. Essa ferramenta representa um importante instrumento para a tomada de decisões em relação à conservação e ao manejo da biodiversidade.



**Figura 6.** *Webapp* com os modelos das espécies selecionados no Google Earth Engine (GEE).

## 5. Conclusões

O presente estudo teve como objetivo modelar a distribuição potencial de dez espécies arbóreas de alto valor econômico no Pantanal, visando subsidiar ações de conservação e manejo sustentável. Os resultados obtidos demonstram a eficácia da abordagem metodológica empregada, que combinou dados de sensoriamento remoto, informações climáticas e topográficas, e técnicas de aprendizado de máquina.

Os modelos gerados permitiram identificar com precisão as áreas de maior adequabilidade de habitat para cada espécie, evidenciando a importância de variáveis como pH do solo, cobertura vegetal, tipo de vegetação, variáveis bioclimáticas e elevação do terreno. A heterogeneidade das respostas das espécies às variáveis ambientais ressalta a necessidade de um manejo adaptativo e específico para cada táxon. A integração dos resultados dos modelos com o conhecimento tradicional das comunidades locais é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo que promovam a conservação da biodiversidade e o bem-estar das populações locais. A exploração sustentável das espécies arbóreas pode gerar benefícios econômicos para as comunidades, desde que sejam adotadas práticas de manejo adequadas e que garantam a

manutenção dos serviços ecossistêmicos.

A plataforma Google Earth Engine, utilizada para o desenvolvimento do *webapp*, proporcionou uma ferramenta poderosa para a visualização e a análise dos resultados dos modelos. A disponibilização dos dados de forma aberta e acessível facilita a tomada de decisões por parte dos gestores ambientais e das comunidades locais. Os resultados deste estudo podem ser expandidos para outras espécies de interesse e para outras regiões do bioma Pantanal, contribuindo para o aprimoramento dos conhecimentos sobre a distribuição e a ecologia das espécies arbóreas. A metodologia empregada neste trabalho pode servir como referência para estudos semelhantes em outros biomas, contribuindo para a conservação da biodiversidade global.

## 6. Referências

- Revista Pesquisa Fapesp. **Recorde de queimadas no Pantanal em 2020**. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/record-de-queimadas-no-pantanal-em-2020> . Acesso em: 15 jul. 2024.
- Mato Grosso (Estado). Decreto nº 785 de 18 janeiro de 2021. Dispõe sobre as atividades de restauração das formações campestres na planície inundável do Bioma Pantanal, no Estado de Mato Grosso, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Mato Grosso, 19 jan. 2021.
- Santos, S. A.; Comastri Filho, J. A.; Abreu, U. G. P. De; Michel, A. L.; Malheiros, S. M. P.; Santos, O. A. R. Dos; Oliveira, J. G. de. **Programa FCO do Pantanal: tecnologias e práticas de manejo recomendadas pela Embrapa Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2019. (Embrapa Pantanal. Documentos, 161).
- Ferreira, A. Pantanal Mato-Grossense: considerações sobre a proteção constitucional para um desenvolvimento econômico sustentável. *Interações*, v. 14, n. 1, jun. 2013. DOI: 10.1590/S1518-70122013000100002.
- Mapbiomas. RAD 2021: Relatório anual do desmatamento no Brasil. Disponível em: [https://s3.amazonaws.com/alerta.mapbiomas.org/rad2021/Rad2021\\_destaque\\_final\\_rev1.pdf](https://s3.amazonaws.com/alerta.mapbiomas.org/rad2021/Rad2021_destaque_final_rev1.pdf). Acesso em: 7 jul. 2024.
- Brasil. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 1, 28 maio 2012.
- Google Developers. (n.d.). Earth Engine Data Catalog. Google. <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog>
- Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, 40, 677-697. doi:10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159
- NEOTROPTREE. NeoTropTree: Tree flora of the Neotropical Region: A database involving biogeography, diversity and conservation.. Disponível em: <http://www.neotropree.info/>. Acesso em: 18/Jul/2024.
- Vieira, R. F., Camillo, J., & Coradin, L. (2018). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro**: Região Centro-Oeste. Embrapa.
- Kelleher, J. D., Mac Namee, B., & D'Arcy, A. (2015). **Fundamentals of machine learning for predictive data analytics**: Algorithms, worked examples, and case studies. MIT Press.
- Witten, I. H., Frank, E., & Hall, M. A. (2011). *Data mining: Practical machine learning tools and techniques* (3rd ed.). Morgan Kaufmann.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2012). *Manual técnico da vegetação brasileira: Sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas* (2ª ed.). IBGE. ISBN 978-85-240-4272-0.
- Rodrigues, N. C., & Correia, D. (Orgs.). (2022). **A química dos solos**: Uma perspectiva de aprendizagem ativa.
- Lorenzi, H. (2020). *Árvores brasileiras: Volume 1* (8ª ed.).



## **Análise espacial do uso da terra e dos focos de calor no município de Miranda-MS**

Emerson Figueiredo Leite  
Elisângela Martins de Carvalho  
Fernando Rodrigo Farias  
Edwina Santos da Costa  
Aline Vargas de Moraes  
Cleudinéia Santos Domingos Ruiz  
Iverson Morais Gomes

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS  
Pós-graduação em Geografia - Campus de Aquidauana – PPGGEO/CPAQ  
R. Oscar Trindade de Barros, 740, Bairro da Serraria,  
79.200-000 - Aquidauana, MS  
{emerson.leite, elisangela.carvalho, fernando.rodrigo, edwina.santos,  
aline.vargas, cleudineia.santos, iverson.morais}@ufms.br

**Resumo.** A análise anual do uso da terra e dos focos de calor é crucial para estratégias de prevenção e controle de incêndios florestais, fornecendo indicadores sobre impactos ambientais. Estudos destacam o fogo como elemento essencial na estruturação de paisagens do cerrado, mas os incêndios frequentes, associado a intensificação do uso da terra, resultam em perdas de biodiversidade. Foram compilados dados Mapbiomas de uso e cobertura da terra e analisados focos de calor BDQueimadas utilizando QGIS e linguagem de programação em R. As transformações na utilização e cobertura do solo, apesar de ocorrerem em menor proporção, ocorrem em toda a área do município de Miranda, com mais evidência na porção noroeste, áreas que estão em mudança nos padrões de uso, de pastagem para implantação de soja e outras culturas, bem como a diminuição de áreas pantanosas. Em relação aos focos de calor, áreas do bioma Pantanal registraram maior número, com flutuações anuais influenciadas por fatores climáticos e humanos. As terras indígenas e áreas da Serra da Bodoquena também apresentaram ocorrências de focos de calor durante o período analisado, assim como as proximidades da Unidade de Conservação do Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro e a porção sudoeste do município de Miranda. A análise de focos de calor revela padrões de incêndios e permite planejamento para redução de riscos. Os softwares de SIG utilizados ofereceram análises visuais eficazes, fundamentais para compreender o comportamento dos focos de calor e do uso da terra em Miranda, MS.

**Palavras-chave:** análise ambiental, incêndios florestais, mudança de uso do solo.

**Abstract.** The annual analysis of land use and fire *hotspots* is crucial for wildfire prevention and control strategies, providing indicators of environmental impacts. Studies highlight fire as an essential element in shaping the landscapes of the cerrado, but frequent fires, coupled with intensified land use, result in biodiversity loss. Mapbiomas data on land use and cover were compiled and *hotspots* from BDQueimadas were analyzed using QGIS and R programming language. Changes in land use and cover, although occurring to a lesser extent, are present throughout the municipality of Miranda, with greater evidence in the northwest portion, where there are shifts in land use patterns from pasture to soybean and other crops, as well as a reduction in wetland areas. Regarding fire *hotspots*, the Pantanal biome recorded the highest numbers, with annual fluctuations influenced by both climatic and human factors. Indigenous lands and areas of the Serra da Bodoquena also experienced fire *hotspots* during the analyzed period, as did the vicinity of the Pantanal do Rio Negro State Park Conservation Unit and the southwestern portion of the municipality of Miranda. The analysis of fire *hotspots* reveals fire patterns and allows for planning to reduce risks. The GIS software used provided effective visual analyses, essential for understanding the behavior of fire *hotspots* and land use in Miranda, MS.

**Key-words:** Environmental analysis, wildfires, land use change.

## 1. Introdução

A análise do uso e cobertura da terra é uma importante ferramenta de apoio ao planejamento, especialmente quando se busca reduzir os desmatamentos e incêndios florestais que possam ocorrer a partir da mudança de matrizes econômicas locais. As geotecnologias têm contribuído significativamente para o entendimento das diferentes classes de uso e cobertura da terra no Brasil. Um exemplo disso são os dados disponibilizados pelo projeto MapBiomas, que permitem identificar as classes de uso, a área ocupada por cada uma e analisar as transições entre essas classes ao longo dos anos em que os dados estão disponíveis.

A inclusão das mudanças no uso e ocupação do solo (LULC) nas estratégias de desenvolvimento e planejamento de recursos naturais é vital para garantir assentamentos humanos sustentáveis. Uma vez que o uso e cobertura da terra influenciam a conservação da água, o controle da erosão e a biodiversidade, as mudanças que ocorrem afetam na perda de biodiversidade, no aumento da erosão do solo e na perturbação dos ciclos hidrológicos, exigindo atenção imediata. Globalmente, 62% das terras passaram de vegetação natural para áreas agrícolas e urbanas. A frequência e intensidade das perturbações impactam a segurança alimentar e os serviços ecossistêmicos na área onde ocorrem Afuye et al., (2024).

Um elemento crucial a ser analisado nas mudanças de uso e cobertura da terra é o uso do fogo. O fogo é o agente que provoca os maiores danos às florestas de todo o mundo Soares et al., (2009). A análise do comportamento anual dos focos de calor é importante, pois contribui para algumas estratégias de prevenção e controle de incêndios florestais, apresentando ainda indicativos sobre potenciais impactos ambientais na área analisada. Nascimento (2001) nos relata que vários estudos apontam para o fogo como elemento fundamental à estruturação de algumas paisagens do cerrado. Seus efeitos podem ser observados, seja pela rápida rebrota após o fogo - atraindo um variado contingente de herbívoros em busca de forragem nova - ou pela germinação de sementes que necessitam deste choque térmico para quebra de sua dormência vegetativa.

Já Nunes et al. (2023) alertam que os biomas brasileiros têm enfrentado forte pressão antrópica, sendo os incêndios uma forma mais comum, resultando em graves perdas de biodiversidade. Correa et al. (2022) alertam que incêndios florestais estão se comportando de maneira diferente agora em comparação com outras épocas da história em relação à frequência, intensidade e áreas afetadas.

A maior parte dos incêndios são frequentemente causadas por ação humana, no preparo e manutenção de áreas cultivadas, renovação de pasto, queimas de resíduos e eliminação de pragas e doenças. O uso do fogo em atividades agrossilvipastoris e o desmatamento são as principais causas identificadas a partir dos dados de ocorrência de incêndios Setzer et al. (2021);

Brasil, (2023); Nunes et al., (2023). No Pantanal perto de 98% dos atuais incêndios florestais foram causados por atividades humanas, seja acidental ou criminoso Berlinck et al. (2022). Em relação às influências naturais nos incêndios florestais, Menezes et al. (2022) reforçam que, por exemplo, os raios não contribuem para uma elevada proporção de queimadas na região do Pantanal, representando apenas 5% das cicatrizes de incêndio. Coppola et al. (2023) não descarta a influência das mudanças climáticas no Pantanal, onde a seca extrema e a propensão aos incêndios possivelmente serão o ‘novo normal’ da região nos próximos anos.

O uso do fogo para manejo de pastagens é uma prática comum e tradicional no Pantanal brasileiro, explicam Soriano et al. (2020), cuja finalidade é a de aumentar a oferta de forragens para os animais, principalmente no período seco (agosto a setembro), e conforme Nascimento (2001) muitas vezes ocorrem incendiando áreas de grande extensão.

A Queima Controlada é permitida por lei como ferramenta de manejo no meio rural (Decreto no 2.661/1998). Embora legalmente permitida, muitas vezes é negligenciada, realizada sem autorização e sem os cuidados básicos e a perda de controle pode gerar incêndios florestais de consequências incalculáveis, dando origem a uma série de impactos negativos Brasil, (2023).

Segundo Soriano et al. (2020) o fogo controlado depende muito mais das condições meteorológicas da época e da vegetação (grande volume de biomassa) no momento da aplicação da estratégia de manejo do que do controle físico por meio de aceiros e outras ferramentas. O fogo pode ultrapassar os limites de rios, estradas e aceiros com facilidade em condições de forte vento, alta temperatura e baixa umidade relativa do ar e grande biomassa vegetal.

Os focos de calor são uma das maneiras de monitorar o comportamento dos incêndios florestais. Estes dados são disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais Brasil/Inpe, (2024) em arquivos vetoriais de pontos do tipo *shapefile* e tabelas no formato CSV (Comma-Separated Values). Estes dados representam temperaturas acima de 46,85°C, como focos de calor em imagens de satélite.

Souza et al. (2023) advertem para o entendimento acerca dos focos de calor, apesar de serem uma das principais ferramentas para monitorar os incêndios no Brasil, apresentam limitações que podem distorcer a incidência real de incêndios em certos locais. Os autores explicam que nem tudo o que é foco de calor é fogo, e nem todos os incêndios são detectados por sensores.

Para Coelho e Deina (2023) os produtos derivados de uma análise de focos de calor podem contribuir para a revisão/elaboração de planos de manejo para redução de riscos, além de proporcionar subsídios para análises espaciais, estatísticas e temporais dessas ocorrências e para os estudos dos efeitos ecológicos, atmosféricos e de mudanças climáticas.

## 2. Objetivos

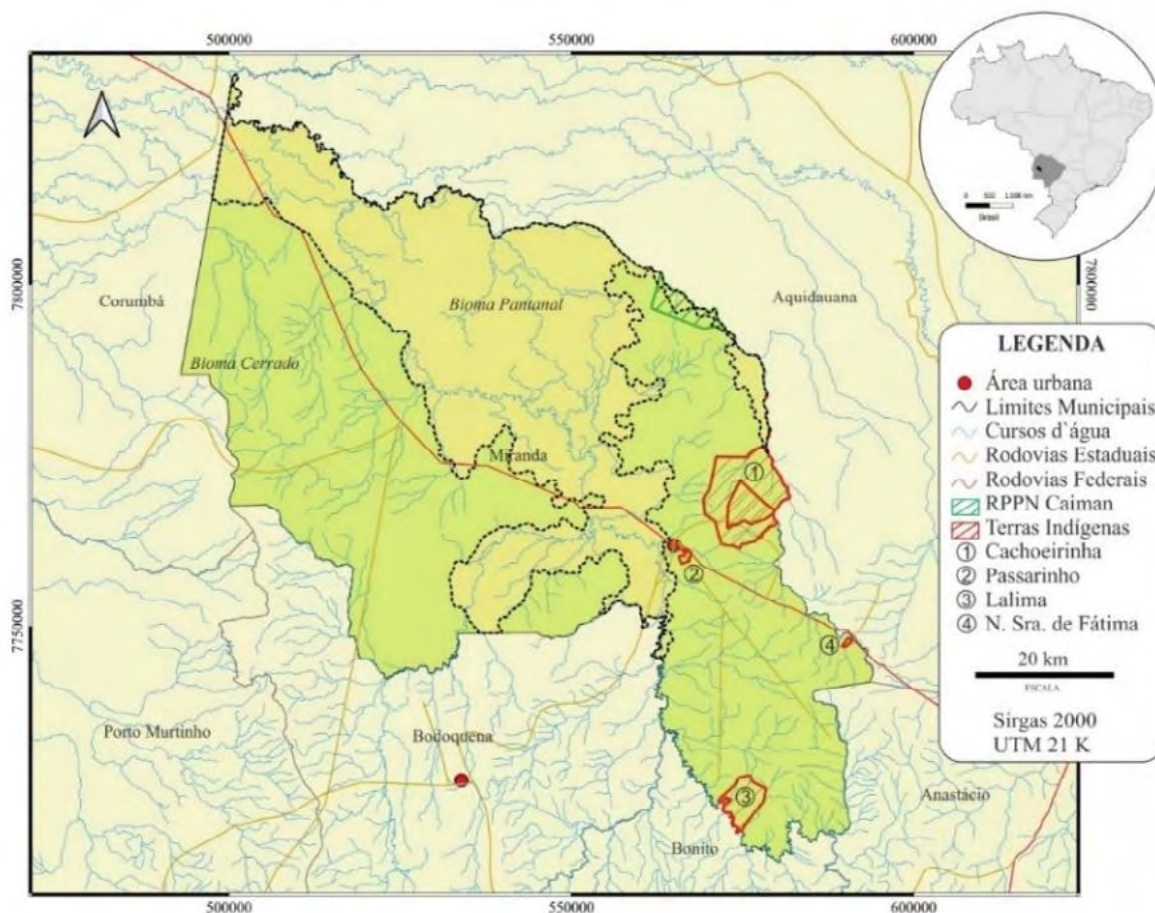
Analisar a mudanças no uso e cobertura da terra e dinâmica dos focos de calor no município de Miranda-MS.

## 3. Material e Métodos

### Área de estudo

Localizado no estado de Mato Grosso do Sul (**Figura 1**), o município de Miranda integra a microrregião administrativa de Aquidauana, e pertence à mesorregião dos Pantanaís Sul-mato-grossenses. Miranda está situada entre as Latitudes Sul de 19°35’ e 20°40’ e Longitudes Oeste de 56°05’ e 57°05’, e possui uma área de 5.478,83 km<sup>2</sup>.

Apresenta tradição agropecuária, sua economia de base, sendo também grande produtor de Arroz irrigado, tendo ainda atividades econômicas de turismo de pesca e de natureza Leite



**Figura 1.** Localização, TIs, Reservas florestais e biomas do Município de Miranda, Mato Grosso do Sul.

e Carvalho, (2014).

### **Análise das mudanças de uso e cobertura da terra**

Para análise do uso e cobertura da terra foram utilizados os dados disponibilizados pelo projeto Mapbiomas Coleção 8 com mapas em formato GeoTiff. Foram analisados os anos de 2014 e 2022. Estes dados foram importados para o software QGIS junto com o limite municipal IBGE, (2019) para recorte da área de interesse. Os dados de cada classe analisada foram calculados e tabulados (função r.report) para determinação da área ocupada em km<sup>2</sup>.

Com a aplicação da função cross classification do complemento QGIS SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) sobre os mapas dos anos de 2014 e 2022 foi possível verificar as alterações nas categorias de uso e cobertura da terra. Uma tabela e mapa indicando se houve ou não alterações nas classes temáticas de uso e cobertura da terra foi criada com a aplicação desta função supracitada. Esta tabela foi analisada no software R R Core Team, (2023) e RStudio Posit team, (2024). Com a elaboração de um *script* foi possível filtrar os dados, agrupar e calcular as áreas (**Figuras 2 e 3**).

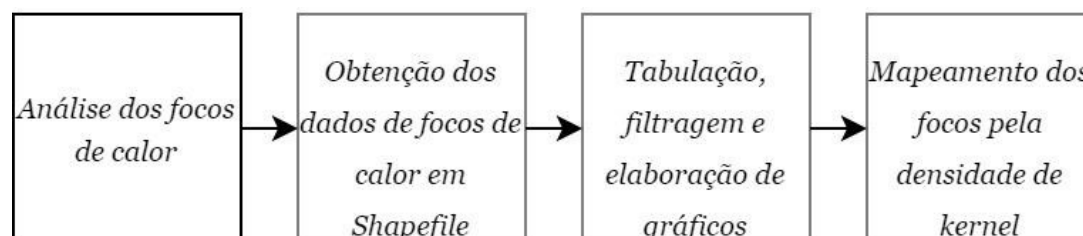


**Figura 2.** Fluxograma metodológico para a análise das mudanças de uso e cobertura da terra.

### Análise dos focos de calor

Os dados de focos de calor utilizados nesta pesquisa foram obtidos no sistema de monitoramento de queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), acessando o site BDQueimadas. Os dados foram obtidos em formato vetorial (*shapefile*) e em tabela (CSV). Considerou-se os dados do satélite de referência AQUA\_M-T. Estes dados foram filtrados para o município de Miranda, estado de Mato Grosso do Sul, e pelo período temporal dos anos de 2014 a 2023.

Os focos de calor, dispostos num arquivo vetorial de pontos, foram importados para o software QGIS QGIS Development Team, (2024), onde foram reprojeto para o sistema de coordenadas UTM, fuso 21S, Datum Sirgas 2000. Neste software aplicou-se a função Mapa de Calor (Estimativa de densidade Kernel), criando um *raster* de densidade (mapa térmico) usando a estimativa de densidade kernel. Os resultados permitem a visualização dos *Hotspots* dos focos de calor. Foi estabelecido o raio máximo de 10km para esta análise, assim a concentração de focos representa aqui o número de focos num raio de 10km.



**Figura 3.** Fluxograma metodológico para a análise dos focos de calor.

O software R R Core Team, (2023) e o ambiente de desenvolvimento RStudio Posit team, (2024) foram utilizados para a análise dos dados tabulados, filtrando-os por ano e por bioma a partir do desenvolvimento de um *script* que atuou sobre a tabela dos focos de calor.

Ainda, para a análise do comportamento espaciais dos focos, optou-se em observá-los nos limites no município, suas fronteiras, seus biomas, suas unidades de conservação e terras indígenas. Estes dados foram obtidos no site do IBGE (2024) em formato vetorial e sobrepostos aos mapas de calor.

## 4. Resultados

Ao analisarmos a **Figura 4** e os dados da **Tabela 1**, podemos afirmar que, no município, a mineração ocupa pequenas áreas próximas ao córrego Agaxi, a leste de Miranda, coincidindo com os limites municipais de Aquidauana. Além disso, verificou-se áreas de silvicultura na

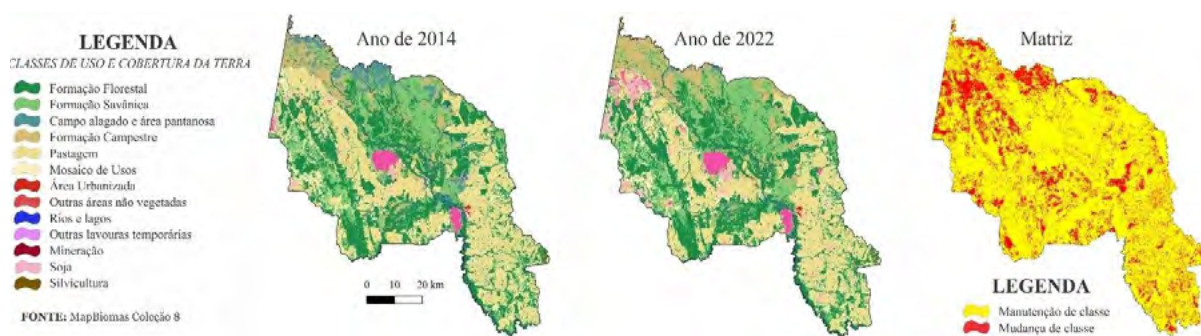
porção leste do município, próximas à BR-262 no sentido Aquidauana-Miranda. A classe de silvicultura teve uma redução significativa de 39% da área ocupada entre 2014 e 2022.

A área urbana da cidade de Miranda aumentou em 5,7% durante o período analisado. Por outro lado, a classe “Outras Áreas não Vegetadas” cresceu consideravelmente, passando de 1,477 km<sup>2</sup> em 2014 para 4,945 km<sup>2</sup> em 2022.

As áreas de corpos d’água e pantanosas (como rio, lago, campo alagado e área pantanosa) sofreram uma redução significativa de 71,43% em suas áreas, notadamente na porção noroeste do município. A redução em cada uma dessas classes pode apresentar impactos variados, mas, em geral, uma diminuição tão expressiva afetará negativamente a biodiversidade e a qualidade dos ecossistemas locais. O Projeto MapBiomias (2024) alerta que o estado com a maior perda absoluta e proporcional de superfície de água na série histórica analisada foi o Mato Grosso do Sul, com uma redução de 57%.

Conforme os dados do IBGE (2022), o setor agrícola do município, no que tange ao cultivo de culturas anuais, não apresenta uma característica de diversificação produtiva. No entanto, a área destinada ao cultivo mais do que dobrou entre 2014 e 2022. Em 2014, a área plantada ou destinada à colheita era de 77,94 km<sup>2</sup>, aumentando para 157,36 km<sup>2</sup> em 2022. O setor agropecuário está ranqueado como o terceiro mais importante setor econômico participando com 24,16% do total.

De acordo com dados do IBGE (2022), algumas mudanças significativas foram observadas nas culturas agrícolas do município de Miranda. A tradicional cultura do arroz, cultivada através da técnica de irrigação, perdeu espaço ao longo do período analisado, com a área destinada ao cultivo reduzindo de 45,2 hectares em 2014 para 28 hectares em 2022. A cultura do milho não apresentou uma dinâmica sólida, apresentando oscilações importantes, com a área de cultivo alcançando 71 hectares em 2018 e diminuindo para 20,40 hectares em 2022. O principal destaque do setor agrícola do município foi a soja, que começou a se destacar em 2012 com 19,75 hectares de área cultivada, atingindo seu ápice em 2018 com 133,03 hectares, mas posteriormente diminuindo para 101,41 hectares.



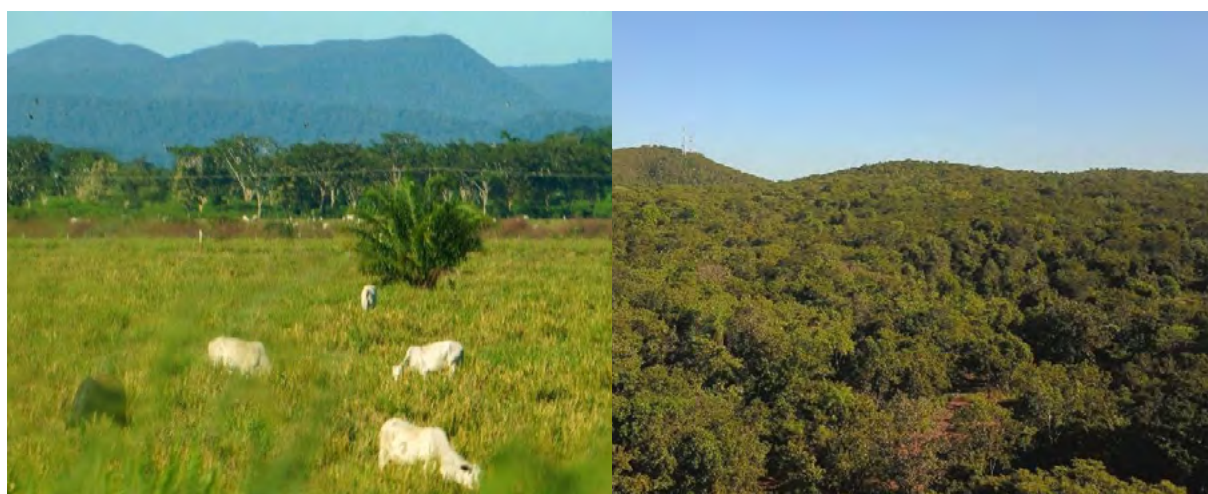
**Figura 4.** Uso e cobertura da terra e matriz de mudança do Município de Miranda, Mato Grosso do Sul.

O cultivo de soja e outras lavouras temporárias também apresentou mudanças consideráveis, apresentadas na **Figura 4**. As áreas designadas ao cultivo de soja tiveram um aumento expressivo de 253,46%. Além disso, outras lavouras temporárias e o mosaico de usos aumentaram em 18,32%, totalizando juntas, 631,753 km<sup>2</sup>.

O setor pecuário também representa um setor importante na economia de Miranda, sendo o que mais emprega no setor agropecuário. De acordo com o Caged (2023), dos 642 empregos

formais na agropecuária existentes em 2023, 513 (79,9%) pertenciam ao setor pecuário. O município concentra 1,69% do rebanho bovino do Estado, com um total de 315.361 cabeças em 2021.

Conforme os dados do MapBiomas (2024), as áreas de pastagens foram reduzidas em 119,733 km<sup>2</sup>, representando 7,76% da área ocupada anteriormente. Já os remanescentes florestais diminuíram em 9,694 km<sup>2</sup>, enquanto as áreas de formação savânica aumentaram em 43,506 km<sup>2</sup> (**Figura 5**). Ribeiro e Bourscheidt (2024) alertam para que, alterações na diminuição de área de floresta impactam diretamente na perda de serviços ambientais, como o déficit da manutenção da biodiversidade, diminuição de estoques de carbono e ameaças ao solo.



**Figura 5.** Tipologias de uso e cobertura da terra no Município.

**Tabela 1.** Classes de uso e cobertura da terra e suas respectivas áreas.

<b>Classe temática</b>	<b>Ano de 2014 Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Ano de 2022 Área (Km<sup>2</sup>)</b>
Mineração	0,010	0,685
Silvicultura	4,876	2,962
Área Urbanizada	4,367	4,618
Outras Áreas não Vegetadas	1,477	4,945
Rio, Lago	42,609	33,340
Campo Alagado e Área Pantanosa	247,985	49,684
Soja	30,169	106,637
Outras Lavouras Temporárias	89,138	121,995
Mosaico de Usos	444,603	509,758
Formação Campestre	438,905	559,540
Formação <u>Savânica</u>	1014,593	1058,099
Pastagem	1541,989	1422,256
Formação Florestal	1606,486	1596,792

A matriz de mudança aplicada se apresenta como uma ferramenta importante para avaliar as transformações na cobertura da terra ao longo do tempo. De acordo com os dados encontrados, 81% da área de classes de uso e cobertura da terra não sofreram alteração, enquanto 19% apresentaram mudanças no tipo de classe temática entre os anos 2014 e 2022. Observa-se que essas mudanças ocorrem na porção oeste e noroeste do município, e ocorrem devido a expansão

de terras agrícolas e diminuição de áreas pantanosas, respectivamente. A manutenção de áreas florestais pode ser observada ao longo dos cursos d'água e em relevos residuais da Serra da Bodoquena. Essa análise reflete a consolidação das formas de uso e cobertura da terra no município e pode ser útil para entender como a paisagem evolui ao longo desse período.

### Focos de calor

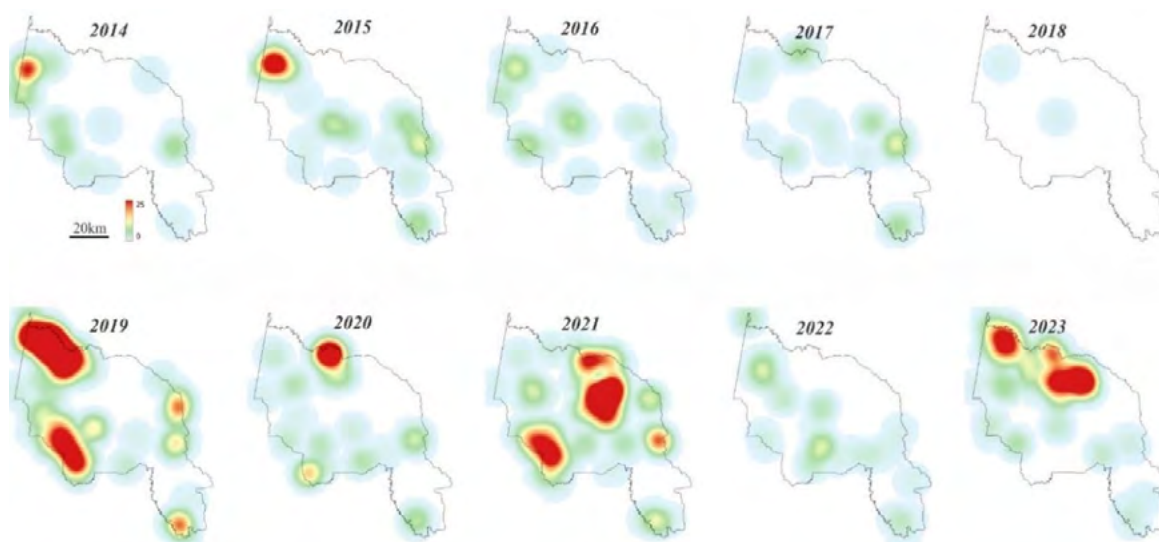
No período analisado, que compreenderam os anos de 2014 a 2023, totalizando 10 anos, o município de Miranda teve 1.669 focos de calor registrados pelo sistema de monitoramento do Inpe, BDQueimadas, e estão registrados na **Tabela 2** e **Figura 6** e apresentados nos mapas de intensidade dos focos da **Figura 7**.

**Tabela 2.** Número de focos de calor totais nos anos analisados.

Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<b>Total</b>	66	103	50	43	2	554	131	394	55	271

Fonte: INPE, [BDQueimadas](#) (2024).

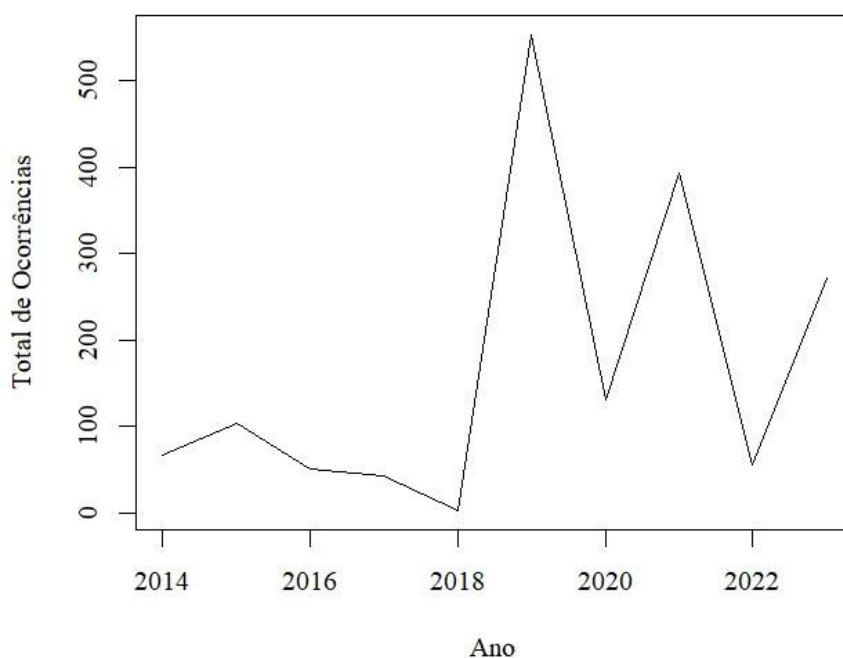
Ao analisarmos o período de 2014 a 2016, observamos que os focos de calor se concentraram na porção noroeste do município, principalmente em áreas de transição entre os biomas Pantanal e Cerrado, totalizando 264 focos. Setzer et al. (2021) já observaram que, em geral, no Brasil as queimadas ocorrem em regiões de transição de Biomas e durante a estação seca e períodos de estiagem prolongada.



**Figura 6.** Densidade de focos anual para Miranda-MS, considerando um raio de 10 km.

No ano de 2019, houve um aumento significativo (**Figura 7**), com um total de 554 focos, representando um aumento de 110% em relação aos últimos quatro anos analisados. Neste período, os focos mantiveram a concentração na porção noroeste e na porção sudoeste, nas áreas de Cerrado da região da Serra da Bodoquena, área representativa de remanescentes de Savana Florestada.





**Figura 7.** Comportamento do total de ocorrências ao longo dos anos analisados.

Moreira et al. (2021) citam que entre as razões pelas quais as queimadas irromperam mais intensamente no ano de 2019, estão o baixo índice de precipitação típico da época seca e as ações antrópicas dos produtores agrícolas da região. Berlinck et al. (2022) alertam que o Pantanal tem sofrido uma seca extrema desde 2019, com a diminuição da quantidade de água nas planícies aluviais e nos rios, resultando em solo e vegetação extremamente secos e aumentando o risco de incêndios florestais.

Em 2020, foram registrados 131 focos, com maior concentração nos limites ao norte do município, próximo à divisa com Aquidauana, e nas proximidades da Terra Indígena Cachoeirinha. No ano seguinte, 2021, ocorreram 394 focos, concentrados na porção centro-norte, em áreas do bioma Pantanal, e na porção sudoeste, em áreas de Cerrado da região da Serra da Bodoquena.

No ano de 2022, houve uma diminuição no número de focos para 55 registros, localizados na região central do município onde a pecuária é a atividade econômica predominante, seguido por um aumento dos registros para o ano de 2023, com 271 focos concentrados na porção norte e noroeste, compreendendo áreas do bioma pantanal. Em relação aos biomas, o Pantanal foi o que apresentou maior quantidade de focos em comparação ao Cerrado, sendo 961 e 708 focos respectivamente.

Nunes et al. (2023) examinaram os efeitos de variáveis climáticas sobre focos de incêndio em três biomas no Estado de Mato Grosso do Sul durante os anos de 1999-2021. Os autores evidenciaram que a relação entre os focos de calor e as variáveis climáticas não foram lineares, e que a maior parte do fogo ocorreu no Pantanal (zonas úmidas), seguido pelo Cerrado e Mata Atlântica (Floresta Semidecidual). Os resultados indicaram que as tendências no uso da terra e a cobertura do solo mudaram ao longo dos anos, apresentando uma forte correlação entre o fogo e a agricultura. A alta probabilidade de incêndio indica que a expansão das áreas agrícolas através da conversão de biomas naturais impacta vários ecossistemas naturais, transformando o uso e cobertura da terra. Esta conversão de terras está a promover mais incêndios todo ano. Marques et al. (2021) reforçam essa afirmação dizendo que os incêndios têm sido influenciados

por ações antrópicas, resultantes principalmente da abertura de pastagens e atividades agrícolas, notadamente seu avanço e influência na região de fronteira agrícola Cerrado/Pantanal.

Na verdade, no Cerrado, a estruturação fundiária baseada em grandes propriedades abriu espaço ao desmatamento, sendo que a prática da queimada, por não representar custos, tem sido a mais usada. Sem fiscalização eficiente, o fogo descontrolado atinge outros complexos vegetacionais, propagando-se por vários hectares Nascimento, (2001). Setzer et al. (2021) alertam para a importância destes biomas para o clima, pelo armazenamento de carbono, pela cobertura vegetal original e por serem fontes de água.

As terras indígenas Cachoeirinha e Lalima, apresentaram focos de calor em todo o período analisado, exceto no ano de 2018, onde foi registrado apenas 2 focos no município. O mesmo ocorreu em áreas da Serra da Bodoquena, proximidades da Unidade de Conservação do Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro e porção sudoeste do município de Miranda.

Em relação as terras indígenas, Santa Rosa et al. (2019), ao analisarem a recorrência de foco de calor no bioma Cerrado (2002-2017), encontraram uma baixa recorrência de fogo ativo nas unidades de conservação federais e nas terras indígenas foram majoritários, ainda que algumas destas áreas apresentaram elevada recorrência.

A rapidez e a eficiência na detecção e no monitoramento desses incêndios são imprescindíveis para sua localização e controle, evitando consequências mais drásticas para o ecossistema pantaneiro. O uso de recursos computacionais, aliado ao uso de Sistemas de Informação Geográfica, tem facilitado bastante a previsão e o combate a incêndios (Soriano et al., 2020).

Considerando a probabilidade de incêndios florestais recorrentes e fora de controle, Berlinck et al. (2022) sugerem que as políticas de prevenção de incêndios e as melhores práticas de gestão sejam incluídas em qualquer uso no Pantanal. Os autores enfatizam a necessidade de (A) monitoramento contínuo para detecção precoce de riscos e eventos de incêndio; (B) a instalação de brigadas de bombeiros em locais estratégicos da região com atuação contínua; (C) programas de educação comunitária centrados no uso adequado do fogo para fins de gestão, (D) aplicação eficaz das políticas de uso do fogo e (E) implementação de um plano de conservação da vida selvagem.

## 5. Conclusões e Sugestões

As transformações no uso e cobertura do solo, apesar de ocorrerem em menor proporção (19%), foram observadas em toda a área do município, com maior evidência nas porções oeste e noroeste, áreas que estão em mudança no uso de pecuária para soja e outras culturas, bem como a diminuição de áreas pantanosas. Estas mudanças têm relevância significativa para o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável do município. Acompanhar essas tendências e implementar estratégias de manejo apropriadas é essencial para equilibrar o crescimento urbano, a preservação ambiental e a produção agrícola.

Em relação à dinâmica dos focos de calor no município de Miranda, os resultados apontam que, em maior ou menor proporção de focos de calor, o fogo é presente na área estudada. Em conclusão, áreas do bioma Pantanal registraram uma quantidade significativamente maior de focos de calor em comparação ao Cerrado. As terras indígenas e áreas da Serra da Bodoquena também apresentaram ocorrências de focos de calor durante o período analisado, assim como as proximidades da Unidade de Conservação do Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro e a porção sudoeste do município de Miranda.

Os dados revelam uma variação significativa nos focos de calor ao longo dos anos. Observa-se um aumento expressivo em 2019, com 554 focos, seguido por uma diminuição em 2020 e 2022. No entanto, em 2023, houve um aumento substancial novamente, com 271 focos. Este

padrão sugere uma flutuação anual dos focos de calor, influenciada por diversos fatores, como condições climáticas e atividades antrópicas.

Esses dados são essenciais para identificar padrões de comportamento do fogo. A análise utilizando softwares de SIG proporcionaram uma visão clara e eficiente por meio de mapas e gráficos, revelando o comportamento dos focos de calor e das alterações no uso e cobertura da terra no município de Miranda, MS.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Apoio para o Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (Fundect), Gov. do Estado de Mato Grosso do Sul; à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul UFMS/MEC – Brasil; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior–Brasil (CAPES) Cód. de Financiamento 001.

## 7. Referências

- Afuye, G. A.; Nduku, L.; Kalumba, A. M.; Santos, C. A. G.; Orimoloye, B. R.; Ojeh, V. N.; Thamaga, K. H.; Sibandze, P. Global trend assessment of land use and land cover changes: A systematic approach to future research development and planning. **Journal of King Saud University - Science**, Volume 36, Issue 7, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103262>.
- Berlinck, C. N., Lima, L. H. A., Pereira, A. M. M., Carvalho Jr, E. A. R., Paula, R. C., Thomas, W. M., & Morato, R. G.. The Pantanal is on fire and only a sustainable agenda can save the largest wetland in the world. **Brazilian Journal of Biology**, 82, (2022) e244200. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.244200>
- Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências**. <https://link.ufms.br/BlxTQ>. Acesso em 2024.
- Brasil. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama. Plano de ação para o manejo integrado do fogo no bioma Pantanal. Maio/2023.
- Brasil. Inst. Nacional de Pesquisas Espaciais. **Programa Queimadas**. <https://link.ufms.br/7h1h5>. 2024b.
- Caged. Cadastro Geral de Empregados e Desempregados. <https://link.ufms.br/ymftu>, 2023.
- Coelho, A. L. N.; Deina, M. A. Detecção e análise de focos de queimadas em escala microrregional derivada de dados e softwares livres. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 20. (SBSR), 2023, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2023. p. e155509. Internet. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP6W34M/493NUDP>>.
- Coppola, T. N. DA C.; Urbanetz, C.. Incêndios no Pantanal, a pesquisa e as relações institucionais e governamentais. In: Assunta Helena Sicoli, Eliane Hayami, Ketruy Borges Venet, Otavio Valentim Balsadi, Petula Ponciano Nascimento, Roselis Simonetti. **Relações institucionais e governamentais como estratégia para inovação agropecuária: experiências na Embrapa**. – Brasília, DF: Embrapa, 2023.
- Correa, D.B., Alcântara, E., Libonati R., Massi K.G., Park E. Increased burned area in the Pantanal over the past two decades. *Sci. Total Environ.*, 835 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155386>
- Leite, E. F.; Carvalho; E. M. de. Mudanças no uso e cobertura do solo no município de Miranda-MS analisados a partir da classificação de imagens-frações e cruzamentos matriciais. **Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Campo Grande, MS, 22 a 26 de novembro 2014. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 764. 764-773 Disponível em <https://link.ufms.br/qQUuV>.
- MapBiomias. Brasil Revelado 1985-2020: **A dinâmica da superfície de água no território brasileiro**. Disponível em <https://link.ufms.br/ePWwd>. Acessado em julho de 2024.
- Marques, J. F.; Alves, M. B.; Silveira, C. F.; Amaral e Silva, A.; Silva, T. A.; Santos, V. J. dos; C., M. L.. Fires dynamics in the Pantanal: Impacts of anthropogenic activities and climate change, **Journal of Environmental Management**, Volume 299, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113586>.
- Menezes, L. S.; Oliveira, A. M. de; Santos, F. L. M.; Russo, A.; Souza, R. A.F. de; Roque, F. O. ; Libonati, Renata. Lightning patterns in the Pantanal: Untangling natural and anthropogenic-induced wildfires. **Science of The Total Environment**, v. 820, n. 153021, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153021>.

Moreira, A. P.; Paranhos Filho, A. C.; Guaraldo, E.; Mapeamento dos incêndios florestais no bioma Pantanal e bacia do alto Paraguai entre 2018 e 2019. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 15, n. 2, p. 01-13, 2021. <http://dx.doi.org/10.18316/rca.v15i2.6898>.

Nascimento, I. V. **Cerrado**: o fogo como agente ecológico. *territorium*. 8. 2001.

Nunes, R. S. C., Souza, A., Villar-Hernández, B. J., Júnior, J. F. O., Abreu, M. C., Oliveira, A. P. G., & Fakhruddin, M. Fires in brazilian biomes. *Mercator (fortaleza)*, 22, e22023. 2023. <https://doi.org/10.4215/rm2023.e22023>

Posit Team. RStudio: **Integrated Development Environment for R**. Posit Software, PBC, Boston, MA. URL <http://www.posit.co/>. 2024.

QGIS Development Team, QGIS Geographic Information System. Open-Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>. 2024.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. 2023.

Ribeiro, J.; Bourscheidt, V. Uso da Terra e tendência de dados climatológicos no arco do desmatamento Amazônico. *RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise*, [S.l.], v. 59, p. 59-82, abr. 2024. Acesso em: 29 jul. 2024. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v59i0.93241>.

Santa Rosa, A.; Martins, G.; Rodrigues, J. A.; Setzer, A. W.; Libonati, R.; Gurgel, H. Recorrência de detecção de focos de queima no bioma Cerrado no período de 2002 a 2017. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19. (SBSR), 2019, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019. p. 251-254. Internet. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP6W34M/3U62NCH>>.

Setzer, A. W.; Ferreira, N. J. Morelli, F. **O programa Queimadas do INPE**. In.: Setzer, Alberto W.; Ferreira, Nelson J. Queimadas e incêndios florestais: mediante monitoramento orbital. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

Soares, R. V.; Batista, A. C.; Nunes, J. R. S.. **Incêndios florestais no Brasil**: o estado da arte. Curitiba, 2009.

Soriano, B. M. A.; Cardoso, E. L.; Tomás, W. M.; Santos, S. A.; Crispim, S. M. A.; Pellegrin, L. A.O; **Uso do fogo para o manejo da vegetação no Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2020.

## **Machine Learning para el Análisis Geoespacial de Humedales en Grandes Volúmenes de Datos**

Natalia V. Revollo <sup>1,2</sup>  
Edinéia Aparecida dos Santos Galvanin <sup>3</sup>  
Carlos E. Berger <sup>1,4</sup>  
Verónica Gil <sup>4</sup>  
Sandra Mara Alves da Silva Neves <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras, Universidad Nacional del Sur, Argentina.

<sup>2</sup> Instituto de Ciencias e Ingeniería de la Computación(ICIC), CONICET-UNS, Argentina.  
nrevollo@criba.edu.ar

<sup>3</sup>UNESP - Departamento de Geografía/Ourinhos, Universidade Estadual Paulista. Brasil.  
edineia.galvanin@unesp.br

<sup>4</sup>Universidad Provincial del Sudoeste, Buenos Aires, Argentina  
carlos.berger@uns.edu.ar

<sup>5</sup> Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur-CONICET, Argentina.  
verogil@uns.edu.ar

<sup>6</sup> Faculty of Human Sciences/Geography Course, University of Mato Grosso State,Cáceres, Brazil.

**Resumen.** El Pantanal es el mayor humedal tropical del mundo y abarca los países de Bolivia, Brasil y Paraguay. Existen regiones dentro del Pantanal que están adheridas al tratado de Convención de Humedales o que son reconocidas como Reserva de la Biosfera y Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. El objetivo de este trabajo es la clasificación de cuerpos de agua superficiales en humedales a través del uso de técnicas de aprendizaje de máquina, en particular mediante técnicas de clustering. Inicialmente, se utilizó el índice NDVI a partir de un mosaico de imágenes que cubren la zona de estudio provenientes del satélite Sentinel 2-A procesadas en la plataforma Google Earth Engine. A partir de este índice se establece un umbral de manera empírica y se logra segmentar los cuerpos de agua. Luego se aplica la técnica de clustering a las características morfológicas de cada objeto segmentado. Los resultados obtenidos muestran que es posible la categorización de cuerpos de agua con técnicas de aprendizaje no supervisado.

**Palabras claves:** Pantanal, humedales, imágenes satelitales, machine learning.

**Abstract.** The Pantanal is the largest tropical wetland in the world and covers the countries of Bolivia, Brazil and Paraguay. There are regions within the Pantanal that are part of the Convention on Wetlands or that are recognized as Biosphere Reserves and World Heritage Sites by UNESCO. The objective of this work is the classification of surface water bodies into wetlands using machine learning techniques, through clustering techniques. Initially, the NDVI index was used from a mosaic of images covering the study area from the Sentinel 2-A satellite processed on the Google Earth Engine platform. From this index, a threshold is established empirically, and the water bodies are segmented. The clustering technique is then applied to the morphological characteristics of each segmented object. The results obtained show that it is possible to categorize water bodies with unsupervised learning techniques.

**Key-words:** remote sensing, image processing, wetlands, Pantanal (no máximo seis palavras).

## 1. Introducción

Los humedales son zonas de la superficie terrestre que se inundan de manera permanente o intermitente y representan aproximadamente el 6% de la superficie del planeta. Son vitales para la supervivencia humana y fuente de agua y productividad primaria para numerosas especies vegetales y animales. A pesar de su importancia global, se estima que la mitad de los humedales del planeta han desaparecido. Actualmente existe el tratado de Convención de Humedales para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. Este alcanza 2.513 humedales de importancia internacional que representan un área de 257.254.185 (Ramsar, 2024). El Pantanal es el mayor humedal tropical de Latinoamérica y el mundo y abarca los países de Bolivia, Brasil y Paraguay. Existen regiones dentro del Pantanal que están adheridas al tratado de Convención de Humedales o que son reconocidas como Reserva de la Biosfera y Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. Si bien se reconoce la importancia ambiental global, más del 90 % del Pantanal está bajo propiedad privada y gran parte de la tierra se utiliza para la cría de ganado. En los últimos años, la disponibilidad de imágenes satelitales y plataformas de acceso y procesamiento de grandes volúmenes de información han tenido un notable incremento. Esto ha impulsado la investigación y la aplicación de tecnologías espaciales en una variedad de campos, desde la monitorización ambiental hasta la gestión de recursos naturales y la planificación urbana.

Dentro de la Inteligencia Artificial (IA), el Machine Learning (ML) ha demostrado ser una herramienta poderosa para el monitoreo del medio ambiente (Avci, 2023; Immitzer et al., 2012; Wurm, 2019; Zhang et al., 2021). El ML ofrece herramientas que contribuyen a la conservación de los recursos naturales y la mitigación del cambio climático, entre otros desafíos ambientales globales. En el caso de las imágenes satelitales, el ML permite una exploración eficiente y automatizada de patrones espaciales, segmentación de imágenes, detección de anomalías y compresión de datos. Esto proporciona información geoespacial para una amplia gama de aplicaciones en la gestión ambiental, la agricultura, la monitorización de recursos naturales, entre otros.

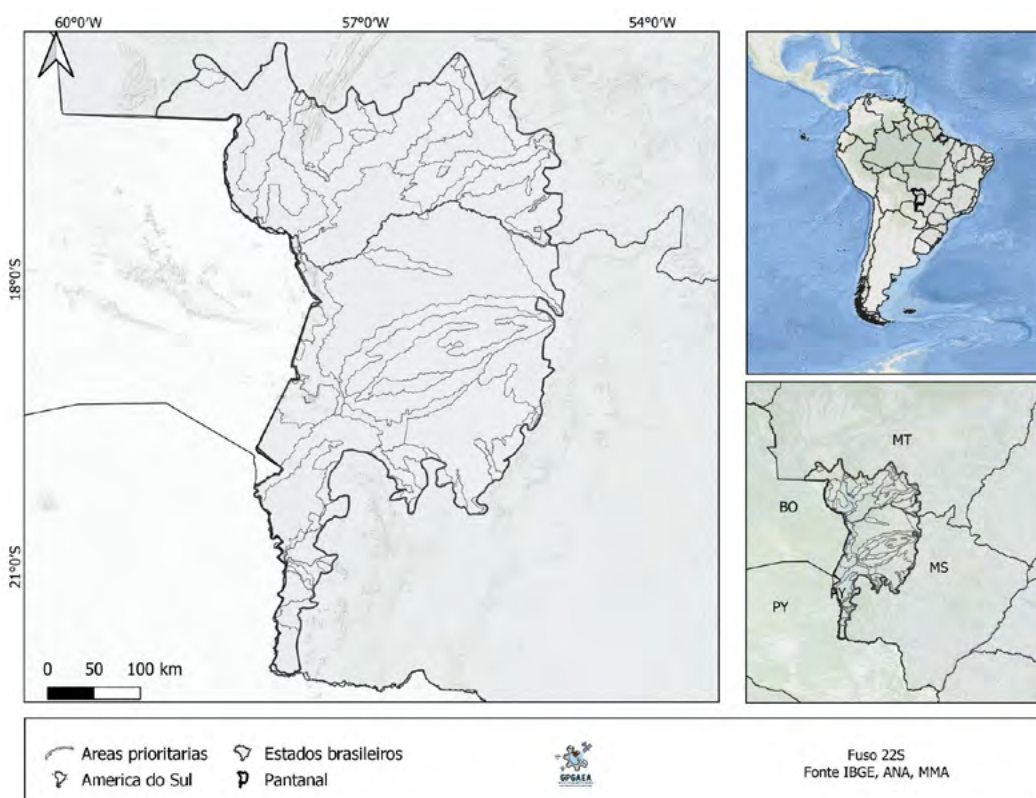
Existen situaciones donde la información a analizar cubre grandes superficies y no es posible el etiquetado en forma manual a priori por parte de expertos. En estos casos, el uso de modelos o algoritmos de ML no supervisados resulta una herramienta fundamental que puede explicar y ayudar a entender el comportamiento de la información geoespacial a analizar. Este enfoque puede ser esencial en el estudio de los cuerpos de agua en los humedales del Pantanal, donde existe una gran cantidad de datos geoespaciales y la diversidad de características puede ser muy compleja. En particular, el clustering permite identificar patrones espaciales y distribuciones de características en las imágenes satelitales sin necesidad de etiquetado (Subbiah, B., and Christopher, 2012; Usman, B. 2013, Abburu, S., and Golla, S. B., 2015; Bezerra et.al,2022).

## 2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es clasificar cuerpos de agua superficiales en humedales a través del uso de técnicas de ML, en particular el uso de la técnica de clustering. De esta manera se busca contribuir a la consecución del ODS 6, proporcionando información y análisis relevantes sobre humedales, con un enfoque específico en el Pantanal en el área de Brasil. Al proporcionar información sobre los cambios ambientales y sus impactos en los recursos hídricos, este enfoque puede respaldar políticas y prácticas relacionadas con la gestión del agua y el saneamiento, promoviendo la sostenibilidad de estos recursos vitales.

## 3. Material y Métodos

El Pantanal es una vasta llanura de inundación ubicada en el centro-sur de Brasil y que se extiende hasta el noreste de Paraguay y el sureste de Bolivia (Brasil, 2015) **Figura 1**. La vegetación del Pantanal es heterogénea e influenciada principalmente por el ecosistema Cerrado, pero también presenta elementos de la selva amazónica, el Chaco y la selva atlántica. Esta característica, junto con los diferentes tipos de suelo y los regímenes de inundación, es responsable de la gran variedad de formaciones vegetales y de la heterogeneidad del paisaje, que alberga una rica biota acuática y terrestre (Adámoli y Pott, 1999). El principal factor ecológico en la determinación de los patrones y procesos en el Pantanal son los pulsos de inundación (Junk et al., 2013, Milien et al., 2023), con grandes amplitudes y una duración de tres a seis meses.



**Figura 1.** Mapa de la ubicación del Pantanal en Brasil.

El Programa de Monitoreo de los Biomas Brasileños por Satélite (PMDBBS) ha informado que el humedal del Pantanal se está secando por la degradación de su suelo. Este ha perdido el 17% de su cobertura vegetal nativa, y en las últimas décadas ha aumentado la presión para la

instalación de proyectos de infraestructura con graves daños ambientales.

El monitoreo de humedales, es de gran importancia para cumplir con la agenda 2030 de Desarrollo Sostenible que busca la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo (Naciones Unidas, 2024). En particular, el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 "Agua limpia y saneamiento" (ODS 6) busca garantizar el acceso de las personas a agua potable segura y a servicios básicos de saneamiento adecuados. Además, el ODS 6 propone la protección y gestión sostenible de los recursos hídricos, incluidos los ecosistemas relacionados con el agua, como los ríos, lagos y humedales (**Figura 2**).



**Figura 2.** Imágenes aéreas del Pantanal en Brasil (LabGeo, 2024).

## 2.1 Procesamiento de Información Geoespacial (IG)

La Región de Interés (ROI) es delimitada a través de la combinación de IG en formato vectorial del Pantanal en la región de Brasil e IG en formato raster del satélite Sentinel 2-A. Sentinel-2 es una misión de imágenes multispectrales de alta resolución y gran amplitud de barrido para el monitoreo de la vegetación, el suelo y la cobertura de agua, así como la observación de vías fluviales interiores y áreas costeras. Estas imágenes son obtenidas de la plataforma Google Earth Engine (GEE). Las imágenes se encuentran ortorectificadas y los valores de reflectancia de la superficie están corregidos atmosféricamente. Además las imágenes son filtradas por una nubosidad menor al 5%. La ROI es representada por un mosaico que combina múltiples imágenes individuales en una imagen media que representa el periodo lluvioso en la región del Pantanal correspondiente a los meses de octubre a mayo. A partir de esta imagen media, se obtiene el Índice de Diferencia de Agua Normalizado (NDWI) que es ampliamente utilizado para detectar y mapear cuerpos de agua en imágenes satelitales. Para la evaluación de este índice se utiliza la combinación de longitudes de onda del verde visible y del infrarrojo cercano. Las primeras maximizan la reflectancia habitual de la superficie del agua. Las segundas maximizan la alta reflectancia de la vegetación terrestre y las zonas de suelo, mientras que minimizan la baja reflectancia de las masas de agua. Los valores de NDWI son positivos para los elementos de agua y negativos (o cero) para el suelo y la vegetación terrestre **Ecuación 1**.

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (1)$$



donde GREEN y NIR son los valores de reflectancia en la banda del verde y reflectancia en la banda del infrarrojo cercano, respectivamente.

Adicionalmente se seleccionan tres ROIs dentro de las "Áreas Prioritarias para la Conservación, Uso Sostenible y Distribución de Beneficios de la Biodiversidad brasilera". Estas áreas se establecen como un instrumento de política pública, orientando el desarrollo de acciones de investigación, inventario de biodiversidad, recuperación de áreas degradadas y especies sobreexplotadas o en peligro de extinción, licenciamiento ambiental, inspección, identificación de áreas con potencial para la creación de unidades de conservación, corredores ecológicos, acciones de fomento del uso sustentable, acciones de regularización ambiental (MMA, 2023). Son áreas definidas geográficamente con base en información espacial sobre la ocurrencia de objetos de conservación (especies amenazadas de extinción, raras o endémicas, ecosistemas terrestres y acuáticos y servicios ecosistémicos relevantes para la conservación de la biodiversidad existente en ellos), información especializada sobre actividades antropogénicas (represas, caminos, áreas sin restos de cobertura vegetal, minería, etc.), así como actividades que favorezcan la conservación y uso sustentable de la biodiversidad (proyectos ambientales, ecoturismo, entre otros). Las zonas consideradas para evaluar cuerpos de agua son zonas extremadamente altas, muy altas y altas. Para cada región se segmenta la imagen de NDWI con el objetivo de separar el agua de las demás coberturas. Para ello se utilizó un umbral establecido de manera empírica a partir de evaluaciones realizadas por los expertos de la zona. Una vez segmentados los cuerpos de agua se procedió a convertir esta segmentación en formato vectorial, en este caso representado por vectores de polígonos.

Para cada región, se segmenta la imagen de NDWI con el objetivo de separar los cuerpos de agua. La segmentación se realiza utilizando un umbral establecido de manera empírica basada en evaluaciones visuales de expertos. Este umbral de NDWI permite diferenciar agua y otros tipos de coberturas con lo que se obtiene una representación binaria de la imagen. Una vez identificados los cuerpos de agua se convierten a polígonos en formato vectorial.

## 2.2 Machine Learning no Supervisado para Clasificación de IG

En esta etapa, se calculan los descriptores morfológicos de cada objeto segmentado. Existe una variedad de descriptores basados en contornos o en el conjunto total de píxeles que conforman el objeto segmentado (Zhang, D., y Lu, 2004; Heilbronner, 2012; Neal y Russ, 2012) y son frecuentemente utilizados en el reconocimiento e identificación de objetos. De esta manera se logra caracterizar los cuerpos de agua a partir de un vector de características de forma **Tabla 1**.

Para el proceso de clasificación de objetos se aplica la técnica de Análisis de Componentes Principales (ACP) y luego el algoritmo de Agrupamiento. La técnica de ACP se utiliza para reducir la dimensionalidad del conjunto de datos, con la que se obtiene un nuevo conjunto de variables en un nivel de confianza del 95%. En los algoritmos no supervisados es fundamental determinar el número ideal de clusteres en los que se pueden agrupar los datos. Para ello se usó el método del codo, el cual calcula el valor de una métrica de evaluación llamada inercia. Los valores de inercia se obtienen mediante la **Ecuación 2** al aplicar el algoritmo de agrupamiento para diferentes números de clusteres ( $k$ ), y se genera un gráfico de estos valores. Finalmente, se buscan los puntos donde la curva comienza a aplanarse.

**Tabla 1.** Descriptores Morfológicos.

<u>Descriptor de Forma</u>	<u>Describe:</u>	<u>Ecuación</u>
Area	La <u>superficie del cuerpo</u> de Agua	$A$
Perimetro	La <u>longitud del perimetro del cuerpo</u> de agua	$P$
<u>Compacidad</u>	Como <u>un cuerpo</u> de agua de <u>asemeja</u> a una figura compacta	$C = \frac{A}{P^2}$
<u>Relación de aspecto</u>	<u>Relación</u> entre el largo y ancho de <u>un cuerpo</u> de agua	$RA = \frac{Largo}{Ancho}$
<u>Circularidad</u>	Medida en que <u>un cuerpo</u> de agua se <u>asemeja</u> a <u>un círculo</u>	$\rho = \frac{4\pi A}{P^2}$
Factor de forma	Medida de la <u>relación</u> entre el <u>área del objeto</u> y el <u>área del círculo mínimo</u> que lo <u>contiene</u>	$FF = \frac{A}{A_c}$
<u>Máxima longitud</u>	La <u>longitud máxima</u> medida en <u>cualquier dirección</u> dentro del <u>cuerpo</u> de agua	$ML$
Máximo ancho	La <u>anchura máxima</u> medida en <u>cualquier dirección</u> dentro del <u>cuerpo</u> de agua	$MA$
<u>Elongación</u>	Medida que indica <u>qué tan</u> estirado o alargado el <u>cuerpo</u> de agua en <u>comparación con su anchura</u>	$E = \frac{Longitud\ del\ objeto}{Anch\ del\ objeto}$
Envolvente convexa	Polígono convexo más <u>pequeño</u> que <u>contiene</u> a todos los <u>puntos del cuerpo</u> de agua	$EC$

$$Inercia(k) = \sum_{i=1}^k ||x - \mu_i||^2 \quad (2)$$

donde: k es el número de clústeres.  $\mu_i$  es el centroide del i-ésimo clúster.  $||x - \mu_i||^2$  representa la distancia al cuadrado entre un punto x y el centróide  $\mu_i$  del cluster al que pertenece.

Para la clasificación de los cuerpos de agua se utiliza la técnica K-Means (MacQueen, 1967; MacKay, 2003) a los descriptores morfológicos de cada polígono generado. Esta técnica particiona el conjunto de n observaciones en k clusters basado en una distancia Euclídea media. Presenta la ventaja de que es simple y rápida de procesar, aunque tiene la limitación de que se deben conocer a priori el número de clases.

Se considera un conjunto de observaciones  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  en donde cada  $x_i$  es un vector real de d dimensiones, a partir del cual se construye una partición de las observaciones en k conjuntos ( $k \leq n$ ) a fin de minimizar la suma de los cuadrados dentro de cada grupo  $S = S_1, S_2, \dots, S_k$

**Ecuación 3.**

$$\operatorname{argmin}_S \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} ||x_j - \mu_i||^2 \quad (3)$$

donde  $\mu_i$  es la media de puntos  $S_i$ .

## 2.3 Validación

La validación de la segmentación de objetos se realiza empleando el Coeficiente de Similitud de Dice (DSC) (Dice, 1945) **Ecuación 4**. Esta es una métrica comúnmente usada en imágenes médicas, aunque se ha ampliado su aplicación a otras áreas. Para ello se seleccionan al azar objetos segmentados con la metodología propuesta en una capa de información vectorial. Luego estos objetos a partir de las imágenes satelitales son digitalizados de manera manual por expertos utilizando la plataforma QGIS (QGIS.org, 2024). De esta manera, se obtienen dos conjuntos de datos para aplicar DSC.

$$DSC = \frac{2 \times |A \cap B|}{|A| + |B|} \quad (4)$$

donde  $|A \cap B|$  representa el tamaño del área de intersección entre los conjuntos A y B, y  $|A|$  y  $|B|$  el tamaño de los conjuntos A y B.

## 2.4 Categorización de Cuerpos de Agua

Una vez agrupados los objetos en clases se realiza una categorización descriptiva de cada cuerpo de agua clasificado. La misma se lleva a cabo con expertos que trabajan en el área con el objetivo de identificar grupos de objetos con formas o estructuras morfológicas similares. Para ello se evalúan visualmente los archivos en formato vectorial seleccionado y se definen categorías, a lo que se adiciona además un campo descriptivo dentro de la información alfanumérica asociada a cada cuerpo de agua. La metodología propuesta se representa en la **Figura 3**.

Estos cuerpos de agua son grupos de píxeles cuyos valores de NDWI superan un valor de umbral establecido en consenso con los expertos que estudian este tipo de humedales **Figura 2c**. Es posible notar que existen cuerpos de agua que no son detectados por el método propuesto o que son detectados como varios objetos, esto en algunos casos se debe a que se encuentran secos o cubiertos parcial o totalmente por algún tipo de vegetación. También existen casos donde los ríos o arroyos presentan discontinuidades debido a la aparición de vegetación o falta de agua en los mismos.

## 4. Resultados y discusión

Se obtuvo un mosaico de imágenes satelitales Sentinel-2 pseudocoloreada en RGB con las bandas espectrales de red, blue, green e infrarrojo cercano con un tamaño de 12143 GB, una ROI de este mosaico se puede apreciar en la **Figura 4a**. Estas abarcan las zonas alta, muy alta y extremadamente alta definidas como Áreas Prioritarias para la Biodiversidad Brasileña y comprenden un área total de 100000 km<sup>2</sup>. A partir de las bandas espectrales, se calculó el índice NDWI en donde es posible apreciar visualmente los cuerpos de agua **Figura 4b**.

Luego para cada objeto segmentado se calculan los contornos y son llevados al formato vectorial obteniendo polígonos para los conjuntos de píxeles detectados como agua **Figura 4d**. Las ventajas del formato vectorial son la posibilidad de un acceso más rápido a la información dado que ocupa menos capacidad de cómputo que el formato raster; se puede incorporar información alfanumérica descriptiva a cada objeto detectado y que es posible la unión de objetos que son detectados por separado a través de operaciones geoespaciales. Así, a partir de la segmentación realizada se obtuvo un total de 107288 objetos en formato polígono que representan cuerpos de agua en los humedales **Figura 4e**.

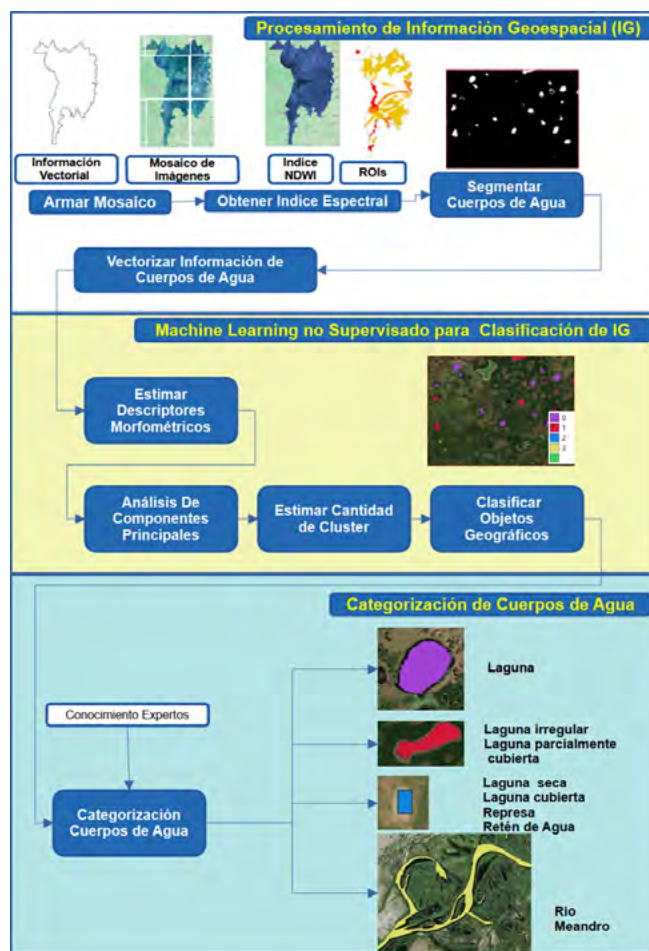


Figura 3. Metodología propuesta para la clasificación de cuerpos de agua en humedales.

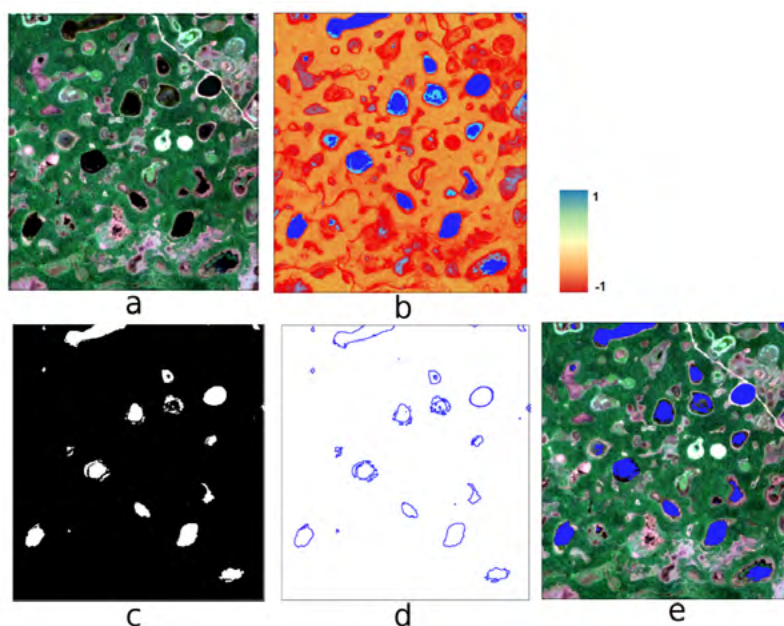
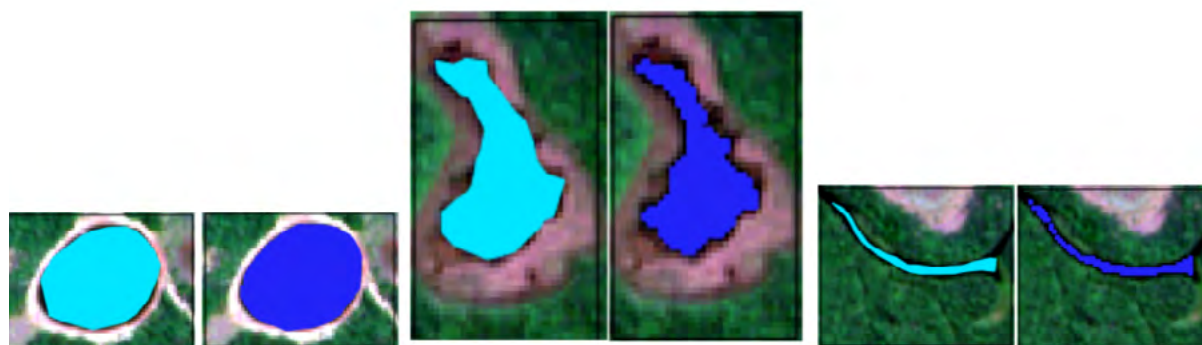


Figura 4. Resultados del algoritmo de segmentación aplicando un umbral empírico determinado de manera subjetiva por un experto a partir de una imagen de NDWI. a) Imagen pseudocoloreada en color natural. b) Imagen NDWI pseudocoloreada. c) Imagen segmentada. d) Imagen de contornos en formato vectorial. e) Superposición de cuerpos de agua detectados sobre la imagen en color natural.

La validación de la segmentación se hizo a través del cálculo del coeficiente DSC. Para ello se segmentan en forma manual los cuerpos de agua **Figura 5** utilizando el software QGIS.

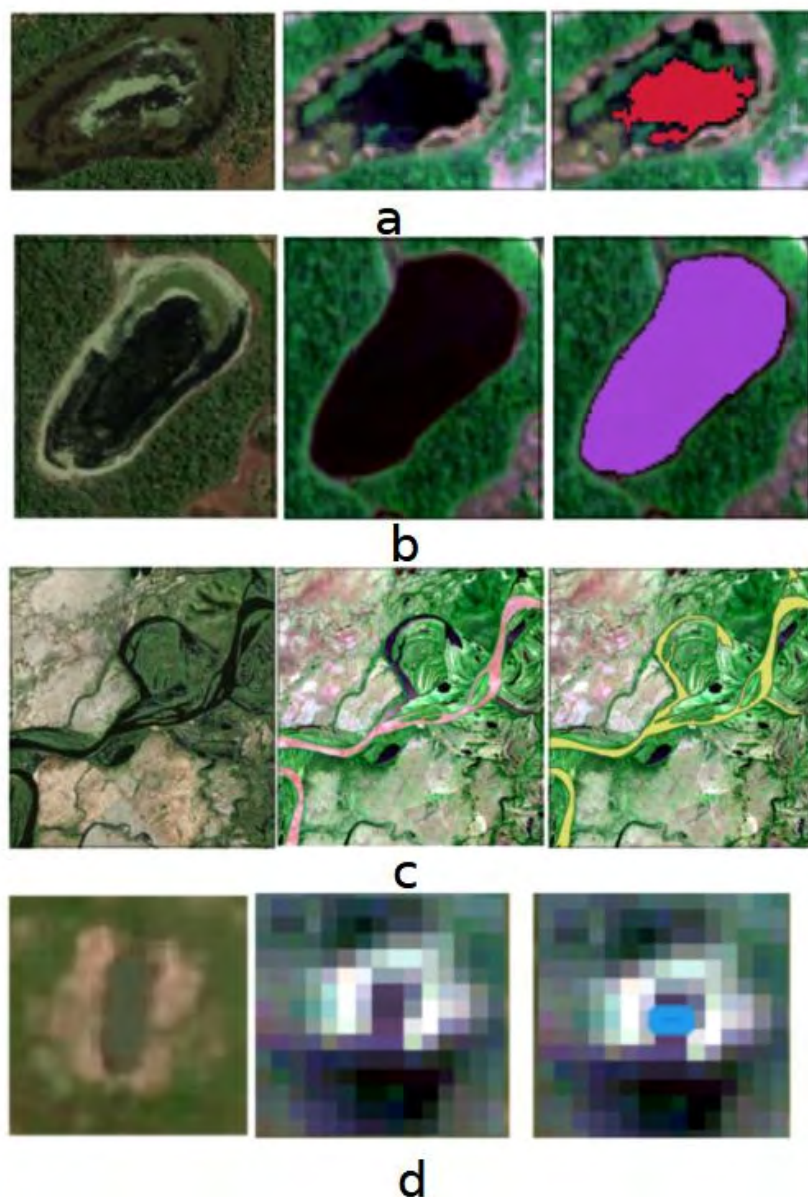
A partir de estos datos se calculó espacialmente la intersección entre cada objeto digitalizado manualmente y los objetos detectados automáticamente. Se obtuvo un valor de DSC de 0.91 lo que indica una buena superposición entre dos segmentaciones. Este valor señala que el 90 % de los objetos segmentados coinciden entre sí.



**Figura 5.** Comparación entre la segmentación manual (cyan) y la segmentación aplicando la metodología (azul).

A partir de información geográfica que representa la capa de cuerpos de agua se estimaron diez descriptores morfológicos para cada objeto geográfico. De esta manera se tiene un vector de características para cada objeto geográfico. Luego se aplicó la técnica de ACP para determinar la cantidad de variables que representan el 95% de la varianza, esto se logró con dos componentes. En principio para aplicar el método clustering k-means se estimó el número óptimo de clusters a considerar utilizando el método del codo y resultando un valor de  $k = 4$  grupos, por lo que los resultados obtenidos clasifican los objetos geográficos en cuatro clases. A partir de esta imagen, cada grupo fue categorizado en forma manual con la interpretación visual de expertos. Luego del agrupamiento de los objetos geográficos en 4 clases, se definen las siguientes clases, clase 1 : Laguna regular, clase 2: laguna irregular o laguna irregular parcialmente cubierta por vegetación u otro, clase 3: laguna seca, laguna cubierta, represa o retén de agua y clase 4: río o meandro. En la **Figura 6a** es posible observar una laguna irregular que está cubierta por vegetación en sus alrededores. La **Figura 6b** muestra una laguna más regular en los bordes. Otro objeto categorizado en arroyos, ríos o meandros permite separar estos objetos geográficos luego de aplicar el algoritmo de agrupamiento **Figura 6c**. Finalmente, en la **Figura 6d** se visualiza un ejemplo de retén de agua.

Dado que k-means es un algoritmo no supervisado, la validación de las categorías propuestas por el modelo se llevó a cabo con expertos en cuerpos de agua. Este proceso se realizó de manera cualitativa, observando si los clusters resultantes eran coherentes con las clases conocidas de cuerpos de agua. Si bien, la muestra fue pequeña y al azar, la validación permitió verificar la correspondencia entre las agrupaciones generadas por k-means y las categorías informadas por los especialistas



**Figura 6.** Resultados de la clasificación: imagen de alta resolución (primera columna), imagen sentinel 2-A (segunda columna) y clasificación superpuesta (tercera columna). a)Cuerpo de agua irregular, b) Cuerpo de agua más regular, c) Meandro y d) retén de agua creados artificialmente.

## 5. Conclusión

La metodología propuesta permite la segmentación, clasificación y luego categorización de cada cuerpo de agua que compone el Pantanal Brasileño. El uso de aprendizaje de máquina no supervisado k-means permitió categorizar los objetos geográficos en cuatro grupos. Este algoritmo ofrece una valiosa herramienta para el análisis y la comprensión de las características morfológicas del terreno. El uso de bandas espectrales como el infrarrojo cercano en combinación con bandas del espectro visible resulta de un método sencillo para la segmentación de cuerpo de agua.

Al segmentar los datos en clústeres, K-means permite identificar patrones que destacan las diferentes regiones de acuerdo a su morfología. A diferencia de técnicas supervisadas donde es necesario el etiquetado de información para poder clasificar objetos, esta metodología no

necesita datos etiquetados previamente. En el caso del Pantanal, dada la gran cantidad de objetos geográficos que lo conforman, resultaría una tarea que insumiría elevados recursos de proceso y humanos. Los resultados no solo proporcionan una comprensión más profunda de los cuerpos de agua del Pantanal, sino que también pueden servir para la toma de decisiones ambientales, sociales o económicas. La cantidad de información evaluada se realizó a través de la plataforma Google Earth Engine y la misión Sentinel-2. Estas proporcionan información y herramientas a investigadores y profesionales que permiten el estudio de características de la tierra.

Con la capacidad de procesar y analizar enormes cantidades de datos de manera eficiente, estas plataformas están revolucionando la forma en que se estudia y se comprende nuestro planeta, permitiendo la realización de investigaciones a gran escala y la toma de decisiones informadas en áreas que van desde la gestión ambiental hasta la agricultura de precisión. Como trabajo futuro se propone la elaboración de un catálogo de tipo de cuerpo de agua dentro del Pantanal que pueda ser usado para el estudio espacio-temporal de los humedales.

## 6. Referencias

- Abburu, S., & Golla, S. B. Satellite image classification methods and techniques: A review. **International journal of computer applications**, 119(8). 2015.
- Adámoli, J., & Pott, A. (1999). Las fuentes de diversidad en el Pantanal. IN: MATTEUCCI, S., SOLBRIG, O., MORELLO, J. & G. HALFFTER (eds.), **Biodiversidad y uso de la tierra: conceptos y ejemplos en Latinoamérica**. UNESCO y Universidad de Buenos Aires, 317-360.
- Avci, C., Budak, M., Yağmur, N., & Balçık, F. (2023). Comparison between random forest and support vector machine algorithms for LULC classification. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(1), 1-10.
- Bezerra, F. G. S., de Toledo, P. M., von Randow, C., de Aguiar, A. P. D., Lima, P. V. P. S., dos Anjos, L. J. S., & Bezerra, K. R. A. (2022). Spatio-temporal analysis of dynamics and future scenarios of anthropic pressure on biomes in Brazil. **Ecological Indicators**, 137, 108749.
- Dice, L. R. (1945). Measures of the amount of ecologic association between species. *Ecology*, 26(3), 297-302.
- Heilbronner, R., Barrett, S., Heilbronner, R., & Barrett, S. (2014). Shape descriptors. *Image analysis in Earth sciences: microstructures and textures of Earth materials*, 323-347.
- Jean Milien, E., Nunes, G. M., Pierre, G., Hamilton, S. K., & Da Cunha, C. N. (2023). Hydrological dynamics of the Pantanal, a large tropical floodplain in Brazil, revealed by analysis of Sentinel-2 satellite imagery. *Water*, 15(12), 2180.
- Junk, W. J. (Ed.). (2013). *The central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system* (Vol. 126). **Springer Science & Business Media**.
- Immitzer, M., Atzberger, C., & Koukal, T. (2012). Tree species classification with random forest using very high spatial resolution 8-band WorldView-2 satellite data. *Remote sensing*, 4(9), 2661-2693.
- Brasil (2022), Ministério do Meio Ambiente. Relatório Probio-Pantanal. MMA. <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-ecossistemas/ecossistemas/biomas/pantanal>.
- Naciones Unidas ONU: The Agenda 2030. Available from: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Neal, F. B., & Russ, J. C. (2012). *Measuring shape*. CRC Press.
- MacQueen, J. (1967, June). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability* (Vol. 1, No. 14, pp. 281-297).
- MacKay, D. J. (2003). **Information theory, inference and learning algorithms**. Cambridge university press.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- QGIS.org, 2024. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>

Ramsar Homepage, <https://www.ramsar.org/>. Último acesso 28 de Fevereiro de 2024.

Subbiah, B., & Christopher, S. C. (2012). Image classification through integrated K-Means algorithm. **International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)**, 9(2), 518.

Usman, B. (2013). Satellite imagery land cover classification using k-means clustering algorithm computer vision for environmental information extraction. **Elixir International Journal of Computer Science and Engineering**, 63, 18671-18675.

Wurm, M., Stark, T., Zhu, X. X., Weigand, M., & Taubenböck, H. (2019). Semantic segmentation of slums in satellite images using transfer learning on fully convolutional neural networks. **ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing**, 150, 59-69.

Zhang, D., & Lu, G. (2004). Review of shape representation and description techniques. *Pattern recognition*, 37(1), 1-19.

Zhang, T., Su, J., Xu, Z., Luo, Y., & Li, J. (2021). Sentinel-2 satellite imagery for urban land cover classification by optimized random forest classifier. **Applied Sciences**, 11(2), 543.



## **Estudo da influência de parâmetros de configuração da câmera na classificação de imagens de aeronaves remotamente pilotadas por geobia**

João Edson Costa Ferreira da Silva <sup>1</sup>

Débora Paula Simões <sup>2</sup>

Marcelo Junqueira Ferraz <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal do Mato Grosso, Departamento de Engenharia Florestal,  
Av. dos Ramirez, SN – Cáceres-MT, Brasil.  
joao.edson@ifmt.edu.br

<sup>2</sup> Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, Setor de Agrimensura e Cartografia,  
Praça Tiradentes, 416 – Inconfidentes – MG, Brasil.  
debora.simoed@ifsuldeminas.edu.br

<sup>3</sup> Universidade Federal de Lavras, Departamento de Agricultura,  
Aqueanta Sol, SN – Lavras-MG, Brasil.  
marcelo.ferraz1@estudante.ufla.br

**Resumo.** A aquisição de imagens através de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) é desafiadora. Considerando a importância dos parâmetros da câmera na aquisição das imagens por ARP, o estudo teve como objetivo avaliar a influência dos parâmetros de configuração da câmera (ISO, Obturador e Abertura) na classificação de imagens de ARP por GEOBIA. Foram obtidas 6 imagens, da área de estudo, a partir de uma posição de voo fixa, utilizando o Mavic 3 classic, com diferentes parâmetros de configuração da câmera. As imagens foram segmentadas utilizando o algoritmo multiresolution e classificadas de maneira supervisionada, utilizando o classificador *Nearest Neighbor* (Vizinho mais próximo). A classificação foi validada através do software QGIS 3.36.3, a partir do *plugin Acatama*, que gerou a matriz de confusão e a acurácia geral. Além disso, utilizou-se IGU (Índice Geral do Usuário) e IGP (Índice Geral do Produtor) como ferramentas de avaliação. Foram obtidos parâmetros os valores médios de Matiz, Brilho e Saturação das imagens e analisadas a correlação entre as variáveis Acurácia Geral, IGP e IGU. Concluiu-se que quanto maior a exposição, isto é, maior o valor de ISO, pior serão os resultados da classificação em função do brilho excessivo (para os mesmos valores de abertura do diafragma e f). O método de amostragem proporcional às áreas tende a ser viesado quando há grandes áreas uniformes e homogêneas. Os índices IGP e IGU – estabelecidos neste trabalho – auxiliam na detecção de confusões entre as classes, tornando possível uma avaliação dos dados em outra perspectiva.

**Palavras-chave:** Parâmetros de Câmera, Sensoriamento Remoto, Processamento de Imagens, Classificação Orientada a Objeto.

**Abstract.** The acquisition of images by Remotely Piloted Aircraft (RPA) is challenging. Considering the importance of camera parameters in the acquisition of PRA images, this study aimed to evaluate the influence of camera configuration parameters (ISO, Shutter and Aperture) on the classification of PRA images by GEOBIA.

Six images of the study area were obtained from a fixed flight position using the Mavic 3 classic, with different camera configuration parameters. The images were segmented using the multiresolution algorithm (Definiens, 2007) and classified in a supervised manner using the Nearest Neighbor classifier. The classification was validated using QGIS 3.36.3 software, using the Acatama plugin (Liano, 2019), which generated the confusion matrix and overall accuracy. In addition, the UGI (General User Index) and PGI (General Producer Index) were used as evaluation tools. The average Hue, Brightness and Saturation values of the images were obtained and the correlation between the General Accuracy, GPI and GPI variables was analyzed. It can be concluded that the greater the exposure, i.e. the higher the ISO value, the worse the classification results will be as a result of excessive brightness (for the same diaphragm aperture and f values). The area-proportional sampling method tends to be biased when there are large uniform and homogeneous areas. The IGP and IGU indices - established in this work - help to detect confusion between classes, making it possible to evaluate the data from another perspective.

**Key-words:** GEOBIA, Remotely Piloted Aircraft, Camera Parameters, Remote Sensing, Image Processing.

## 1. Introdução

A aquisição de imagens através de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) – popularmente conhecidas como drones – é desafiadora no que tange a qualidade posicional e espectral da imagem para uma aplicação específica. Não obstante, é comum estudos que apontam a precisão alcançada nos produtos cartográficos oriundos de ARP. Como exemplos, Pedreira, De Andrade Oliveira e Santos (2020) avaliaram a acurácia altimétrica dos produtos, para diferentes níveis de declividade (classes); já Agüera-Vega (2017) abordam a influência da altitude de voo, morfologia do terreno e o número de pontos de controle de solo (Ground Control Points – GCPs) nas precisões do modelo digital de superfície (Digital Surface Model – DSM) e da ortomagem, obtidos com veículo aéreo não tripulado (Unmanned Aerial Vehicle – UAV).

Junto à precisão das imagens e à qualidade dos produtos cartográficos oriundos de ARP, encontram-se as potenciais formas de classificação das imagens. Dentre as principais, destaca-se a classificação Orientada a Objeto (GEOBIA) Hay e Castilla, (2008); Blaschke, (2010), que se mostra eficaz com imagens oriundas de ARP, considerando o poder da resolução espacial das câmeras acopladas nas aeronaves, bem como o nível de detalhamento que é possível obter a partir destas imagens, viabilizando a abordagem a objetos. Em corroboração, destaca-se o estudo de Braz et al. (2021), que aborda a classificação orientada a objeto (GEOBIA) para imagens de altíssima resolução espacial, oriundas de ARP, e apresenta resultados significativos. E Silva et al. (2022) utilizam a GEOBIA para a delimitação de voçorocas, a partir de imagens de ARP.

Na abordagem orientada a objeto, o uso de segmentadores é uma ferramenta fundamental. Nesse contexto, destaca-se a segmentação multiresolution Definiens, (2007), que apresenta resultados significativos para as mais diversas aplicações, como apontam os estudos de Salsabili, Chan e Ukwatta (2024), Jiang (2021) e Safonova (2021), por exemplo.

É sabido que existem diferentes parâmetros e configurações para aquisição de imagens, e que estes possuem influência direta na sua composição. Comumente utilizados em trabalhos fotográficos, tais parâmetros são capazes de controlar a exposição o fluxo de entrada de radiação eletromagnética na imagem. Kriss (1998) dedicou estudos a construção de modelos confiáveis para a determinação da velocidade ISO para câmeras CCD. Baer e Holm (1999) apresentam um algoritmo que pode ser usado para prever a velocidade ISO de uma câmera digital com base nos fundamentos do CCD. De Jesus Silva (2020) realizou um estudo com câmera semiprofissional a fim de entender os mecanismos do funcionamento da câmera, analisando o efeito da abertura do diafragma (número f) e da distância focal sobre a profundidade de campo durante o processo de

aquisição e formação de imagens, bem como o efeito da velocidade (obturador), da iluminação natural e externa (artificial) e do fator ISO (sensibilidade) sobre a qualidade final das imagens.

Diante desses estudos, verifica-se a importância da correta configuração dos parâmetros do sensor com o qual as imagens de ARP serão adquiridas para que se tenha um produto final confiável, especialmente quando se fala em produtos cartográficos destinados a aplicações que exigem alta precisão, tal como a agricultura de precisão.

## 2. Objetivos

Considerando a importância dos parâmetros da câmera na aquisição das imagens por ARP, este estudo tem como objetivo avaliar a influência dos parâmetros de configuração da câmera (ISO, Obturador e Abertura) na classificação de imagens de ARP por GEOBIA.

## 3. Material e métodos

A área de estudo escolhida para a obtenção das imagens situa-se no IFMT Campus Cáceres – Prof. Olegário Baldo, em Cáceres – MT. A escolha de tal área se dá pela disponibilidade e diversidade de alvos pré-sinalizados em campo, bem como pelo conhecimento do local por parte dos autores – o que é necessário para validação da classificação da imagem.

Para a obtenção das imagens utilizou-se uma ARP DJI Mavic 3. Foram obtidas 6 imagens, com diferentes configurações fotográficas, conforme **Tabela 1**. Todas elas foram obtidas de uma mesma posição fixa (Latitude: 16°07'51,89" e Longitude: 57°41'32,52"), a 100 m de altura (altitude de voo = 224,35m) com Ground Sample Distance(GSD) de aproximadamente 3 cm/pixel em um curto espaço de tempo (entre 10 h 26 min e 10 h 29 min), a fim capturar os objetos com condições ambientais mais próximas possíveis em todas as imagens.

**Tabela 1.** Configurações fotográficas .

<b>IMAGEM</b>	<b>ISO</b>	<b>OBTURADOR</b>	<b>ABERTURA</b>	<b><i>f</i></b>
<b>582</b>	100	1/800	2.8	2.8
<b>583</b>	200	1/800	2.8	2.8
<b>584</b>	400	1/800	2.8	2.8
<b>587</b>	100	1/1600	2.8	2.8
<b>588</b>	100	1/4000	2.8	2.8
<b>589</b>	100	1/8000	2.8	2.8

As imagens obtidas foram submetidas ao processo de segmentação multiresolution no software Ecognition 9. O algoritmo de segmentação multiresolution mescla consecutivamente pixels ou objetos de imagem existentes. Essencialmente, o procedimento identifica objetos de imagem única de um pixel de tamanho e os mescla com seus vizinhos, com base em critérios de homogeneidade relativa. Este critério de homogeneidade é uma combinação de critérios espectrais e de forma Trimble, (2019). Os parâmetros de segmentação foram definidos em função dos critérios de Escala, Forma e Compacidade, conforme Definiens (2007).

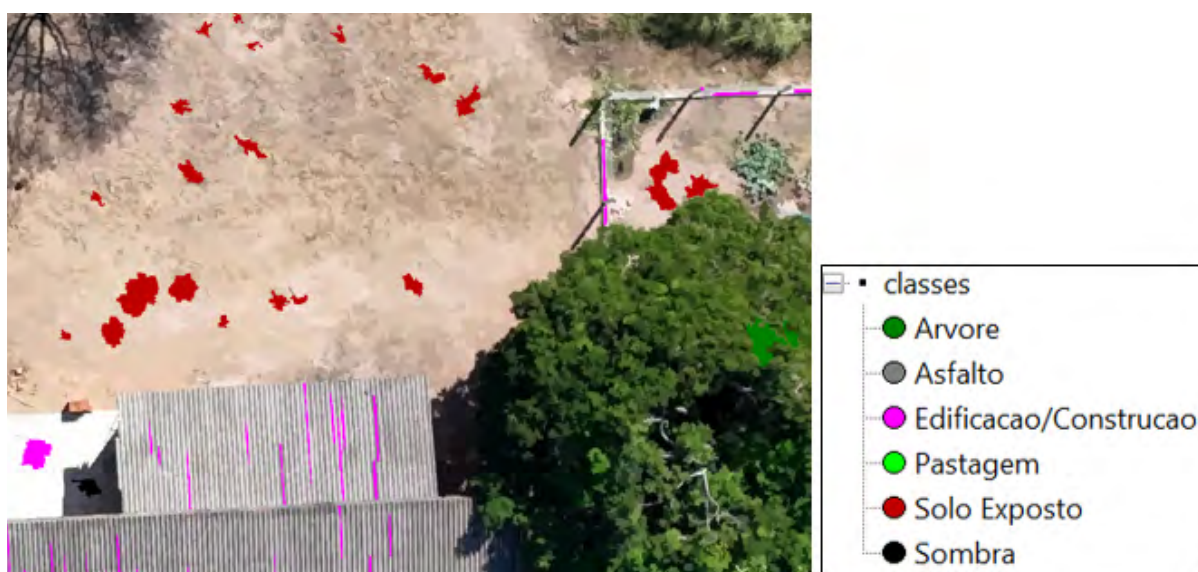
Para este estudo, foram mantidos os mesmos parâmetros de segmentação para todas as imagens, a fim de avaliar o comportamento do segmentador em função dos parâmetros do sensor para aquisição das imagens. Nesse sentido, os parâmetros de segmentação utilizados foram: Peso = 1 (para todas as bandas – RGB); Escala = 20; Forma = 0.4; e Compacidade = 0.7. Tais parâmetros foram determinados de maneira empírica baseados em testes realizados no decorrer deste estudo. A **Figura 1** apresenta a imagem 582 e parte de sua segmentação.



**Figura 1.** Segmentação da Imagem 582.

Após a segmentação iniciou-se o processo de classificação supervisionada das imagens, utilizando o classificador Nearest Neighbor (NN - Vizinho mais próximo), muito adotado para classificação de imagens de alta resolução provenientes de drones. Como exemplo, Lima et al. (2021) utilizaram os algoritmos multiresolution e Nearest Neighbor para a segmentação e classificação supervisionada, respectivamente, de imagens obtidas com ARPs, a fim de identificar uma espécie invasora em uma floresta.

Ponzoni et al. (2012) e Florenzano (2011) consideram que, no método supervisionado, as classes são definidas prioritariamente, considerando que o usuário dispõe de informações que permitam a identificação de todas as classes de interesse presentes na imagem. Assim, as amostras contendo os números digitais dos pixels são extraídas e informadas ao algoritmo de classificação. No presente estudo, definiram-se 6 classes para a classificação das imagens: Asfalto, Árvores, Edificação/Infraestrutura, Solo Exposto, Sombra e Pastagem. Foram obtidos, aproximadamente, 40 segmentos amostrais de cada classe para cada imagem obtida (**Figura 2**).



**Figura 2.** Exemplo da coleta de segmentos amostrais para classificação supervisionada.

Após, a classificação das imagens, a imagem classificada (arquivo raster) foi exportada para a visualização dos resultados e validação da classificação supervisionada. O processo de validação da classificação se deu no software QGIS 3.36.3, a partir do plugin Acatama (Sort for Accuracy Assessment of Thematic Maps), um plugin do QGIS para avaliação de precisão de classificações do uso/cobertura do solo, incluindo a classificação supervisionada/não supervisionada ou qualquer mapa temático, que foi desenvolvido pelo Grupo do Sistema de Monitoramento Florestal e de Carbono para a validação de mapas únicos Liano, (2019).

Na validação de mapas de uso e cobertura do solo, comumente gerados a partir de técnicas de classificação de imagens, fundamentalmente deve existir um conjunto de dados amostrais resultantes da classificação da imagem e um conjunto de amostras de referência (verdade de campo). Stehman e Czaplewski (1998) afirmam que a Unidade de Amostragem pode ser definida como a unidade de comparação entre os dados de referência e os dados do mapa. É também referida como a unidade fundamental sobre a qual se baseia a avaliação da acurácia, uma vez que liga a localização espacial no mapa com a localização correspondente no solo. Congalton e Green (2009) apontam que, pelo menos, 50 unidades amostrais devem ser coletadas para cada classe de cobertura da terra. Já Stehman (2001) ressaltam que um conjunto com 100 unidades amostrais por classe garante que a precisão possa ser estimada com um desvio padrão não superior a 0,05. Apesar dessas referências, o valor mínimo das unidades amostrais por classe de cobertura do solo varia de acordo com o rigor da classificação Congalton e Green, (2019); Stehman e Foody, (2019). Neste estudo, as amostras foram determinadas pelo Método Randômico Estratificado (MRE), baseado na Proporção de área de cada classe. Embora o número de amostras por classe seja variável em função da área da classe em cada uma das imagens, ao todo foram coletadas 396 amostras para cada uma das imagens, considerando um Erro Padrão Geral esperado de 0,005.

Ressalta-se, ainda para a etapa de validação, que o plugin Acatama conta com a implementação de três desenhos amostrais principais: aleatório simples, aleatório estratificado e amostragem sistemática – todos são desenhos probabilísticos de amostragem. Liano (2019) destaca que as amostragens aleatórias simples e sistemáticas são desenhos fáceis e práticos, representando desenhos homogêneos e proporcionais, que resultam em um tamanho suficiente de área amostral para produzir estimativas precisas. No entanto, quando há áreas pequenas ou raras em comparação com a área total, recomenda-se amostragem estratificada. Por isso, neste estudo, optou-se pelo desenho amostral aleatório estratificado, que é recomendado por Olofsson et al. (2014) para garantir que classes raras estejam bem representadas. Para a amostragem estratificada, Cochran (1977) fornece a seguinte fórmula de tamanho amostral Cochran, (1977); Olofsson et al., (2014) (**Equação 1**).

$$n = \frac{(\sum w_i s_i)^2}{[s(\hat{\delta})]^2 + (1/N) \sum w_i s_i^2} \approx \left( \frac{\sum w_i s_i}{[s(\hat{\delta})]} \right)^2 \quad s_i = \sqrt{U_i * (1 - U_i)} \quad (1)$$

Em que:

N = número de unidades na região de estudo;

S ( $\hat{\delta}$ ) = erro padrão da acurácia global esperada;

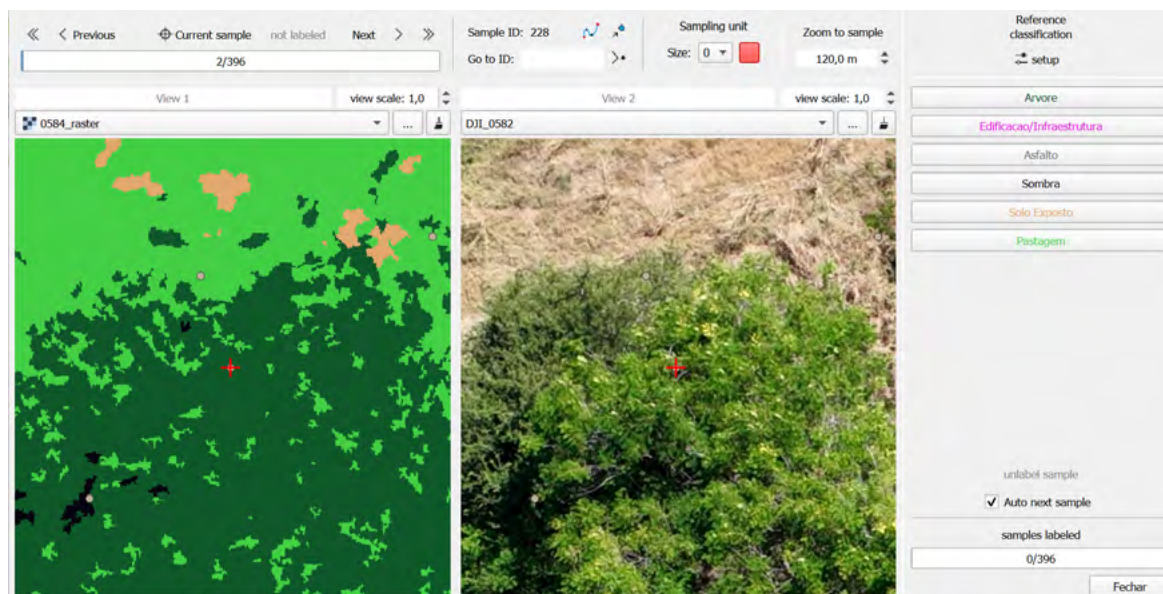
W<sub>i</sub> = proporção mapeada da área da classe i

S<sub>i</sub> = desvio padrão do estrato i dado por S<sub>i</sub> =  $\sqrt{U_i * (1 - U_i)}$ , em que U<sub>i</sub> é a acurácia esperada pela classe i.

Como N é geralmente muito grande, o segundo termo no denominador da **Equação 1** pode ser descartado.

Após a definição do desenho amostral, iniciou-se a etapa conhecida por “desenho de

resposta”, que tem como objetivo atribuir para cada uma das unidades amostrais a sua classe verdadeira (verdade de campo). Para isso, o plugin conta com duas janelas: uma apresenta a posição da amostra na classificação e a outra um produto cartográfico a ser escolhido como verdade de campo (**Figura 3**). Considerando que a área de estudo é conhecida dos autores e que as imagens obtidas com a ARP possuem alta resolução espacial (Câmera com CMOS de 4/3 – 20 Mega Pixels), a imagem foi adotada como base cartográfica para definição das amostras correspondentes às verdades de campo.



**Figura 3.** Etapa de resposta e rotulagem das amostras.

Uma vez cumprida a etapa do desenho de resposta, iniciou-se a etapa de análise, que consiste na definição do Estimador e geração dos resultados para avaliação da acurácia. Para este estudo, utilizou-se o Estimador Estratificado e os resultados de avaliação da acurácia analisados foram: Matriz de Erros, Acurácia Global (Exatidão Global) Bishop et al. (1975), Acurácia do Produtor (AP) e Acurácia do Usuário (AU) Congalton; Green, (1999); Lillesand et al., (2004). Lima et al. (2021) definem Acurácia Global como a razão entre o número de amostras classificadas corretamente e o número de amostras totais. A Acurácia do Produtor corresponde à razão entre o número de elementos de uma classe classificadas corretamente e o número total de elementos classificados para esta classe Congalton; Green, (1999); Lillesand et al., (2004), sendo a probabilidade de um objeto ser excluído (não classificado) da classe a que ele pertence. E a Acurácia do Usuário reflete os erros de comissão que indicam a probabilidade de um elemento classificado em uma determinada classe realmente pertencer a essa classe Lillesand et al., (2004).

A fim de apresentar os resultados de maneira mais concisa e efetiva, estabeleceram-se duas métricas avaliativas denominadas de Índice Geral de Produtor (IGP) e Índice Geral do Usuário (IGU), que correspondem à soma da acurácia do Produtor e do Usuário, respectivamente, de cada uma das classes (**Equações 2 e 3**).

$$IGP = \sum AP_c \quad (2)$$

$$IGU = \sum AU_c \quad (3)$$

Esses índices foram definidos uma vez que a média da Acurácia do Produtor e a média

da Acurácia do Usuário não são capazes de refletir corretamente a precisão alcançada na classificação porque o conjunto amostral da validação foi obtido em função da área de cada classe. Portanto, as classes com maior área na imagem e, conseqüentemente, com maior número de amostras, poderiam resultar em acurácias melhores do que para outras classes pelo simples fato do conjunto amostral ser mais amplo. Para evitar essa validação tendenciosa, os índices IGP e IGU foram estabelecidos, cujo valor ideal é 6 já que resulta da soma das acurácias de 6 classes para cada imagem – 6 multiplicado por 1, que representaria acurácia total (100% de acertos).

#### 4. Resultados e discussão

As imagens de origem possuem diferentes tonalidades em função dos parâmetros de configuração da câmera (ISO, obturador e abertura). Quanto mais rápida a velocidade do obturador, mais escura a imagem devido a menor incidência de fótons de luz captados pelo sensor, como se pode perceber ao visualizar as imagens 587, 588 e 589, por exemplo. Já as imagens que possuem maior fator ISO, mantendo fixos f e velocidade do obturador, à medida que a sensibilidade à iluminação foi incrementada, mais clara a tonalidade da imagem (como as imagens 583 e 584) – isso corrobora com o trabalho de De Jesus Silva (2020).

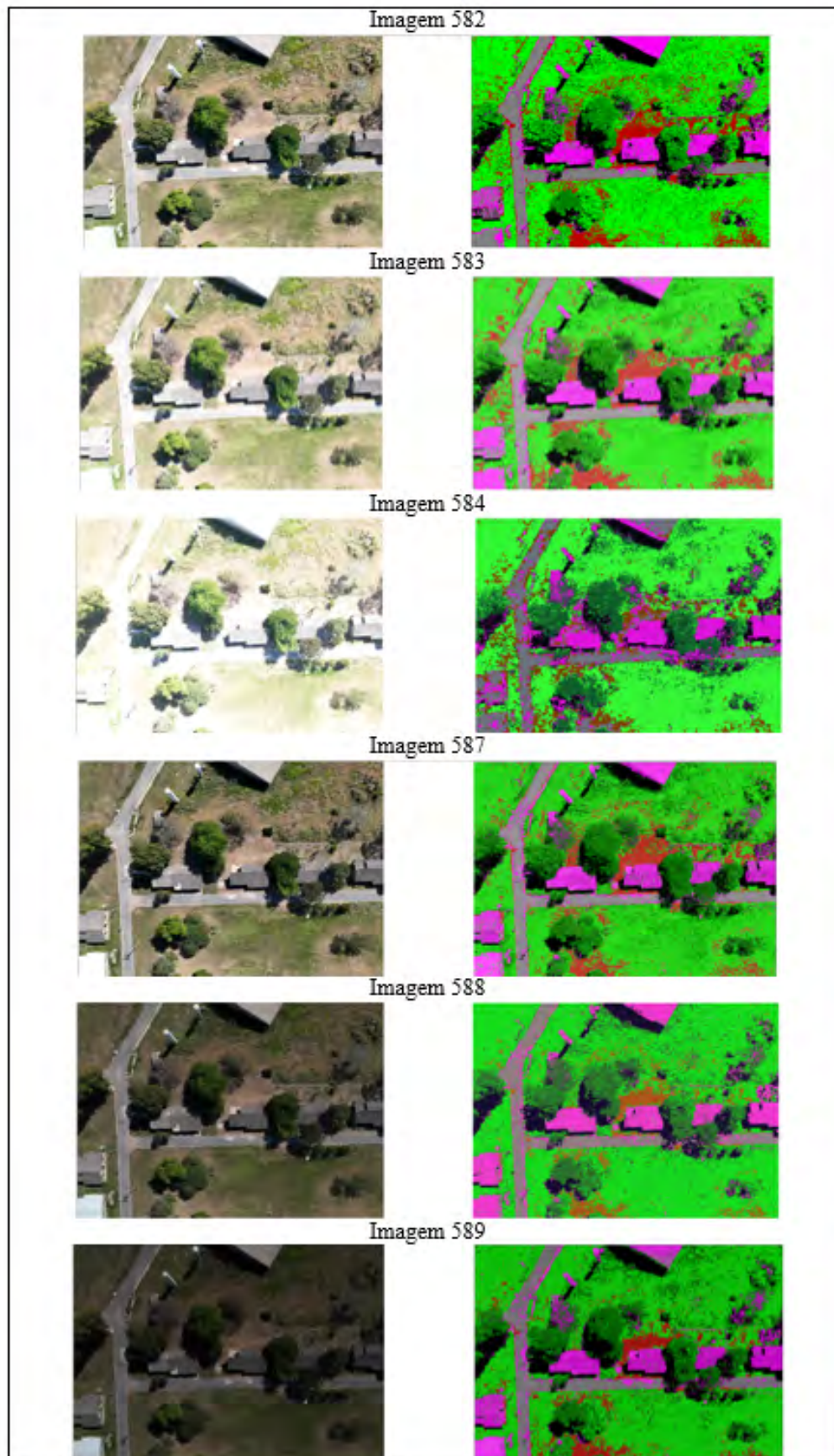
Tais diferenças espectrais nas imagens originais resultaram em classificações distintas, como pode-se observar na **Figura 4**. A **Tabela 2** apresenta a Acurácia Geral da classificação de cada imagem e seu respectivo desvio padrão, bem como o resultado calculado para IGP e IGU de cada imagem.

**Tabela 2.** Resultado da classificação das imagens.

<b>Imagem</b>	<b>Acurácia Geral</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>IGP</b>	<b>IGU</b>
<b>582</b>	0,77925	0,01981	4,568	4,378
<b>583</b>	0,84795	0,01726	5,060	5,051
<b>584</b>	0,7601	0,01932	3,303	4,067
<b>587</b>	0,78748	0,01888	4,641	4,630
<b>588</b>	0,82872	0,01809	4,879	4,907
<b>589</b>	0,8007	0,01905	4,650	4,619

É possível perceber que todas as imagens obtiveram uma porcentagem de acertos acima de 75%, o que caracteriza uma boa classificação das imagens. No entanto, foi possível perceber que o grande número de acertos geral se deu pela grande proporção de acertos na classe de maior distribuição de amostras – no caso, a classe “Pastagem”. Nesse sentido, é necessária a análise de outros índices de comparação, além da Acurácia Geral, para a validar os resultados das classificações, sobretudo no que tange a confusão das classes. Nesse contexto, ao avaliar os índices IGP e IGU, observa-se que quanto melhores os valores dos referidos índices (valores mais próximos de 6) melhor também a Acurácia Geral da imagem.

Há, portanto, uma relação direta entre os índices IGP, IGU e Acurácia Geral, como esperado matematicamente. Como exemplo, para a imagem 583, que apresenta as melhores métricas avaliativas, ao analisar as acurácias do produtor e do usuário de maneira mais detalhada, percebeu-se que a imagem apresentou um melhor desempenho em ambas as acurácias para todas as classes e, conseqüentemente, houve um maior equilíbrio na confusão entre as classes.



**Figura 4.** Imagens originais (à esquerda) e Imagens classificadas (à direita).



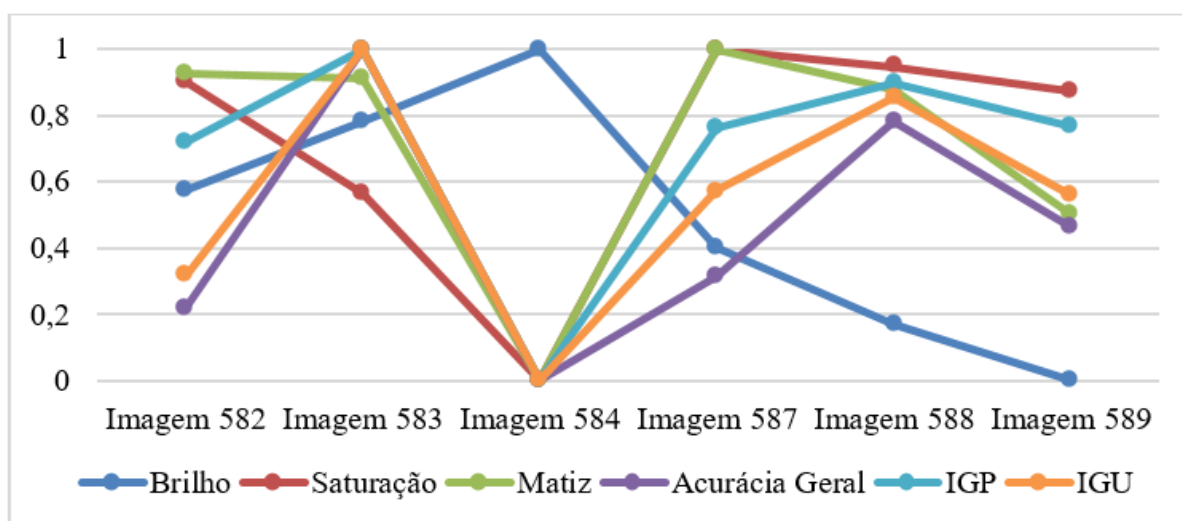
A confusão predominante nesta imagem foi entre as classes *Árvore* e *Pastagem*, o que é compreensível dada a resposta espectral dessas duas classes em função dos parâmetros de configuração do sensor no momento da aquisição das imagens, conforme pode-se visualizar na **Figura 4**.

Os índices IGP e IGU contribuem para uma análise mais pontual e menos viesada em relação a Acurácia Geral. A exemplo cita-se a imagem 584, que possui acurácia geral significativa (76,01%) sobretudo pela grande quantidade de acertos na classe *pastagem*, porém sem êxito em outras classes importantes. Essa imagem possui os maiores níveis de confusão, sobretudo das classes *Solo Exposto* e *Pastagem*, e *Edificação/Infraestrutura* e *Asfalto*. Além disso, a imagem 584 possui o maior brilho, devido ao alto ISO (Alta exposição), o que indica que uma alta exposição pode contribuir com a confusão de tais classes. Porém, cabe ressaltar que a imagem apresentou 100% de acerto nas áreas de sombra, o que permite inferir que a alta exposição (ISO elevado) pode contribuir para maiores acertos deste tipo de elemento.

Outra análise proposta é a correlação linear (**Tabela 3**) entre as variáveis IGP, IGU e Acurácia Global, com os valores médios de Brilho, Saturação e Matiz da imagem. Utilizou-se a plataforma Google Colab (linguagem de programação Python) para a determinação dos valores médios de Brilho, Saturação e Matiz de cada imagem, bem como para a determinação dos coeficientes de correlação entre as variáveis (**Tabela 3**). A **Figura 5** ilustra os valores médios de brilho, saturação e matiz de cada imagem em comparação com os valores da acurácia global, IGP e IGU obtidos para as classificações correspondentes. Para uma comparação adequada, todos os valores foram normalizados entre 0 e 1.

**Tabela 3.** Coeficientes de correlação.

Atributos	Coeficientes de Correlação		
	Média do Brilho	Média da Saturação	Média do Matiz
IGP	-0,56	0,79	0,87
IGU	-0,40	0,52	0,69
Acurácia Geral	-0,27	0,33	0,55



**Figura 5.** Comparação entre as características das imagens originais e os resultados de suas classificações.

Com base na **Tabela 3**, é possível inferir que há uma correlação forte para os índices IGP e IGU no que concerne a média da saturação e média do matiz (coeficiente de correlação maior que 0,5). Observando-se o valor de matiz das imagens (**Figura 5**), pode-se perceber que as imagens que apresentaram há uma relação linear entre o valor de IGP e a matiz e a saturação. A correlação forte negativa entre o brilho e os índices IGP e IGU e a Acurácia Geral fica clara na **Figura 5**: quanto maior o brilho, menor a precisão alcançada na classificação das imagens – o que reforça os resultados obtidos para a imagem 584, discutidos nos parágrafos anteriores.

## 5. Conclusões

O estudo realizado permite a análise da influência das configurações da câmera para aquisição de imagens por ARP na classificação da imagem por GEOBIA, com destaque para o fato de que, quanto maior a exposição, isto é, maior o valor de ISO, pior serão os resultados da classificação em função do brilho excessivo (isso para os mesmos valores de abertura do diafragma e *f*). O método de amostragem proporcional às áreas para validação da classificação tende a ser viesado quando há grandes áreas uniformes e homogêneas, de fácil identificação, como o caso da presença da classe Pastagem nesse estudo, que elevou significativamente os resultados da Acurácia Geral para as imagens. Nesse sentido, os índices IGP e IGU – estabelecidos neste trabalho – auxiliam na detecção de confusões entre as classes, tornando possível uma avaliação dos dados em outra perspectiva.

## 6. Referências

- Agüera-Vega, Francisco; Carvajal-Ramírez, Fernando; Martínez-Carricondo, Patricio. Precisão de modelos digitais de superfície e ortofotos derivadas de fotogrametria de veículos aéreos não tripulados. **Journal of Surveying Engineering**, v. 143, n. 2, p. 04016025, 2017.
- Baer, Richard L.; Holm, Jack. A model for calculating the potential ISO speeds of digital still cameras based upon CCD characteristics. In: **PICS**. 1999. p. 35-38.
- Bishop, Y.; Fienberg, S.; Holland, P. Discrete multivariate analysis: theory and practice. Cambridge: MIT, 575 p., 1975.
- Blaschke, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, vol. 65, p. 2-16, 2010.
- Braz, Adalto Moreira et al. Geobia E Mineração de Dados para Classificação de Imagens de Altíssima Resolução Espacial. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 19, n. 3, p. 209-224, 2021.
- Cochran, W. G. (1977). Sampling techniques . New York: John Wiley & Sons.
- Congalton, R. G. & Green, K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. New York: Lewis Publishers, 1999.
- Congalton, R. G., & Green, K. (2019). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data Principles and Practices. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group
- Definiens Ag. Definiens Developer 7. Reference Book. Document Version 7.0.0.843. 195p. 2007.
- De Jesus Silva, Agmar José. Metodologia de ajuste de parâmetros para aquisição de imagens de boa qualidade utilizando uma câmera fotográfica semiprofissional comercial. **Revista Sítio Novo**, v. 4, n. 4, p. 202-216, 2020.
- Florenzano, T. G. Iniciação em sensoriamento remoto. 3 ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2011.
- Hay, G. J.; Castilla, G. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): a new name for a new discipline. In: Blaschke, T.; Lang, S.; Hay, G. J. (Org.). Object-based image analysis: spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications. Berlin: Springer, 2008. p. 75-89.
- Jiang, Zhengqiang et al. Segmentação de vasos coronários usando multirresolução e aprendizado profundo multiescala. **Informatics in Medicine Unlocked**, v. 24, p. 100602, 2021.

Silva Et Al. Delimitação De Voçorocas Por Meio De Geobia (Geographic Object Based Image Analysis) E Mineração De Dados, Utilizando Produtos Cartográficos De Aeronaves Remotamente Pilotadas (Arp). **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 80, n. 2, 18 nov. 2022.

Lillesand, T. M. et al. Remote sensing and image interpretation. New York: John Wiley and Sons, 2004.

Lima, Carla Luciane et al. Detecção da espécie exótica invasora *Hovenia dulcis* por meio de classificação supervisionada. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 44110-44127, 2021.

Llano Xc (2019) AcATaMa - QGIS plugin for Accuracy Assessment of Thematic Maps, version 19.11.21. <https://plugins.qgis.org/plugins/AcATaMa/>.

Kriss, Michael A. Modelo para velocidades de câmera CCD ISO equivalentes. In: **Câmeras Digitais de Estado Sólido: Projetos e Aplicações**. SPIE, 1998. p. 56-67.

Olofsson, P., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E. & , M. A. Wulder. 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148: 42–57

Pedreira, Wallace John Pereira; De Andrade Oliveira, Joanito; Santos, Pablo Santana. Avaliação da acurácia altimétrica usando a tecnologia VANT. **Revista Caminhos da Geografia**, v. 21, n. 3, p. 209-22, 2020.

Ponzoni, F. J. et al. Sensoriamento Remoto da Vegetação. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012

Salsabili, Sina; Chan, Adrian Dc; Ukwatta, Eranga. Multiresolution semantic segmentation of biological structures in digital histopathology. **Journal of Medical Imaging**, v. 11, n. 3, p. 037501-037501, 2024.

Safonova, Anastasiia et al. Olive tree biovolume from UAV multi-resolution image segmentation with mask R-CNN. *Sensors*, v. 21, n. 5, p. 1617, 2021.

Stehman, S. V., Czaplewski, R. L. (1998). Desenho e análise para avaliação da acurácia de mapas temáticos: fundamental Princípios. *Sensoriamento remoto do ambiente*, 66(3), 311-326. Link

Stehman, Stephen V. Rigor estatístico e utilidade prática na avaliação da precisão de mapas temáticos. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 67, n. 6, p. 727-734, 2001.

Stehman, S. V., Foody, G. M. (2019). Key issues in rigorous accuracy assessment of land cover products. *Remote Sensing of Environment*, 231, 1-23

Trimble; ECognition® Developer -Reference Book, TrimbleDocumentation, München, 2019. Disponível em: <[https://docs.ecognition.com/v9.5.0/ecognition\\_documentation/User%20Guide%20Developer/4%20Basic%20Rule%20Set%20Editing.htm](https://docs.ecognition.com/v9.5.0/ecognition_documentation/User%20Guide%20Developer/4%20Basic%20Rule%20Set%20Editing.htm)>. Acesso em 29 de junho d

## **Combinação de dados remotos de satélite geostacionário com heliossíncrono na identificação e mapeamento sistemático de incêndios florestais no Estado de Mato Grosso do Sul**

Alesandro Copatti <sup>1</sup>  
Waleria Menezes Barros <sup>2</sup>  
Antonio Conceição Paranhos Filho <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul - IMASUL  
Gerência de Recursos Pesqueiros e Fauna.  
Rua Desembargador Leão Neto do Carmo, s/nº -  
Quadra 03 - Setor 03 Parque dos Poderes  
79031902 - Campo Grande, MS - Brasil  
alesandro.copatti@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS  
Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo e Geografia - FAENG  
Laboratório de Geoprocessamento para Aplicações Ambientais  
Campus Universitário, S/N.  
79070-900, Campo Grande, MS - Brasil  
waleriabarro@gmail.com; antonio.paranhos@ufms.br

**Resumo.** Atualmente os incêndios florestais no Pantanal têm recebido grande atenção da população, mídia, governantes e até organismos internacionais, devido à quantidade e intensidade com que esse tipo de desastre tem ocorrido. No presente trabalho apresentamos resultados obtidos com o sistema MapFOGO-MS/Unidade de Alertas de Desmatamentos e Queimadas do IMASUL (Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul). Aqui é exposto que a combinação dos dados de mais de um tipo de sensor, bem como associação de tecnologias diversas no processamento dos dados, permite uma análise precisa e detalhada, destacando a importância da integração de múltiplas fontes de informação para o monitoramento de incêndios florestais. A observação dos resultados obtidos destaca a importância de monitorar tanto grandes incêndios, como focos menores, que podem contribuir para um incêndio mais extenso e de proporções e impactos imensuráveis.

**Palavras-chave:** GOES-16; Sentinel-2; queimada; MapFOGO-MS; IMASUL-MS, desastres naturais.

**Abstract.** Currently, wildfires in the Pantanal have been receiving significant attention from the public, media, government officials, and even international organizations due to the frequency and intensity with which these disasters have been occurring. In this work, we present results obtained using the MapFOGO-MS system/ Deforestation and Burn Alert Unit of IMASUL (Environmental Institute of Mato Grosso do Sul). It is shown here that the combination of data from more than one type of sensor, as well as the integration of various technologies in data processing, allows for a precise and detailed analysis, highlighting the importance of integrating multiple sources of information for wildfire monitoring. The observation of the results emphasizes the importance of monitoring both large fires and smaller hotspots, which can contribute to a more extensive fire with immeasurable proportions and impacts.

**Key-words:** GOES-16; Sentinel-2; wildfire; MapFOGO-MS; IMASUL-MS, natural disasters.

## 1. Introdução

O tema dos incêndios florestais ganhou grande atenção nos últimos anos, principalmente em 2020 e 2024, em especial no Pantanal Sul-matogrossense. Desde o ano de 2017, o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2iD, passou a apresentar as ocorrências de fogo em seu rol de “mapeamento” de desastres naturais. O critério adotado se baseia na decretação de situação de emergência - SE ou estado de calamidade pública - ECP CEPD UFSC, (2024). Ao observar a representatividade das ocorrências envolvendo fogo em relação às demais, se torna gritante seu volume e grau de destruição. Como marcador mais recentes, temos a decretação de situação de emergência no Pantanal Sul-matogrossense, por meio de determinação do governo federal Brasil, (2024), o que caracteriza as proporções catastróficas dos eventos que atingiram em junho de 2024 valores inéditos de focos de calor, alcançando mais de 2.500 registros. A título de comparação, anteriormente, os maiores valores para esse período do ano haviam ocorrido em 2005, ficando abaixo de 500 registros INPE, (2024). Para se compreender a extensão de tais eventos técnicas adequadas devem ser avaliadas e utilizadas PANG, et al., (2022).

Nesse contexto, o uso de geotecnologias, em especial o sensoriamento remoto, se destaca como opção interessante e de baixo custo, principalmente se for considerado o uso de imagens e softwares gratuitos. Autores como Athanasis, et al. (2015) e Kalabokidis, et al. (2016) seguem essa linha de pensamento, atuando com recursos mobile e plataformas WebGIS.

Utilizando satélites heliossíncronos, de média resolução espacial (10 a 30m) como da família Landsat ou Sentinel-2, o Índice de Diferença Normalizada de Queimadas (NBR) tem sido muito utilizado na delimitação de cicatrizes de áreas queimada, mas nesse trabalho optamos por uma variante desse método, o Índice de Diferença Relativizado (RBR), proposto por Parks et al. (2014). Esses autores, utilizando Landsat, em áreas montanhosas de vegetação nativa, compararam vários métodos e concluíram que o RBR apresentou os melhores resultados, com a vantagem de poder indicar, além das bordas das cicatrizes, o grau de severidade das queimadas. Já Arisanty et al. (2022) utilizaram abordagem semelhante, mas testando imagens Sentinel-2 para o mapeamento de cicatrizes em áreas úmidas. Também concluíram que o RBR permitiu resultados mais satisfatórios, dentre os índices avaliados, para o mapeamento das cicatrizes de queimadas.

Em ambos os estudos, realizados em ambientes naturais, tanto montanhosos como em áreas úmidas, com Landsat e Sentinel-2, não foi considerada, porém, a aplicação do índice para áreas agricultáveis.

Restif & Hoffman (2020) apresentaram uma técnica para identificar as bordas e vetorizar os polígonos das áreas afetadas por queimadas num período numa região de interesse, por meio do agrupamento espaço-temporal dos focos de calor GOES-16 observados naquele espaço e período definidos, por meio da plataforma Google Earth Engine - GEE Google, (2024). A despeito de ter resolução espacial de 2 km, tem resolução temporal de 10 minutos, com latência

menor do que uma hora, permitindo inclusive o monitoramento em tempo real das queimadas.

Para fins de fiscalização ambiental, tanto são fundamentais informações precisas e acuradas da área afetada, quanto informações referentes ao início do evento. Por meio da utilização de ambas as técnicas, conjuntamente, torna-se possível compreender melhor a dinâmica associada aos grandes incêndios florestais, que novamente tem assolado o Pantanal de MS. Isso torna-se especialmente importante para evitar eventuais medidas administrativas contra proprietários que possam ter sido vítimas de incêndios provocados por outrem.

A prática tem nos mostrado que nos grandes incêndios florestais no Pantanal de MS, grande parte das fazendas é vítima dos incêndios, trazendo, além dos impactos ambientais, severos impactos econômicos e sociais para esses afetados.

No presente trabalho são apresentados os avanços e resultados obtidos com o Programa MapFOGO-MS/Unidade de Alertas de Desmatamentos e Queimadas/IMASUL.

## 2. Objetivo

Comunicar os resultados preliminares obtidos com a implementação de um fluxo padronizado, regular e semi-automático, para a identificação e mapeamento das cicatrizes das áreas queimadas no Estado de MS, no âmbito do Setor de Alertas de Desmatamentos e Queimadas do IMASUL, a partir de dados GOES-16 e Sentinel-2, obtidos e processados na Plataforma Google Earth Engine - GEE Google, (2024), integrada ao QGIS QGIS Development Team, (2024).

## 3. Material e Métodos

Para o fluxo de geração dos *layouts* finais, os quais contém imagens Sentinel-2 de data anterior e posterior aos eventos de fogo obtidos por meio de imagens do sensor GOES16, sobre vetores obtidos a partir de GOES16 e Sentinel-2, foi dividida em várias fases, descritas abaixo:

Fase 1 - Geração dos Eventos (polígonos) de Queimadas GOES-16, diariamente: Nesta fase, avaliou-se todos os registros de Focos de Calor GOES16 para o Estado de Mato Grosso do Sul, selecionou-se os valores máximos e realizou-se a vetorização dos agrupamentos obtidos, adaptado de Restif & Hoffman (2020), diariamente, a partir de 01 de abril a 20 de junho de 2024. Foram considerados para a geração dos polígonos valores de “grau de confiança” maiores ou iguais a 0,5, deixando assim o algoritmo mais sensível. Aqueles autores propuseram selecionar apenas valores maiores ou iguais a 0,6.

Os mapas foram gerados diretamente do GEE e cada um dos mapas diários desses eventos foi exportado para o Google Drive, para posterior utilização nas fases 2 e 4. Cada polígono corresponde a um evento de queimada no Estado naquele dia. Embora a resolução espacial do satélite GOES-16 seja de 2 km, o algoritmo suaviza esses pixels e a vetorização é realizada em escala de 200 metros, permitindo assim bordas mais suavizadas do evento. A resolução temporal de 10 minutos também deve ser destacada, porque permite a identificação de queimadas em curtos períodos de tempo, o que não é possível em testes realizados utilizando dados VIIRS e/ou MODIS.

Fase 2 - Avaliação individual dos eventos e criação dos atributos de “id”, “lat”, “long”, “data/hora”, “num\_cenas” correspondentes ao primeiro foco de calor GOES-16 obtido para cada evento diário mapeado na fase anterior, no QGIS: Esses atributos correspondem, respectivamente, a um identificador único para cada evento (polígono), a latitude, a longitude, a data e hora do primeiro registro e ao número de cenas de focos de calor GOES 16 observadas naquele dia, naquele local.

Para cada um dos eventos identificados na fase 1 foi identificado o registro inicial (lat, long, data e hora) bem como o número de Focos de Calor GOES-16 que ocorreram naquele dia

na área afetada pelo evento. Esses dados foram transcritos do GEE para a tabela de atributos dos eventos, no QGIS. Dessa forma, além dos polígonos do evento os atributos do mesmo o caracterizam em relação ao início da ocorrência, naquele dia.

Fase 3 - Geração dos mapas de cicatrizes de queimadas, a partir de Sentinel-2, nas áreas identificadas na Fase 1: Tendo em mente as resoluções espaço-temporal do Sentinel-2 (10 metros e 5 dias), bem como objetivando fixar período regular no fluxo de análise e automatizar todo o processo, optou-se por agrupar os mapas diários de queimadas GOES-16, a cada 10 ou 11 dias, de forma que dentro de cada mês fossem 3 ciclos de avaliação. Como geralmente é possível obter um mosaico mensal Sentinel-2 livre de nuvens e/ou fumaça em um mês, o procedimento é realizado com atraso temporal de 30 a 40 dias. Aqui foi trabalhado o ciclo obtido entre 11 a 20 de junho de 2024, início do período em que o Estado proibiu a prática de queima, mesmo para aquelas licenças que estavam em vigência DOE, (2024).

Cada um dos mapas diários de eventos de queimadas GOES 16 obtidos no período foram agrupados num único arquivo, utilizado como região de interesse para a aplicação do algoritmo de geração de cicatrizes de queimadas com Sentinel-2 e também na próxima fase para controlar o Atlas do QGIS QGIS Development Team, (2024) na geração automática dos *layouts* de todos os eventos do período.

Sobre o mosaico dos eventos GOES 16 do período, foi gerado um “buffer” de 2 km e, nessas regiões, foi realizada a delimitação das cicatrizes de áreas queimadas utilizando Sentinel-2, por meio do RBR. Para isso, foi gerado um mosaico com a mediana dos 30 dias anteriores ao primeiro dia do período (imagem antes do período avaliado) e outro mosaico com a mediana dos 30 dias posteriores ao último dia do período (imagem após o período avaliado) nas regiões contidas no buffer.

Em geral, considera-se como área queimada os valores de RBR maiores do que 0,1 e menores do que 1,3 Parks et al., (2014 ). Entretanto, empiricamente, optamos por incluir na cicatriz apenas aquelas regiões com RBR maiores que 0,2 e menores do que 1,3, tornando o algoritmo mais “conservador”, a fim de evitar erros de comissão. Isso equivale a retirar áreas de baixa severidade das cicatrizes Sentinel-2. Todos os vetores e as imagens foram exportadas em formato kml para o Google Drive, baixadas para acesso via Desktop para utilização nos *layouts* finais, na próxima etapa.

Fase 4 - Geração dos *layouts* finais, contendo os vetores e imagens obtidos nas fases anteriores, sobre outros vetores de interesse, no QGIS: Para cada um dos eventos de queimada GOES 16, foram selecionados os atributos “lat” e “long” e gerada uma nova camada de pontos, correspondente à localização do primeiro Foco de Calor GOES 16 observado na região do polígono. Essa camada foi separada em duas: uma contendo os eventos obtidos entre o dia 01 de abril a 10 de junho de 2024, que devem ser considerados nos *layouts* como “eventos de queimadas precedentes ao período de avaliação”. O outro conjunto de dados, correspondente ao período 11 a 20 de junho de 2024, foi agrupado noutra camada de pontos, correspondendo aos “eventos de queimadas diários” GOES 16 obtidos durante o período avaliado. Dessa forma, por meio de destaque nos rótulos e na legenda, torna-se mais fácil a identificação de evento que teve início no período de avaliação daqueles outros que tem uma continuidade espaço-temporal grande, como no caso dos grandes incêndios florestais que têm acometido o Pantanal de MS. Para a geração automatizada de todos os *layouts* do período, foi utilizada a ferramenta “Atlas” do QGIS.

#### 4. Resultados e Discussão

No período de 11 a 20 de junho de 2024 foram mapeados 408 eventos diários de queimadas no

Estado de MS com os dados GOES 16, sendo gerados um layout para cada um desses eventos.

Os resultados foram consistentes com a literatura, sendo que em áreas de vegetação natural a delimitação das cicatrizes de queimadas, por meio de Sentinel-2, mostrou-se adequadas para fins de fiscalização. Mas em áreas agricultáveis houve grande confusão com solo exposto por mecanização (aração e/ou gradagem), dessecamento da vegetação ou colheita. Outro fato notável, especialmente na região do Pantanal de MS, é que muitas áreas queimaram por vários dias, muitas vezes com interrupções de um ou de alguns dias, fato evidenciado pelos eventos GOES 16.

A seguir são apresentados e discutidos alguns resultados, representativos do período e da região, a partir dos *layouts* obtidos por meio do método. Conforme é possível ver nas figuras, para cada um dos eventos GOES avaliados no período, foram elaborados *layouts*, dividindo-se em dois mapas, sendo à esquerda colocado a imagem Sentinel-2 do período anterior, e à direita a do período posterior. Sobre as imagens de ambos os mapas foram colocados os vetores dos pontos do início da ocorrência (pretéritos e do período de avaliação), os polígonos dos eventos GOES 16 do período avaliado, os polígonos das cicatrizes de queimadas identificadas a partir da comparação de ambas as imagens (Fase 3), bem como caixa de texto contendo informações dos atributos dos eventos GOES 16 (data/hora do início e número de cenas detectadas naquele polígono, naquele dia).

Na **Figura 1**, são visíveis diversos eventos, detectados pelo satélite GOES mas não pelo Sentinel-2. Na **Figura 2** os eventos se apresentam na cena do satélite GOES, sendo autenticada pela captura do Sentinel-2. A **Figura 3** e a **Figura 4**, seguem o padrão de detecção do evento pelo GOES e confirmação posterior, por meio das cicatrizes, via Sentinel-2. A **Figura 5** apresenta as demarcações de diversos eventos que, talvez por sua reduzida dimensão, quase passaram indetectáveis nas capturas do Sentinel-2. Muito longe de ser uma falha, esse fato corrobora a necessidade e aplicabilidade de redundância de métodos de detecção, permitindo assim o monitoramento mesmo nas menores escalas. Na **Figura 6**, é possível perceber a atuação da detecção (GOES) e validação (Sentinel-2) em uma área urbana, tendo sido mapeado um evento de micro escala. Por fim, na **Figura 7**, é apresentada a evolução de um incêndio de grandes proporções, no Pantanal, demonstrando a nocividade alcançada pela junção de pequenas extensões quando se agrupam e se expandem espacial e temporalmente.

Para fins didáticos, os resultados foram classificados em 4 classes: 1) áreas agricultáveis onde os erros por comissão na delimitação das cicatrizes Sentinel-2 inviabilizaram a delimitação automática; 2) áreas de queimas de leiras de vegetação seca oriundas de supressão vegetal ou limpeza de pastagem, onde os erros por omissão na delimitação das cicatrizes Sentinel-2 foram expressivos, também inviabilizando a delimitação automática; 3) áreas de vegetação nativa com apenas um evento GOES 16 associado, em que a delimitação da cicatriz Sentinel-2 foi adequada; e 4) áreas de vegetação nativa com vários eventos GOES 16 associados, em que a delimitação da cicatriz Sentinel-2 foi adequada.

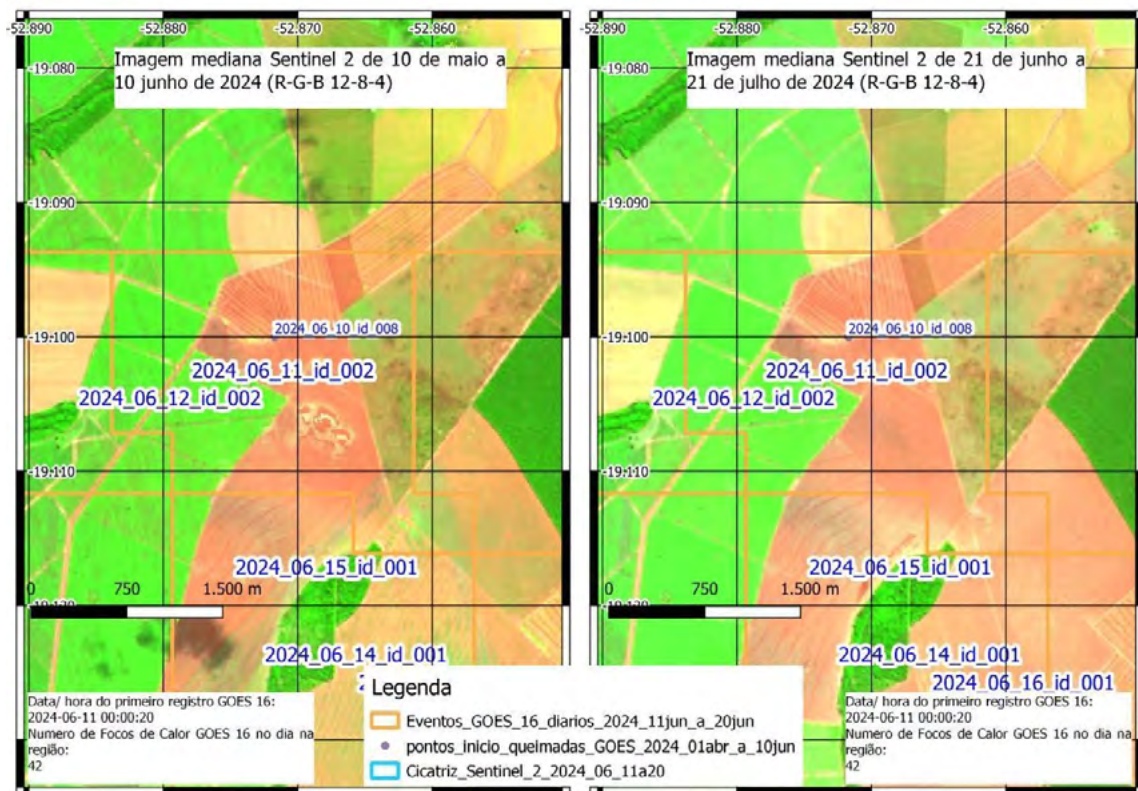
##### 5. Conclusões e Sugestões

Observamos que os índices de comissão (falso-verdadeiro) podem ser expressivos em áreas agricultáveis ou, genericamente, podem incorrer em qualquer alteração em que o solo se torne exposto, sendo geralmente detectado equivocadamente como cicatriz de queimada.

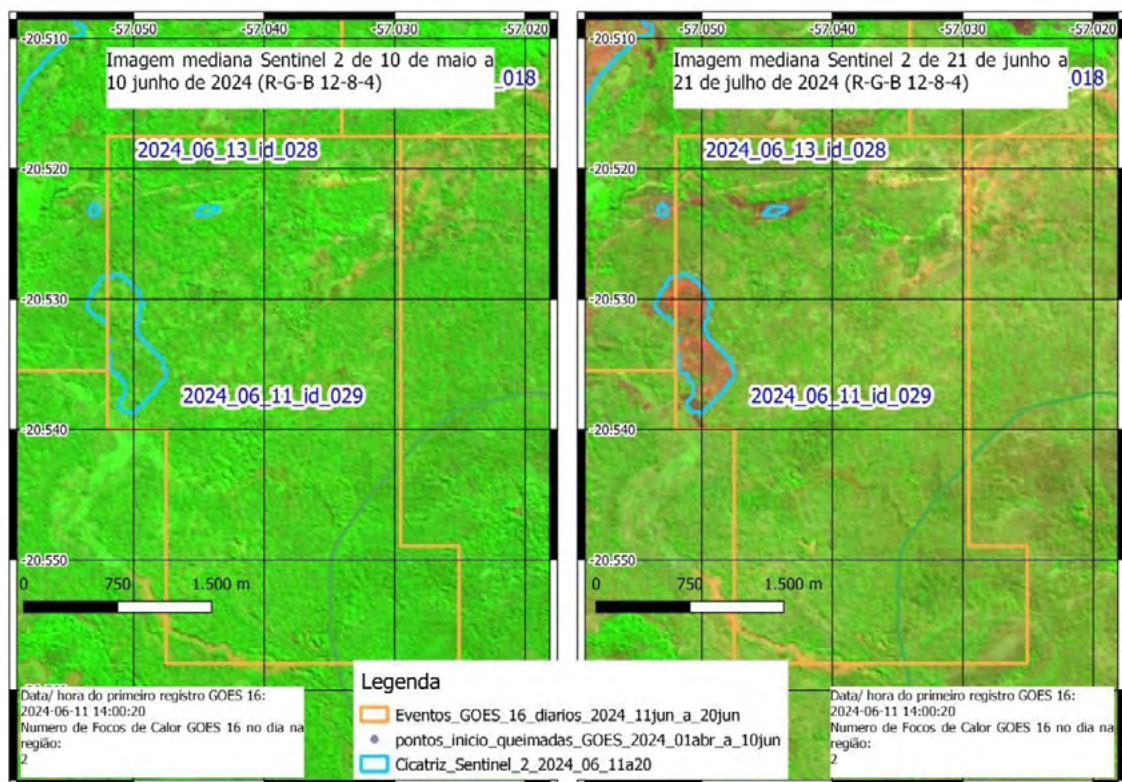
Percebemos ainda, empiricamente, que índices de imagens de sensoriamento remoto falham por omissão quando há a queima de grande quantidade de material vegetal seco, como também nas queimas de amontoados de vegetação seca após supressão da vegetação nativa ou limpeza de pastagem.

Outra limitação importante do método é a resolução temporal, que no caso do Sentinel-2 é de 3 a 5 dias cada cena. Dessa forma, embora seja viável delimitar com escala de detalhe as

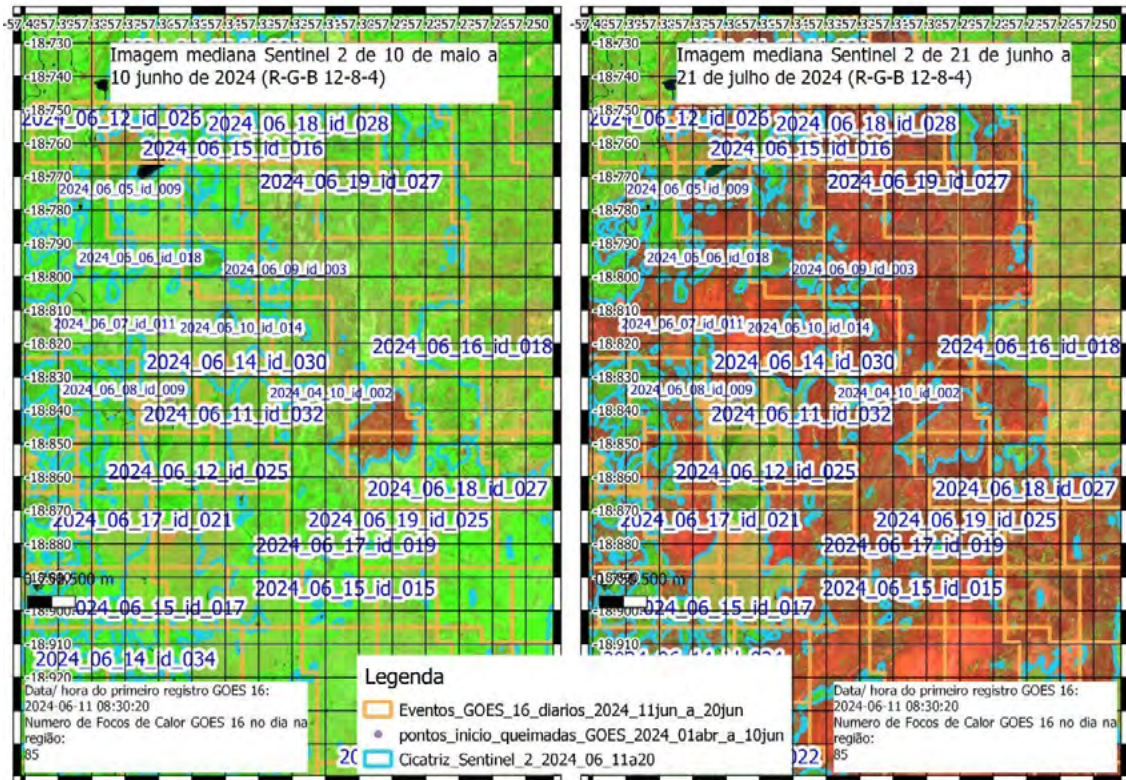




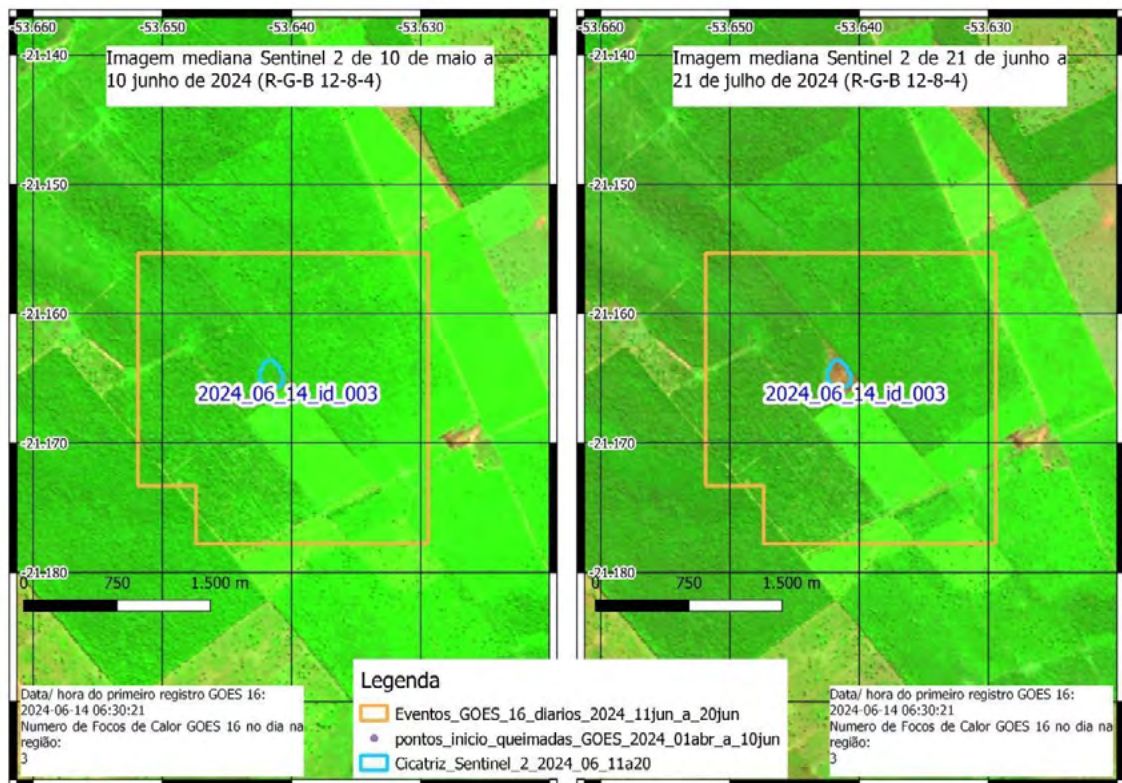
**Figura 1.** Diversos eventos foram detectados pelo satélite GOES em diferentes dias, mas não foram observados nas cicatrizes de queimadas capturadas pelo Sentinel-2.



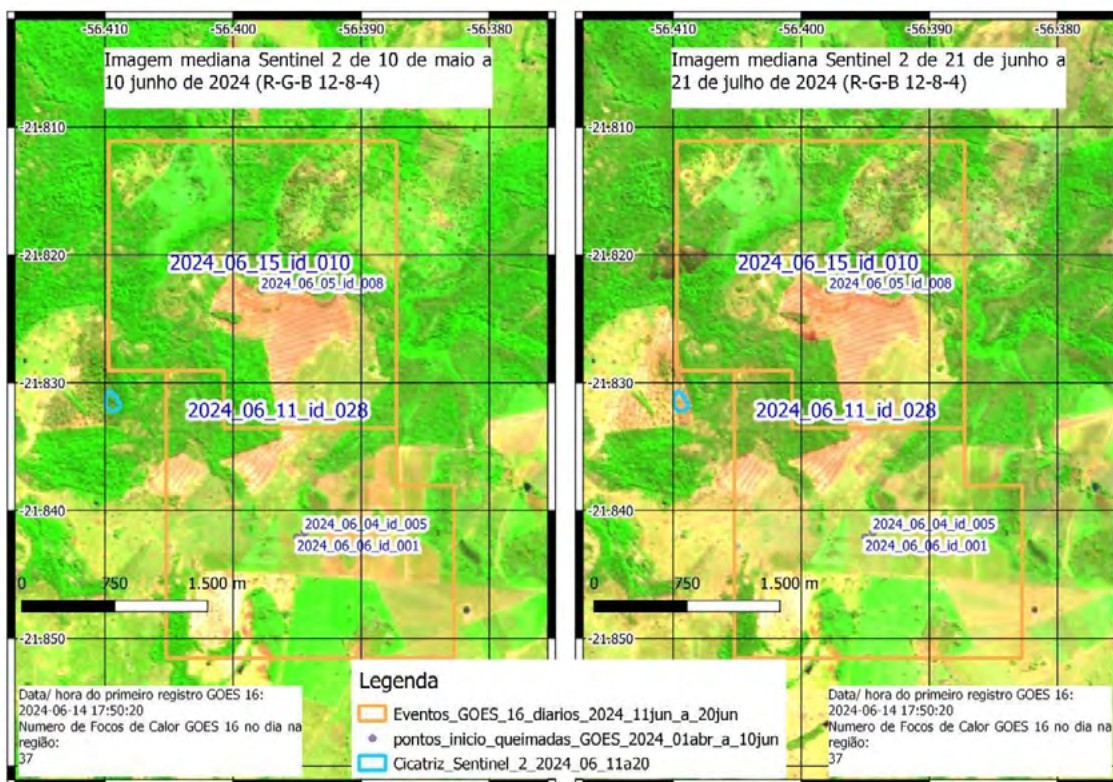
**Figura 2.** Aqui são ilustrados dois eventos de incêndios florestais detectados pelo satélite GOES-16. As cicatrizes deixadas por esses eventos foram posteriormente corroboradas pelas imagens do Sentinel-2.



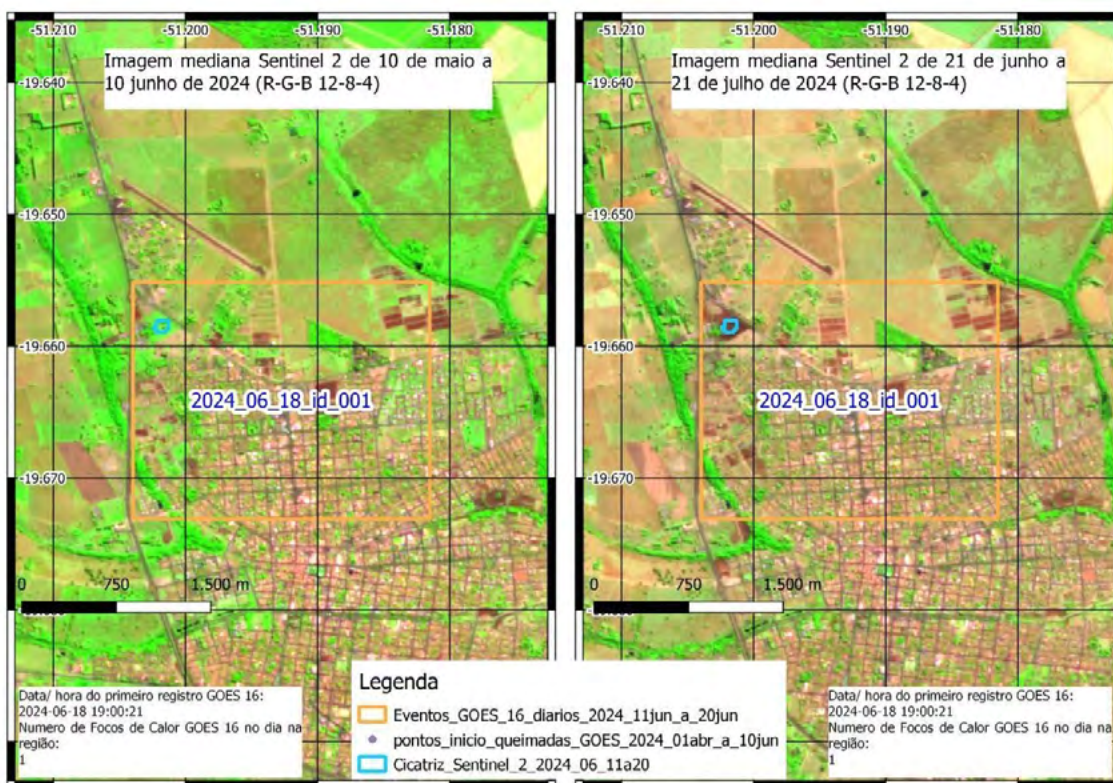
**Figura 3.** Ilustração da dinâmica temporal de eventos de incêndios florestais em uma região drasticamente afetada durante o período avaliado.



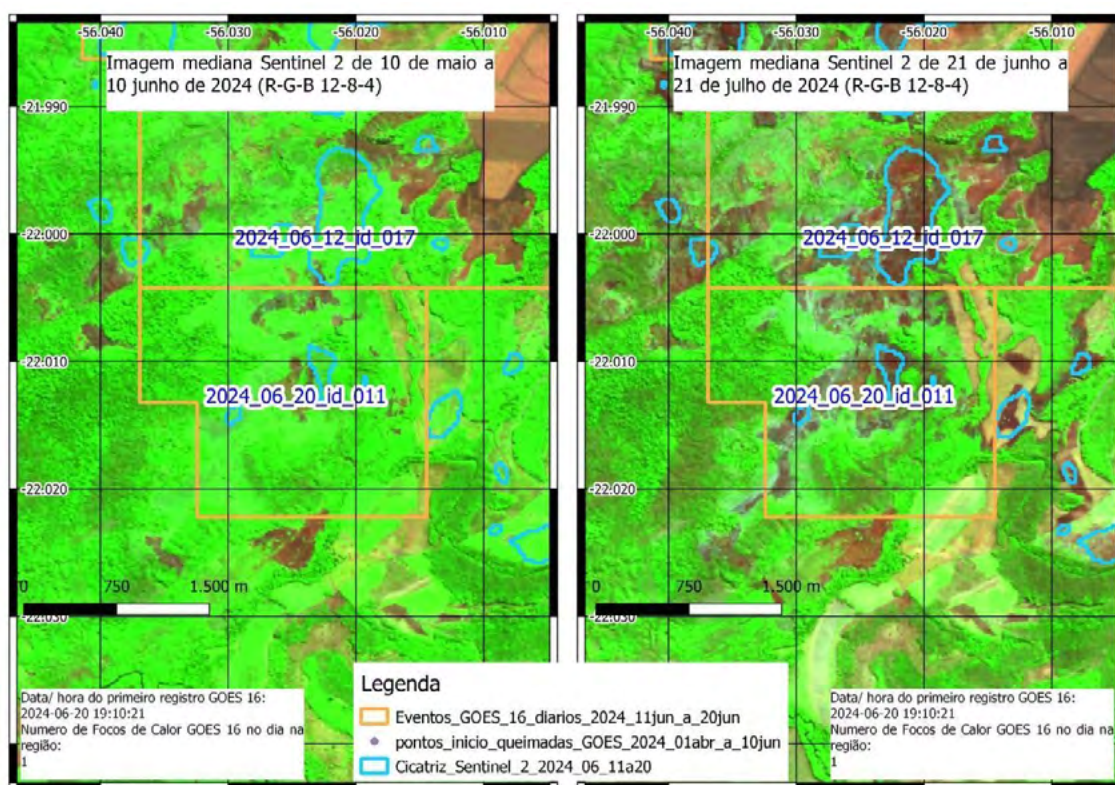
**Figura 4.** Identificação de queimada ocorrida em uma área de pequena extensão, identificada inicialmente pelo satélite GOES e confirmada por Sentinel-2.



**Figura 5.** Representação de vários eventos de queimas de leiras, detectados pelo satélite GOES-16, mas não detectados pelo método com Sentinel-2.



**Figura 6.** Destaque de uma queimada urbana de micro extensão, detectada inicialmente pelo satélite GOES-16 e posteriormente corroborada pelas imagens do Sentinel-2.



**Figura 7.** Exemplificação do desenvolvimento de um grande incêndio no Pantanal, mostrando como pequenas queimas se acumulam para formar eventos de grande escala

cicatrices das áreas queimadas, não tem-se informações da data/hora e local do início do evento.

A fim de precisar a data e hora do início do evento, os dados GOES 16 apresentaram excelentes resultados, devido à resolução temporal de 10 minutos, diuturnamente. O método mostrou-se simples, rápido e eficaz para o monitoramento de queimadas, reunindo alta resolução espacial do Sentinel-2 com a alta resolução temporal do GOES 16.

Nos casos da avaliação de grandes áreas queimadas do Pantanal de MS, a utilização dos dados GOES-16 (mapeamento diário) pretéritos ao período avaliado mostraram-se muito importantes para compreensão da dinâmica do fogo, subsidiando as decisões sobre a origem do mesmo e eventuais sanções administrativas e penais, a quem eventualmente tenha dado causa à catástrofe.

A opção pela construção e implantação de “Sistemas de Alertas de Desmatamento e Queimadas” pelo próprio IMASUL permitiu a expressiva redução de custos com aquisições de sistemas pagos. Mas talvez mais importante do que isso seja o estratégico fortalecimento institucional que essa decisão promove, especialmente pelo pleno conhecimento dos detalhes dos sistemas.

Como sugestão aos gestores públicos, recomenda-se fortemente a aplicação de recursos no desenvolvimento de Recursos Humanos na área da Geomática, especialmente em relação às plataformas de processamento em nuvem e tratamento de volumes imensos de dados.

## 6. Agradecimentos

Ao Secretário de Estado de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação, Sr. Jaime Elias Verruck, pelo apoio e pelos esforços na gestão ambiental estadual.

Ao Diretor Presidente do IMASUL, Sr. André Borges Barros de Araújo, pelo apoio e pelas críticas, que tem promovido um processo de melhorias continuamente.

Aos Senhores Luiz Mário Ferreira, Diretor de Licenciamento e Fiscalização do IMASUL, Sr. Leandro Camilo Lelles, Gerente de Controle e Fiscalização, e Sr. Diego do Carmo Brito, chefe do setor de Alertas de Desmatamentos e Queimadas do IMASUL, pelo excelente trabalho de monitoramento e fiscalização sistemáticos para todo o Estado de Mato Grosso do Sul, em implantação.

Ao CNPq pela concessão de Bolsa Produtividade em Pesquisa a Antonio Conceição Paranhos Filho (PQ-1D - CNPq Processo 304644/2022-6). E por recursos de Projetos de Pesquisa.

À Capes pela bolsa de Doutorado de Waleria Menezes Barros e pelo acesso ao Periódicos da CAPES.

À Fundect e CNPq pelo apoio financeiro com recursos de Projetos de Pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

## 7. Referências

- Athanasios, Nikos et al. AEGIS App: wildfire information management for windows phone devices. *Procedia Computer Science*, v. 56, p. 544-549, 2015.
- Arisanty, Deasy et al. Utilizing Sentinel-2 Data for Mapping Burned Areas in Banjarbaru Wetlands, South Kalimantan Province. *International Journal of Forestry Research*, 2022, 7936392, 12 pages. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/7936392>. Acesso em: 27 jul. 2024.
- BRASIL. Diário Oficial da União. Portaria nº 2.251, de 26 de junho de 2024. Edição 122, seção 1, p. 81. 2024. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-2.251-de-26-de-junho-de-2024-568295109>>. Acesso em: 30 jun. 2024
- CEPED, UFSC. Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2iD. Florianópolis: CEPED, UFSC, 2024. Disponível em: < <https://s2id.mi.gov.br/paginas/index.xhtml>>
- DOE. Suspende os efeitos das Autorizações Ambientais de “QUEIMA CONTROLADA” pelo prazo que menciona e dá outras providências. Portaria IMASUL n. 1.427, de 10 de junho de 2024. Disponível em: [https://www.spdo.ms.gov.br/diariodoe/Index/Download/DO11517\\_11\\_06\\_2024](https://www.spdo.ms.gov.br/diariodoe/Index/Download/DO11517_11_06_2024). Acesso em: 27 jul. 2024.
- GOOGLE. Google Earth Engine. Disponível em: <https://earthengine.google.com/>. Último acesso em: 15 de junho de 2024.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. TerraBrasilis. Situação atual das queimadas. Estatísticas por estados, 2024. Disponível em: [https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas\\_estados/](https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas_estados/). Acesso em: 30 jun. 2024.
- Kalabokidis, Kostas et al. AEGIS: a wildfire prevention and management information system. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 16, n. 3, p. 643-661, 2016.
- Pang, Yongqi et al. Forest fire occurrence prediction in China based on machine learning methods. *Remote Sensing*, v. 14, n. 21, p. 5546, 2022.
- Parks, S.A.; Dillon, G.K.; Miller, C. A new metric for quantifying burn severity: the relativized burn ratio. *Remote Sens.* 2014a, 6(3), 1827-1844. Disponível na revista *Remote Sensing*. URLib: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/6/3/1827>>. Acesso em: 27 jul. 2024.
- Parks, S.A.; Dillon, G.K.; Miller, C. Correction: A new metric for quantifying burn severity: the relativized burn ratio. *Remote Sens.* 2014b, 6(12), 12509-12510. Disponível na revista *Remote Sensing*. URLib: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/6/12/12509>>. Acesso em: 27 jul. 2024.
- QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. QGIS 3.34.9 'Prizren', 2024. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Último acesso em: 15 de junho de 2024.
- Restif, C.; Hoffman, M. How to generate wildfire boundary maps with Earth Engine. *Medium*, 2020. Disponível em: <https://medium.com/google-earth/how-to-generate-wildfire-boundary-maps-with-earth-engine-b38eadc97a38>. Acesso em: 26 jul. 2024.

## **Landscape dynamics of floodplain rangelands under different management units on a ranch in the Pantanal, Brazil**

Sandra Aparecida Santos <sup>1</sup>  
Humberto Perotto-Baldivieso<sup>2</sup>  
Balbina Maria Araújo Soriano<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Pecuária Sudeste - CPSSE  
Rod. Washington Luiz, km234, Fazenda Canchim  
13560-970 – São Carlos - SP, Brasil  
sandra.santos@embrapa.br

<sup>2</sup>Texas A&M University  
700 University Blvd  
Kingsville, TX 78363, USA  
humberto.perotto@ag.tamu.edu

<sup>3</sup> Embrapa Pantanal - CPAP  
Rua 21 de setembro, 1880  
79360-900 – Corumbá - MS, Brasil  
balbina.soriano@embrapa.br

**Abstract.** This paper provides a spatio-temporal analysis of landscapes types changes over a 24-years period (1988-2011) and examines how landscape metrics differ among management units on a livestock ranch of the Pantanal. For this study, three functionally independent management units (MU) with different management histories were selected: Unit A – Reserve area without grazing + occasional wildfires; Unit B- Grazing + fluvial flooding influence; Unit C- Continuous grazing. Landsat images, preferably from the late dry season were categorized into five landscapes classes over the period 1988–2011: (1) forested savanna (Sf); (2) arboreal savanna (Sa); (3) grassland savanna (Sg); (4) wetland (We) and (5) water bodies (Wb). Landscape metrics were analyzed using the software Fragstats. The change point detection for habitat proportions over time was fitted, and the log values for water bodies (Wb) showed a better fit, indicating a change in the proportion of water bodies around 2002, from 1988 to 2011. The years were classified as wetter (W) and drier (D), and variance analysis was performed to evaluate the effects of year (D and W), management unit (A, B, and C), and their interaction. The 15<sup>o</sup> year (2002) showed a notable change in the proportion of water bodies from 1988 to 2010. The years were classified in wet (W) and dry (D) and variance analysis was conducted to assess the effect of year (D and W), management unit (A, B and C) and interaction. There were differences between wetter and drier years, management units and their interaction for Wb, We, Sa and CS. All other metrics were influenced by the year and, to a large extent by the management unit. Therefore, decision-making for landscape management can be done adaptively based on climatic conditions.

**Key-words:** landscape ecology, spatio-temporal analysis, landscape change threshold

**Resumo.** Este artigo apresenta uma análise espaço-temporal das mudanças nos tipos de paisagem durante o período de 24 anos (1988-2011), utilizando métricas da paisagem em diferentes unidades de manejo em uma fazenda de gado de corte no Pantanal. Para este estudo foram selecionadas três unidades funcionalmente independentes com diferentes históricos de manejo: Unidade A – Reserva sem pastejo, com incêndios acidentais ocasionais; Unidade B - pastejo com influência de inundação fluvial; e Unidade C - pastejo contínuo. Imagens de Landsat obtidas preferencialmente no final da época seca foram classificadas em cinco classes de paisagem: (1) savana florestada (Sf); (2) savana arbórea (Sa); (3) campo limpo (Sg); (4) áreas úmidas (We) e (5) corpos d'água (Wb). As métricas de paisagem foram analisadas por meio do software Fragstat. Para avaliar a ocorrência de mudança abrupta entre as paisagens durante os anos detectou-se o ponto de mudança e o melhor ajuste foi observado para Wb. O 15º ano (2002) mostrou uma mudança marcante em relação ao período de 1988 a 2011. Esses anos foram classificados como mais chuvosos (W) e mais secos (D), e uma análise de variância foi conduzida para avaliar o efeito de ano (W e D), unidade de manejo (A, B e C) e das interações. Observou-se diferença significativa entre anos, unidade de manejo e interações para Wb, We, As e CS. As demais métricas também foram influenciadas pelo ano, mas principalmente pela unidade de manejo. Portanto, as tomadas de decisão para manejo das paisagens podem ser feitas de maneira adaptativa, com base nas condições climáticas.

**Palavras-chave:** ecologia da paisagem, análise espaço-temporal, limiar de mudança da paisagem.

## 1. Introduction

The flood pulse (frequency and duration) that can occur by the rise of connected rivers and lakes or by rainwater Junk et al. (1989) drives floodplain rangelands of the Pantanal. These drives create topographic hydrological gradients across the floodplain, leading successional vegetation communities with plants species and other organisms adapted to the flooding transition zone Junk (1989); Capon, (2003). Colonization by some native shrub species naturally occurs along these gradients, with their dominance often considered encroachment by most managers. However, this dynamic can be natural, as the flood pulse, itself is not a disturbance Bayley, (1995). When associated with disturbances such as fire and grazing, these species can become invasive on open grassland (native pasture). Thus, natural floodplain ecosystems exhibit cyclic dynamic involving a shifting mosaic of vegetation types, explained by the “shifting mosaic” theory Bormann and Likens, (1979). This theory results from the long and short-term interactions of climate, floods, fire, grazing, and plant succession Fuhlendorf and Engle (2004); Whited, (2007).

Anthropic and natural disturbances can affect the floodplain ecosystem pattern and ecological processes Turner et al. (1993), creating landscape heterogeneity Dongjie et al. (2008), Hohensinner et al. (2010) as well as declines in biodiversity. Thus, the knowledge how landscape responded to different disturbances and the physical and biological constraints over time and space is crucial for managing the structure and function of ecosystem Fuhlendorf and Engle (2004) and for defining restoration strategies Suding et al., (2004). These changes in ecosystem can be gradual and continual or abrupt and catastrophic, commonly defined as bistability Rietkerk et al., (2004), Kéfi et al. (2007). Despite, disturbance could be managed to promote beneficial changes in landscapes for optimizing pasture productivity, recovering and conserving natural ecosystems Villagra et al., (2009); Mori, (2011), as well as to promote biodiversity and carbon sequestration Magnano et al., (2023).

## 2. Objective

To examine the composition and configuration of floodplain habitats (landscapes types) in different management units over time, in relation to disturbances and climatic conditions.

### 3. Material and Methods

#### Study area

This study was conducted on Nhumirim Ranch, located in the Nhecolândia sub-region, Pantanal, MS (lat. 19°04'S, long. 56 36'E; elevation 98m). The ranch features landscapes representative of the sub-region, characterized mainly by a rain-floodplain system with small areas affected by fluvial flooding, and a mosaic of physiognomic groups: wetlands, open grasslands, savanna shrublands, savanna woodlands, and semi-deciduous forests. The ranch was divided into management units ranging from 133 to 681 ha, with extensive livestock production under continuous stocking. For this study, three functionally independent management units (MU) with different management histories were selected: A unit - No grazing + occasional wildfires (681 ha); B unit- Grazing + fluvial flooding influence (133ha); C unit- Grazing (262 ha). The A unit is a Private Natural Heritage Reserve (RPPN), a private conservation area established in 1988, which has not had cattle presence since then. However, during this period, the RPPN experienced two major accidental fires (September 2002 and August 2005), while the B unit was affected by fluvial flooding during the 2005 and 2011.

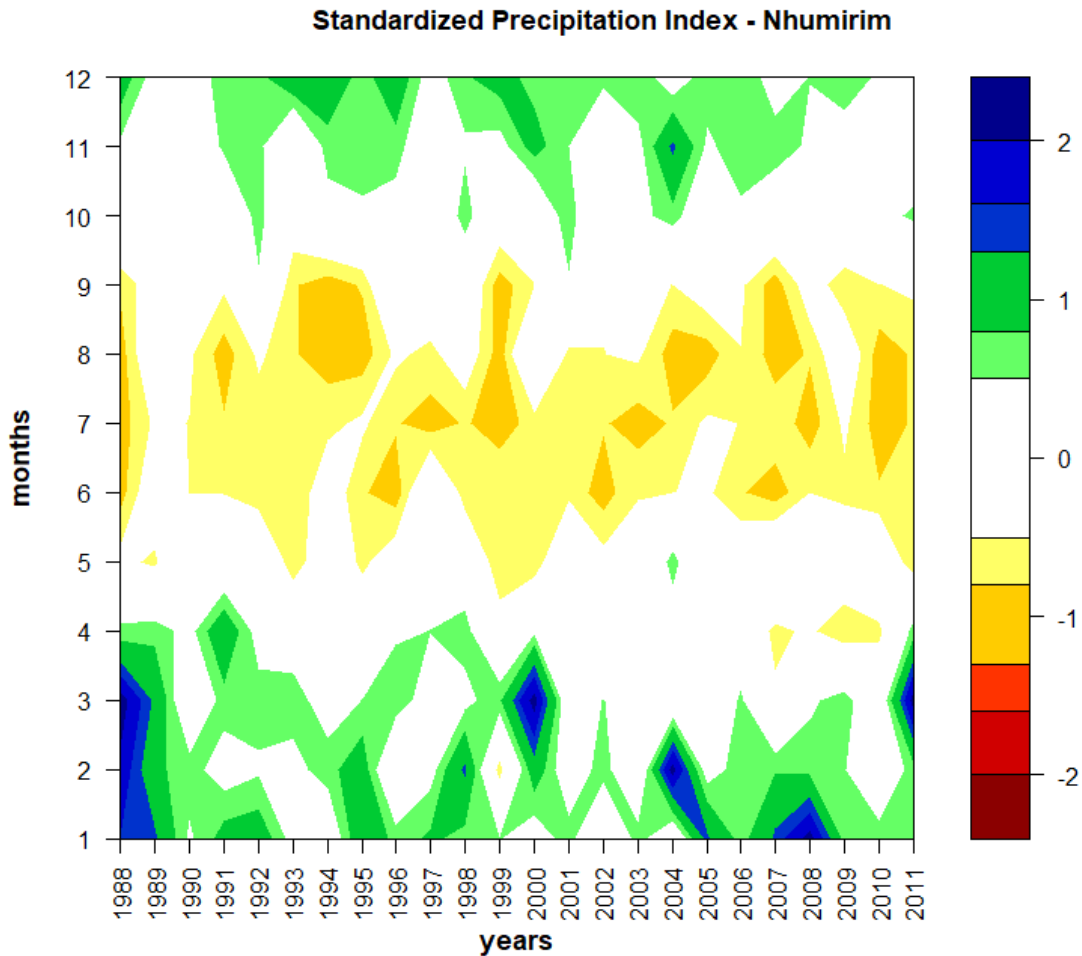
#### Climatical data and standardized precipitation index (SPI)

Rainfall is unpredictable in both timing and amount in the Pantanal. Monthly precipitation data sets were available from the Nhumirim Ranch agrometeorological station from January 1977 through to December 2011. The standardized precipitation index (SPI), developed by McKee et al. (1993), based on the cumulative probability of a given rainfall event occurring at a station, was used. For each value, precipitation was transformed into the standard normal random variable  $Z$ , with a mean of zero and a variance of one, resulting in the SPI value. This index was used to estimate both dry and wet periods Seiler et al. (2002). SPI were calculated on scales of 9 months (rain, flood and ebb) from October to March for each month of the year (**Figure 1**) using the SPI package in R (version 2.9.2, R Development Core Team 2009).

#### Image set and processing

Landsat 5-Thematic Mapper satellite images from 1988 to 2011, acquired from the INPE, the Brazilian National Institute for Space Research, were processed. Images were chosen preferentially from the late dry season to avoid clouds and to obtain better visualization. Data preparation and image processing were carried out utilizing ERDAS software package. All images were rectified to UTM zone 21, WGS 84. Unsupervised classification was then used to map the vegetation units in ERDAS. Landsat images were separated into 50 initial classes, and five classes (floodplain vegetation types) were quantified for each the nine sets of images over the period 1988–2011: (1) forested savanna (Sf): areas dominated by woody vegetation, usually not flooded; (2) arboreal savanna (Sa): areas with varying proportions of herbaceous and woody vegetation; (3) grassland savanna (Sg): areas dominated by herbaceous vegetation, mainly grasses; (4) wetland (We): areas with vegetation that present a high humidity level; and (5) water bodies (Wb): all water bodies, including ponds, lowlands and channels. The accuracy assessment showed that the overall accuracy of the classified maps was approximately 94%, 93%, 91%, 91%, 94%, 88%, 86%, 90% and 90% for the 1988, 1991, 1994, 1997, 2000, 2003, 2006, 2009, 2011 images, respectively.





**Figure 1.** SPI (standardized precipitation index) values for Nhumirim ranch calculated from the 1977–2011 series for periods of 12 months. Legend: (+2 – extremely wet; 1.5 to 1.99 – moderately wet; 1.0 to 1.49 – moderately wet; -0.99 to .99 – near normal; -1.0 to -1.49 – moderately dry; -1.5 to -1.99 – severely dry; -2.0 and less – extremely dry).

#### Landscape patterns and metrics

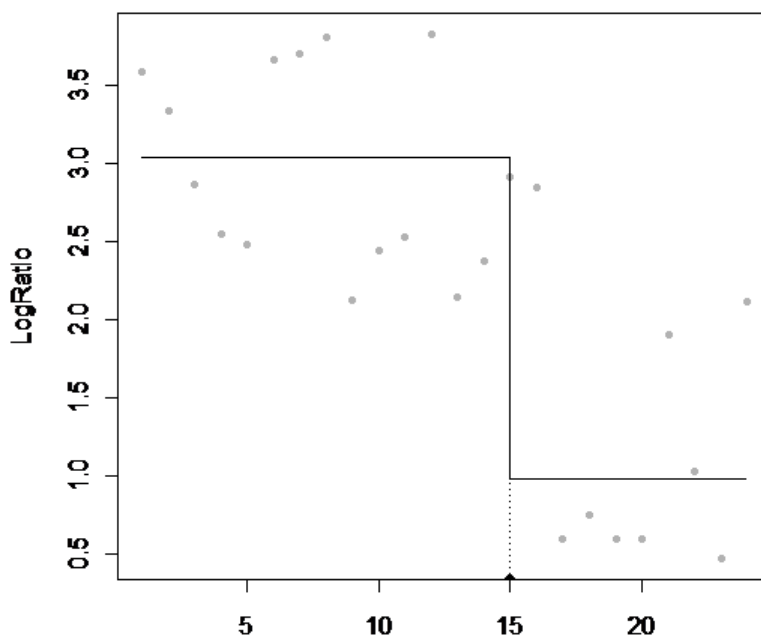
The analysis was performed at the management unit level using the software Fragstats McGarigal et al., (2023), whose chosen variables are described in the **Table 1**. Landscape patterns were analysed on variations in composition (the amount and proportion of a given vegetation type) and configuration (the spatial arrangement of these types). A change point analysis was conducted to fit a piecewise-constant (step-function) relationship, involving two straight lines disconnected at the change point. The jumpoints function from the cumSeg package Muggeo, (2010) in the R program was used to identify the change point along in habitat proportions over time.

#### 4. Results and Discussion

Step-function relationship for habitat proportions along the time was fitted and the log values of Wb (water bodies) had fit better (**Figure 2**), showing the separation among wetter years and drier years from 1988 to 2011.

**Table 1.** Description of the metrics of landscape.

Landscape metrics	Units	Description
<b>Composition metrics</b>		
Proportion (pi)	Values range between 0 a 100%	It refers to proportion of various vegetation cover types
Shannon-Weaver diversity index (SHDI)	Range between 0 and 1 (normalized)	Variability of the landscape related to the vegetation types and their area proportions.
<u>Shannons's</u> evenness index (SHEI)	Range between 0 and 1	It is the ratio between the actual SHDI and theoretical maximum SHEI
<b>Configuration metrics (spatial arrangement)</b>		
Patch density (PD)	Number/100ha	It expresses number of patches per unit area
Edge Density index (ED)	Meters per hectare	It provides information about the spatial arrangement with respect to special habitats ( <u>ecotones</u> )
Area-weighted mean (AM)	hectares	It provides the area-weighted mean patch size of all the patches within each vegetation type
Contagion index (Co)	Values range between 0 a 100%	It specifies the degree of aggregation of the existing patches in the image
<u>Lacunarity</u> index (LI)	Values greater than zero -	It express retention of resources



**Figure 2.** Point junction function showing the change in the 15<sup>o</sup>year (2002) in relation to water bodies proportion, from 1988 to 2011.

The years were classified as wetter (W) and driest (D) period according to **Figure 2**. To evaluate whether there were differences among the years, an analysis of variance was used to examine metric parameters, with Year (W and D periods) and Unit (management unit) as fixed factors and their interaction. **Table 2** presents a summary of the variance analysis, and in the **Figure 3** shows the means of landscape types proportion metrics in drier and wetter years for the three evaluated management units.

**Table 2.** F values for analysis of variance for types of vegetation proportion and landscape metrics.

Variation	F values (Types of landscape)				
Sources	<u>Wb</u>	We	<u>Sg</u>	Sa	Sf
Year	46.9**	5.6*	0.8ns	35.1**	2.6ns
Unit	11.4**	39.2**	119.2**	6.9**	632.0**
Year x Unit	5.1**	11.9**	1.0ns	5.8**	0.08ns

Variation	F values (Landscape metrics)							
Sources	C/S	PD	ED	Am	Co	SHDI	SHEI	LI
Year	18.5**	27.5**	1.6ns	19.8**	8.9**	37.2**	16.7**	1.98ns
Unit	9.1**	35.8**	41.4**	39.9**	33.8**	6.8**	19.3**	17.9**
Year x Unit	5.6**	3.0ns	5.5**	0.72ns	2.7ns	1.0ns	2.8ns	3.3*

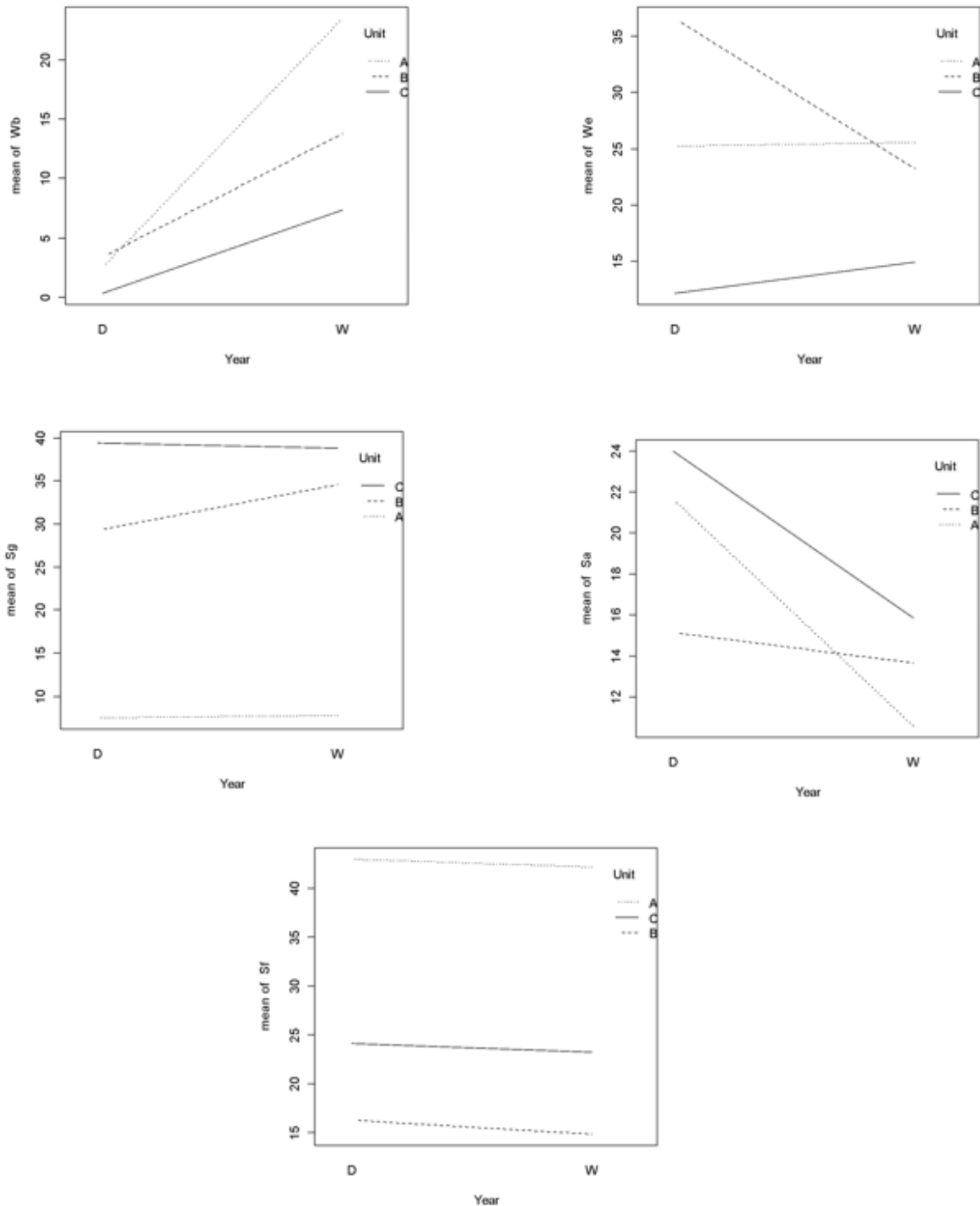
\*\* (P<0.01); \* (P<0.05); ns (no significant)

Wb- water bodies; We – wetland; Sg- grassland savanna; Sa – arboreal savanna; Sf – forested savanna; C/S- ratio; PD- patch density; ED- edge density index; Am- area-weighted mean; Co- contagion index; SHDI- Shannon-Weaver diversity index; SHEI - Shannon's evenness index ; LI- Lacunarity index

Only the non-flooded landscapes (vegetation types) as Sg (grassland savanna) and Sa (arboreal savanna) did not vary between periods of wetter and drier years. There was significant variation among management units, particularly in the interaction between periods of years. **Figure 2** show the evaluated metrics concerning the year and management unit. As expected, water bodies were larger in wetter years; however, this increase was more pronounced in areas without cattle (unit A).

In the case of wetlands, they were maintained in units with cattle influenced by rain flooding (unit C), whereas in units with cattle and influenced by casual fluvial flooding (unit B) there was a marked reduction. According to Santos et al. (2020), these wetlands contain higher quality pastures, so in wetter years, these pasture may not always be available in this type of landscape, despite the increase in open grassland areas, likely due to the clearing of fields by flooding. In unit A (without cattle), this landscape type was low, and there was no difference between wetter and drier years (**Table 2; Figure 3**).

The proportion of savanna areas (Sg) was significantly different between years and management units. This landscape is especially dominated by shrub species that invade open grasslands, with a sharp decline between wetter and drier years in the RPPN areas without cattle demonstrating the effect of climatic conditions on this dynamic of shrub encroachment,



**Figure 3.** Composition metrics in relation drier (D) and wetter (W) year periods and management units (A unit - No grazing + accidental casual wild; B unit- grazing + fluvial flooding influence; C unit- grazing).

particularly canjiqueira (*Byrsonima orbignyana*). In contrast, in grazing areas influenced by fluvial flooding (covering a large part the vegetation) in some years (unit B), there may be a lower amount of savanna shrubland (Sa) with minimal variation between years, unlike areas that experience only rainfall-induced flooding (unit C).

The means of the other metrics differed between drier years and wetter years; however, there were interactions in most of the metrics evaluated. The metrics CS ratio, PD, ED, Am, Co, SHDI, SHEI and LI varied significantly among years and units, but interaction between years and units were observed only for CS, ED and LI. The CS ratio means was higher in unit B, which experiences fluvial flooding in both drier and wetter years, while unit A had a lower CS ratio during drier years. PD was lower during drier years across all management units. For diversity, both SHDI and SHEI were slower during drier years; however, unit B showed a slight decline in SHEI. The grazing unit with flooding influence was more diverse.

Due to the complexity of landscapes (influenced by several drives), the responses vary among years, as indicated by significant interactions that need to be understood to define adaptive management. Ecosystem engineering, such as the effects of river flooding, seems to help recover landscapes. Cattle also act as ecosystem engineers, having both positive and negative effects. Grazing cattle reshape the landscape by increasing grazing areas with a dominance of herbaceous plants, such as savanna grasslands and wetlands. Flooding also contributes to this process. Areas without grazing have lower CS ratios during drier years. Grazing units showed more diversity; however, they had lower lacunarity indices, probably due to soil compaction caused by trampling. Cardoso et al. (2011) highlighted that soil compaction in the Pantanal is more associated with the grazing system than with the landscape type. They noted that three years without cattle were not sufficient to promote soil restructuring. The slower impact on unit B can be attributed to periodic fluvial flooding in the main grazing areas, which contributes to recovery.

## 5. Conclusions

Management with cattle grazing, combined with flooding levels, influenced landscape proportions, particularly in arboreal savanna habitats and wetlands. Many shrub species in arboreal savannas and open grasslands are controlled by flooding levels, as are many forage species in wetland areas. Therefore, decision-making for landscape management can be done adaptively based on climatic conditions.

## 6. Acknowledgments

To the Cranfield University, our thanks for all the support.

## 7. Referências

- Bayley, P.B. Understanding large river floodplain ecosystems. *BioScience*, v.45, p.153-158, 1995.
- Dongjie, G.; Weijun, G.; Kazuyuki, W.; Hidetoshi, F. Land use change of Kitakyushu based on landscape ecology and Markov model. *Journal of Geographical Science*, v.18, p.455-468, 1994.
- Capon, S.J. Plant community responses to wetting and drying in a large arid floodplain. *River Research and Applications*, v. 19, p. 509–520, 2003.
- Cardoso, E.L.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Ferreira, M.M.; Freitas, D.A.F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-mato-grossense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.613-622, 2011.
- Hohensinner, S.; Jungwirth, M.; Muhar, S.; Schmutz, S. Spatio-temporal habitat dynamics in a changing Danube river landscape 1812-2006. *River. Res. Applic.* 2010.
- Junk, W.; Bayley, P.B.; Sparks, R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Pages 110-127 in D.P. Dodge, ed. *Proceedings of the International Large River Symposium (LARS)*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 106. 1989.
- McGarigal K.; Cushman, S.A.; Ene, E. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical

- Maps. Computer software program produced by the authors; available at the following web site: <https://www.fragstats.org>. 2023.
- McKee, T. B.; Doesken, N.J.; J. Kleist, J. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Anaheim CA, p.179-186. 1993.
- Muggeo, V.M.R., cumSeg: Change Point Detection in Genomic Sequences.2010 R package version 1.0
- Bormann, F.H.; Likens, G.E. Pattern and Process in a Forested Ecosystem. Springer-Verlag, New York. 1979.
- Fuhlendorf, S.; Engle, D. Application of the fire–grazing interaction to restore a 482 shifting mosaic on tallgrass prairie. *Journal of Applied Ecology*, v.41, p. 604-614, 2004.
- Kéfi, S.; Rietkerk, M.; Alados, C.L.; Puyeo, Y.; Papanastasis, V.P.; ElAich, A.; Ruiter, P.C. Spatial vegetation patterns and imminent desertification in Mediterranean arid ecosystems. **Nature**, v.449, p.213-217, 2007.
- Magnano, A.L.; Meglioli, P.A.; Novoa, E.V.; Chillo, V.; Alvarez, J.A.; Alvarez, L.M.; Sartor, C.E.; Vázquez, D.P.; Riveros, C.C.V.; Villagra, P.E. Relationships between land-use intensity, woody species diversity, and carbon storage in an arid woodland ecosystem. *Forest Ecology and Management*, v.529, n.1, 120747, 2023.
- Mori, A.S. Ecosystem management based on natural disturbances: hierarchical context and non-equilibrium paradigm. *Journal of Applied Ecology*, v.48, p.280–292, 2011.
- Rietkerk, M.; Dekker, S.C.; Ruiter, P.C.; Koppel, J.V. Self-organized patchiness and catastrophic shifts in ecosystems. *Science*, v.305, p.1926-1929, 2004.
- Santos, S.A.; Pott, A.; Cardoso, E.L.; Salis, S.M.; Valls, J.F.M.; Garcia, J.B. Guia para identificação das Pastagens Nativas do Pantanal. In Corumbá; Embrapa Pantanal: Corumbá, Brazil, 2020. 216p.
- Seiler, R.A.; Hayes, M.; Bressan, L. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. **International Journal of Climatology**, v.22, p.1365–1376, 2002.
- Suding, K.N.; Gross, K.L.; Houseman, G.R. Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, v.19, n.1, p.46-53, 2004.
- Turner, M. G.; Romme, W. H.; Gardner, R. H.; O'Neill, R. V.; Kratz, T. K. . A revised concept of landscape equilibrium: disturbance and stability on scaled landscapes. **Landscape Ecology**, v.8, p.213–227, 1993.
- Villagra, P.E.; del Valle, D.H.F.; Tabeni, S.; Rostagno, M.; Cesca, E.; Abraham, E. Land use and disturbance effects on the dynamics of natural ecosystems of the Monte Desert: Implications for their management. **Journal of Arid Environments**, v.73, p.202-211, 2009.
- Whited, D.C.; Lorang, M.S.; Harner, M.J.; Hauer, F.R.; Kimball, J.S.; Stanford, J.A. Climate, hydrologic disturbance, and succession: drivers of floodplain pattern. **Ecology**, v.88, n.4, p.940-953, 2007.

## Como a modelagem atmosférica pode ajudar a encontrar as possíveis causas do comportamento inesperado dos incêndios no Pantanal

Flavio Tiago Couto <sup>1,2</sup>  
Filippe Lemos Maia Santos <sup>2</sup>  
Cátia Campos <sup>2</sup>  
Carolina Purificação <sup>2</sup>  
Nuno Andrade <sup>3</sup>  
Juan Manuel López Vega <sup>4</sup>  
Matthieu Lacroix <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Évora, Departamento de Física,  
Escola de Ciências e Tecnologia.  
Rua Romão Ramalho, 59,  
7000-671, Évora, Portugal.  
fcouto@uevora.pt

<sup>2</sup> Universidade de Évora, Instituto de Investigação e Formação Avançada – IIFA,  
Instituto de Ciências da Terra – ICT (Polo de Évora),  
Earth Remote Sensing Laboratory (EaRS Lab).  
Rua Romão Ramalho, 59,  
7000-671, Évora, Portugal  
filippe.santos@uevora.pt, catia.campos@uevora.pt, ana.purificacao@uevora.pt

<sup>3</sup> Universidad de Extremadura,  
Programa de Doctorado en Turismo  
06006, Badajoz, Espanha  
npintoan@alumnos.unex.es

<sup>4</sup> University of Lethbridge  
25 Mt Sundance Rw T1J 0B6, Lethbridge, Canadá  
jm.lopez@uleth.ca

<sup>5</sup> Université Lumière Lyon 2,  
UMR 5600 EVS-IRG, 1C, Avenue des Frères Lumière,  
69372 Lyon, França.  
matthieu.lacroix@univ-lyon2.fr

**Resumo.** O estudo tem como objetivo analisar as principais condições atmosféricas favoráveis ao fogo durante a evolução de um incêndio que ocorreu sobre o Pantanal no dia 12 de novembro de 2023. O incêndio foi caracterizado por um aumento repentino da Potência Radiativa do Fogo (Fire Radiative Power – FRP) e consequentemente, num aumento significativo da área queimada no final do dia. O estudo baseia-se em um conjunto de observações provenientes de satélite e estações meteorológicas de superfície, as quais ajudaram a identificar algumas características da evolução do incêndio e das condições meteorológicas na região. Entretanto, as observações não foram suficientes para explicar totalmente o comportamento inesperado do fogo. Neste contexto, foi aplicada a modelagem atmosférica para tentar encontrar as possíveis causas do evento. O modelo atmosférico não-hidrostático Meso-NH foi utilizado e configurado num domínio único com uma resolução horizontal de 2.5 km e 600×600 pontos de grade. Os resultados mostraram condições meteorológicas favoráveis ao fogo ao longo do

dia, dada as altas temperaturas de 40 °C e a baixa umidade relativa do ar (< 30 %) na região. O desenvolvimento de nuvens convectivas pouco profundas deu origem a *outflows* convectivos no final da tarde e início da noite, contribuindo para a formação de frentes de rajadas à superfície, com velocidades de aproximadamente 15 m/s. O trabalho mostra evidências de que simulações numéricas de alta resolução, em que a convecção é resolvida explicitamente pelo modelo, são importantes para representar fenômenos atmosféricos de escala regional e local, nomeadamente intensas rajadas de vento, as quais ajudaram a compreender a rápida propagação do incêndio e os valores máximos de FRP. O estudo é um primeiro passo para o entendimento da dinâmica do fogo no Pantanal por meio de modelação atmosférica, podendo no futuro dar suporte a estratégias de combate aos incêndios na região.

**Palavras-chave:** modelagem atmosférica, modelo Meso-NH, mega incêndios, Pantanal.

**Abstract.** The study aims to discuss the main atmospheric conditions favorable to fire behind the evolution of a large fire over the Pantanal wetland on November 12, 2023. The episode was marked by the rapid fire spread and a sudden increase in Fire Radiative Power – FRP, which contributed to a significant increase in the burned area at the end of the day. The study is based on a set of observations, from satellite and weather stations, which helped us to identify some fire characteristics and meteorological conditions over the region. However, this dataset was not sufficient to completely explain the unexpected fire behavior. In this context, atmospheric modeling was applied to find the possible causes of the unexpected fire behavior. The Meso-NH non-hydrostatic atmospheric model was configured in a single domain of 2.5 km horizontal resolution with 600×600 grid points. The results showed weather conditions favorable to fire, given the high temperatures (40 °C) and low relative humidity (< 30 %) in the region. The development of shallow convective clouds over the region gave rise to convective *outflows* in the late afternoon and early evening, which were associated with intense surface wind gusts of around 15 m/s. The study shows that high-resolution numerical simulations, with convection being explicitly resolved by the model, are important for representing atmospheric phenomena on a regional and local scale, namely intense wind gusts, which helped us to explain the rapid fire spread and maximum FRP values identified in the present case study. The study is a first step towards understanding the fire dynamics in the Pantanal through atmospheric modeling and may in the future support strategies to firefighting in the region.

**Key-words:** atmospheric modelling, Meso-NH model, megafires, Pantanal.

## 1. Introdução

Os incêndios nas regiões tropicais e subtropicais contribuem para as questões ambientais globais, tal como os que ocorrem nas latitudes mais elevadas. Os incêndios na Amazônia, em África e no Sudeste Asiático resultam frequentemente de uma combinação de atividades humanas, práticas agrícolas e condições atmosféricas, seja meteorológica ou climática Bowman et al., (2020).

Os incêndios na Amazônia, por exemplo, representam uma ameaça para a biodiversidade e para as comunidades indígenas locais Rorato et al., (2021). Por outro lado, estes incêndios levantam questões sobre o papel da Amazônia no balanço global do ciclo do carbono e.g., Silva et al., (2021). Os incêndios no Pantanal em 2020 foram significativamente influenciados por fatores climáticos que criaram condições para a ignição e propagação do fogo. Um período prolongado de seca, marcado pela redução da precipitação, associado com períodos de onda de calor criou condições para aumentar o risco de incêndio Libonati et al., (2022); Pelissari et al., (2023); Silva et al., (2024). A perda de biodiversidade foi um ponto relevante dos incêndios, os quais foram marcados por uma crise ambiental sem precedentes na região, com espécies a enfrentarem a destruição total do seu habitat Tomas et al., (2021); Mataveli et al., (2021). Tendo em conta uma área protegida no Pantanal, Silva et al. (2024) mostrou que o ano 2020 foi um ano atípico e que a ocorrência de grandes áreas queimadas na região não é comum. Em parques naturais, os impactos dos incêndios vão além de questões ecológicas e de biodiversidade, estendendo-se ao setor do turismo que, para além da perturbação imediata, afetam a própria essência daquilo que atrai os turistas para estas áreas (Kim & Jakus, (2019); Couto et al., (2021) a; Andrade et al., (2023).

Os incêndios florestais têm se tornado cada vez mais comuns, sendo as condições



meteorológicas um fator importante para ignição e manutenção do fogo. Embora na maioria dos casos os incêndios sejam iniciados devido a ação humana, as descargas atmosféricas também desempenham um papel importante na ocorrência de incêndios Ganteaume and Syphard, (2018), principalmente daqueles que são iniciados em regiões remotas. Nestes casos, o combate pode ser difícil devido à demora na identificação da ignição, o que pode levar a incêndios incontroláveis se as condições meteorológicas e de superfície (ex., disponibilidade dos combustíveis e a topografia da região) forem favoráveis. No caso do Pantanal, apenas 5% dos incêndios estão associados a ocorrência de descargas atmosféricas Menezes et al., (2022).

Num contexto meteorológico, as condições de escala sinótica podem influenciar a temperatura e a umidade do ar próximo à superfície, variáveis determinantes para a inflamabilidade do combustível. Por outro lado, a compreensão dos padrões meteorológicos de grande escala e mesoescala é importante para prever o comportamento do vento, um fator crucial na propagação do fogo.

## 2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é analisar as condições meteorológicas durante um incêndio na região do Pantanal no dia 12 de novembro de 2023, procurando compreender os principais fatores que levaram a um comportamento inesperado da frente de fogo e o rápido aumento na área queimada.

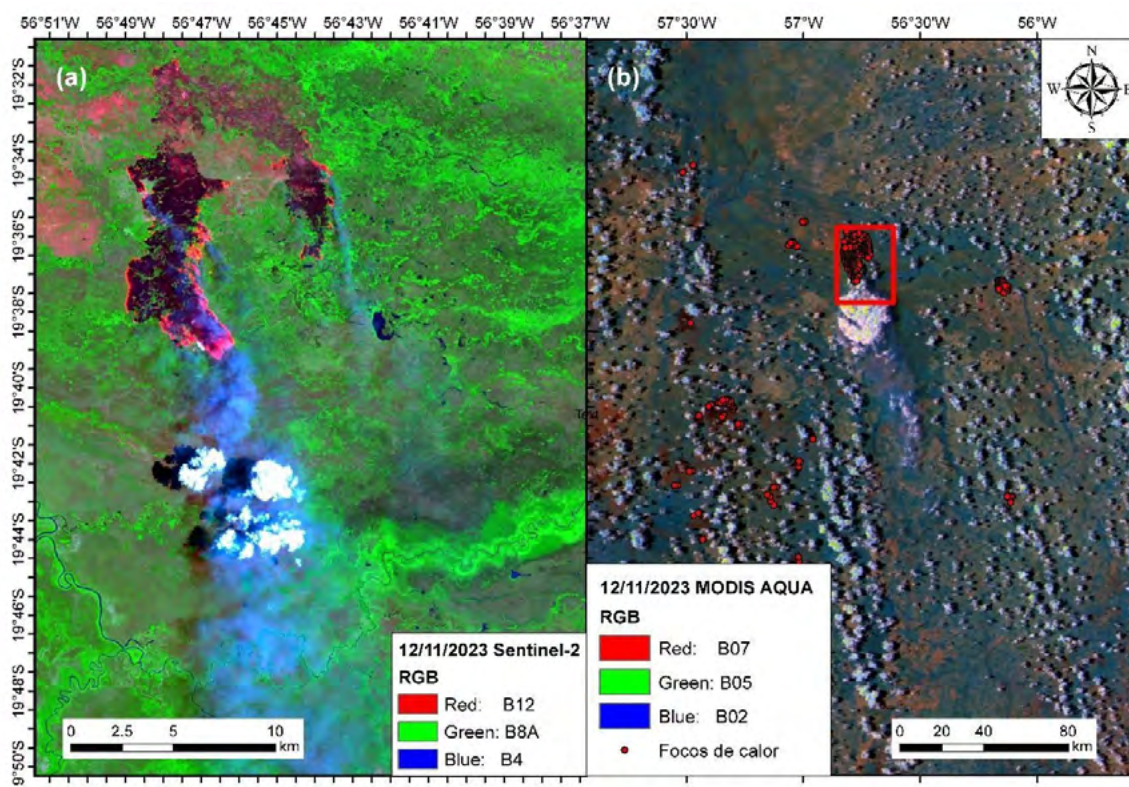
## 3. Material e Métodos

### 3.1. Estudo de caso

O presente estudo considera o incêndio que ocorreu no Pantanal no dia 12 de novembro de 2023. Este estudo concentra-se apenas no dia 12, particularmente no período em que o incêndio apresentou rápida propagação e um aumento significativo nos valores de Potência Radiativa do Fogo (Fire Radiative Power – FRP). No entanto, o incêndio se prolongou por mais alguns dias.

A **Figura 1** mostra dois instantes registrados pela observação de satélite. A **Figura 1a** apresenta a extensão da área queimada no dia 12/11/2023 sobre o incêndio através da composição RGB falsa-cor (12,8A,4) do sensor Multispectral Instrument (MSI) a bordo do satélite Sentinel-2A, com resolução espacial de 20m, obtida ao final da manhã, às 11h horário local (1400 UTC). É possível observar a frente de fogo do incêndio em direção ao sul, assim como a pluma de fumaça. A **Figura 1b** mostra uma composição RGB falsa-cor (752) do sensor Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS) a bordo do satélite Aqua também retirado para o mesmo dia, porém na parte da tarde, por volta das 15h horário local (1800 UTC). Nota-se que ao longo do dia, o incêndio emitiu uma enorme quantidade de aerossóis, sendo possível observar que a pluma de fumaça gerada pelo incêndio se deslocou vários quilômetros e possivelmente teve grande desenvolvimento vertical, observando-se o desenvolvimento de nuvens piro-convectivas.

As imagens de satélite foram extraídas da plataforma Google Earth Engine Gorelick et al., (2017). Foi utilizado o produto MCD14ML, focos de calor do sensor MODIS a bordo dos satélites Aqua e Terra processado pela NASA's Land, Atmosphere Near real-time Capability for EOS (LANCER). O produto foi extraído do Fire Information for Resource Management System (FIRMS). Cada foco de calor representa a localização do centro de um pixel de 1km de resolução espacial que foi identificado pelo algoritmo contendo um ou mais incêndios dentro do pixel. Foi filtrado para somente considerar focos de calor derivados do satélite Aqua Earthdata, (2021).



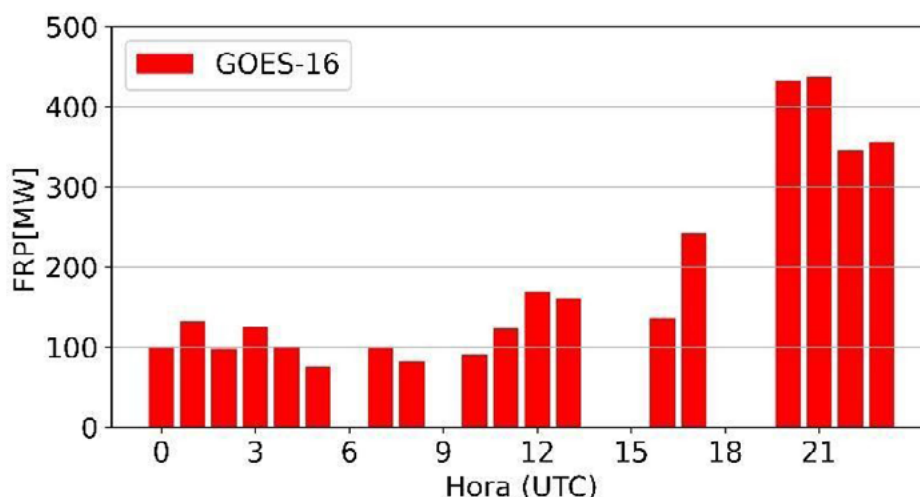
**Figura 1.** Características do incêndio florestal sobre o dia 12 de novembro de 2023 (a) Composição RGB do MSI/Sentinel-2A; (b) Composição RGB e focos de calor do MODIS/AQUA.

Foram utilizados também os focos de calor do satélite GOES-16, extraídos do banco de dados do Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O satélite GOES-16 é um satélite de órbita geoestacionária permitindo obter uma imagem sempre do mesmo lugar em diversos horários. A vantagem é que temos informação durante todo dia do mesmo ponto, enquanto a desvantagem é que a distância dele é de 36.000 km, o que limita a resolução espacial do sensor, sendo o *Advanced Baseline Imager* (ABI), a bordo do GOES-16 com 2 km de resolução espacial.

A **Figura 2** apresenta a evolução do FRP médio horário sobre a região do incêndio no dia 12/11/2023. O FRP calcula a energia liberada pelo incêndio durante a queima da vegetação. É possível observar que durante praticamente todo o dia é registrado valores de FRP na ordem de 100 MW, porém ao final da tarde esse valor aumenta, alcançando valores extremos superiores a 400 MW. Os horários em que não há valores de FRP podem estar associados a presença das nuvens, o que impossibilita a observação dos focos de calor.

### 3.2 Estações meteorológicas de superfície

Dados de estações meteorológicas de superfície (EMS) foram analisados, os quais são disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em <https://portal.inmet.gov.br/>. Os dados são das EMS localizadas no estado do Mato Grosso do Sul, nomeadamente a estação de Nhumirim (A717), Aquidauana (A719) e de São Gabriel do Oeste (A732). Para cada EMS foram analisadas as variáveis meteorológicas relacionadas com o perigo de incêndio: temperatura do ar, umidade relativa e rajadas de vento.



**Figura 2.** FRP médio horário para o dia 12/11/2023 extraídos do satélite GOES-16.

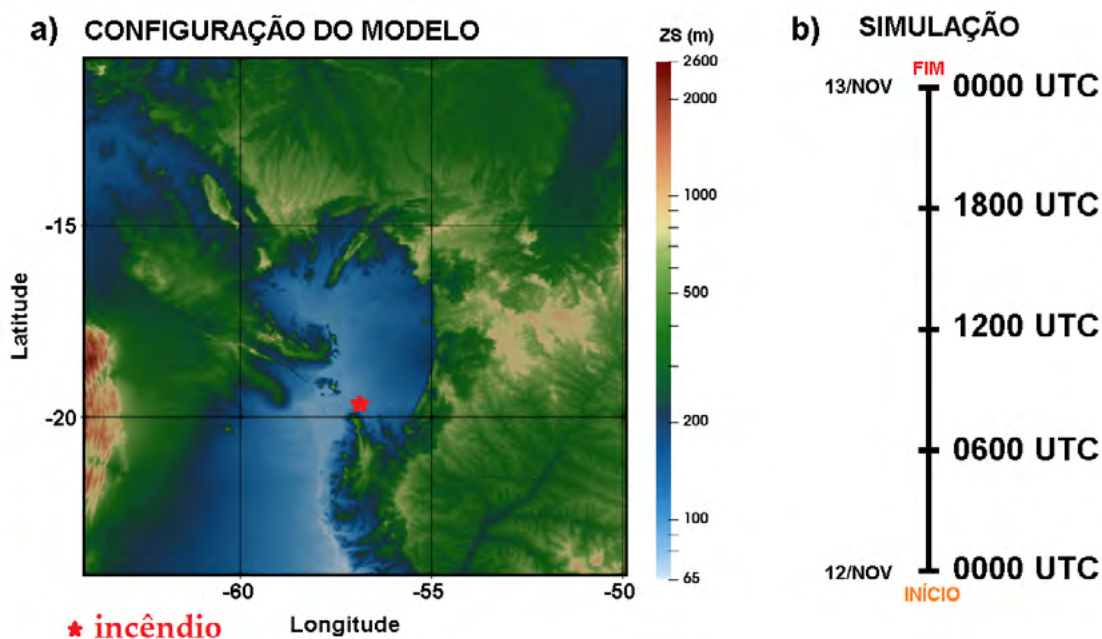
### 3.3. Modelagem atmosférica

O modelo atmosférico Meso-NH Lac et al., (2018) é um modelo de mesoescala e não-hidroestático capaz de simular os movimentos atmosféricos em diferentes escalas a partir da resolução de um conjunto de equações (e.g., equação de estado, da dinâmica, da continuidade e da termodinâmica). O modelo possui como variáveis de prognóstico as três componentes do vento, a temperatura potencial, e a água nas suas diferentes fases, sendo consideradas através da razão de mistura até sete classes de hidrometeoros (vapor, gotículas de nuvens, gotas de chuva, cristais de gelo, neve, graupel e granizo).

O Meso-NH é composto por um pacote completo de parametrização de processos físicos que ocorrem na atmosfera, como convecção, microfísica de nuvens, atividade elétrica das nuvens, turbulência, processos de superfície, entre outros. Em relação à superfície, o modelo considera diferentes tipos de cobertura da superfície terrestre, sendo capaz de representar a orografia e o tipo de paisagem presente em um determinado local. No que toca à composição do solo, esta é definida pelas suas frações de areia e argila.

A simulação de eventos reais é um aspecto importante do Meso-NH. Em Portugal, o modelo tem sido utilizado com sucesso no contexto dos incêndios florestais. As simulações de alta resolução têm permitido entender os ambientes meteorológicos associados à ocorrência de grandes incêndios, desde os padrões de circulação de mesoescala, efeitos locais criados por terrenos complexos Couto et al., (2021b, 2022); Purificação et al., (2022, 2024), aplicação do esquema elétrico para o estudo de ocorrência de incêndios naturais Couto et al., (2020), ou até mesmo acoplado a um modelo de propagação de fogo para explorar os impactos do fogo na atmosfera Campos et al., (2023); Couto et al., (2024a, 2024b).

Neste estudo, o modelo foi configurado com 600×600 pontos de grade com uma resolução horizontal de 2.5 km (1500 × 1500 km<sup>2</sup>). A **Figura 3a** mostra o esquema da configuração do modelo, com a orografia obtida a partir da base de dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Em relação aos dados fisiográficos, o modelo foi preparado com a base de dados standard para cobertura de superfície (ecoclimap\_v1.9) e tipo de solo (Harmonized World Soil Database – HWSD v1, global). No que toca a configuração vertical do modelo, a simulação foi configurada com 50 níveis verticais em coordenada sigma.



**Figura 3.** (a) Configuração horizontal do modelo com  $600 \times 600$  pontos de grade com uma resolução horizontal de 2.5 km ( $1500 \times 1500$  km<sup>2</sup>). A orografia (ZS) foi obtida a partir da base de dados SRTM. (b) Linha do tempo da simulação, num total de 24 horas simuladas.

Tendo em vista que o Meso-NH é um modelo de área limitada, a experiência numérica requer condições atmosféricas iniciais e de contorno, que são utilizadas para inicializar as variáveis de prognóstico e forçar a sua evolução ao longo da fronteira exterior. Neste estudo, os campos iniciais e de contorno foram obtidos pelas análises do Centro Europeu de Previsão do Tempo de Médio-Prazo (ECMWF). O Meso-NH foi executado com um pacote completo de parametrizações físicas, como por exemplo, turbulência, radiação, microfísica de nuvens, sendo a convecção profunda explicitamente resolvida na resolução de 2.5 km. Os efeitos do fogo não são considerados na experiência.

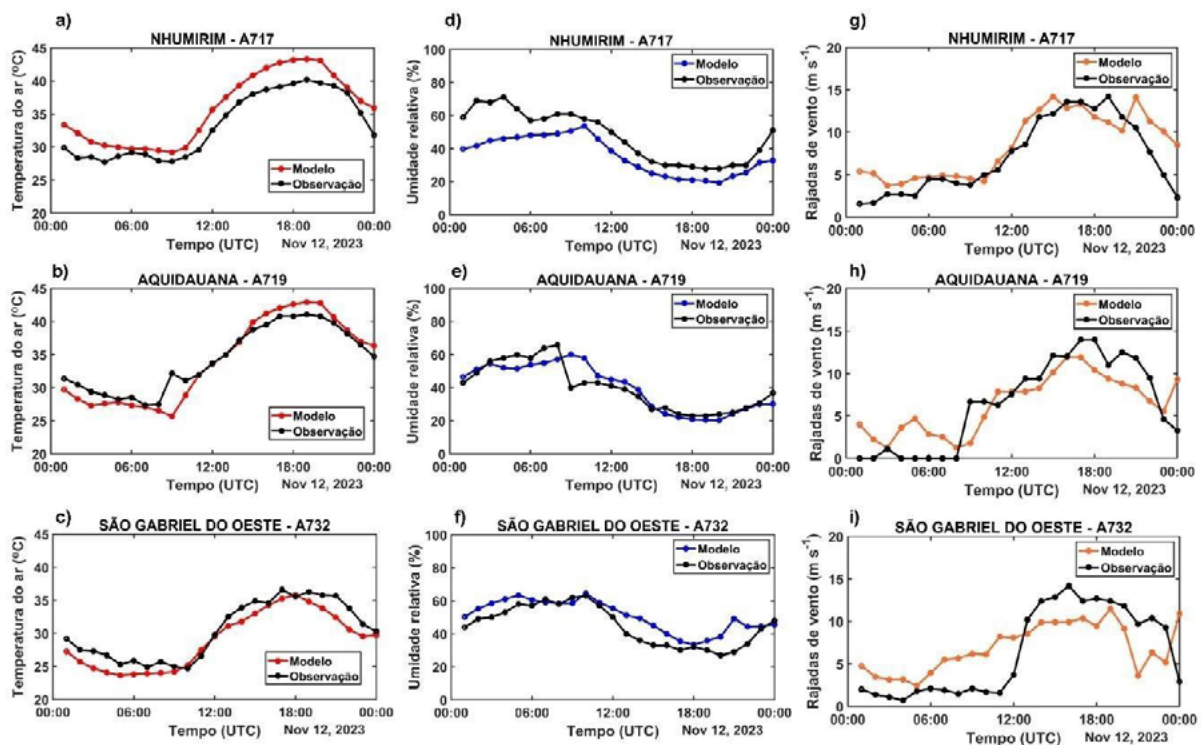
A integração temporal do modelo foi realizada a partir das 0000 UTC do dia 12 de novembro até às 0000 UTC do dia 13 de novembro de 2023, totalizando 24 horas de simulação, a qual foi explorada por meio de saídas horárias. Para avaliar o desempenho do modelo na representação das variáveis meteorológicas próximo à superfície, as observações da temperatura do ar, umidade relativa e rajadas de vento em 3 estações meteorológicas foram comparadas com os seus respectivos campos simulados. Os resultados são apresentados na seção 4.

#### 4. Resultados

Esta seção apresenta a validação da simulação e os resultados encontrados a partir da experiência numérica, os quais baseiam-se nos campos meteorológicos que influenciam o comportamento do fogo. Por exemplo, o estado da vegetação pode ser afetado pela temperatura e a umidade relativa do ar próximo à superfície, assim como intensas rajadas de vento que afetam diretamente a propagação da frente de fogo.

**Figura 4** mostra a comparação entre os valores de temperatura do ar a 2 m (**Figura 4a-c**), umidade do ar a 2 m (**Figura 4d-f**), e rajadas de vento (**Figura 4g-i**) observados e simulados. De um modo geral, o modelo é capaz de representar o comportamento das variáveis ao longo do dia, com alguns momentos de superestimação ou subestimação dos valores. Por exemplo,

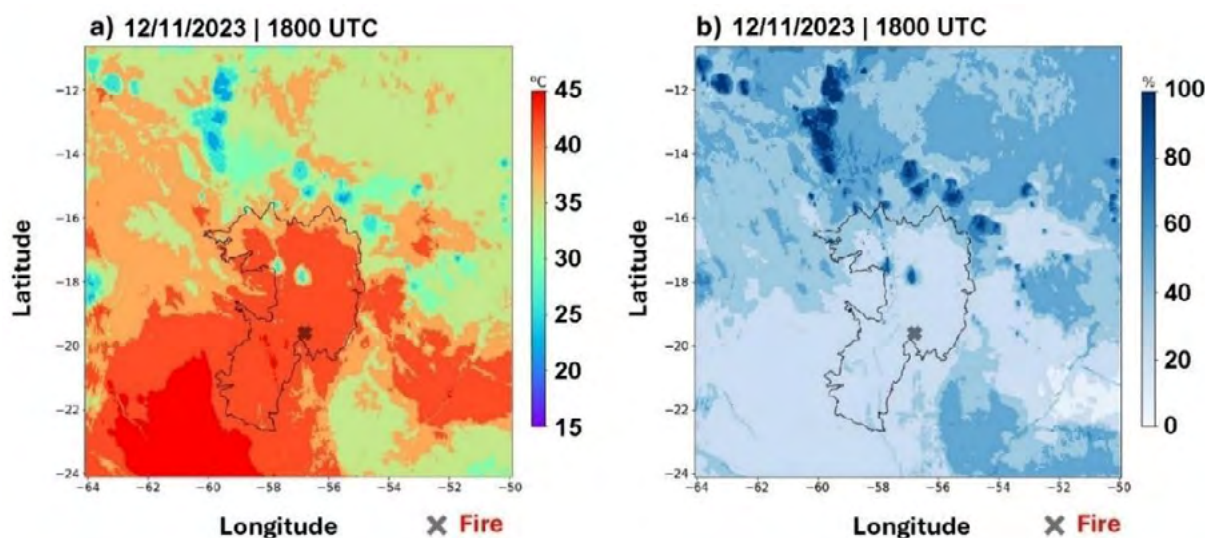
é de ressaltar que o modelo superestima as temperaturas acima dos 40°C, como verificado na estação A717, as quais registraram os máximos de temperatura do ar por volta das 1800 UTC (**Figura 4a**). No caso umidade relativa do ar, o modelo reproduziu os mínimos observados na estação de A719, abaixo de 30% (**Figura 4e**). O modelo representa bem as rajadas de vento nas EMS A717 (**Figura 4g**) e A719 (**Figura 4h**), porém na EMS A717 (**Figura 4g**) verifica-se um máximo às 1900 UTC o qual é bem representado pelo modelo 2 horas mais tarde. Esta intensificação do vento é consistente com o período de valores máximos de FRP identificado na **Figura 2**.



**Figura 4.** Comparação das variáveis meteorológicas ponto a ponto entre as observações in-situ e simulações com resolução horizontal de 2.5 km. (a)-(c) temperatura do ar à 2m, (d)-(f) umidade relativa à 2m, (g)-(i) rajadas de vento à 10 m.

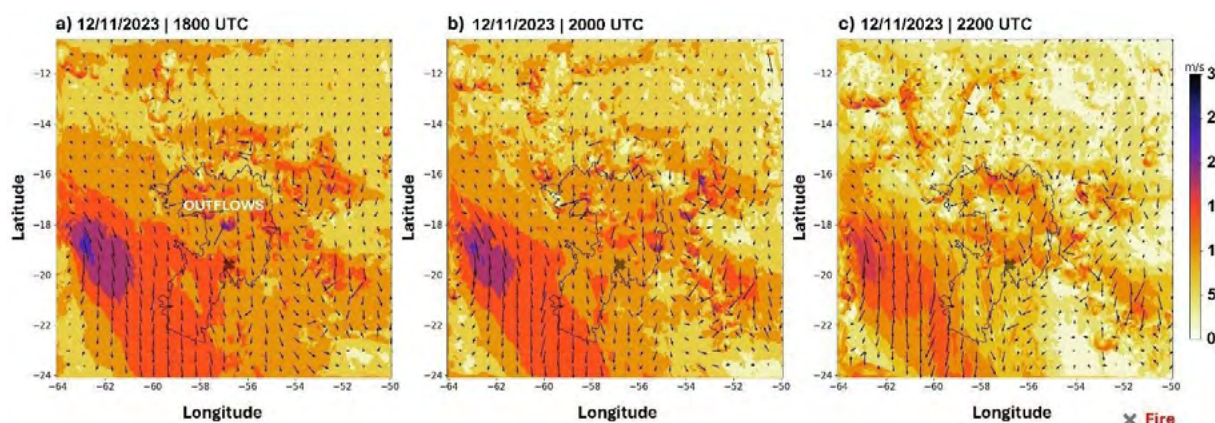
A **Figura 5** mostra a distribuição espacial da temperatura e da umidade relativa próximo à superfície para as 1800 UTC a partir da simulação. A temperatura apresenta uma maior extensão espacial dos valores acima de 40 °C, entretanto, há algumas regiões com valores menores a partir do final da tarde na região centro-norte do Pantanal (**Figura 5a**). A maior porção do Pantanal apresenta umidade relativa do ar com valores inferiores a 20% ao longo da tarde, sendo possível verificar algumas áreas com valores máximos encontrados nos locais onde a temperatura foi relativamente menor, podendo ser um indicio do desenvolvimento de “cold pools” a partir de nuvens convectivas. De um modo geral, os valores são sempre inferiores a 40 % no Pantanal (**Figura 5b**).

Em relação ao campo das rajadas de vento, foram simuladas rajadas mais fracas ao longo da noite e início da manhã (não mostrado). As rajadas de vento se intensificam a partir do final da manhã, com valores superiores a 10 m/s sobre o Pantanal ao longo da tarde. Entretanto, no final da tarde é possível verificar o desenvolvimento de *outflows* convectivos. Na **Figura 6a**,



**Figura 5.** Campos meteorológicos obtidos a partir da simulação para a tarde do dia 12 de novembro de 2023: (a) temperatura do ar à 2 m, e (b) umidade relativa do ar à 2 m.

às 1800 UTC, é possível identificar algumas regiões em que as rajadas de vento apresentam velocidades ao redor de 20 m/s. O vento propaga-se radialmente nas próximas horas, sendo possível identificar uma frente de rajada com valores da ordem de 15 m/s deslocando-se para Sul (**Figura 6b**). Essa frente de rajada atinge a região onde o incêndio estava a ocorrer por volta das 2200 UTC (**Figura 6c**). É de ressaltar que esse máximo relativo das rajadas de vento coincidem com o período de máximos valores de FRP registrado pelo satélite. Essa situação revela o papel importante que a intensificação do vento teve para a evolução do fogo, em especial a partir do desenvolvimento de frentes de rajadas na região do Pantanal.



**Figura 6.** Campo das rajadas de vento à 10 m no dia 12 de novembro de 2023: (a) às 1800 UTC, (b) às 2000 UTC, e (c) 2200 UTC.

Vários fatores podem causar uma mudança abrupta do campo de vento afetando os incêndios florestais, tanto num contexto de mesoescala ou de circulação criada na escala do fogo, em particular durante incêndios que criam a sua própria meteorologia Couto et al., (2024a); Couto et al., (2024b). No presente estudo é mostrada uma situação em que as condições meteorológicas de mesoescala foram importantes para o desenvolvimento de frentes de rajadas na região do

Pantanal. O desenvolvimento de *outflows* convectivos e de frente de rajadas é reconhecido como um fator de aumento de perigo de fogo em algumas regiões, como por exemplo na Península Ibérica Couto et al., (2020); Purificação et al., (2024).

## 5. Conclusões

O presente trabalho apresenta uma análise das condições meteorológicas durante um incêndio na região do Pantanal no dia 12 de novembro de 2023, procurando compreender os principais fatores que levaram a um comportamento inesperado do fogo e o rápido aumento da área queimada.

A simulação com o modelo Meso-NH, configurado em uma resolução de 2.5 km, permitiu explorar os principais campos meteorológicos relacionados ao perigo de incêndio na região do Pantanal. Foi possível identificar um ambiente caracterizado por temperaturas do ar da ordem de 40 °C e umidade relativa inferior a 20% em grande parte do Pantanal, fatores estes que influenciam o estado da vegetação. A simulação também indicou o desenvolvimento de intensas rajadas de vento atingindo a região do incêndio no final do dia, coerente com o aumento repentino dos valores de FRP. Neste sentido, o estudo mostra evidências de que simulações numéricas de alta resolução, em que a convecção é resolvida explicitamente pelo modelo, são importantes para representar fenômenos atmosféricos de escala regional e local, nomeadamente intensas rajadas de vento proveniente de *outflows* convectivos, nos auxiliando a compreender situações que podem influenciar a dinâmica do fogo.

Este trabalho é um ponto de partida para o entendimento de condições meteorológicas que favorecem o desenvolvimento de grandes incêndios na região do Pantanal, sendo destacado o papel importante que a modelação atmosférica de alta resolução pode ter para a elaboração de estratégias de combate dos incêndios na região. O trabalho encontra-se em desenvolvimento, sendo que a análise apresentada neste estudo tem sido expandida para outras situações críticas que ocorreram no Pantanal e em que fenômenos de mesoescala podem ter sido cruciais para a severidade dos eventos.

## 6. Agradecimentos

Este estudo foi co-financiado pela FCT-Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. no âmbito dos projetos ICT (UIDB/04683/2020 | UIDP/04683/2020) e PyroC.pt (Ref. PCIF/MPG/0175/2019). Filipe Santos foi apoiado pela FCT através da Bolsa de Doutoramento (Ref. 2022.11960.BD).

## 7. Referências

- Andrade, N.; Couto, F.T.; Serra, J. Assessing Fire Risk Perception in the Vale do Guadiana Natural Park, Portugal. *Fire*, 6, 243, 2023. <https://doi.org/10.3390/fire6060243>.
- Bowman, D.M.J.S., Kolden, C.A., Abatzoglou, J.T. et al. Vegetation fires in the Anthropocene. *Nat Rev Earth Environ* 1, 500–515 (2020). <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0085-3>.
- Campos, C.; Couto, F.T.; Filippi, J.-B.; Baggio, R.; Salgado, R. Modelling pyro-convection phenomenon during a mega-fire event in Portugal. *Atmos. Res.*, 290, 106776, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106776>.
- Couto, F.T.; Iakunin, M.; Salgado, R.; Pinto, P.; Viegas, T.; Pinty, J.-P. Lightning modelling for the research of forest fire ignition in Portugal. *Atmos. Res.*, 242, 104993, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104993>.
- Couto, F.T.; Andrade, N.; Salgado, R.; Serra, J. Wildfire risk in Madeira island and the potential impacts on tourism. In: European Geosciences Union (EGU), General Assembly 2021, Anais da EGU General Assembly 2021: Geophysical Research Abstracts, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-14575, 2021a. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-14575>.

- Couto, F.T.; Salgado, R.; Guiomar, N. Forest Fires in Madeira Island and the Fire Weather Created by Orographic Effects. **Atmosphere**, 12, 827, 2021b. <https://doi.org/10.3390/atmos12070827>.
- Couto, F.T.; Santos, F.L.M.; Campos, C.; Andrade, N.; Purificação, C.; Salgado, R. Is Portugal Starting to Burn All Year Long? The Transboundary Fire in January 2022. **Atmosphere**, 13, 1677, 2022. <https://doi.org/10.3390/atmos13101677>.
- Couto, F.T.; Filippi, J.-B.; Baggio, R.; Campos, C.; Salgado, R. Triggering Pyro-Convection in a High-Resolution Coupled Fire–**Atmosphere** Simulation. **Fire**, 7, 92, 2024a. <https://doi.org/10.3390/fire7030092>.
- Couto, F.T.; Filippi, J.-B.; Baggio, R.; Campos, C.; Salgado, R. Numerical investigation of the Pedrógão Grande pyrocumulonimbus using a fire to atmosphere coupled model. **Atmos. Res.**, 299, 107223, 2024b. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107223>.
- Earthdata (2021) MODIS Collection 6 Hotspot / Active Fire Detections MCD14ML distributed from NASA FIRMS. Disponível on-line: <https://earthdata.nasa.gov/firms>. Acesso em: 25 julho 2024. doi:10.5067/FIRMS/MODIS/MCD14ML.
- Ganteaume, A.; Syphard, A.D. Ignition sources in: Manzello S. (eds) **Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires**. Springer, Cham., 2018. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8\\_43-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_43-1).
- Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, 202, 18-27, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Kim, M.-K.; Jakus, P.M. Wildfire, national park visitation, and changes in regional economic activity. **Journal of Outdoor Recreation and Tourism**, 26, 34–42, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2019.03.007>.
- Lac, C.; Chaboureau, J.-P.; Masson, V.; Pinty, J.-P.; Tulet, P.; Escobar, J.; Leriche, M.; Barthe, C.; Aouizerats, B.; Augros, C.; et al. Overview of the Meso-NH model version 5.4 and its applications. **Geosci. Model Dev.**, 11, 1929–1969, 2018. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-1929-2018>.
- Libonati, R.; Geirinhas, J.L.; Silva, P.S.; Russo, A.; Rodrigues, J.A.; Belém, L.B.C.; Nogueira, J.; Roque, F.O.; DaCamara, C.C.; Nunes, A.M.B.; et al. Assessing the role of compound drought and heatwave events on unprecedented 2020 wildfires in the Pantanal. **Environ. Res. Lett.**, 17, 015005, 2022. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac462e>.
- Mataveli, G.A.V.; Pereira, G.; de Oliveira, G. et al. 2020 Pantanal’s widespread fire: short- and long-term implications for biodiversity and conservation. **Biodivers Conserv**, 30, 3299–3303, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02243-2>.
- Menezes, L.S.; de Oliveira, A.M.; Santos, F.L.; Russo, A.; de Souza, R.A.; Roque, F.O.; Libonati, R. Lightning patterns in the Pantanal: Untangling natural and anthropogenic-induced wildfires. **Sci. Total Environ.**, 820, 153021, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153021>
- Pelissari, T.D.; Teodoro, P.E.; Teodoro, L.P.R. et al. Dynamics of major environmental disasters involving fire in the Brazilian Pantanal. **Sci Rep**, 13, 21669, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49154-6>.
- Purificação, C.; Andrade, N.; Potes, M.; Salgueiro, V.; Couto, F.T.; Salgado, R. Modelling the Atmospheric Environment Associated with a Wind-Driven Fire Event in Portugal. **Atmosphere**, 13, 1124, 2022. <https://doi.org/10.3390/atmos13071124>.
- Purificação, C.; Campos, C.; Henkes, A; Couto, F.T. Exploring the atmospheric conditions increasing fire danger in the Iberian Peninsula. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 1–20. 2024. <https://doi.org/10.1002/qj.4776>.
- Rorato, A.C.; Picoli, M.C.A.; Verstegen, J.A.; Camara, G.; Silva Bezerra, F.G.; Escada, M.I.S. **Environmental Threats over Amazonian Indigenous Lands**. **Land**, 10, 267, 2021. <https://doi.org/10.3390/land10030267>.
- Silva, C.A.; Santilli, G.; Sano, E.E.; Laneve, G. Fire Occurrences and Greenhouse Gas Emissions from Deforestation in the Brazilian Amazon. **Remote Sens.**, 13, 376, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13030376>.
- Silva, P.S.; Rodrigues, J.A.; Nogueira, J.; Moura, L.C.; Enout, A.; Cuiabália, C.; DaCamara, C.C.; Pereira, A.A.; Libonati, R. Joining forces to fight wildfires: Science and management in a protected area of Pantanal, Brazil. **Environmental Science & Policy**, 159, 103818, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2024.103818>.



Tomas, W.M. ; Berlinck, C.N. ; Chiaravalloti, R.M. et al. Distance sampling surveys reveal 17 million vertebrates directly killed by the 2020's wildfires in the Pantanal, Brazil. *Sci Rep*, 11, 23547, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02844-5>.

## **Avaliação de produção de massa verde e massa seca em gramíneas forrageiras tropicas do gênero *Urochloa* no planalto de Vitória da Conquista usando imagens RGB**

André Luiz de Jesus Dantas <sup>1</sup>  
Bárbara Louise Pacheco Ramos <sup>2</sup>  
Juan Mark Silva Amorim <sup>3</sup>  
Jaislânia de Jesus Nunes <sup>4</sup>  
Andrei dos Santos Souza <sup>5</sup>  
Filipe Soares Araújo <sup>6</sup>  
Odair Lacerda Lemos <sup>7</sup>  
Márcio dos Santos Pedreira <sup>8</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB  
Estrada do Bem Querer, Km - 04 - Caixa Postal 95  
45031-900 - Vitória da Conquista - BA, Brasil  
andreljdantas@gmail.com<sup>1</sup>, agro.barbara@outlook.com<sup>2</sup>, juanmjmark@gmail.com<sup>3</sup>,  
flprepresentacao@outlook.com<sup>6</sup>, olemos@uesb.edu.br<sup>7</sup>, mpedreira@uesb.edu.br<sup>8</sup>

<sup>4</sup> Empresa Interagrícola S/A - EISA  
Rua Prudente de Moraes, 80 - Centro  
45700-740 - Vitória da Conquista - BA, Brasil  
jaislania.nunes@hotmail.com

<sup>5</sup> Agro11- AT - Zona Rural  
45120-000 - Barra do Choça - BA, Brasil  
andrei\_souza37@hotmail.com

**Resumo.** As pastagens, especialmente as forrageiras tropicais do gênero *Urochloa*, são a principal fonte de alimento para os rebanhos bovinos brasileiros. Para avaliar as gramíneas, diversos métodos são utilizados, inclusive técnicas de sensoriamento remoto. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a produção de massa verde (PMV) e produção de massa seca (PMS) em gramíneas forrageiras tropicais do gênero *Urochloa* nas condições do planalto de Vitória da Conquista – BA, por meio do sensoriamento remoto utilizando sensor RGB acoplado em plataforma ARP. Foram estudadas quatro cultivares pertencentes ao gênero *Urochloa*: *U. brizantha* cv. Braúna, *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás, *U. decumbens* cv. Basilisk e *U. híbrida* cv. Camello. Realizou-se missões de voo autônomas com o ARP, modelo DJI Phantom 4 Advanced, a 100 e 20 metros de altura, entre os meses de dezembro de 2021 e janeiro de 2023. Não foi constatada diferença significativa entre as produtividades de massa verde (PMV) para as gramíneas estudadas, as quais alcançaram uma média de 40,9 t. ha<sup>-1</sup>/ano. As cultivares Paiaguás e Basilisk apresentaram os maiores índices no GLI (0,59), enquanto a cultivar Braúna obteve o menor índice. As diferenças observadas no GLI podem estar relacionadas com as características morfológicas das cultivares.

**Palavras-chave:** drone, massa de forragem, pastagens, sensoriamento remoto.

**Abstract.** Pastures, especially tropical forage grasses of the genus *Urochloa*, are the main source of food for Brazilian cattle herds. Several methods are used to evaluate grasses, including remote sensing techniques. Thus, the present study aimed to evaluate the green mass production (PMV) and dry mass production (PMS) in tropical forage grasses of the genus *Urochloa* under the conditions of the Vitória da Conquista – BA plateau, through remote sensing using an RGB sensor coupled to an ARP platform. Four cultivars belonging to the genus *Urochloa* were studied: *U. brizantha* cv. Braúna, *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás, *U. decumbens* cv. Basilisk and *U. hybrid* cv. Camello. Autonomous flight missions were carried out with the ARP, DJI Phantom 4 Advanced model, at 100 and 20 meters high, between December 2021 and January 2023. No significant difference was found between the green mass productivity (PMV) for the studied grasses, which reached an average of 40.9 t. ha<sup>-1</sup>/year. The Paiaguás and Basilisk cultivars presented the highest GLI indexes (0.59), while the Braúna cultivar obtained the lowest index. The differences observed in GLI may be related to the morphological characteristics of the cultivars.

**Key-words:** forage mass, drone, pastures, remote sensing.

## 1. Introdução

A bovinocultura tem uma grande relevância mundial, tanto econômica quanto socialmente. O Brasil, com um dos maiores rebanhos bovinos do mundo, destaca-se pela competitividade na pecuária, majoritariamente extensiva, tendo as pastagens como principal fonte de alimento Valentim, (2005). Cerca de 90 milhões de hectares dessas pastagens são ocupados por forrageiras tropicais do gênero *Urochloa* (Sinonímia: *Brachiaria*) que se destacam pela adaptação a diversas condições de solo e clima, sendo uma das melhores opções para pastejo no Brasil Barbero et al, (2021).

A produtividade do rebanho bovino brasileiro está condicionada diretamente a qualidade das pastagens, sendo assim, a adoção de práticas corretas de manejo, correção e adubação das áreas, a escolha de forrageiras adequadas a região e ao sistema produtivo são fatores fundamentais que interferem em toda a dinâmica da produtividade Nascimento e Almeida, (2020).

A estimativa da produção de forragem é imprescindível quando se busca um bom manejo. Diversos são os métodos utilizados para mensurar a massa de forragem, podendo ser trabalhosos, caros e imprecisos Lisboa, (2020). A fim de reduzir esses efeitos negativos e aumentar a rapidez da obtenção de informações das pastagens, o sensoriamento remoto se torna uma ferramenta importante para otimizar essas atividades, reduzindo os custos envolvidos nesse processo.

Os índices de vegetação, como por exemplo, NDVI, EVI, NDRE e outros, têm como objetivo verificar as respostas espectrais da biomassa Atzberger. (2013), em virtude da dinâmica de absorção e reflectância dos comprimentos de ondas realizados pelos vegetais. Com isso, essas diferentes respostas nas bandas espectrais do vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue) são capturadas pelas imagens e demonstradas por equações matemáticas obtidas da extração de cada banda. Dessa forma, esses índices têm o potencial de correlacionar com a massa de forragem, por conta desse comportamento intrínseco das plantas.

O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) enfrenta desafios devido ao alto custo dos sensores e à necessidade de conhecimento técnico especializado, limitando seu uso em pequenos projetos, por exemplo Sampaio, (2021). Em contraste, o sensor RGB (Vermelho, Verde e Azul) é uma alternativa mais acessível e prática. Mais econômico e amplamente disponível, o sensor RGB permite a captura de imagens que, embora menos precisas para análises detalhadas de vegetação, ainda fornecem informações úteis, facilitando seu uso em diversas aplicações com menos barreiras tecnológicas e financeiras Santos, (2023).

O sensor RGB capta imagens baseadas nas cores refletidas pelas folhas das plantas, relacionadas aos pigmentos como a clorofila. Esses pigmentos são essenciais para a fotossíntese, onde a luz solar é convertida em energia química. A análise das imagens RGB pode fornecer

informações valiosas sobre a saúde e densidade da vegetação. Uma maior cobertura de folhas indica um maior potencial de acumulação de fotoassimilados, que são convertidos em biomassa Freire-Silva, (2019).

## 2. Objetivo

O objetivo do presente estudo foi verificar o potencial estimativo do sensor RGB acoplado em veículo remotamente pilotado (ARP) para a produção de massa verde (PMV) e produção de massa seca (PMS) em gramíneas forrageiras tropicais do gênero *Urochloa*.

## 3. Material e Métodos

As avaliações foram realizadas no campo experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), no município de Vitória da Conquista – BA (14°52'58.66" S, 40°47'33.839" W, 892 m de altitude), entre os meses de dezembro de 2021 a janeiro de 2023. De acordo com a classificação climática de Koppen, o clima é CWB, tropical de altitude, caracterizado por chuvas no verão e seca no inverno, com temperaturas mínimas e máxima de 18° C e 22°C, respectivamente, e média de precipitação anual de 771 mm (SEI, 1999).

Os tratamentos foram compostos por quatro cultivares de gramíneas do gênero *Urochloa*: *U. brizantha* cv. Braúna, *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás, *U. decumbens* cv. Basilisk e *U. híbrida* cv. Camello. As cultivares foram alocadas em blocos casualizados, com cinco repetições em parcelas de 64 m<sup>2</sup> (8 x 8 m).

A semeadura foi realizada em dezembro de 2021, adubando-se com 29 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 4,5 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, entres os meses de março e abril de 2022, compreendendo a semeadura e o fim da estação chuvosa. As avaliações foram executadas quando as plantas atingiram a altura de corte (pré-pastejo) estabelecidas conforme a orientação para cada espécie, sendo elas: Braúna a 45 cm; Camello e BRS Paiaguás 35 cm e Basilisk a 30 cm. O resíduo de altura de pré-pastejo foi de 50%. Para determinação da produção de massa verde (PMV), a massa amostral foi coletada em duas áreas representativas da parcela (1 m<sup>2</sup>).

Para a captação das imagens e registro dos dados, foi utilizada um veículo remotamente pilotado (ARP), modelo quadricóptero DJI Phantom 4 Advanced equipado com uma câmera com sensor semicondutor de óxido de metal complementar (CMOS) de 20 megapixels, distância focal 9 mm e abertura máxima de 2,97, arranjado no gimbal, com receptor GNSS (sistema global de navegação por satélite) associado ao sistema de navegação, permitindo missões de voo autônomas, utilizando planos de voo pré-carregados em softwares distintos.

Para garantir maior precisão na correção posicional das imagens e extração dos índices, foram distribuídos dez pontos de controle (PC) no campo experimental para obtenção das coordenadas geográficas, utilizando-se um equipamento geodésico com receptor de RTK.

O planejamento das missões foi realizado através do software DroneDeploy, operado em um smartphone e carregada na controladora do ARP, cobrindo 8.000 m<sup>2</sup>. As operações de voo foram realizadas de forma autônoma, antes das coletas das amostras a campo, utilizando-se a configuração para captura das imagens com 80% de sobreposição lateral e frontal, nos horários entre 10 e 12 horas da manhã e na altura de 100 e 20 metros acima do nível do solo.

O processamento das imagens RGB foi realizado no software de fotogrametria Agisoft PhotoScan. O software ostenta o algoritmo Structure from Motion (SfM) para unir e estimar uma nuvem de pontos 3D com base em imagens sobrepostas (Verhoeven, 2011). A configuração do fluxo de trabalho do software foi adaptada com base em Schirrmann et al. (2016), sendo composta pelas seguintes etapas: importação das coordenadas referentes aos pontos de controle e das imagens; calibração da câmera; conversão e configuração das coordenadas geográficas;

análise das imagens; alinhamento das imagens resultando em uma nuvem de pontos espalhados; ajuste das imagens através dos pontos de controle; construção da nuvem densa de pontos; classificação dos pontos de solo; construção do modelo digital do superfície (MDS); construção do modelo digital do terreno (MDT) e obtenção do ortomosaico.

No software Quantum Gis, os produtos citados anteriormente foram processados para extração dos índices, em formas de camadas (shapefile) de identificação dos tratamentos estudados, originárias dos pontos geográficos referentes a cada vértice das parcelas, para obtenção do modelo digital da vegetação (MDV) e do índice Green Leaf Index (GLI), por meio das bandas RGB (Red, Blue e Green) (**Tabela 1**).

As médias das cultivares em relação a PMV e PMS foram comparados usando o teste de Tukey, a significância de 5% (software SAS, Análise Estatística System). As análises de correlação entre os itens do pasto (PMV e PMS) e os índices (GLI e MDV) foram realizadas no SPSS (Statistical Package for the Social Science), por meio do teste de Pearson a 1% de significância. Em seguida, os dados de cada cultivar foram submetidos a regressão linear múltipla conforme o método stepwise (por passo), para a obtenção das equações de predição.

**Tabela 1.** Descrição dos índices MDV e GLI extraídos dos produtos (ortomosaico, MDS e MDT) do processamento das imagens.

Índices digitais	Tipo	Fórmula	Fonte
Modelo Digital de Vegetação (MDV)	Vertical	$MDV = MDS - MDT$	
Green Leaf Index (GLI)	Espectral	$GLI = \frac{(2 \times G) - R - B}{(2 \times G) + R + B}$	

#### 4. Resultados e Discussão

A produtividade anual tanto da massa de forragem verde (PMV) quanto da massa seca (PMS) não apresentaram diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre as gramíneas do gênero *Urochloa*, expressando média de produtividade anual de 40,9 t. ha<sup>-1</sup> para massa verde e 10,4 t. ha<sup>-1</sup> para massa seca (**Tabela 2**).

**Tabela 2.** Produtividade de Massa Verde e Massa Seca das gramíneas forrageiras tropicais mensuradas.

Gramíneas	PMV (t. ha <sup>-1</sup> )	PMS (t. ha <sup>-1</sup> )
<i>U. brizantha</i> cv. Braúna	39,7	11,2
<i>U. híbrida</i> cv. Camello	41,4	10,9
<i>U. decumbens</i> cv. Basilisk	41,9	10,0
<i>U. brizantha</i> cv. BRS Paiaguás	40,6	9,6
P-valor	0,9	0,13

PMV: Produtividade de Massa Verde; PMS: Produtividade de Massa Seca.

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ )

Quando analisados os índices, as correlações foram positivas e significativas para GLI obtido no voo a 20 metros de altura, tanto em PMV (0,45) quanto em PMS (0,25), e para MDV, entretanto somente para PMS (0,03), ainda assim alcançando um valor baixo, enquanto para PMV se obteve uma correlação negativa (-0,15), não significativa. As correlações obtidas no voo a 100 metros de altura alcançaram valores superiores, principalmente em relação ao GLI, tanto em PMV (0,65) quanto em PMS (0,27) (**Figura 1**). Essas correlações refletiram na construção dos modelos preditivos.

	20 metros		100 metros		Legenda:
	GLI	MDV	GLI	MDV	
PMV	0,45*	-0,15	0,65*	0,16*	0,99 a 0,70
PMS	0,25*	0,03*	0,27*	0,03*	0,69 a 0,40

0,39 a 0,10	Fraca positiva
0,10 a -0,10	Insignificativa
-0,10 a -0,39	Fraca negativa
-0,40 a -0,69	Moderada negativa
-0,70 a -0,99	Forte negativa

\*Correlação é significativa a 1%

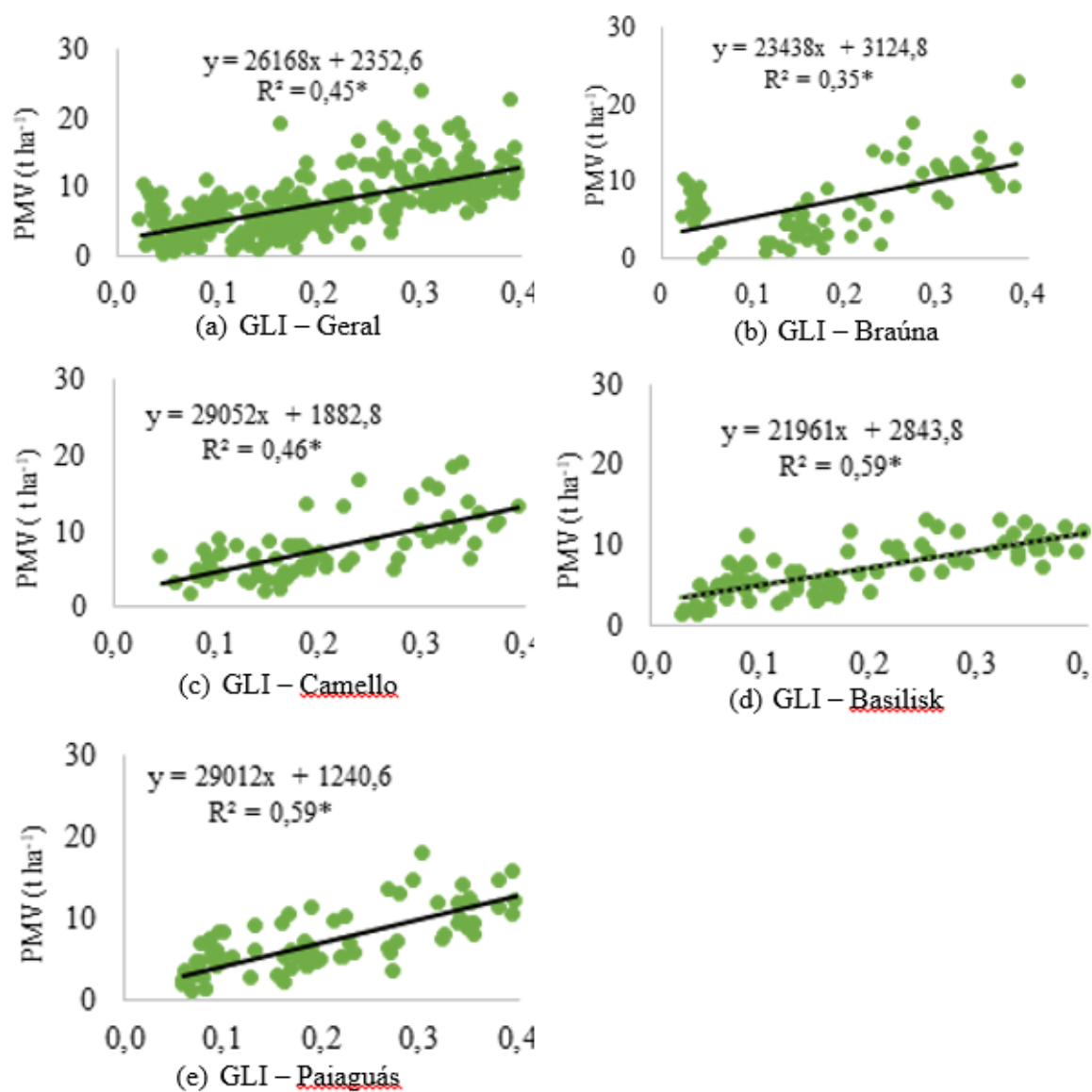
PMV: produção de massa verde; GLI: índice de folha verde; MDV: modelo digital de vegetação;

**Figura 1.** Correlações de Pearson entre os índices de pasto e índices digitais, no voo a 20 metros de altura.

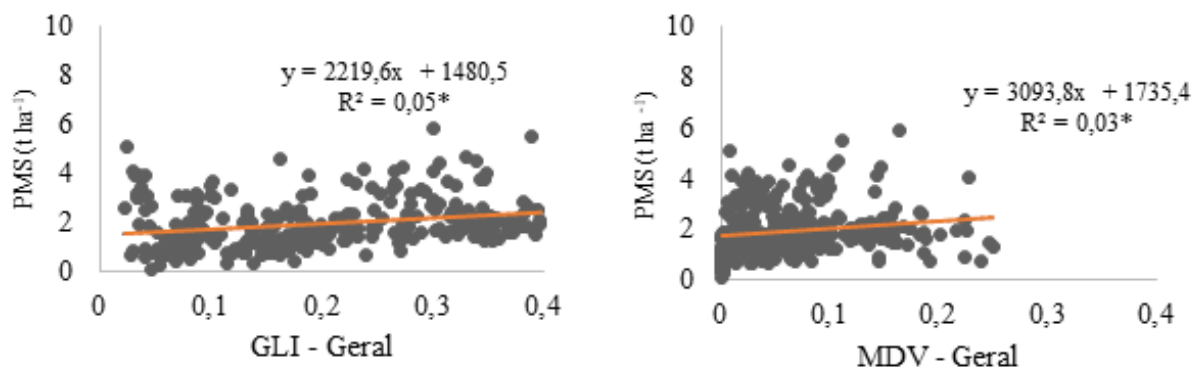
A partir dos dados coletados a campo e do comportamento correlacional, foram elaborados modelos preditivos para análise de PMV e PMS, considerando as alturas de voo de 100 e 20 metros, configurando-se em um modelo geral (considerando todas as cultivares – **Figura 2**) e modelos para cada uma das cultivares.

A equação geral (**Figura 3a**) obteve um  $R^2$  de 0,45, respondendo 45% dos dados de PMV. Em virtude da separação por cultivares, é observado que este índice se apresenta de maneira crescente, tendo-se um  $R^2$  maior para as cultivares BRS Paiaguás e Basilisk (0,59) (**Figura 3e**) (**Figura 3d**), seguidas pela cultivar Camello (0,46) (**Figura 3c**) e com a cultivar Braúna apresentando uma redução em relação as demais (0,35) (**Figura 3a**). Esse crescimento demonstra que, o aumento do GLI é proporcional ao aumento da produtividade de massa verde. Observando a **Tabela 1** nota-se que as cultivares não apresentaram diferença de produtividade entre si, entretanto, analisando os modelos percebe-se diferenças nos modelos de cada cultivar, obtendo-se valores maiores quando comparamos, por exemplo, a cv. Paiaguás com a cv. Braúna.

Os índices de GLI e MDV para PMS não obtiveram valores significativos maiores que 0,1, quando mensurados na altura de voo de 100 metros, seja analisado individualmente ou em conjunto (**Figura 3**).

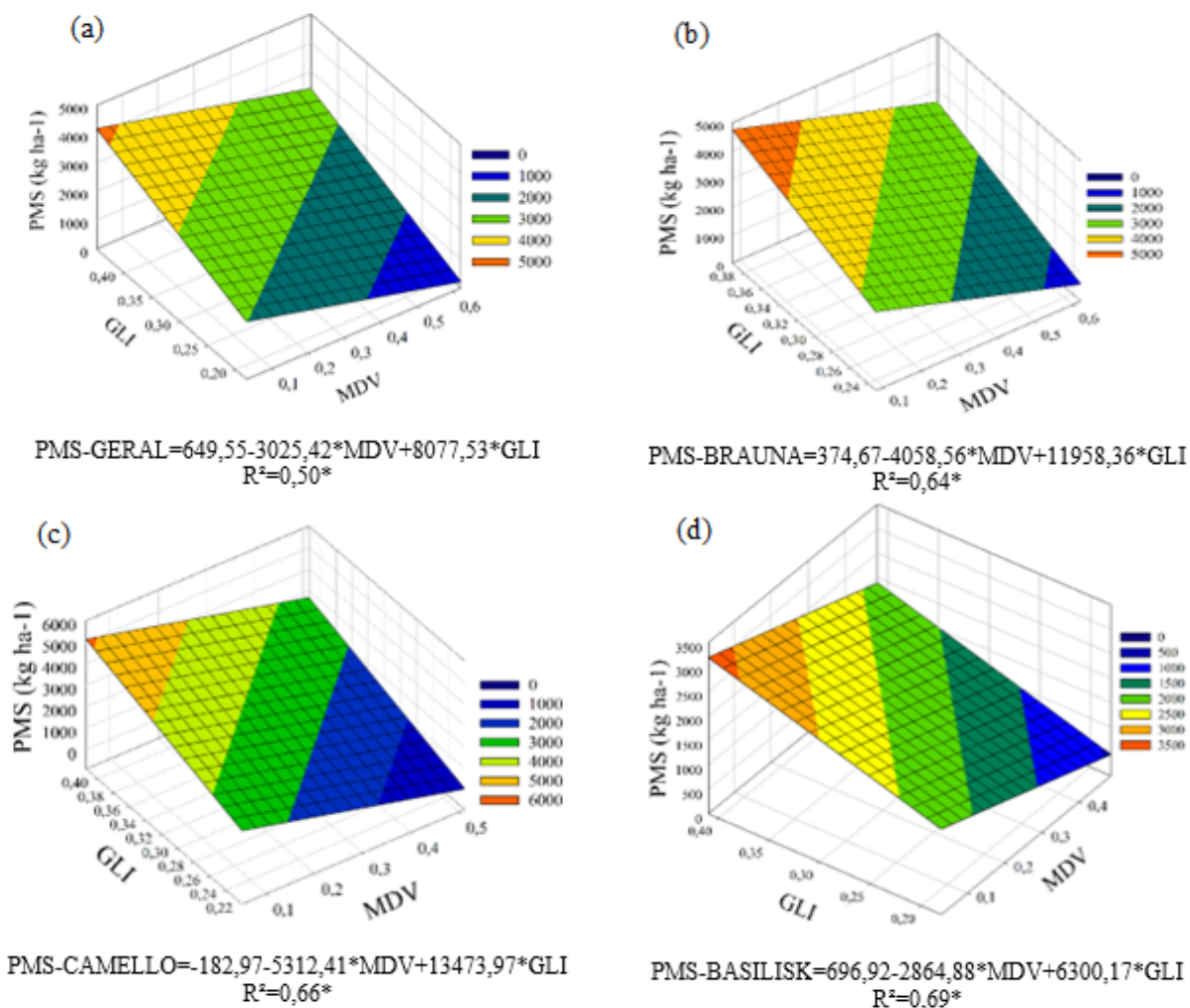


**Figura 2.** Modelos de regressão para estimativa de PMV com GLI (100 metros). (a) Geral, (b) cv Braúna, (c) cv. Camello, (d) cv. Basilisk, (e) Paiaguás. \*significativo a 1%.



**Figura 3.** Modelo de regressão para PMS a 100 metros de altura de voo. \*significativo a 1%.

Quando analisados de maneira agrupada (GLI + MDV), os modelos preditivos nos índices GLI e MDV foram significativos para PMS, mas, a 20 metros de altura do voo, apresentando um  $R^2$  superior a 0,50 (Figura 4).



**Figura 4.** Modelos de regressão para PMS a 20 metros de altura de voo. (a) Geral, (b) cv. Braúna, (c) cv. Camello, (d) cv. Basilisk. \*significativo a 1%.

Nos modelos para estimar a PMS, observa-se que a correlação com MDV é inversamente proporcional a PMS, ou seja, quanto maior o índice, menor é a produtividade de massa seca. Enquanto com o GLI ocorre o contrário, significando que quanto maior o índice, maior também poderá ser a produtividade. Esse comportamento também foi observado quando as cultivares foram analisadas individualmente.

Segundo Prado et al. (2003), para que se obtenha maiores ganhos em produtividades quando se opta pela criação de bovinos a pasto, é importante estar atento a capacidade da gramínea em acumular massa de forragem, sendo assim, o conhecimento a respeito do comportamento das cultivares é de grande importância para gestão das pastagens, conseqüentemente, para o desempenho animal.



As diferentes características morfológicas das cultivares estudadas refletiu nas respostas dos modelos preditivos. Os modelos gerados a partir do GLI para produtividade de massa verde (PMV) apresentaram melhores ajustes às cultivares que possuem estruturas mais arqueadas (cv. Basilisk, cv. Paiaguás e cv. Camello), ou seja, com dossel forrageiro que proporcione melhor cobertura de solo e com folhas dispostas de maneira mais angular. As cultivares Basilisk e Paiaguás alcançaram um valor de  $R^2$  de 0,59, podendo estar relacionado a suas características morfológicas, com maiores proporções de folha/colmo, que contribuem para maior reflectância dos pigmentos foliares (clorofilas e carotenoides) e consequentemente uma resposta mais significativa do sensor.

De acordo com Euclides et al. (2016), a cv. Paiaguás possui uma elevada relação folha/colmo, oferecendo uma boa cobertura de solo, característica que influencia diretamente na sua capacidade de reflectância, contribuindo nos modelos preditivos. Algo semelhante observado na cultivar Basilisk, cuja parte aérea também proporciona uma boa cobertura de solo Jayme et al, (2022).

A cultivar híbrida Camello possui características de crescimento que proporcionam uma boa cobertura de solo, além de uma elevada relação folha/colmo Papalotla Group, (2024), fazendo com que se sobressaia ( $R^2=0,46$ ) sobre a cultivar Braúna, que apresentou valores inferiores com relação ao GLI ( $R^2=0,35$ ), apesar de ser uma gramínea com boa relação folha/colmo e cobertura de solo, o crescimento de sua estrutura tende ser mais ereto em comparação as demais cultivares estudadas (*U. brizantha* cv. BRS Paiaguás, *U. decumbens* cv. Basilisk e *U. híbrida* cv. Camello), influenciando na captação do sensor.

Estruturas de folhas mais eretas tendem a dificultar a captação pelo sensor RGB, por estar posicionado de maneira plana em relação a superfície, dessa forma, esse tipo de estrutura tende a produzir sombras que interferem diretamente na absorção e reflectância e, consequentemente, no potencial de captura dessas respostas pelo sensor.

Em relação ao PMV, os modelos de regressão foram obtidos a partir das missões de voo realizadas a 100 metros de altura, devido as correlações apresentadas na **Figura 1**. Analisando o índice GLI, a equação geral obteve um valor considerável ( $R^2=0,45$ ), levando em conta a utilização de basicamente três informações pelo sensor (Bandas RGB).

Não foram obtidos modelos significativos para estimativa de PMS no voo de 100 metros, mesmo para análises de forma individual e distinguindo o GLI do MDV. Entretanto, analisando os dados no voo de 20 metros e agrupando os dados dos índices (GLI + MDV), foram obtidos modelos com ajustes satisfatórios ( $R^2$  geral=0,50), corroborando com outros autores que também realizaram pesquisas para obtenção de modelos que estimassem massa de forragem, como Adar et al. (2022) ( $R^2=0,50$ ) e Michez et al. (2019) ( $R^2=0,49$ ). Por ser um índice que leva em consideração informações relacionadas à altura, o MDV entregar respostas mais precisas em missões de voo mais baixas, sendo assim, os modelos preditivos para PMS se ajustaram melhor nos voos a 20 metros de altura

As observações feitas sobre os modelos relacionados ao PMV se assemelham às relacionadas a produção de massa seca (PMS), pois os maiores índices GLI indicam maiores produtividades de massa, estando estes valores relacionados com as plantas que apresentam estruturas mais arqueadas, que permitem maior reflectância e consequentemente são mais sensíveis ao sensor RGB, assim como relata Raj et al. (2021), que constatou que a angulação das folhas da planta de milho resultaram em modelos mais eficiente para estimar índices relacionados a área foliar

## 5. Conclusões e Sugestões

As imagens RGB oriundas do sensor óptico acoplado a plataforma ARP entregaram correlações

significativas para estimativa de massa verde e massa seca. Para estimar a produtividade de massa verde (PMV), o sensor deve ser utilizado na altura de 100 metros, extraíndo as informações provenientes do GLI. Em relação a estimativa de produtividade de massa seca, deve reduzir a altura de voo para 20 metros, utilizando as informações extraídas dos índices GLI e MDV. O sensor RGB é capaz de estimar a PMV e PMS de gramíneas forrageiras tropicais do gênero *Urochloa*, comportando-se de maneira mais efetiva para cultivares que apresentem características morfológicas mais arqueadas, e de maneira menos efetiva, mas não comprometedoras, para cultivares com estrutura mais ereta.

## 6. Referências

- Adar, S.; Sternberg, M.; Paz-Kagan, T.; Henkin, Z.; Dovrat, G.; Zaady, E.; Argaman, E. Estimation of aboveground biomass production using an unmanned aerial vehicle (UAV) and VEN $\mu$ S satellite imagery in Mediterranean and semiarid rangelands. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**. 2022. v. 26. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100753>
- Atzberger, Clement. Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs. **Remote Sensing**. 2013. 5. p. 949-981. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs5020949>
- Barbero, R. P.; Ribeiro, A. C. de C.; Moura, A. M.; Longhini, V. Z.; Mattos, T. F. de A.; Barbero, M. M. D. Potencial de produção de bovinos de corte em pastagens tropicais: revisão de literatura. **Ciência Animal Brasileira**. v. 22, 2021.
- Euclides, V. P. B.; Montagner, D. B.; Barbosa, R. A.; Valle, C. B. do.; Nantes, N. N. Animal performance and sward characteristics of two cultivars of *Brachiaria brizantha* (BRS Paiaguás and BRS Piatã). **Revista Brasileira de Zootecnia**. 2016. 45(3), p. 85–92. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v22e-69609>
- Freire-Silva, J.; Paz, Y. M.; Lima-Silva, P. P.; Pereira, J. A. S.; Candeias, A. L. B. Índices de vegetação do Sensoriamento Remoto para processamento de imagens na faixa do visível (RGB). **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**. 2019. 9(4), 228-239. DOI: 10.29150/jhrs.v9.4.p228-239
- Jayme, D. G.; Gonçalves, L. C.; Ramirez, M. A.; Menezes, R. A. de; Gramíneas forrageiras tropicais. Belo Horizonte, MG: Fepe, 2022. 115 f.
- Lisboa, Aureana Mattos. Sensoriamento remoto na avaliação de pastos de *Brachiaria decumbens*. 2020. 60 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Nascimento, H. L. B. de; Almeida, D. P. Características agrônômicas de 11 gramíneas forrageiras tropicais dos gêneros *Urochloa* e *Panicum*. In: Neto, A. E. F.; Lima, D. T.; Almeida, D. P.; Nascimento, H. L. B.; Fernandes, R. H.; Bilego, U. O. Anuário de pesquisas agricultura – Resultados 2020. Rio Verde, GO: Instituto de Ciência e Tecnologia Comigo, 2020. v. 3, cap. 3, p. 197-202.
- Michez, A.; Lejeune, P.; Bauwens, S.; Herinaina, A. A. L.; Blaise, Y.; Muñoz, E. C.; Lebeau, F.; Bindelle, J. Mapping and Monitoring of Biomass and Grazing in Pasture with an Unmanned Aerial System. **Remote Sensing**. 2019. v. 11, n. 5. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs11050473>
- Papalotla Group. Pasto Híbrido Camello. Disponível em: <<https://grupopapalotla.com/producto-camello.html>>. Acesso em: 26 de julho de 2024.
- Prado, I. N. do et al. Sistemas para crescimento e terminação de bovinos de corte a pasto: avaliação do desempenho animal e características da forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 2003, v. 32, n. 4, pp. 955-965. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000400023>.
- Raj, R.; Walker, J. P.; Pingale, R.; Nadan, R.; Naik, B.; Jagarlapudi, A. Leaf area index estimation using top-of-canopy airborne RGB images. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. 2021, v. 96, p. 102282. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102282>
- Sampaio, M. I. R.; Kunz, A.; Hillebrand, F. L.; Zamberlan, J. F.; Idalino, F. D. Análise dos índices de vegetação NDVI e NDRE em imagens obtidas por meio de sensor embarcado em um RPAS para as culturas da soja e milho. **Revista Brasileira de Geomática**. 2021. 9(4), 350-362. DOI: 10.3895/rbgeo.v9n4.14449

Santos, J. B. G.; Hacon, S. S.; Neves, S. M. A. S. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e seu uso no estudo da saúde humana: uma revisão de escopo. **Revista Brasileira de Geografia Física**. 2023. 16(3), 1115-1144. DOI: 10.26848/rbgf.v16.3.p1115-1144.

Schirrmann, M.; Giebel, A.; Gleiniger, F.; Pflanz, M.; Lentschke, J.; Dammer, K.-H. Monitoring Agronomic Parameters of Winter Wheat Crops with Low-Cost UAV Imagery. **Remote Sensing in Precision**. 2016 v.8, n.9, p.706. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs8090706>

SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Balanço hídrico do Estado da Bahia. Salvador: SEI, 1999.

Valentim, J. F.; Andrade, C. M. S. de. O desafio da pecuária extensiva sustentada. **Visão Agrícola**. 2005. 2(3). p. 72-74.

Verhoeven, G. Taking computer vision aloft – archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photoscan. *Arqueological Prospection*. 2011. v. 18, n. 1, p 67–73. Doi: <https://doi.org/10.1002/arp.399>

## Variação espacial da fração de areia estimada no bioma Pantanal com dados de emissividade do produto ASTER GED 100

Fábio Marcelo Breunig<sup>1,2</sup>  
Edenilson Roberto Nascimento<sup>1</sup>  
Tony Vinicius Moreira Sampaio<sup>1</sup>  
Elias Fernando Berra<sup>1</sup>  
Elaine de Cácia de Lima Frick<sup>1</sup>  
Marcos Adami<sup>2</sup>  
Lênio Soares Galvão<sup>2</sup>  
Romário Trentin<sup>3</sup>  
William Gaida<sup>3</sup>  
Leonardo José Cordeiro Santos<sup>1</sup>  
José Guilherme Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 - Jardim das Américas,  
CEP 81530-000, Curitiba - PR, Brasil  
{fabio-breunig, deni\_ern, tonysampaio, eliasberra}@ufpr.br;  
santos.ufpr, joseguilhermegeo}@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515  
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{marcos.adami, lenio.galvao}@inpe.br

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Maria - UFSM  
Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi  
CEP: 97105-900, Santa Maria - RS, Brasil  
{romario.trentin, ufsm.william}@gmail.com

**Resumo.** O bioma Pantanal é caracterizado pela alta biodiversidade da fauna e flora, em grande parte associada a sua planície de inundação. Com a tendência de aumento da ocorrência de eventos extremos (secas, inundações, incêndios), existem chances de degradação ambiental, e do agravamento de processos, como a arenização. O objetivo do estudo é apresentar resultados preliminares da estimativa da fração areia encontrada nos horizontes superficiais dos solos do Bioma Pantanal. Essas estimativas foram obtidas a partir dos dados de emissividade do produto Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Emissivity Dataset (GED). O bioma Pantanal foi selecionado como área de estudo. Como base de dados foram utilizados os produtos GED ASTER, dados de elevação, hidrografia e um modelo de regressão empírico para estimativa da fração areia. A análise espectral mostrou a presença de feições associadas a presença de sílica (feições de reststrahlen), permitindo sua distinção de vegetação e água. A normalização dos dados termal permitiu estimar pelo modelo logístico a distribuição das manchas de maior presença de fração areia no solo no Pantanal. As regiões leste, central e centro-sul apresentaram maiores concentrações de fração areia. Em parte, os resultados sugerem uma relação entre o percentual de areia com as pequenas variações de altimetria no bioma e com a ausência de drenagens permanentes. Novos estudos devem ser conduzidos para validar o modelo sendo importante ter cautela no uso dos resultados apresentados.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, emissividade, desertificação, arenização, termal.

**Abstract.** The Pantanal biome is characterized by its high biodiversity of fauna and flora, largely associated with its floodplain. With the increasing trend of extreme events (droughts, floods, fires), there are chances of environmental degradation and worsening processes such as “sandization” (desertification process). The objective of this study is to present preliminary results of soil sand fraction estimates. These estimates were obtained from the emissivity data of the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Emissivity Dataset (GED). The Pantanal biome was selected as the study area. GED ASTER products, elevation data, hydrology data, and an empirical regression model for sand fraction estimation were used as data sources. Spectral analysis revealed features associated with the presence of silica (reststrahlen features), allowing it to be distinguished from green and dry vegetation, and water. Thermal data normalization enabled the logistic model to estimate the distribution of areas with higher sand fraction in the soil in the Pantanal. The eastern, central, and central-southern regions showed higher concentrations of sand fraction. Partly, the results suggest a relationship between the sand percentage and the small variations in topography in the biome, as well as in the absence of permanent drainage. Further studies should be conducted to validate the model, with careful consideration of the results presented thus far.

**Key-words:** remote sensing, emissivity, desertification, sandinization, thermal.

## 1. Introdução

O bioma Pantanal é caracterizado por apresentar a maior bacia de inundação sazonal do mundo e nas últimas décadas vêm passando por episódios de alto estresse hídrico associado a secas e chuvas extremas e incêndios de grande escala (Bergier e Assine, 2016; Garcia et al., 2021; Leal Filho e al., 2021; Libonati et al., 2022, Libonati et al., 2022; Tomas et al., 2019; SOS Pantanal, 2024). Ademais, o processo de desmatamento da vegetação nativa tem avançado, apesar dos sistemas de monitoramento e detecção (ANA, 2024; INPE, 2024). Todos esses processos tendem a pressionar a “qualidade dos solos”, podendo levar a um processo de degradação e avanço da arenização (Suertegaray, 1995; Freitas et al., 2003; Breunig et al., 2024).

Apesar do processo de arenização (semelhante à desertificação) ser bastante notável em atividades de campo, com fácil identificação, ele não é uma atividade trivial quando são utilizados recursos de sensoriamento remoto para tal mapeamento. O uso de imagens do espectro do visível, infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de ondas curtas (SWIR) pode não permitir a discriminação de solos de alto brilho (claros) em função da presença de vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV, representada por palhada, restos de plantas, plantas secas) (Breunig et al., 2009; Breunig et al., 2008; Rademann et al., 2023; Chen et al., 2021). Devido a presença de feições de reststrahlen no infravermelho termal (thermal infrared – TIR) (Salisbury e D’Aria, 1992a, 1992b), a sílica pode ser facilmente discriminada de outros alvos, que tipicamente são semelhantes à areia nas outras faixas espectrais do espectro solar. Contudo, para explorar essa feição da sílica, é necessário que os sensores que operam no infravermelho termal tenham cobertura espectral na faixa entre 8 e 12 micrometros.

O Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) foi um dos primeiros sensores orbitais com cinco bandas cobrindo a faixa espectral do TIR de 8 a 14 micrometros (ERSDAC, 2007; Sobrino et al., 2007). O sensor TIR permitiu gerar dados com resolução espacial de 90 metros desde os anos 2000 (Gillespie et al., 1998). A presença de um sensor multiespectral no termal permitiu avanços importantes nos algoritmos de separação de temperatura e emissividades, de forma a gerar dados em escala global com boa acurácia (Gillespie et al., 1999).

Dada a disponibilidade de uma grande série temporal de dados de emissividade do ASTER, Hulley et al. (2015) propuseram o produto Global Emissivity Dataset (GED). O produto representa uma base contínua de emissividade da superfície, com resolução espacial de 100 metros ou 1 quilômetro. Foi gerado pela média de todas as imagens TIR de 2000 a 2008 (produto composto) (Hulley e Hook, 2011). Esse produto representa uma possibilidade de testar futuros

produtos do TIR, a exemplo do Sustainable Development Science Satellite 1 (SDGSAT-1) (Guo et al., 2023) e o sensor Constellr (Spengler et al., 2004).

Dessa forma, o presente trabalho considera que o uso de uma normalização do TIR pode auxiliar a identificar e destacar a presença de solos arenosos no bioma Pantanal, contribuindo para o entendimento das relações entre o uso da terra na região e possíveis impactos de cenários extremos associados às mudanças climáticas.

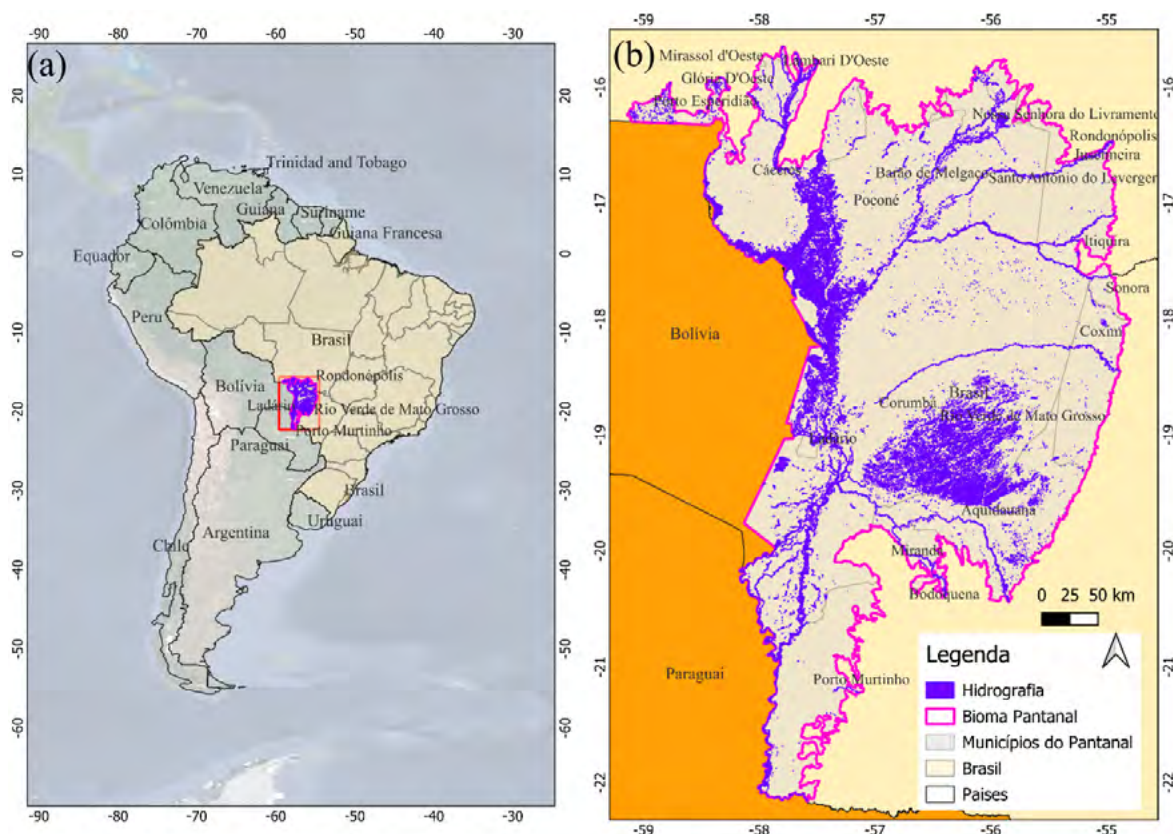
## 2. Objetivo

O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial do produto ASTER GED para a identificação preliminar de solos arenosos no bioma Pantanal. Após a identificação, o trabalho propõe uma discussão sobre as características geográficas da distribuição dos solos arenosos em relação à fração de areia estimada.

## 3. Material e método

### 3.1 Área de estudo

A área de estudo abrange o território do Bioma Pantanal, totalizando 150.988 km<sup>2</sup>, e inclui porções dos estados brasileiros de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, além de áreas no Paraguai e Bolívia, conforme ilustrado na **Figura 1a**. Do ponto de vista climático, a região apresenta duas estações bem definidas: a estação chuvosa, predominantemente nos meses de novembro a março, e a estação seca, que ocorre entre maio e setembro (Tomas et al., 2019).



**Figura 1.** Localização do Bioma Pantanal no centro da bacia hidrográfica do Rio Paraguai, no a) centro da América do Sul e b) hidrografia geral no Bioma Pantanal.

Fonte dos dados vetoriais (INPE, 2024).

A região é marcada por uma alta biodiversidade em termos de fauna e flora (Leal Filho et al., 2021). Durante a estação chuvosa, as drenagens cobrem grande parte do bioma; no entanto, muitos rios e lagos são perenes, mantendo-se presentes ao longo do ano (**Figura 1b**).

### 3.2 Aquisição dos dados e análises

Para esse estudo preliminar foram utilizados dados do *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Emissivity Dataset (GED)*. No total foram obtidos 53 tiles (1°x1°) para todos o bioma do Pantanal do produto “*ASTER Global Emissivity Dataset, 100 meter*”. Os dados foram obtidos da plataforma EarthData, disponível no endereço eletrônico: <<https://search.earthdata.nasa.gov/search>>. Após o download, para cada tile, foi extraída a emissividade média. Os demais parâmetros do arquivo não foram utilizados no estudo.

Na sequência, foi realizado o mosaico dos dados para o bioma. O processo de mosaico foi realizado utilizando o algoritmo de amostragem vizinho mais próximo, de forma a reduzir os efeitos sobre o produto original. Posteriormente, esses dados foram analisados de forma geral, usando a técnica de análise espectral para alvos como areia, vegetação e água (espectros de emissividade). Esses espectros foram aleatoriamente extraídos no bioma, de forma a ressaltar as diferenças de emissividade dos solos com alta fração areia.

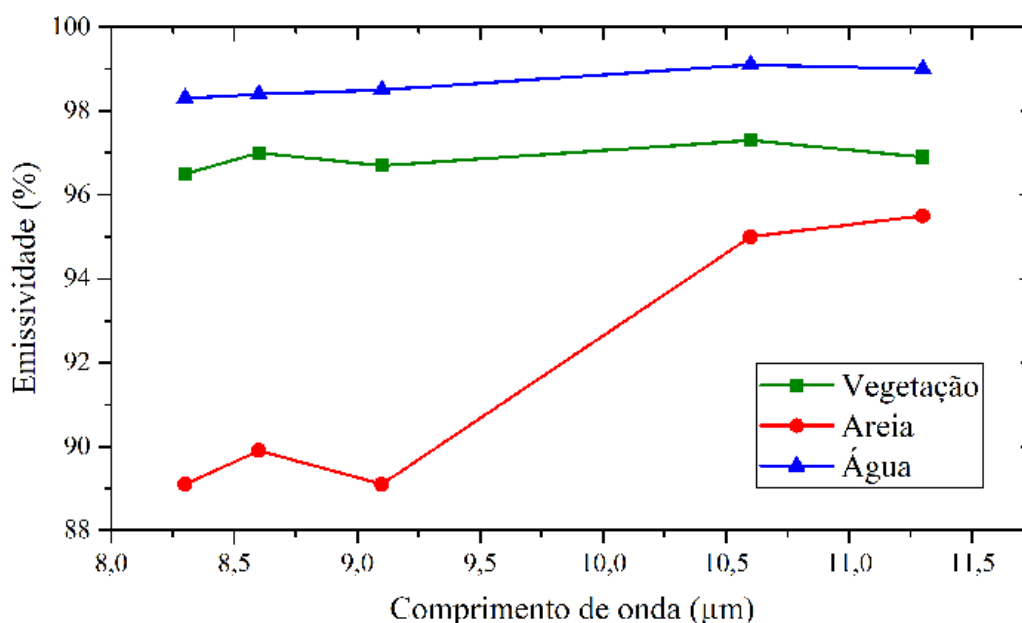
Posteriormente, calculou-se a normalização do termal, considerando as bandas 10 e 14 (centradas em 8,3 e 11,3 µm, respectivamente). Esse índice normalizado tende a reduzir os efeitos de variações direcionais, alterações atmosféricas e a relação sinal-ruído do sensor. Em geral, são esperados valores no intervalo de -1 a 1, sendo que valores para areia pura (ex., dunas) tendem a ser positivos, enquanto que valores para alvos com maior emissividade nas bandas 10 a 12 tendem a ser negativos ou muito próximos a zero.

Foi utilizada uma função logística, ajustada para estudo similar desenvolvido no oeste do Paraná, dada pelo modelo:  $91,81948/(1+\exp(-251,89842*(\text{float}(b1)-0,00643)))$ . Esse modelo deve ser ajustado no futuro em função das amostras coletadas para a região de estudo. Portante, ainda, cabe avaliar a acurácia do modelo na estimativa da fração areia do solo para o Pantanal. Outra limitação que deve ser considerada, refere-se ao uso de uma composição de oito anos dos imageamentos do ASTER de 2000 a 2008. Isso pode alterar significativamente o valor da emissividade média, de acordo com a estação do ano, presença de vegetação/água, entre outras relações.

Após a aplicação do modelo, os dados foram especializados e os mapas foram analisados considerando a distribuição das manchas de maior e menor concentração estimada da fração areia. Paralelamente, os dados foram analisados em função do modelo de elevação digital FABDEM (v1.2) (Neal et al., 2023) e da drenagem (INPE, 2024). Infelizmente até o momento não houve nenhum tipo de validação além da confrontação dos dados com plataformas de alta resolução espacial como o Google Earth Pro. No futuro, poderão ser conduzidas atividades de coleta e avaliação das características do solo concomitantes com a aquisições dos dados de satélite.

### 4. Resultados e Discussão

A análise espectral permitiu mostrar claramente a diferença da emissividade de alvos arenosos da resposta de alvos como vegetação e água (**Figura 2**). Em geral, as feições de reststrahlen ficaram evidentes (Salisbury e D'Aria, 1992a,1992b; Breunig et al., 2008). Devido a essa feição de re-emissão, à medida que a fração areia aumenta, menor foi a emissividade nas bandas 10 a 12 do ASTER (8125 – 8475 nm; 8475 - 8825 nm e; 8925 - 9275 nm, respectivamente). Por outro lado, as bandas 13 e 14 (10250 - 10950 nm e 10950 - 11650 nm) se mantêm relativamente estáveis para todos os alvos avaliados.



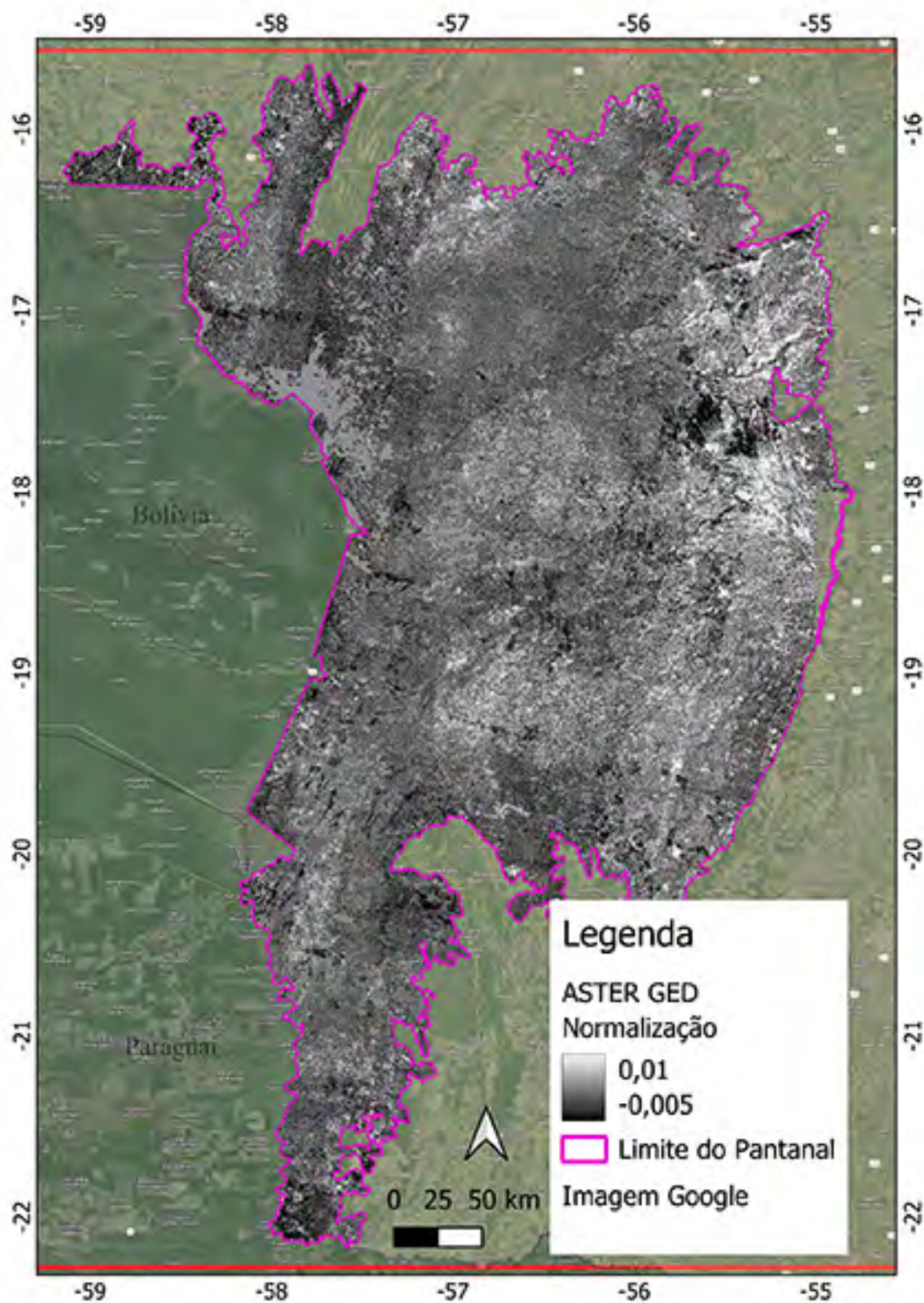
**Figura 2.** Espectros de reflectância do infravermelho termal (TIR) obtidos dos produtos ASTER GED para solos arenosos e áreas de vegetação e água.

Na sequência, foi calculada a normalização do TIR, obtendo valores adimensionais, onde os tons mais claros tendem a representar as áreas de maior concentração de areia. Já as áreas mais escuras, usualmente podem ser associadas vegetação verde, água ou NPV (**Figura 3**).

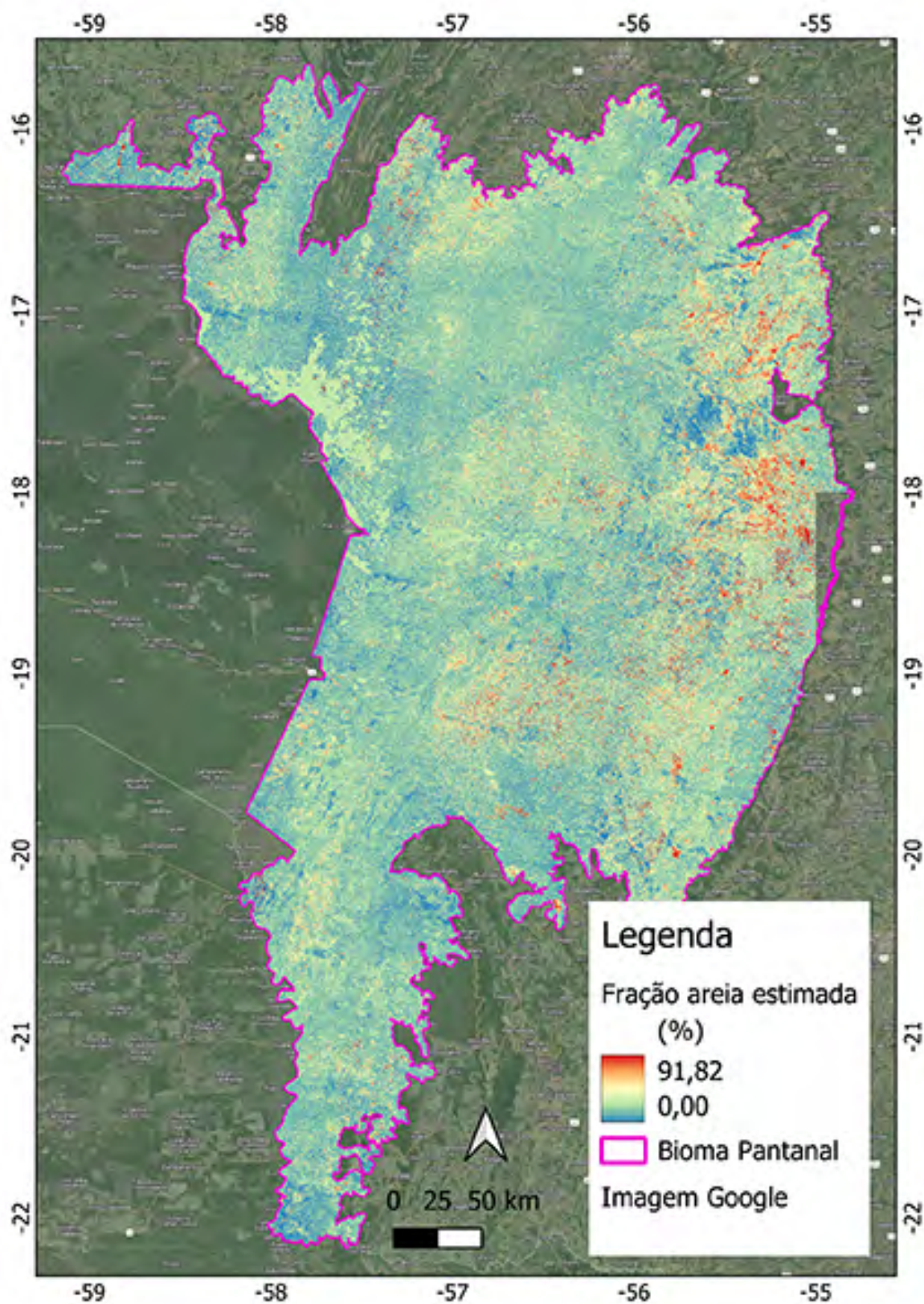
Ao espacializar a estimativa da fração areia do horizonte superficial do solo, foi gerada a **Figura 4**. Os dados são visualmente semelhantes aos da **Figura 3**, contudo, foi possível extrair valores estimados para a fração areia. Claramente, verifica-se manchas com maior quantidade de talhões avermelhados na porção central, margem leste da região e uma região no centro-sul. Por outro lado, as demais regiões apresentam valores de baixa fração areia, que podem estar associados a cobertura vegetal ao longo do período de aquisição de imagens TIR do ASTER (2000 a 2008). Em estudos futuros, expedições a campo e mapeamentos detalhados de solo podem auxiliar na validação das estimativas e na explicação dos processos geológicos-geomorfológicos associados, a exemplo, de estudos conduzidos no Mato Grosso e Rio Grande do Sul (Breunig et al., 2008, 2009, 2024).

Quando são feitas avaliações da estimativa da fração areia (**Figura 5a**) em função das características topográficas, levanta-se a hipótese/indícios de um predomínio de áreas arenosas em regiões mais elevadas (**Figura 5b**). Essa relação foi analisada para a área de elevações entre 140 e 160 metros, no centro-leste da área de estudo, contudo, deve-se investigar melhor, com amparo de dados de campo. Aparentemente existe um controle associado à altitude, apesar das variações no bioma Pantanal serem pequenas. Ao se relacionar os dados com a drenagem, verificou-se que as regiões de maior fração areia estão localizadas em áreas sem a presença constante de água (**Figura 5c**).

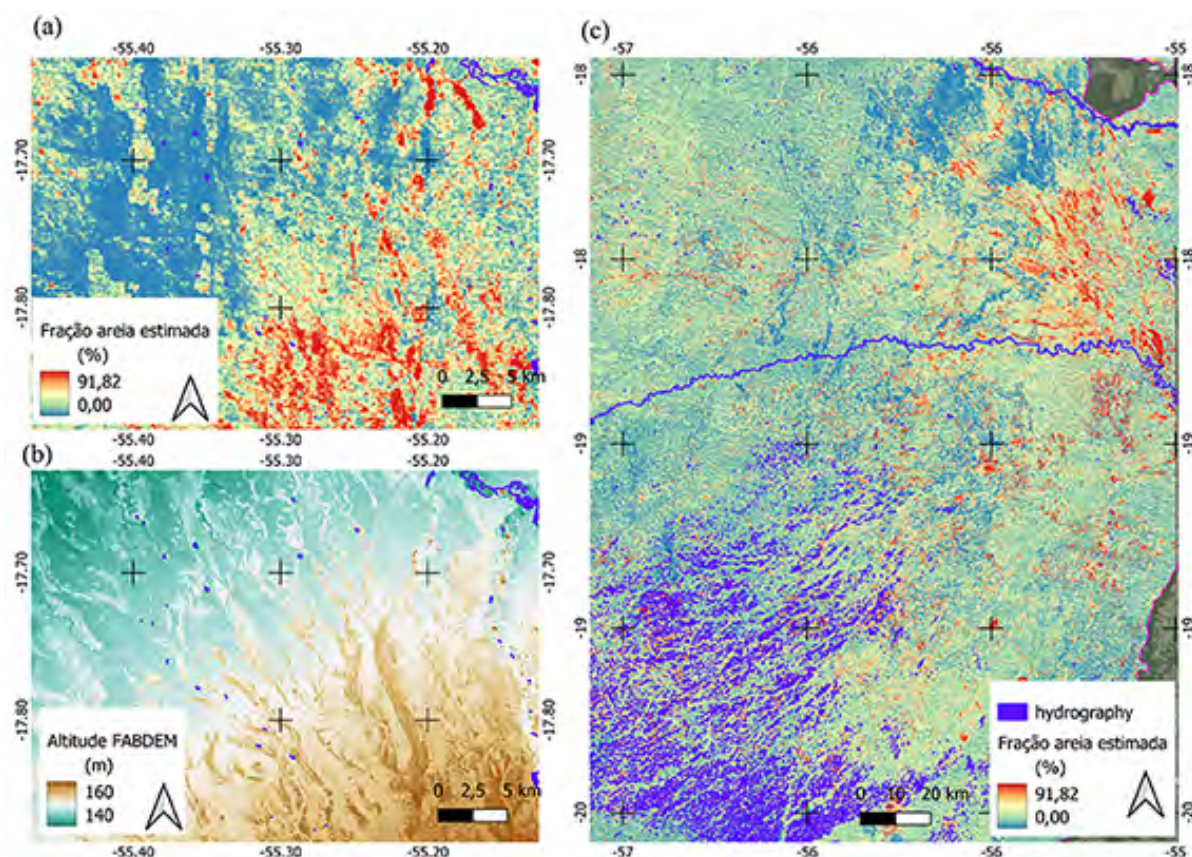




**Figura 3.** Distribuição espacial da normalização do termal para o bioma Pantanal. Foram utilizados dados do ASTER GED, bandas 10 e 14, para o cálculo dessa normalização. Uma imagem Google Earth é apresentada como fundo.



**Figura 4.** Estimativa da fração areia da camada superficial do solo para o bioma Pantanal, utilizando dados ASTER GED, com 100 metros de resolução espacial. Uma imagem Google Earth é apresentada como fundo.



**Figura 5.** Sobreposição da estimativa da (a) fração areia com dados de (b) elevação do modelo FABDEM para o bioma Pantanal. (c) sobreposição da drenagem sobre a estimativa da fração areia no Pantanal.

## 5. Conclusões e Sugestões

O estudo mostrou o potencial do uso de dados de emissividade ASTER GED para a estimativa da fração areia da camada superficial do solo no bioma Pantanal. Os resultados mostraram que áreas com maior presença de solos arenosos nas regiões centro, leste e sul do bioma.

Esses resultados preliminares não foram validados e devem ser utilizados considerando a necessidade de futuras validações e cruzamentos com dados pedológicos e mapeamentos precisos a campo. Outro potencial importante do uso desses dados é para estimar a fração areia dos leques aluviais muito comuns nesse bioma.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ, processos 113769/2018-0, 309030/2017-0, 317538/2021-7, 305452/2023-1); Fundação Araucária (PI 13/2022, protocolo número UFP2022251000030); a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), 001.

## 7. Referências

ANA, A. N. de Á. e S. B. (2024). Avaliação da proposta de Declaração de situação crítica de escassez quantitativa dos recursos hídricos na Região Hidrográfica do Paraguai. **Nota Técnica Conjunta n. 3/2024/SRE/SOE/SHE/SGH/SFI** - Documento n. 02500.023156/2024-39, 1–176. Retrieved from <https://verificaassinatura.ana.gov.br/ler.aspx?file=1D980439>

- Bergier, I., & Luís Assine, M. (2016). **Potenciais efeitos da mudança do clima sobre a hidrologia do Pantanal. Embrapa Pantanal**, 1–2. Retrieved from <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/ADM161>
- Breunig, F. M., Galvão, L. S., & Formaggio, A. R. (2008). Detection of sandy soil surfaces using ASTER-derived reflectance, emissivity and elevation data: potential for the identification of land degradation. **International Journal of Remote Sensing**, 29(6), 1833–1840. <https://doi.org/10.1080/01431160701851791>
- Breunig, F. M., Galvão, L. S., Adami, M., DalAgnol, R., Sampaio, T. V., & Trentin, R. (2024). Thermal Remote Sensing Application on Brazilian Subtropical Region to Identify Sandinization Processes. **Proceedings: EARSeL (Ed.)**, 43rd EARSeL Symposium in - European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL) - Special Session Thermal Remote Sensing (pp. 1–4). Manchester: EARSeL. Retrieved from <https://manchester2024.earse.org/>
- Breunig, F. M., Galvao, L. S., Formaggio, A. R., & Couto, E. G. (2009). The combined use of reflectance, emissivity and elevation Aster/Terra data for tropical soil studies. **Revista Brasileira de ciência do solo**, 33(6), 1785–1794. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600027>
- Chen, S., Ren, H., Liu, R., Tao, Y., Zheng, Y., & Liu, H. (2021). Mapping Sandy Land Using the New Sand Differential Emissivity Index from Thermal Infrared Emissivity Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 59(7), 5464–5478. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2020.3022772>
- ERSDAC. (2007). **ASTER User’s Guide Part II Level 1 Data Products** Version 5.1. Retrieved from [http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/documnts/users\\_guide/index.html](http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/documnts/users_guide/index.html)
- Freitas, C. A. De, Goulart, D. D., Goulart, D. D., Alves, F. D., & Alves, F. D. (2003). **O processo de arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul: uma alternativa para o seu desenvolvimento sócioeconômico** (pp. 1–16). Porto Alegre: Fundação Estadual de Estatística - FEE. Retrieved from [http://www.fee.rs.gov.br/sitefee/download/eeg/1/mesa\\_11\\_freitas\\_goulart\\_alves.pdf](http://www.fee.rs.gov.br/sitefee/download/eeg/1/mesa_11_freitas_goulart_alves.pdf)
- Garcia, L. C., Szabo, J. K., de Oliveira Roque, F., de Matos Martins Pereira, A., Nunes da Cunha, C., Damasceno-Júnior, G. A., ... Ribeiro, D. B. (2021). Record-breaking wildfires in the world’s largest continuous tropical wetland: Integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans. **Journal of Environmental Management**, 293. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112870>
- Gillespie, A., Rokugawa, S., Hook, S., Matsunaga, T., & Kahle, a. B. (1999). Temperature/Emissivity Separation Algorithm Theoretical Basis Document, Version 2.4. Pasadena. Retrieved from <http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/documnts/pdf/2b0304.pdf>
- Gillespie, A., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Steven Cothem, J., Hook, S., & Kahle, A. B. (1998). A temperature and emissivity separation algorithm for advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) images. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 36(4), 1113–1126. <https://doi.org/10.1109/36.700995>
- Guo, H., Dou, C., Chen, H., Liu, J., Fu, B., Li, X., ... Liang, D. (2023). SDGSAT-1: the world’s first scientific satellite for sustainable development goals. **Science Bulletin**, 68(1), 34–38. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2022.12.014>
- Hulley, G. C., & Hook, S. J. (2011). Generating consistent land surface temperature and emissivity products between ASTER and MODIS data for earth science research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 49(4), 1304–1315. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2010.2063034>
- Hulley, G. C., Hook, S. J., Abbott, E., Malakar, N., Islam, T., & Abrams, M. (2015). The ASTER Global Emissivity Dataset (ASTER GED): Mapping Earth’s emissivity at 100 meter spatial scale. **Geophysical Research Letters**, 42(19), 7966–7976. <https://doi.org/10.1002/2015GL065564>
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2024). **PRODES Bioma Pantanal**. INPE: São José dos Campos. Disponível em < <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/home> >. Acesso em 29 de julho de 2024.
- Leal Filho, W., Azeiteiro, U. M., Salvia, A. L., Fritzen, B., & Libonati, R. (2021). Fire in Paradise: Why the Pantanal is burning. **Environmental Science and Policy**, 123, 31–34. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.05.005>
- Libonati, R., DaCamara, C. C., Peres, L. F., Sander de Carvalho, L. A., & Garcia, L. C. (2020). Rescue Brazil’s burning Pantanal wetlands. **Nature**, 588(7837), 217–219. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-03464-1>

- Libonati, R., Geirinhas, J. o. L., Silva, P. S., Russo, A., Rodrigues, J. A., Belém, L. B. C., ... Trigo, R. M. (2022). Assessing the role of compound drought and heatwave events on unprecedented 2020 wildfires in the Pantanal. **Environmental Research Letters**, 17(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac462e>
- Neal, J., Hawker, L., Uhe, P., Paulo, L., Sosa, J., Savage, J., & Sampson, C. (2023). **FABDEM V1-2**. <https://doi.org/10.5523/bris.s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn>
- Rademann, L. K., Trentin, R., Robaina, L. E. D. S., & Breunig, F. M. (2023). Avaliação Da Dinâmica De Bancos De Areia Com Imagens De Alta Resolução No Rio Areal Do Limeira, Sul Do Brasil. **RAEGA - O Espaço Geográfico Em Análise**, 57, 3. <https://doi.org/10.5380/raega.v57i0.87358>
- Salisbury, J. W., & D’Aria, D. M. (1992a). Infrared (8-14 microns) remote sensing of soil particle size. **Remote Sensing of Environment**, 42(2), 157–165.
- Salisbury, J. W., & D’Aria, D. M. (1992b). Emissivity of terrestrial materials in the 8-14 microns atmospheric window. **Remote Sensing of Environment**, 42(2), 83–106. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90102-3)
- Sobrino, J. a., Jiménez-Muñoz, J. C., Balick, L., Gillespie, A. R., Sabol, D. a., & Gustafson, W. T. (2007). Accuracy of ASTER Level-2 thermal-infrared Standard Products of an agricultural area in Spain. **Remote Sensing of Environment**, 106(2), 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.08.010>
- SOS Pantanal. (2024). **Seca no Pantanal**. Nota Técnica: SOS Pantanal. Retrieved from <https://www.sospantanal.org.br/wp-content/uploads/2024/06/NT-SECA-FINAL.pdf>
- Spengler, D., Ibrahim, E., Zhang, T., & Taymans, M. (2024). Monitoring Land Surface Temperature from Space - New Perspectives for Environmental Monitoring. **Proceedings: Constellr GmbH (Ed.), 43rd EARSeL Symposium in - European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL) - Special Session Thermal Remote Sensing (pp. 1–2)**. Manchester: EARSeL.
- Suertegaray, D. M. a, (1995). O Rio Grande do Sul descobre seus “desertos.” **Ciência & Ambiente**, 1(1), 34–52. Retrieved from <http://coralx.ufsm.br/reciam/resenha.php?IDResenha=62>
- TerraBrasilis (2019). **TerraBrasilis Catalogue**. INPE: São José dos Campos, SP. Disponível em < <https://terraBrasilis.dpi.inpe.br/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/home> >. Acesso em 29 de julho de 2024.
- Tomas, W. M., de Oliveira Roque, F., Morato, R. G., Medici, P. E., Chiaravalloti, R. M., Tortato, F. R., ... Junk, W. J. (2019). Sustainability Agenda for the Pantanal Wetland: Perspectives on a Collaborative Interface for Science, Policy, and Decision-Making. **Tropical Conservation Science**, 12. <https://doi.org/10.1177/1940082919872634>
- .
- .

## Variação de isótopos estáveis na precipitação do município de Cuiabá, Mato Grosso, entre 2019 e 2021

Danielle Dall Amaria Soffiatti<sup>1</sup>

Kátia Kellem da Rosa<sup>2</sup>

Rafael da Rocha Ribeiro<sup>3</sup>

Ronaldo Bernardo<sup>4</sup>

Wellinton Nardes Ferreira<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geografia, Centro Polar e Climático, Instituto de Geociências e POSGEA, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS  
Av. Bento Gonçalves, 9500  
91501-970 - Porto Alegre - RS, Brasil  
danielled.soffiatti@gmail.com<sup>1</sup>, katia.rosa@ufrgs.br<sup>2</sup>

<sup>3</sup> Departamento de Geodésia, Centro Polar e Climático, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS  
Av. Bento Gonçalves, 9500  
91501-970 - Porto Alegre - RS, Brasil  
r.ribeiro@ufrgs.br

<sup>4</sup> Centro Polar e Climático, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS  
Av. Bento Gonçalves, 9500  
91501-970 - Porto Alegre - RS, Brasil  
rtbernardo12@gmail.com<sup>4</sup>, wellinton.nardes@gmail.com<sup>5</sup>

**Resumo.** A variação da concentração isotópica na precipitação reflete características do ciclo hidrológico, do ambiente de origem e da movimentação das massas de ar. Conhecido como a maior área úmida contínua do planeta, o Pantanal apresenta duas estações bem definidas, com períodos chuvosos (entre outubro a março) e períodos secos (de abril a setembro). Portanto, o trabalho objetiva investigar a variação mensal dos isótopos estáveis de oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ), hidrogênio ( $\delta\text{D}$ ), excesso de deutério e a relação com parâmetros climáticos, no período 2019-2021, em Cuiabá. Na etapa metodológica foram realizadas análises isotópicas de amostras de campo de 2019 a 2021 e interpretação de dados de reanálise. As análises isotópicas foram feitas em 23 amostras de água de precipitação, de aproximadamente 20 ml, de Cuiabá, Mato Grosso, de acordo com o guia de coleta de amostras do IAEA. A concentração do  $\delta\text{D}$  variou entre 17,7 e -95,9‰ no período, com a menor valor registrado (-95,9‰). A concentração do  $\delta^{18}\text{O}$  variou entre 3,2 e -12,4‰ no período, apresentando comportamentos semelhantes entre os anos analisados. O excesso de deutério variou entre 7,4 e -16,01‰ no período, com maior variação na estação úmida de 2019/2020 e menor variação na estação úmida de 2020/2021. Verifica-se a influência da temperatura e precipitação do ambiente na variação isotópica no período. O entendimento sobre a variação dos isótopos estáveis na precipitação da região é importante, pois, auxilia na compreensão de como a precipitação e a temperatura podem influenciar suas mudanças no ambiente.

**Palavras-chave:**  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ , Excesso de deutério, Estação úmida

**Abstract.** The concentration of isotopes in precipitation varies based on characteristics of the hydrological cycle, the source environment, and the movement of air masses. The Pantanal, known as the largest continuous wetland on Earth, experiences two distinct seasons: a rainy period from October to March and a dry period from April to September. This study aims to investigate the monthly variation of stable isotopes of oxygen ( $\delta^{18}\text{O}$ ), hydrogen ( $\delta\text{D}$ ), deuterium excess, and climate parameters from 2019 to 2021 in Cuiabá. The methodological stage involved analyzing isotopic samples from the field and interpreting reanalysis data. Following the IAEA sample collection guide, 23 precipitation water samples were analyzed from Cuiabá, Mato Grosso. During the period,  $\delta\text{D}$  concentration ranged from 17.7 to  $-95.9\text{‰}$ , with the lowest value recorded ( $-95.9\text{‰}$ ). Similarly, the  $\delta^{18}\text{O}$  concentration ranged from 3.2 to  $-12.4\text{‰}$ , showing consistency across the analyzed years. Deuterium excess varied from 7.4 to  $-16.01\text{‰}$  in the period, with greater variation in the 2019/2020 wet season and less variation in the 2020/2021 wet season. The impact of ambient temperature and precipitation on isotopic variation in precipitation is evident. Understanding the variation of stable isotopes in the region's precipitation is crucial for comprehending how precipitation and temperature can influence changes in the Pantanal.

**Key-words:**  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ , Deuterium excess, Wet season.

## 1. Introdução

A variação dos isótopos estáveis ( $\text{O}^{18}$ ,  $\text{O}^{16}$  e  $^1\text{H}/^2\text{H}$ ) presentes na precipitação possibilitam análises do ciclo hidrológico, como a determinação da origem e movimentação das massas de ar (Santos et al., 2019).

Com as mudanças de estado físico da água durante a precipitação e a evaporação ocorre o processo de fracionamento isotópico, resultado da diferença de massa molar entre os isótopos (Santos et al., 2019). Chuvas originadas em locais quentes e úmidos, como a Amazônia, são empobrecidas em isótopos pesados ( $\text{O}^{18}$ ), já as chuvas formadas em condições atmosféricas mais secas possuem maior concentração destes isótopos (Santos et al., 2019). Existe uma menor concentração de isótopos pesados em águas doces em comparação com a água marinha (Gilfillan, 1934), e a sua concentração na água doce diminui com o aumento da latitude e altitude (Dansgaard, 1954).

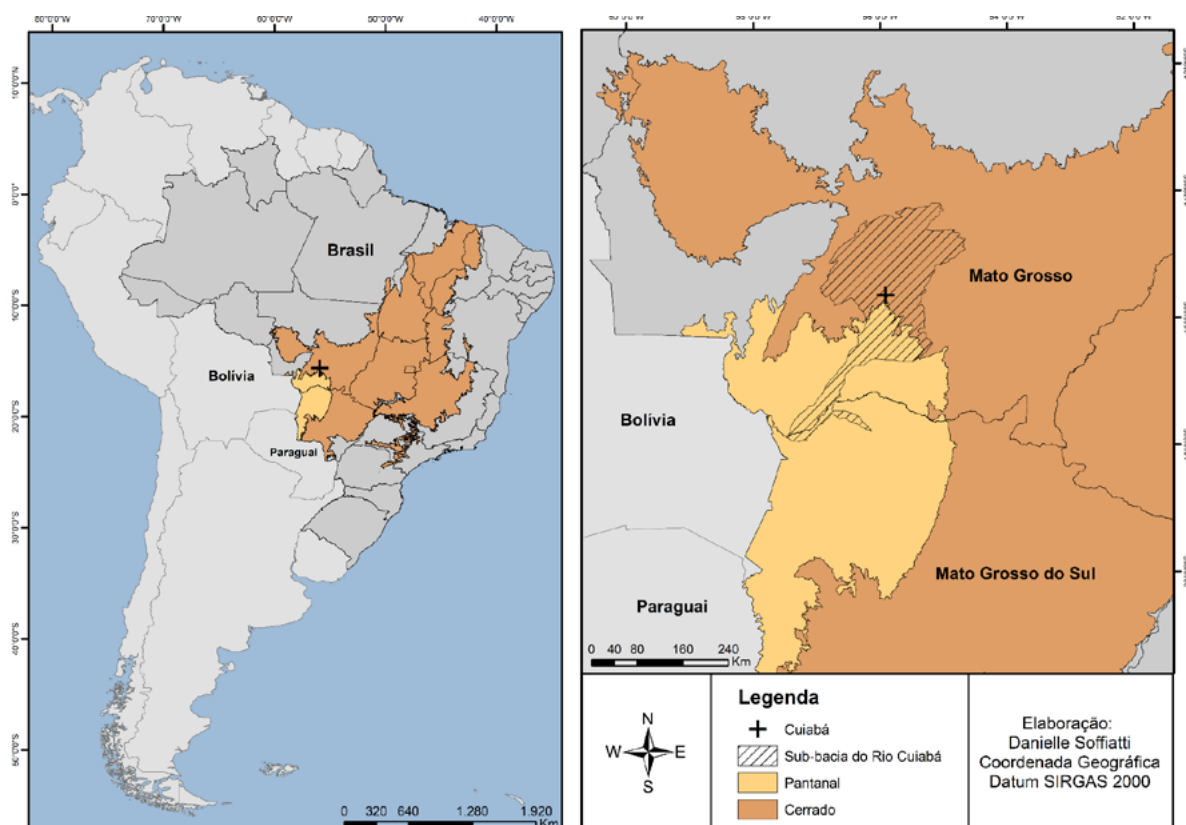
Na porção central do território brasileiro, próximo a área equatorial, a variabilidade dos isótopos estáveis na precipitação é relacionada à reciclagem de umidade sobre a Bacia Amazônica (Rozanski e Araguás, 1995). Segundo Cota et al. (2013), a escassa cobertura espacial e temporal dos estudos e monitoramentos isotópicos nas regiões tropicais dificulta a compreensão e análise da sua variabilidade.

### 1.1 Área de estudo

O município de Cuiabá, Mato Grosso, abrange porções dos biomas Pantanal e Cerrado. O bioma Pantanal possui aproximadamente 179.000 km<sup>2</sup> de extensão e abrange territórios do Brasil, Bolívia e Paraguai, no Brasil o bioma está localizado nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (**Figura 1**), na Bacia do Alto Paraguai (Medeiros et al., 2023).

Conhecido como a maior área úmida contínua do planeta, o Pantanal apresenta duas estações bem definidas, com períodos chuvosos (entre outubro a março) e períodos secos (de abril a setembro) (Medeiros et al., 2023). O período chuvoso bem definido e a drenagem lenta do ambiente proporcionam ciclos de alagamento anuais na região, que fazem parte da dinâmica do ecossistema (Medeiros et al., 2023). O bioma possui vegetação savânica, formação campestre e florestas estacionais (POTT et al., 2015).

O bioma Cerrado (**Figura 1**) abrange 23,3% do território brasileiro (1.983.017 km<sup>2</sup> de extensão), e faz limite com a maioria dos biomas do país, com exceção apenas do bioma Pampa (IBGE, 2019). O Cerrado apresenta formações florestais e campestres, o tipo vegetação Savana é o mais expressivo, ocupando 66,18% da área do bioma (IBGE, 2019). Assim como no Pantanal,



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo, Cuiabá, sub-bacia nível 2 do Rio Cuiabá, Brasil.

a distribuição e intensidade das chuvas do Cerrado são caracterizadas por períodos chuvosos (entre outubro a março) e períodos secos (entre abril a setembro) (Reboita et al., 2010).

## 2. Objetivo

O trabalho objetiva investigar e relacionar a variação mensal dos isótopos estáveis de oxigênio ( $\delta^{18}O$ ), hidrogênio ( $\delta D$ ), excesso de deutério e dos parâmetros climáticos, no período 2019-2021, no município de Cuiabá, Mato Grosso.

## 3. Material e Métodos

Esta pesquisa é quantitativa e o banco de dados é composto por análises isotópicas de amostras de campo, produtos de sensoriamento remoto e dados de reanálise.

### 3.1. Temperatura atmosférica

Os dados mensais de temperatura média atmosférica da área de estudo foram obtidos no portal Giovanni da NASA. A série temporal disponibilizada é produto de reanálise MERRA-2, referente a temperatura de 2 metros de altitude, e possui resolução espacial de  $0.5^\circ \times 0.625^\circ$ .

No Excel foram gerados gráficos e tabelas com os dados de janeiro de 2018 a maio de 2024. O recorte espacial foi delimitado com um polígono (coordenadas -58.5791, -19.2261, -56.5137, -16.0181) abrangendo a extensão do bioma Pantanal e da sub-bacia do Rio Cuiabá.



### 3.2 Umidade do solo superficial

Os dados mensais de umidade do solo média da área de estudo foram obtidos no portal Giovanni da NASA. A série temporal disponibilizada é produto do *Global Land Data Assimilation System* (GLDAS), referente a umidade do solo em 0 - 10 cm de profundidade, e possui resolução espacial de 0.25°.

Gráficos e tabelas com os dados de janeiro de 2018 a maio de 2024 foram gerados no Excel. O recorte espacial foi delimitado com um polígono (coordenadas -58.5791, -19.2261, -56.5137, -16.0181) abrangendo a extensão do bioma Pantanal e da sub-bacia do Rio Cuiabá.

### 3.3 Acumulado de precipitação mensal

Os dados mensais de precipitação da área de estudo foram obtidos no portal Giovanni da NASA. A série temporal disponibilizada é produto de reanálise MERRA-2, referente ao acumulado de precipitação mensal, e possui resolução espacial de 0.5° x 0.625°.

O recorte espacial foi delimitado com um polígono (coordenadas -58.5791, -19.2261, -56.5137, -16.0181) abrangendo a extensão do bioma Pantanal e da sub-bacia do Rio Cuiabá. No Excel foram gerados gráficos e tabelas com os dados de janeiro de 2018 a maio de 2024.

### 3.4 Dados isotópicos de precipitação

Foram coletadas 32 amostras de água de precipitação entre abril de 2019 até novembro de 2021, as amostras são mensais e foram coletadas pelo mesmo amostrador, localizado nas coordenadas 15° 35' 56"S, 56° 5' 42"W (na cidade de Cuiabá). Nos meses de maio, junho, julho e agosto de 2019; junho, julho e agosto de 2020; julho e agosto 2021, houve falhas nas coletas de amostras, fazendo com que estes fossem desconsiderados nas análises. Portanto, as análises isotópicas foram feitas em 23 amostras de água de precipitação, de aproximadamente 20 ml, de acordo com o guia de coleta de amostras da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA).

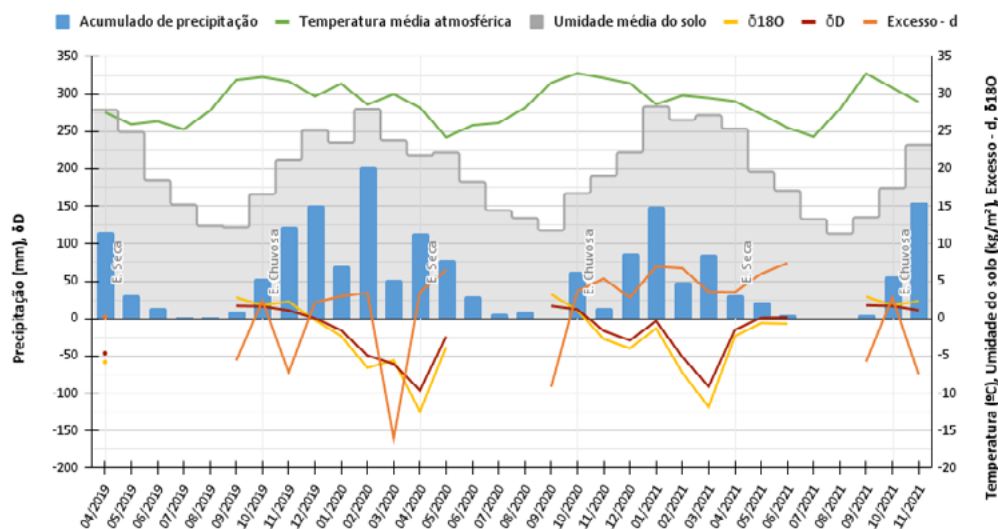
As amostras foram analisadas pelo método de espectroscopia por tempo de decaimento em cavidade, no laboratório de glacioquímica do Centro Polar e Climático (CPC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre.

Para análise dos isótopos estáveis as amostras foram separadas em frascos de 2,0 ml e filtradas com a utilização de uma seringa equipada com filtro *Millipore Express Membrane* (PES) de 0,22 µm. Após a preparação, os frascos são introduzidos no espectrômetro de massa PICARRO L2130i, este possui precisão analítica de 0,025‰ para δ 18O e 0,1‰ para δD, através do amostrador PAL SYSTEM HTC-xt. Cada amostra é analisada cinco vezes (cinco injeções executadas pelo amostrador), entretanto, são consideradas apenas as duas últimas injeções de cada amostra, com o objetivo de reduzir possíveis desvios de leitura.

## 4. Resultados e discussões

### 4.1 Variação isotópica

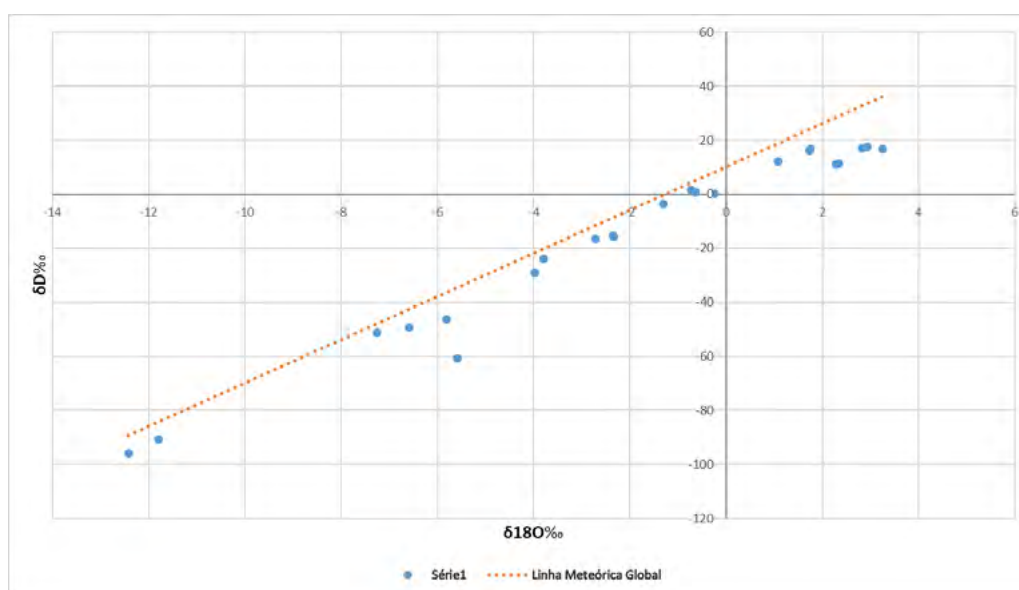
A concentração do δD variou entre 17 e -46,3‰ em 2019, 16,9 e -95,9‰ em 2020 e 17,7 e -90,8‰ em 2021, apresentando comportamentos semelhantes entre os anos analisados (**Figura 2**), com a menor concentração registrada no período 2019-2021 (-95,9‰). A concentração do δ18O variou entre 2,8 e -5,8‰ em 2019, 3,2 e -12,4‰ em 2020 e 2,9 e -11,8‰ em 2021, apresentando comportamentos semelhantes entre os anos analisados (**Figura 2**).



**Figura 2.** Variação mensal dos isótopos  $\delta D$ ,  $\delta 18O$ , excesso de deutério, acumulado de precipitação, temperatura atmosférica média e umidade média do solo, entre maio de 2019 e novembro de 2021.

O excesso de deutério variou entre 2,4 e -7,2‰ em 2019, entre 6,5 e -16,01‰ em 2020 e 7,4 e -7,4‰ em 2021, com maior variação na estação úmida de 2019/2020 e menor variação na estação úmida de 2020/2021 (**Figura 2**).

Com base nos valores isotópicos obtidos em laboratório, foi gerado um gráfico de dispersão para comparação com a Linha Meteórica Global (LMG) (**Figura 3**), proposta por Craig (1961). A LMG é resultado da equação  $y = 8x + 10$ , onde  $x$  é referente a cada valor obtido de  $\delta 18O$ . A maior concentração de valores no gráfico (**Figura 3**) no eixo  $y$  -50‰ e superior, e -10‰ e superior no eixo  $x$ , indica comportamento típico de águas em baixas latitudes (0-30°) (Barbosa et al., 2018).



**Figura 3.** Comparação da Análise isotópica das amostras de Cuiabá com a Linha Meteórica Global. Série1: amostras isotópicas analisadas.

## 4.2 Variação isotópica mensal e da umidade do ambiente

O Pantanal possui as estações secas e chuvosas bem definidas, esta característica se confirma ao observar os dados do acumulado de precipitação média e da umidade média do solo (**Figura 2**). Durante as estações chuvosas do período analisado, o bioma apresenta precipitação média mensal de 86,3 mm e umidade do solo média mensal de 23 kg/m<sup>2</sup>. Nas estações secas ambos os valores decaem, no período a precipitação média mensal é de 9,6 mm e a umidade do solo média mensal é de 16 kg/m<sup>2</sup>.

Os isótopos  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$  apresentaram os menores valores do período em abril de 2020 (-12,4‰ para  $\delta^{18}\text{O}$  e -95,9‰ para  $\delta\text{D}$ ) (**Figura 2**), no início da estação seca, e os maiores valores em setembro de 2020 (3,2‰ para  $\delta^{18}\text{O}$ ) e setembro de 2021 (17,7‰ para  $\delta\text{D}$ ), no final da estação seca.

Nas estações chuvosas a média de concentração dos isótopos foi de -9,6‰ para  $\delta\text{D}$ , de -1,8‰ para  $\delta^{18}\text{O}$  e de 3‰ para excesso de deutério. Observa-se que as concentrações dos dois primeiros diminuem ao longo dos períodos chuvosos, e se destacam nas estações secas. Apesar de haver períodos sem coleta de amostra em todos os anos, nestes, os valores positivos são identificados, principalmente, nas estações secas e na transição das estações secas para chuvosas.

Os valores de excesso de deutério apresentaram menor variabilidade na estação chuvosa entre outubro de 2020 e abril de 2021. Neste período, os valores variaram entre 2,84‰ e 6,95‰, apresentando uma amplitude de 4,1‰, enquanto as demais estações chuvosas apresentaram amplitudes maiores que 14,8‰ (**Figura 2**).

## Conclusões

A concentração do  $\delta\text{D}$  teve alta variação no período de estudo. A concentração do  $\delta^{18}\text{O}$  variou menos no período, apresentando comportamentos semelhantes entre os anos analisados. O excesso de deutério apresentou maior variabilidade na estação úmida de 2019/2020 e menor variabilidade na estação úmida de 2020/2021. A média de concentração dos isótopos de  $\delta\text{D}$  e de  $\delta^{18}\text{O}$  diminuem ao longo dos períodos chuvosos e aumentam nas estações secas. Os menores valores da série de isótopos  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$  ocorrem em abril de 2020 e os maiores valores em setembro de 2020 e de 2021, apesar de estarem na estação seca. Verifica-se a influência da temperatura e umidade do ambiente na variação isotópica na precipitação no período.

Os resultados podem ampliar o entendimento sobre a variação dos isótopos estáveis  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  e excesso de Deutério na precipitação em Cuiabá e de como as taxas de precipitação e temperatura podem estar relacionadas com as mudanças desse parâmetro no Bioma do Pantanal.

## 6. Referências

- Abreu, R. C. R.; Hoffmann, W. A.; Vasconcelos, H. L.; Pilon, N. A.; Rossatto, D. R.; Durigan, G. The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. *Science Advances*, v. 3, n. 8, 2017.
- Barbosa, N. S.; Barbosa, N. S.; Salles, L. Q. Métodos de avaliação de isótopos estáveis ( $\delta^2\text{H}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ ) na Hidrologia: uma revisão Terrae Didatica, v. 14(2), p.157-172, 2018.
- Cota, S.; M. Peixoto, C.; A. Barreto, A.; Gastmans, D.; Santos, V.; Terzer, S.; Araguás-Araguás, L. GNIP STATIONS IN BRAZIL: IMPORTANCE, PAST AND CURRENT DEVELOPMENTS. *Águas Subterrâneas*, 2013.
- Craig, H. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, v. 133, p.1702-1703. 1961b.
- Dansgaard, W. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, v. 16, p. 436–468, 1964.
- Fidelis, A. Is fire always the “bad guy”? *Flora*, v. 268, p. 1–3, 2020.

Gilfillan, E. S. JR. The isotopic composition of sea water. **Journal of the American Chemical Society**, 56, p. 406-08, 1934.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil: Compatível com a escala 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 168 p. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?=&t=o-que-e>.

Medeiros T. P.; Freitas, A. L. R.; Barbosa, M. L. F.; Reis, J. B. C.; Selaya, G.; Anderson, L. O. SPATIAL PATTERNS OF BURNED AREA IN THE PANTANAL BIOME AND THEIR RELATIONSHIP WITH LANDSCAPE STRUCTURE. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 20., 2023, Florianópolis. Anais... São José dos campos: INPE, 2023. Disponível na biblioteca digital URLib: <<https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/spatial-patterns-of-burned-area-in-the-pantanal-biome-and-their-relationship-wit?lang=pt-br>>. Acesso em: 25 Jul. 2024.

Pott, A.; Silva J. S. V. Terrestrial and aquatic vegetation diversity of the Pantanal Wetland. In Bergier I., & Assine M. (Eds.), Dynamics of the Pantanal Wetland in South America. The Handbook of Environmental Chemistry. **Springer**, 37, pp. 111–131, 2015.

Reboita, M. S.; Gan, M. A.; Rocha, R. P.; Ambrizzi, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

Reis, J. B. C.; Pessôa, A. C. M.; Carvalho, N. S.; Silva Junior; C. H. L., Guerra, A.; Roque F. O.; Anderson, L. O. DIAGNÓSTICO DAS ÁREAS QUEIMADAS NO PANTANAL ENTRE 2001 E 2020. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 20., 2023, Florianópolis. Anais... São José dos campos: INPE, 2023. Disponível na biblioteca digital URLib: <<https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/diagnostico-das-areas-queimadas-no-pantanal-entre-2001-e-2020?lang=pt-br>>. Acesso em: 11 Jul. 2024.

Rozanski, K.; Araguás-Araguás, L.; Gonfiantini, R. Isotope Patterns in Modern Global Precipitation, Geophysical Monograph 78. **Climate Change in Continental Isotope Records**, 1-36, 1993.

Santos, V.; Gastmans, D.; Santarosa, L. V.; Batista, L. V.; Betancur, S. B.; Oliverira, M. E. D.; Pereira Filho, A. J. Variabilidade da Composição Isotópica da Precipitação na Região Central do Estado de São Paulo. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 33 n. 2, p. 171-181, 2019.

## **Índices espectrais na identificação de áreas queimadas no Pantanal mato-grossense utilizando a classificação orientada ao objeto**

Roger de Sá Silva<sup>1</sup>  
Ana Paula Cardoso Tavares <sup>1</sup>  
Eduarda Thais Goulart <sup>1</sup>  
Allan Pereira Arantes <sup>2</sup>  
Fausto Weimar Acerbi Júnior <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Lavras - UFLA  
Trevo Rotatório Professor Edmir Sá Santos, s/n  
Caixa Postal 3037 - CEP: 37203-202 - Lavras/MG - Brasil  
{roger.silva, ana.tavares5, eduarda.goulart}@estudante.ufla.br  
fausto@ufla.br

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas, Campus Muzambinho  
Estrada de Muzambinho, km 35 - Bairro Morro Preto  
Caixa. Postal 02 - : 37890-000  
allan.pereira@ifsuldeminas.edu.br

**Resumo.** Nos últimos anos, os biomas brasileiros têm sido acometidos por grandes ocorrências de incêndios florestais, os quais estão cada vez mais frequentes e intensos. O Pantanal, bioma de extraordinária riqueza, vem sendo gravemente afetado, registrando inúmeros focos de incêndio em 2024. Nesse contexto, o sensoriamento remoto se mostra uma ferramenta poderosa e versátil, possibilitando análises rápidas e decisões assertivas. A área de estudo está localizada na Terra Indígena Kadiwéu e o objetivo foi comparar cinco índices espectrais para o mapeamento de áreas pós-fogo: NBR, NBR2, NDVI, MIRBI e SAVI. O processo de classificação das áreas queimadas empregou a lógica Fuzzy baseada em objetos gerados a partir da segmentação de imagens do sensor Sentinel-2. Os resultados indicaram que o MIRBI foi o índice mais eficaz, obtendo um valor Kappa de 0,8971 e uma acurácia global de 0,9361, demonstrando sua eficiência na extração de características da paisagem pós-fogo.

**Palavras-chave:** segmentação, lógica fuzzy, incêndios, mapeamento, sensoriamento remoto, eCognition.

**Abstract.** In recent years, Brazilian biomes have experienced a significant increase in forest fires, both in frequency and intensity. The Pantanal, a biome of extraordinary biodiversity, has been severely affected, recording a high number of fire outbreaks in 2024. In this context, remote sensing emerges as a powerful and versatile tool, enabling rapid analyses and informed decision-making. The study area is located in the Kadiwéu Indigenous Land, and the objective was to compare five spectral indices for mapping post-fire areas: NBR, NBR2, NDVI, MIRBI, and SAVI. In order to classify burned areas, we used Fuzzy logic based on objects generated from the segmentation of Sentinel-2 imagery. The results indicated that MIRBI was the most effective index, achieving a Kappa value of 0.8971 and an overall accuracy of 0.9361, demonstrating its efficiency in extracting post-fire landscape characteristics.

**Key-words:** segmentation, fuzzy logic, fires, mapping, remote sensing, eCognition.

## 1. Introdução

Localizado na América do Sul, o bioma Pantanal constitui-se como a maior planície inundável do mundo, possuindo aproximadamente 150.355 km<sup>2</sup>, com uma extensão que abrange países como a Bolívia, Brasil e Paraguai. No território brasileiro, representa uma área de aproximadamente 140.000 km<sup>2</sup>, que é dividida entre os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, Alho et al. (2019). Detém relevância crucial, visto que se configura como um reservatório de biodiversidade florística, faunística e biológica, sendo que sua paisagem também inclui partes do Cerrado, Amazônia, Mata Atlântica e Chaco Boliviano, reconhecida como um mosaico de ecossistemas Moreira; Paranhos Filho (2021).

O Pantanal caracteriza-se pela sazonalidade de alagamentos, fenômeno imprescindível tanto para as comunidades presentes, ao propiciar atividades pecuárias e pesqueiras, quanto para o equilíbrio do ambiente, desempenhando funções como a ciclagem de nutrientes, a manutenção das teias alimentares e o controle natural de queimadas Junk et al. (2006); Cardoso e Marcuzzo (2010). Porém, embora marcado por ser uma região úmida, com estações de seca que variam de maio a setembro Junk et al. (2006), nos últimos anos a presença de incêndios tem-se tornado uma preocupação, dado que esses eventos ocorrem em grandes escalas e proporções. Conforme dados do BDQueimadas INPE (2024), entre 1 de janeiro e 23 de junho de 2024, foram registrados 3.262 focos ativos de incêndios na região do Pantanal. Desse total, 2.363 focos ocorreram entre 1 e 23 de junho. Nesse sentido, é inegável que os incêndios prejudicam o equilíbrio do habitat, representando uma ameaça ao seu ecossistema natural Nogueira et al. (2015), além de serem um dos principais componentes da emissão de gases do efeito estufa na atmosfera, de forma a influenciar o clima na região Ichoku et al. (2012).

A utilização de dados oriundos do sensoriamento remoto configura-se como uma ferramenta elementar durante processos de tomada de decisão, uma vez que fornecem ao analista uma gama de informações sobre a área afetada em escalas espectrais, temporais e espaciais, possibilitando análises em grandes extensões territoriais Cardil et al.(2019); Chuvieco et al. (2019). Tratando-se da detecção de incêndios, o processamento de dados espectrais permite o dimensionamento das áreas pós-fogo, isto é, pela perturbação na reflectância da vegetação Roteta et al. (2019). Nesse raciocínio, a utilização de índices espectrais é comumente empregada para essa caracterização, visto que possuem características de normalizar ou minimizar efeitos que afetem a interpretação correta da imagem, além de distinguir alvos com semelhança espectral Ponzoni et al. (2012).

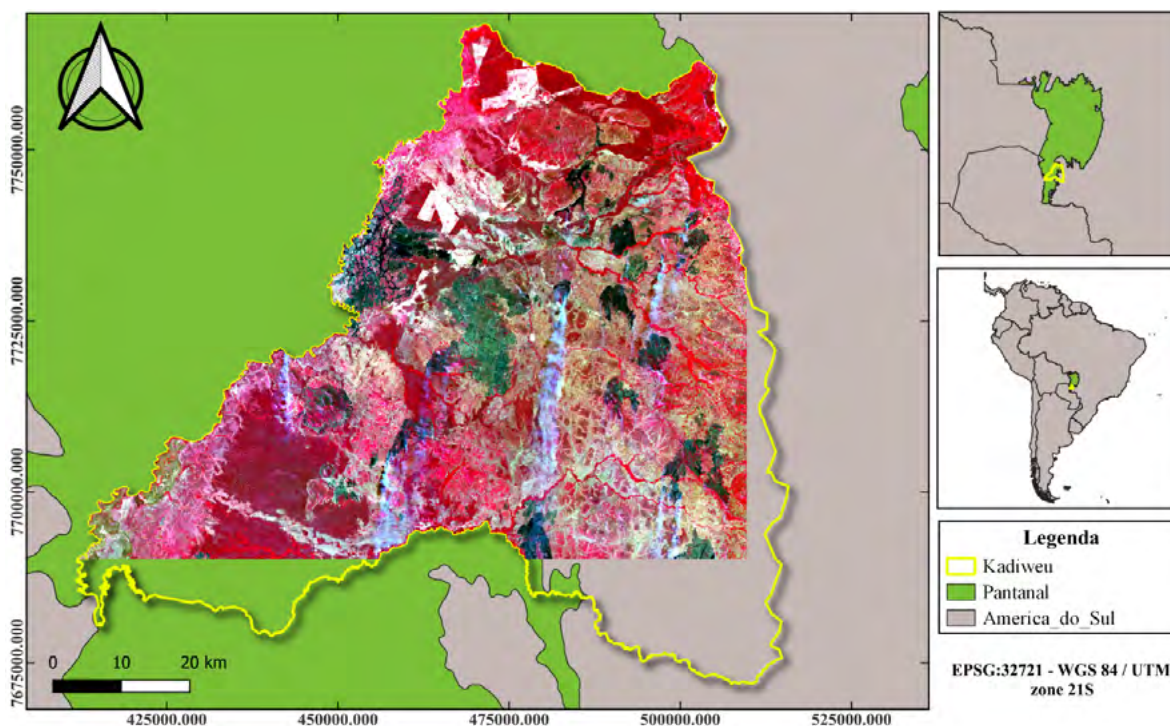
Dentro dessa ótica, a classificação orientada a objetos torna-se uma ferramenta muito útil no mapeamento de regiões queimadas. Tal abordagem permite explorar diversos aspectos do sensoriamento remoto, os quais incluem aspectos espectrais, espaciais, contextuais, morfológicos e temporais (Borges, 2009) para a extração de características de interesse, uma vez que tal metodologia utiliza de conjuntos de pixels (objetos), e não o pixel individualizado Sousa (2011).

## 2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi avaliar, utilizando o método de classificação orientada a objeto, qual dentre cinco índices espectrais (NBR, NBR2, NDVI, MIRBI e SAVI) desempenha a melhor função em distinguir áreas queimadas de outras coberturas da terra em uma área do Pantanal Mato-grossense.

## 3. Material e Métodos

A área de estudo selecionada situa-se na região sudoeste do Mato Grosso do Sul, sendo uma fração da Terra Indígena Kadiwéu, estabelecida como reserva indígena pelo decreto N° 89.578, de 24 de abril de 1984. Possuindo aproximadamente 538.000 hectares, tal território representa cerca de 5% da área do Pantanal, sendo a maior terra indígena pertencente a esse bioma Favilla (2019) (**Figura 1**). A escolha desta área deu-se pelo fato de ser uma região que vem sofrendo com muitos focos de incêndios nos últimos anos. Segundo dados observáveis do site “ALARMES-UFRJ”, desde 2021, foi registrado a queima de 442.200 ha na área, corresponde a 82% de todo o território. A imagem foi adquirida pelo satélite SENTINEL-2, LA2, com correção atmosférica e máximo de cobertura de nuvens de 10%, na data de 19 de julho de 2021. Além disso, possui resolução espacial de 20m, utilizando-se 6 bandas espectrais, sendo elas: Banda 2 (Azul), Banda 3 (Verde), Banda 4 (Vermelho), Banda 8A (Borda NIR), Banda 11 (SWIR1) e Banda 12 (SWIR2).



**Figura 1.** Área de estudo - Terra indígena Kadiwéu; Composição: Borda NIR (8A), Vermelho (4), Verde (3).

Fonte: Autores, 2024.

Com exceção do recorte da área de estudo, executado no software QGIS 3.34.6, todas as demais etapas de processamento da imagem foram realizadas no software eCognition Developer

8, o qual fundamenta-se na elaboração de uma rede hierárquica, isto é, manifesta diversas informações contidas na imagem em várias escalas Ribeiro e Kux (2009). A linguagem por trás do software é uma “Abordagem Fractal-hierárquica”, ou seja, a mesma analisa a imagem como pertencente a uma natureza fractal (Ecognition user guide, 2013).

Dessa maneira, a etapa de segmentação da imagem foi executada por meio da técnica de “Segmentação de Baixo para Cima”, a qual inicia criando pequenos objetos, usualmente a nível de pixel, para construir objetos maiores (Ecognition user guide, 2013). Assim, utilizando-se o algoritmo “Segmentação por Multirresolução”, que corresponde a uma ação de otimização, minimizando a heterogeneidade média e maximizando a homogeneidade, foi necessária a adoção de pesos para as seis bandas espectrais e para os cinco critérios utilizados na criação dos segmentos, sendo eles: Escala, Cor, Forma, Suavidade e Compacidade.

Nesse aspecto, os fatores cor e forma são ponderados de modo que a soma de suas contribuições seja igual a 1. Isso significa que valores mais altos de um atributo indicam maior importância desse fator em relação a outro no processo de segmentação (Ecognition user guide, 2013). Considerando que as regiões queimadas representam áreas com comportamentos irregulares e possuem alto contraste em relação aos demais elementos da paisagem, foi dada maior relevância ao critério cor, que prioriza as bandas espectrais para minimizar a heterogeneidade nos objetos. A escala foi definida de forma heurística, buscando o máximo tamanho possível nos segmentos sem que eles incluíssem outras classes. Por fim, como o fator forma não foi considerado essencial no processo, foram atribuídos pesos padrão para compacidade e suavidade.

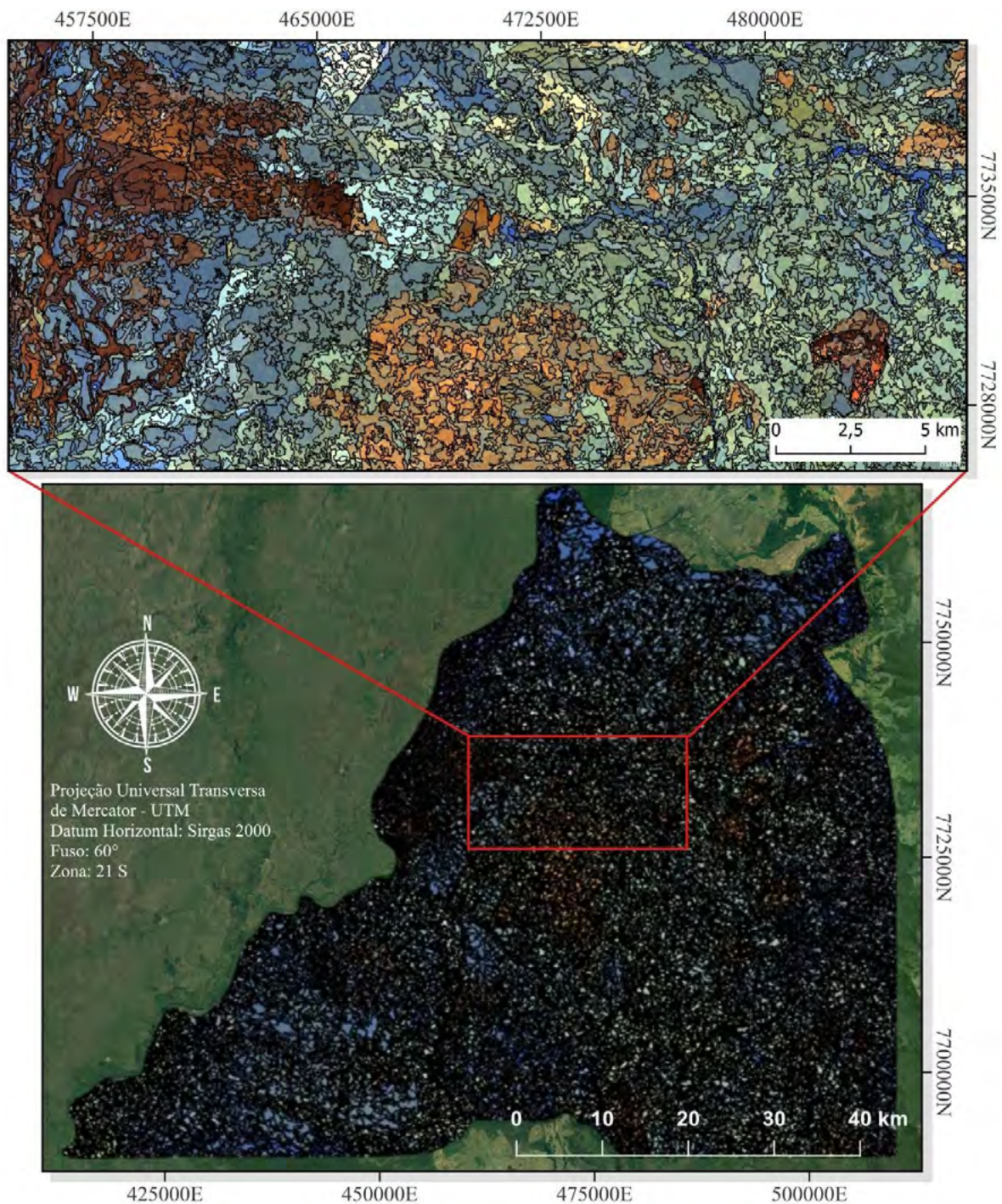
No caso das bandas espectrais, todas receberam peso 1, enquanto, para os critérios, utilizaram-se os seguintes pesos: Forma: 0,1; Cor: 0,9; Compacidade: 0,5; Suavidade: 0,5. Com relação à escala, foi adotado o valor 80, obtido ao final mediante a criação de uma hierarquia de segmentos (Nível 1: 10; Nível 2: 35; Nível 3: 50; Nível 4: 80). Esses valores são semelhantes aos estudos dos autores Zanotta et al., 2010 e Sacramento, Michel e Siqueira, 2020. A **Figura 2** ilustra a segmentação final (Nível 4) utilizada no projeto.

Desse modo, foram analisados cinco índices espectrais para a detecção das áreas queimadas, sendo eles: NBR (Índice de Queima Normalizado), NBR2 (Índice de Queima Normalizado 2), NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), MIRBI (Índice de Queima no Infravermelho Médio) e SAVI (Índice de Vegetação Ajustado para o Solo), conforme apresentado na **Tabela 1**.

Assim, realizou-se a coleta de amostras de três classes de interesse na imagem, representadas por: Queimada: 42 amostras; Área Vegetada: 67 amostras (categorizadas como pouca, média e densa vegetação) e Solo Exposto: 27 amostras. Após a aquisição das amostras foi possível avaliar o comportamento espectral de cada classe de interesse graficamente pela ferramenta “Gráfico de Espaço de Características 2D” e pela sobreposição de histogramas no “Editor de Amostras”, a fim de observar qual dentre esses índices melhor diferenciam a classe ‘Queimada’, além de fornecer o cômputo das funções de pertinência de cada um deles. Outrossim, para a diferenciação das classes ‘Área Vegetada’ e ‘Solo Exposto’ foram selecionados os seguintes parâmetros: Brilho, Média B4, Média B12, Média da Borda Interna B12, Quantil [50] B4, Quantil [50] B11 e Quantil [50] B12.

Para a classificação da imagem o procedimento selecionado foi a classificação Fuzzy, essa que por sua vez utiliza de uma abordagem possibilista, aplicando lógica nebulosa, a qual quantifica declarações incertas ou quantitativas em um intervalo contínuo de valores, substituindo as duas declarações lógicas booleanas "verdadeiro" e "falso" por um intervalo de 0 a 1 para descrever uma classe (Navulur, 2006). Nesse intuito, para cada um dos índices a serem avaliados criou-se uma camada para armazenar os resultados contendo as 3 classes.





**Figura 2.** Segmentação. Composição: SWIR2 (B12), SWIR1 (B11), Borda NIR (B8A).  
Fonte: Autores, 2024.

**Tabela 1.** Índices espectrais.

Índice	Equação	Autor
NBR	$\text{NBR} = \frac{(\text{NIR} - \text{SWIR2})}{(\text{NIR} + \text{SWIR2})}$	(Key e Benson, 1999)
NBR2	$\text{NBR2} = \frac{(\text{NIR} - \text{SWIR2})}{(\text{NIR} + \text{SWIR2})}$	(Martín et al., 2005)
NDVI	$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})}$	(Rouse et al., 1973)
MIRBI	$\text{MIRBI} = \frac{(10 * \text{NIR}) - (9,8 * \text{SWIR1})}{+ 2}$	(Trigg e Flasse, 2001)
SAVI	$\text{SAVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED} + \text{L})} * (1 + \text{L})$	(Huete, 1988)

**Legend:** NIR refere-se à reflectância no infravermelho próximo; SWIR1 e SWIR2 à reflectância no infravermelho de ondas curtas; RED à reflectância no vermelho; L o fator de correção de brilho do solo (varia de 0 a 1).

Assim, com as funções de pertinência devidamente calculadas para cada parâmetro, implementaram-se as classificações. Para as feições que não obtiveram grau de confiabilidade mínima (não receberam classificação), as mesmas foram identificadas como classe ‘Outros’.

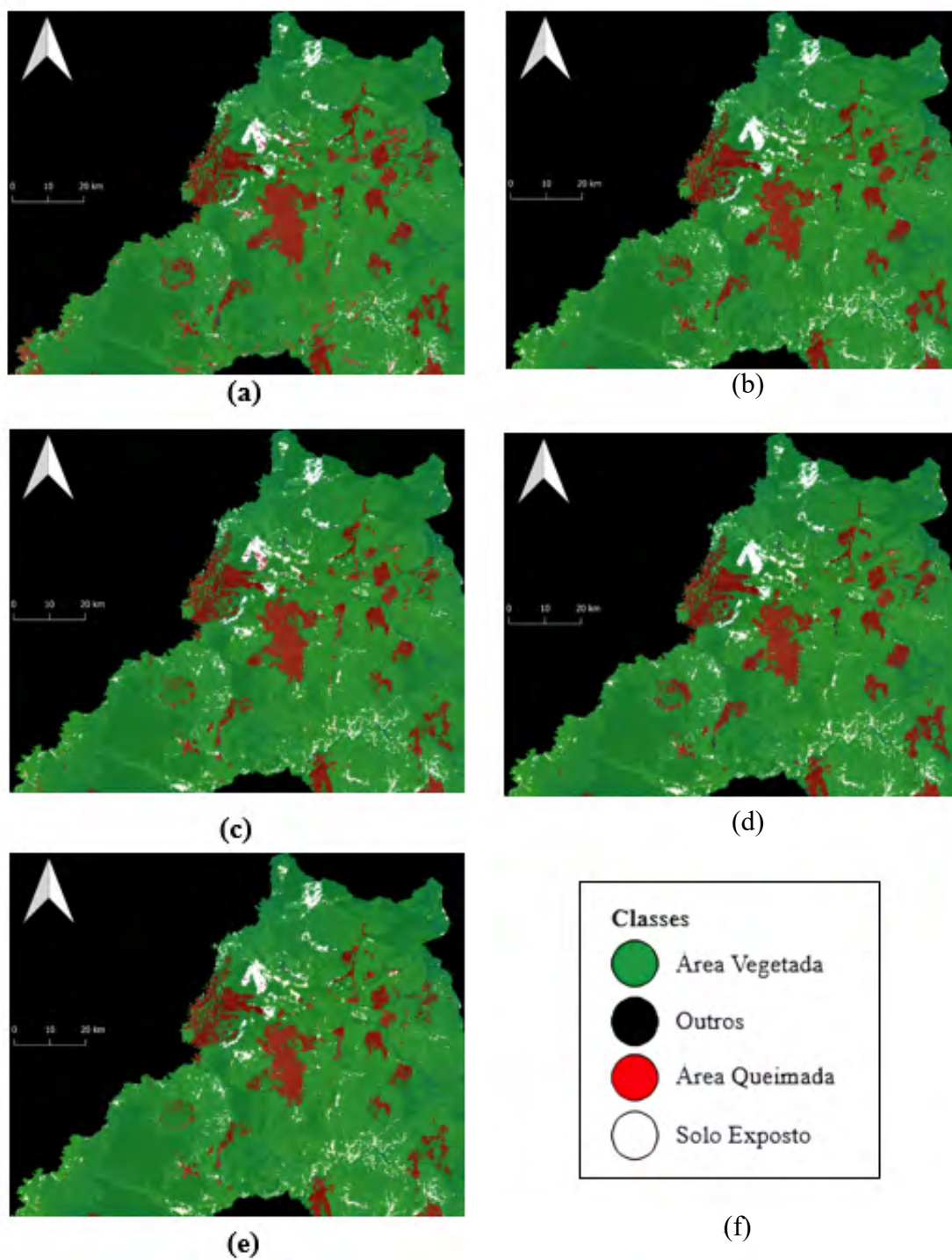
Posteriormente, para a validação da classificação foi gerada a matriz de confusão, também conhecida como matriz de erro, a fim de observar os valores de acuracidade global, acuracidade do usuário, acuracidade do produtor e coeficiente Kappa. Para tal, foram coletadas 20 amostras de cada classe na imagem SENTINEL-2, sendo distribuídas de modo aleatório e distantes das amostras previamente escolhidas. Segundo Navulur (2006), a acuracidade global representa o total de acertos (soma da diagonal principal) pelo total de contagem na matriz, indicando a proporção de previsões corretas em relação ao total de previsões feitas; a acuracidade do usuário reflete a proporção de predições corretamente feitas pelo modelo para uma classe específica; e a acuracidade do produtor consiste em, ao observar os dados das verdades de campo, prever corretamente as classificações para cada classe.

De maneira complementar a isso, foi calculado o coeficiente Kappa, o qual é uma medida de concordância entre diferentes conjuntos de dados. De acordo com Viera e Garrett (2005), o coeficiente Kappa pode ser interpretado da seguinte forma: < 0 = concordância abaixo do acaso; 0,01 - 0,20 = concordância leve; 0,21 - 0,40 = concordância razoável; 0,41 - 0,60 = concordância moderada; 0,61 - 0,80 = concordância substancial; e 0,81 - 0,99 = concordância quase perfeita; dado que um Kappa = 1 indica concordância perfeita, e um Kappa = 0 concordância equivalente ao acaso.

#### 4. Resultados e Discussão

Os resultados referentes às imagens classificadas (Queimada, Área Vegetada, Solo Exposto e Outros) para cada índice avaliado são apresentados na **Figura 3**.

Com as classificações geradas, foram obtidos dados referentes às matrizes de confusão, relatando os seguintes resultados: o NBR alcançou um Kappa de 0,8110 e uma Acuracidade Global de 0,8440; o NBR2 apresentou um Kappa de 0,8265 e uma Acuracidade Global de



**Figura 3.** Classificação gerada por classificação Fuzzy. (a) Classificação obtida com NBR. (b) Classificação obtida com NBR2. (c) Classificação obtida com NDVI. (d) Classificação obtida com MIRBI. (e) Classificação obtida com SAVI. (f) Classes.  
Fonte: Autores, 2024.

0,8930; o NDVI teve um desempenho inferior, com um Kappa de 0,6584 e uma Acuracidade Global de 0,7937; o MIRBI destacou-se com um Kappa de 0,8971 e uma Acuracidade Global de 0,9361; e, por fim, o SAVI obteve um Kappa de 0,7047 e uma Acuracidade Global de 0,8193. A matriz de confusão e acuracidade do MIRBI são apresentadas na **Tabela 2** e **Tabela 3**.

Assim, com base nos valores da acuracidade global, tem-se que as classificações geradas pelos índices NBR2 e MIRBI são confiáveis, apresentando valores superiores ao mínimo aceitável na literatura mundial que é de 85%. O índice MIRBI foi superior com valor de

**Tabela 2.** Matriz de confusão do MIRBI.

<b>Matriz de Confusão</b>	<b>Queimada</b>	<b>Área vegetada</b>	<b>Solo exposto</b>
Queimada	15227	0	0
Área vegetada	555	18532	1292
Solo exposto	0	869	6071

**Tabela 3.** Acuracidade do MIRBI.

<b>Precisão</b>	<b>Queimada</b>	<b>Área vegetada</b>	<b>Solo exposto</b>
Produtor	0,96483	0,95521	0,82453
Usuário	1	0,90937	0,87478

acuracidade global igual a 93,61%. Analisando os valores de acurácia do produtor e do usuário para o índice MIRBI, observa-se que a classe 'Queimada' não apresentou erros de comissão e apenas 3,52% de erros de omissão, corroborando a seleção deste índice como o de melhor desempenho na classificação das áreas queimadas. É importante ressaltar que a minimização dos erros de omissão e comissão é um dos maiores desafios no mapeamento das áreas queimadas, uma vez que, normalmente, técnicas que visam a minimização dos erros de omissão levam a um aumento dos erros de comissão e vice-versa.

Dessa forma, índices que utilizam as bandas SWIR1 e SWIR2 demonstraram melhor desempenho na distinção de regiões queimadas, com o MIRBI e o NBR2 apresentando a maior precisão, alcançando um grau de concordância quase perfeita. Esses resultados estão em conformidade com os estudos de Pereira et al. (2015) e Pinto et al. (2019).

Embora o NBR e o NBR2 adquirirem valores próximos em Kappa e Acuracidade Global, o NBR incluiu mais fragmentos pertencentes a classe 'Solo Exposto', o que superestima a classe 'Queimada' em análises de área afetada. Nesse raciocínio, apesar de inferiores aos demais índices, o NDVI e o SAVI apresentaram concordância substancial, mostrando-se ainda como boas abordagens para discriminar queimadas. Portanto, obteve-se um ranqueamento em questão de performance da seguinte forma: MIRBI, NBR2, NBR, SAVI e NDVI.

Assim, é importante salientar que objetos com composições mistas de vegetação e queimadas foram o principal desafio na classificação, resultando na omissão de queimadas. Embora isso fosse esperado devido à complexidade, não foi algo muito significativo para o índice MIRBI. Por conseguinte, a utilização da classificação orientada ao objeto mostrou-se efetiva em minimizar erros causados por essas nuances na paisagem.

## 5. Conclusões

O presente estudo demonstrou o potencial da classificação orientada a objeto, aliada à lógica Fuzzy, em distinguir regiões afetadas pelo fogo de outras porções da paisagem no Pantanal. Dessa forma, todos os índices espectrais avaliados alcançaram resultados satisfatórios, tendo-se como melhor para tal objetivo o MIRBI.

Nessa perspectiva, diante dos desafios encontrados neste estudo, existe a oportunidade para pesquisas futuras utilizarem imagens de maior resolução espacial, visando alcançar maior homogeneidade nos objetos. No entanto, isso implica em exigências crescentes de poder de processamento à medida que a área de interesse é expandida.

## 6. Referências

- Alarmes UFRJ - Alerta de Áreas Queimadas Com Monitoramento Estimado Por Satélite. **Área Queimada**. 2024. Disponível em: <<https://alarmes.lasa.ufrj.br/ferramentas/>>. Acesso em: 30 jul 2024.
- Alho, C. J. R.; Mamede, S. B; Benites, M; Andrade, B. S.; Sepúlveda, J. J. O. Ameaças à biodiversidade do Pantanal brasileiro pelo uso e ocupação da terra. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 22, 2019.
- Borges, E. F.; Silva, A. B. Técnicas de segmentação de imagens e classificação por região: mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo, Mucugê-BA (satellite imagery classification: cover and soil use map using digital image processing). **Mercator**, Fortaleza, v. 8, n. 17, p. 209-220, 2009. ISSN 1984-2201.
- Cardil, A.; Mola-Yudego, B.; Blázquez-Casado, Á.; Gonzalez-Olabarria, J. R. Fire and burn severity assessment: calibration of relative differenced normalized burn ratio (RdNBR) with field data. **Journal of Environmental Management**, v. 235, p. 342-349, 2019.
- Cardoso, M.R.D.; Marcuzzo, F.F.N. Mapeamento de três decênios da precipitação pluviométrica total e sazonal do bioma Pantanal. **Conference: 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, out. 2010.
- Chuvieco, E.; Mouillot, F.; van der Werf, G. R.; San Miguel, J.; Tanase, M.; Koutsias, N.; García, M.; Yebra, M.; Padilla, M.; Gitas, I.; Heil, A.; Hawbaker, T. J.; Giglio, L. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. **Remote Sensing of Environment**, v. 225, p. 45–64, 2019.
- Favilla, K. C.; Pires, G.; Pereira, L. R. Plano de vida do território indígena Kadiwéu. Campo Grande. **Wetlands International Brasil**. Programa Corredor Azul, MS: Mupan, 2019.
- Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.
- Ichoku, C., Kahn, R., Chin, M. Satellite contributions to the quantitative characterization of biomass burning for climate modeling. **Atmospheric Research**, v. 111, p. 1-28, 2012.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Banco de dados de queimadas**. 2024. Disponível em: <[https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas\\_estados/](https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas_estados/)>. Acesso em: 23 jun. 2024.
- Junk, W. J.; Da Cunha, C. N.; Wantzen, K. M.; Petermann, P.; Strussmann, C.; Marques, M. I.; Adis, J. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences** 68, 278–309, 2006.
- Key, C.H.; Benson, N.C. Measuring and remote sensing of burn severity. In: **Proceedings of the Joint Fire Science Conference and Workshop**. Boise: University of Idaho, International Association of Wildland Fire. 1999. 284 p.
- Martín, M. P.; Gómez, I.; Chuvieco, E. Performance of a burned-area index (BAIM) for mapping Mediterranean burned scars from MODIS data. In: Riva, J.; Pérez-Cabello, F.; Chuvieco, E. (Eds.). **Proceedings of the 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management: Fire Effects Assessment**, Paris, p. 193–198, jan. 2005.
- Moreira, A. P.; Paranhos Filho, A. C. **Aspectos do bioma Pantanal e histórico de degradação**. 2021. Disponível em: <Aspectos do bioma Pantanal e histórico de degradação (researchgate.net)>. Acesso em: 02 jul. 2024.

Mato Grosso do Sul (Estado). Decreto nº. 89.578, de 24 de abril de 1984. **Diário Oficial [da] República Federal do Brasil**, Poder executivo, Brasília, DF, 24 abril. 1984. Seção 1, p. 5850

Navulur, K. **Multispectral Image Analysis Using the Object-Oriented Paradigm**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. 204 p.

Nogueira, J. S.; Santos, A. C. A. Análise do material particulado no Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 3, p. 254-264, 2015.

Pereira, A.A.; Carvalho L.M.T.; Libonati, R.; Júnior, F.W.A; Morelli, F. Avaliação de nove índices espectrais quanto a separabilidade entre queimadas e diferentes alvos. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015.

Pinto, A.S.A.S.; Silveira, E.M.O.; Rocha, T.G.; Cunha, L.I.F.; Júnior, F.W.A. Avaliação de índices espectrais e do algoritmo random forest para a detecção de mudanças da cobertura do solo no cerrado brasileiro. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Santos-SP, abr. 2019.

Ponzoni, F. J; Shimabukuru, Y E; Kuplich, T. M. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2012. 160 p.

Ribeiro, B.M.G.; Kux H.J.H. Classificação orientada a objeto para o mapeamento do uso do solo – métodos de análise de expansão urbana. In: XIV SBSR – Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal – RN. **Anais ...** São José dos Campos: INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. p. 7893-7900.

Roteta, E.; Bastarrika, A.; Padilla, M.; Storm, T.; Chuvieco, E. Development of a Sentinel-2 burned area algorithm: Generation of a small fire database for sub-Saharan Africa. **Remote Sensing of Environment**, v. 222, p. 1-17, 2019.

Rouse, J.W.; Haas, R.H., Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains. **Earth Resources Tecnology Satellite-1 Symposium**, Washington, p. 309–317, 1973.

Sacramento, I.F.; Michel, R.F.M.; Siqueira, R.G. Análise bitemporal de áreas queimadas na Mata Atlântica. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, MG, v. 32, p. 565-577, jun. 2020.

Sousa, A.M.O.; Mesquita, P.; Gonçalves, A.C.; Silva, J.R.M. da; Silva, L.L. Detecção de vegetação arbórea através de segmentação e classificação orientada a objecto de imagens multiespectrais de alta resolução (Quickbird). In: III Jornadas Ibero-Americanas de Agricultura de Precisão, 2010, Évora. **Anais ...** Évora: Universidade de Évora, Orden, SCAP, 2010.

Trigg, S.; Flasse, S. An Evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah. **International Journal of Remote Sensing**. v. 22, n. 13, p. 3161–3168, 2001.

Trimble. **eCognition Developer**: user guide. Munich, Germany: Trimble Germany. 2013. Disponível em: <www.eCognition.com>. Acesso em: 23 jun. 2024.

Viera, A. J.; Garrett, J. M. Understanding Interobserver Agreement: The Kappa Statistic. **Family Medicine**, 2005.

Zanotta, D.C.; Novak, T.; Coura, S.M.C.; Zazi, H.; Almeida, C.M. Detecção de queimadas no Pantanal a partir de classificação orientada a objeto e informações multiespectrais de sensoriamento remoto. **Anais 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Cáceres, MT, p. 800-808, 20 out. 2010.

## Influência da sazonalidade nos recursos hídricos na Bacia do alto Paraguai em Cáceres - MTs

João Paulo Ropke Schuster <sup>1</sup>  
Rafaella Andrade Pistore <sup>1</sup>  
Emanuele Rebeca Maximiano Almeida <sup>1</sup>  
Jefferson do Nascimento <sup>1</sup>  
Maykon Cristian Lauermann<sup>1</sup>  
Amanda Ferreira da Silva <sup>2</sup>  
Carlos Antônio da Silva Junior <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Mato Grosso - UNEMAT

Av. dos Ingá, 3001 - Caixa Postal 6041

78555000 - Sinop - MT, Brasil

{joão.schuster, rafaella.andrade, emanuele.rebeca, maykon.cristian, carlosjr}@unemat.br  
jeffersonacai@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Piauí - UFPI

Planalto Horizontes, 1758 - Caixa Postal 515

64900000 - Bom Jesus- PI, Brasil

amanda.ferreira@ufpi.edu.br

**Resumo.** O presente artigo tem como objetivo analisar os efeitos da sazonalidade da bacia hidrográfica do alto Paraguai no município de Cáceres – MT a partir de parâmetros de qualidade da água. Os períodos estudados foram de 01 de maio a 31 de Agosto dos anos de 1995, 2005, 2015 e 2022. Para a realização do mapeamento foram utilizados os satélites Landsat 5 (sensor TM) e Landsat 8 (sensor OLI). Para analisar a área da bacia ao longo dos anos foram feitas análises espaciais através do índice de vegetação NDWI (Índice de Água de Diferença Normalizada), utilizado para destacar as características da água numa imagem de satélite por meio de um indicador numérico obtido por sensoriamento remoto. Foram avaliados os parâmetros de qualidade da água: turbidez da água (NTU) e clorofila-a presente na água ( $\mu\text{g/L}$ ). Foi observada via satélite o assoreamento do rio ao longo dos anos estudados, havendo uma alta atividade fotossintética pelo acúmulo de matéria orgânica pelo assoreamento do rio, acarretando na quantidade excessiva de partículas em suspensão pelo estreitamento do rio, aumentando a turbidez da água. Foi possível observar uma mudança na precipitação pluviométrica corresponde à chuva nessa região e uma degradação do solo e da água pelas variáveis de qualidade através estreitamento do rio.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, qualidade da água, Pantanal.

**Abstract.** This article aims to analyze the effects of seasonality in the upper Paraguay river basin in the municipality of Cáceres - MT based on water quality parameters. The training periods were from May 1 to August 31 in the years 1995, 2005, 2015 and 2022. The Landsat 5 (TM sensor) and Landsat 8 (OLI sensor) satellites were used to carry out the mapping. To analyze the basin area over the years, spatial analyzes were made using the NDWI (Normalized Difference Water Index) mapping index, used to highlight water characteristics in a satellite image through a numerical indicator obtained by remote sensing. The following water quality parameters were evaluated: water turbidity (NTU) and chlorophyll-a present in the water ( $\mu\text{g/L}$ ). The silting of the river was observed via satellite over the years studied, with high photosynthetic activity due to the accumulation of organic matter due to the silting of the river, resulting in an excessive amount of suspended particles due to the narrowing of the river, increasing the turbidity of the water. It was possible to observe a change in the rainfall negotiations corresponding to the rain in this region and a manipulation of the soil and water by the quality variables through the narrowing of the river.

**Key-words:** remote sensing, water quality, Pantanal.

## 1. Introdução

As águas são essenciais para a manutenção da vida no planeta e desempenham um papel crucial no equilíbrio dos ecossistemas e na manutenção da biodiversidade. No Brasil, as bacias hidrográficas são fundamentais, pois abastecem rios e colaboram com o desenvolvimento econômico, Joly et al. (2019). A devida manutenção e preservação desse importante recurso necessita de um monitoramento em grande escala, devido a sua grande extensão territorial, utilizando como suporte diversas técnicas e tecnologias Penido et al. (2007).

A bacia hidrográfica do Alto Paraguai abrange os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo considerada a maior planície inundada contínua do pantanal Mato-grossense, possuindo uma área de 1.095.000 km<sup>2</sup> com elevações de 800 m descendo até 200 m Oliveira et al., (2019); ANA, (2010). Reconhecido nacionalmente e internacionalmente por se estender para os países da Bolívia, Paraguai e Argentina, além de ser fonte de renda e abastecimento para a população que vive em seu entorno Calheiros et al. (2012).

O município de Cáceres é considerado a porta de entrada do Pantanal mato-grossense, a cidade fica situada à margem esquerda do rio Paraguai e tem sua economia voltada para o turismo, pesca e pecuária, Silva (2012). Com a intensificação da pecuária e o aumento do turismo ambiental, o estudo da sazonalidade na bacia hidrográfica torna-se necessário devido às modificações antrópicas nesse ambiente, Silva et al. (2008).

Collischonn et al. (2001) evidenciaram a importância de estudar as séries históricas de sazonalidade do rio Paraguai devido às mudanças climáticas no comportamento das chuvas nessa região, em que foi visto anualmente a diminuição da vazão do rio. A dinâmica fluvial dessa região pode ser estudada através dos estudos de sedimentologia e características físicas, químicas e biológicas da água, Souza (2004).

A utilização do sensoriamento remoto para o mapeamento e monitoramento ambiental permite uma área de estudo abrangente, utilizando dados de satélite que permitem avaliar as propriedades ópticas inerentes (IOPs) da água, que estão relacionadas com a refletância da luz, Brezonik, (2019). As partículas suspensas e dissolvidas na água possuem propriedades ópticas, incluindo turbidez, sólidos suspensos, cor húmica e pigmentos de algas, como clorofila-a (chl-a) nas quais permitem avaliar a perda de áreas inundadas através de imagens temporais da área de estudo em relação às mudanças na sazonalidade de uma determinada região, Menken (2009). A presença da chl-a em zonas úmidas é um indicador de baixa biodiversidade e alteração no ecossistema, Dzurume, (2022). Assim como a turbidez na água indica a erodibilidade das encostas causando o assoreamento dos rios, Lin (2024).

Portanto a utilização de técnicas de sensoriamento remoto é uma forma rápida e concisa no monitoramento de rios do Pantanal, uma vez que, os sistemas fluviais tem impacto direto no



equilíbrio dos ecossistemas, em políticas públicas de preservação ambiental e na economia da cidade através do turismo, da pesca, da agricultura e da pecuária.

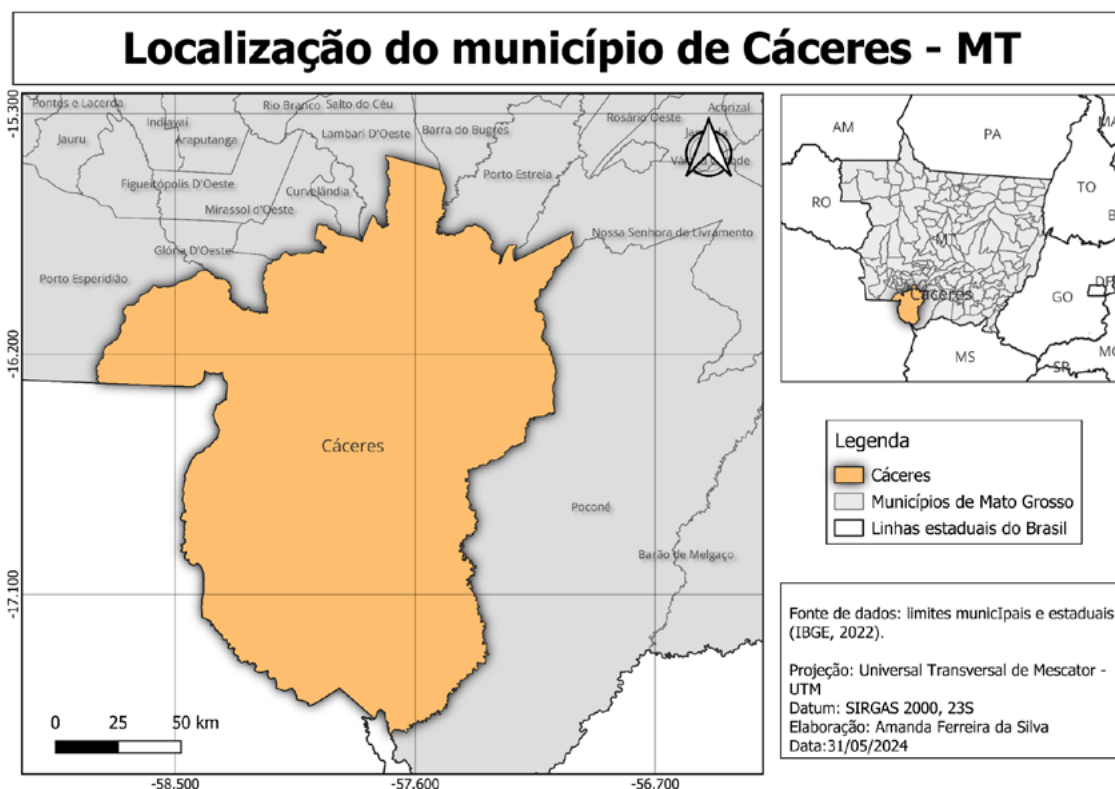
## 2. Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo analisar a sazonalidade da bacia do alto Paraguai no município de Cáceres- MT utilizando sensoriamento remoto orbital nos anos de 1995, 2005, 2015 e 2022, através de sensores orbitais e bandas espectrais para avaliar parâmetros de qualidade da água por índice de vegetação (NDWI) equações de turbidez e clorofila-a da água.

## 3. Material e Métodos

### 3.1. Área de estudo

A área de estudo é o curso de água da bacia hidrográfica do Alto Paraguai que está situada no município de Cáceres-MT (**Figura 1**) localizado na microrregião do Alto-Paraguai. Possuindo extensão territorial de 24.495,510 km<sup>2</sup>, IBGE, (2022). O clima é de natureza tropical, apresenta duas estações distintas bem definidas, secas no inverno e verão úmido. Esta variabilidade funciona como um sistema regulador das cheias e vazantes do Rio Paraguai que atua na região como o principal corredor fluvial que abastece o pantanal, Santos (2012).



**Figura 1.** Mapa de Localização do município de Cáceres.

### 3.2 Aquisição de imagens e processamento de dados

As imagens foram obtidas do site USGS – Earth Explorer, correspondendo aos meses de 01/05 a 31/07 dos anos de 1995, 2015, 2005 e 2022, formando imagem composta dos meses estudados. Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5, e Landsat 8. Sendo o Landsat 5 equipado pelo sensor Thematic Mapper (TM) o qual oferece uma resolução espacial de 30 m, e uma separação espectral adequada para mapeamento de recursos naturais. No Landsat 5, utilizamos as bandas B1 Azul (0.45-0.52  $\mu\text{m}$ ), B2 Verde (0.52-0.60  $\mu\text{m}$ ), B3 Vermelho (0.63 - 0.69  $\mu\text{m}$ ), B4 Infravermelho próximo (0.76 – 0.90  $\mu\text{m}$ ), B5 Infravermelho médio (1.55 - 1.75  $\mu\text{m}$ ), B7 Infravermelho médio (2.08 - 2.35  $\mu\text{m}$ ). Já no Landsat 8, tivemos acesso a imagens capturadas pelo sensor OLI, a qual foi analisada as bandas, B1 Costal (0.43-0,45  $\mu\text{m}$ ), B2 Azul (0,45-0,51  $\mu\text{m}$ ), B3 Verde (0,52-0,60  $\mu\text{m}$ ), B4 Vermelho (0,63-0,68  $\mu\text{m}$ ), B5 Infravermelho Próximo (0,84-0,88  $\mu\text{m}$ ), B6 Infravermelho Médio (1,56-1,66  $\mu\text{m}$ ), B7 Infravermelho Médio (2,10-2,30  $\mu\text{m}$ ). Para tanto, os pixels de água foram extraídos das imagens de satélite por meio do Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI), proposto por McFeeters (1996). O índice utiliza a banda verde e a banda NIR, de acordo com a **equações 1 e 2**:

$$\text{NDWI(OLI)} = (\text{B2}-\text{B4}) / (\text{B2}+\text{B4}) \quad (1)$$

$$\text{NDWI(TM)} = (\text{B3}-\text{B5}) / (\text{B3}+\text{B5}) \quad (2)$$

O NDWI varia entre -1 e 1 e valores abaixo de 0 são classificados como “não água” e acima de 0 corresponde à classe “água”. O processamento das imagens e dos mapas foi feito no software Qgis versão 3.34.3.

### 3.3. Parâmetros analisados

#### Turbidez (TU)

A turbidez da água se dá pela presença de partículas sólidas suspensas na água que podem ser desde matéria orgânica, plânctons e algas, como materiais derivados da indústria como ferro e zinco, diminuindo assim a transparência da água, Aparecida et al. (2013). Com base na determinação de cada banda de reflectância, a turbidez (TU) foi calculado pelas **equações 3 e 4**, Castro et al. (2018).

$$\text{TU(OLI)} = 9.51 - 0.10 \times (\text{B2} + 0.10 \times (\text{B7}) - 1.89 \times (\text{B5}/\text{B4})) \quad (3)$$

$$\text{TU(TM)} = 9.51 - 0.10 \times (\text{B1}) + 0.10 \times (\text{B6}) - 1.89 \times (\text{B4}/\text{B3}) \quad (4)$$

#### Clorofila-a (Chl-a)

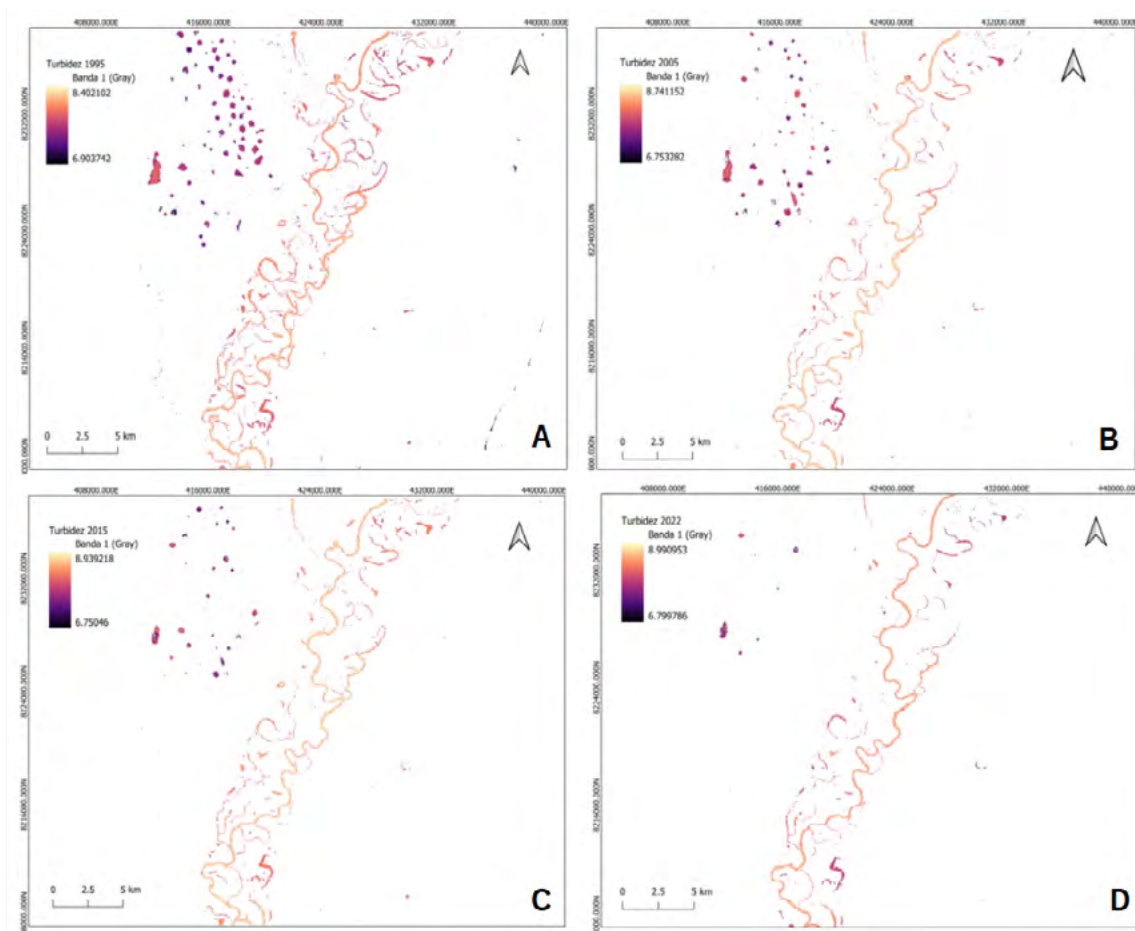
Dentre os tipos de clorofila (a, b, c, d), a clorofila-a é a mais usada para determinar parâmetros da qualidade da água, Coelho, (2004). Sendo uma indicadora da presença de material fotossintético na água, é utilizada frequentemente como parâmetro de estudo de rios, lagos e corpos d'água, Souza et al. (2021). Foi utilizado o modelo determinado por Chen et al. (2008) para analisar o OLI e Bandas de sensores TM. As **equações 5 e 6** são utilizadas para estimar a Chl-a para cada sensor, de acordo com as respectivas bandas.

$$\text{Chl - a (OLI)} = 4.483 + 0.022(\text{B2}) + 0.031(\text{B3}) - 0.041(\text{B4}) - 0.13(\text{B5}) + 0.108(\text{B6}) - 0.235(\text{B7}) \quad (4)$$

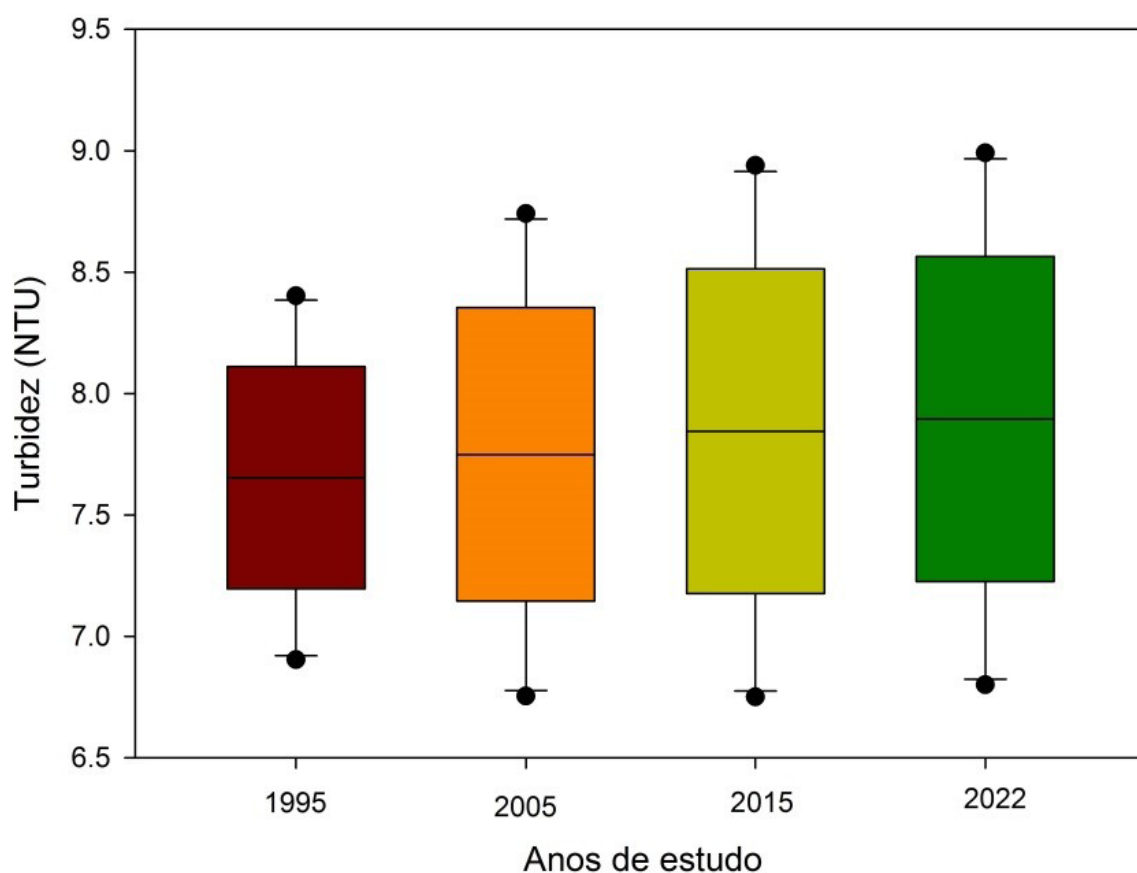
$$\text{Chl - a (TM)} = 4.483 + 0.022(\text{B1}) + 0.031(\text{B2}) - 0.041(\text{B3}) - 0.13(\text{B4}) + 0.108(\text{B5}) - 0.235(\text{B6}) \quad (5)$$

#### 4. Resultados e Discussão

O estudo da sazonalidade ambiental traz consigo a preocupação das mudanças nos ecossistemas terrestres e aquáticos, Cohen (2023). Neste estudo foram empregados parâmetros de qualidade da água, nos quais permitiram verificar a influência da sazonalidade da bacia hidrográfica de Cáceres-MT. Durante a análise de turbidez das águas, percebemos que as imagens coletadas nos apontam para um acréscimo de 3,16% na turbidez das águas do rio Paraguai entre os períodos de 1995 a 2022 (**Figura 2**). Uns dos principais responsáveis pela turbidez da água são em sua maioria partículas suspensas (detritos orgânicos e inorgânicos) e em menor proporção os compostos dissolvidos. Estes materiais são responsáveis pela dispersão da radiação, e pela verdadeira coloração da água, sendo de grosso modo, a cor aparente da água, a sua turbidez, Hutchinson (1957). Com os dados sendo coletados durante o período de estiagem, ou seja, pouca precipitação, os valores de turbidez se encontram elevados, justamente pelo acúmulo de matéria orgânica, o que diminui a penetração de luz. Esses resultados de qualidade da água em relação a sazonalidade em Cáceres-MT corroboram com o de Santos et al. (2012) que enfatizam a condição climática nessa região que está sob influência de uma Massa Tropical Continental que se caracteriza por ser quente e seca originária da depressão do chaco boliviano, responsáveis por longos períodos de estiagem. Pode-se ver na **Figura 3** do box plot que houve um aumento gradual em relação a concentração de partículas suspensas em corpos d'água localizados próximo ao rio Paraguai.

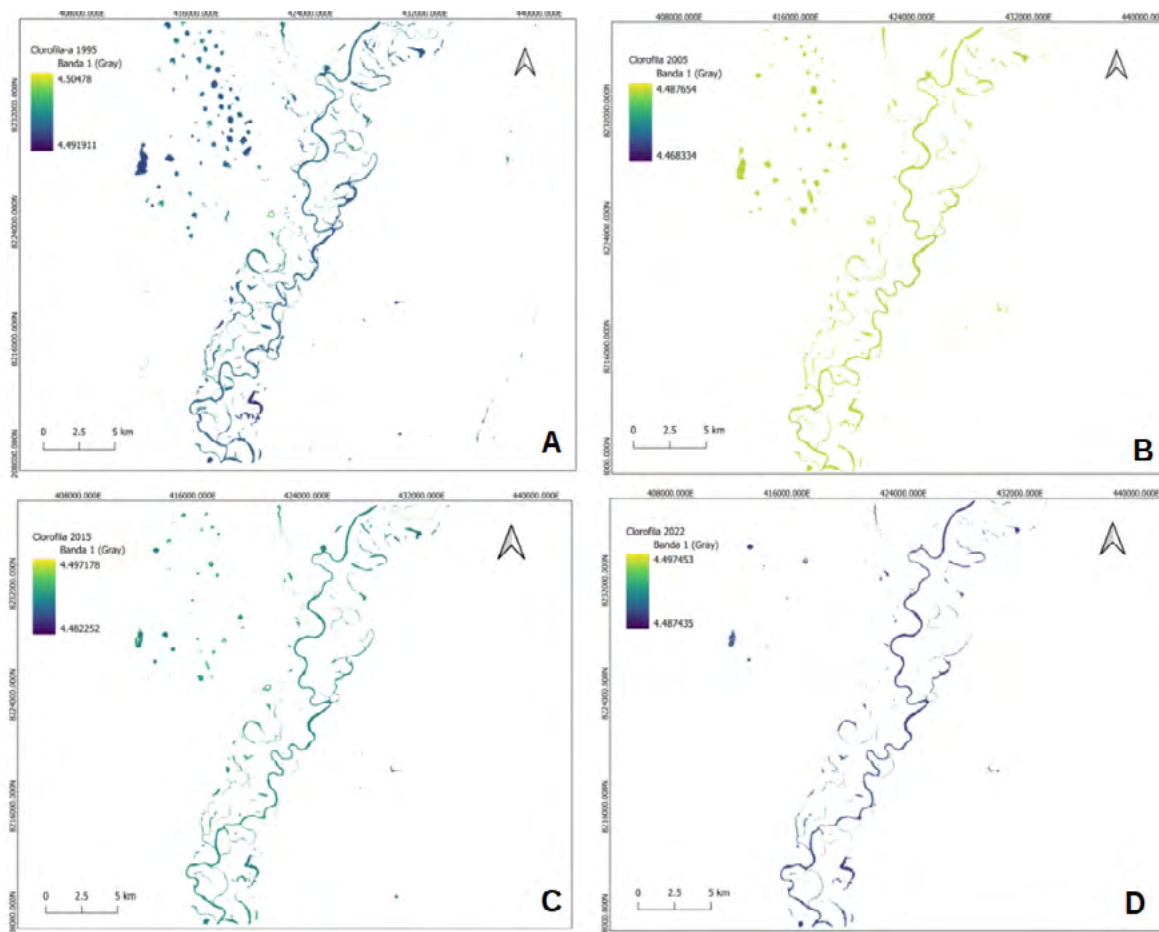


**Figura 2.** Distribuição espacial da variável turbidez da água da bacia do rio do alto Paraguai no município de Cáceres -MT, estimada para os anos de 1995 (A), 2005 (B) (sensor TM), 2015 (C) e 2022 (D) (sensor OLI).

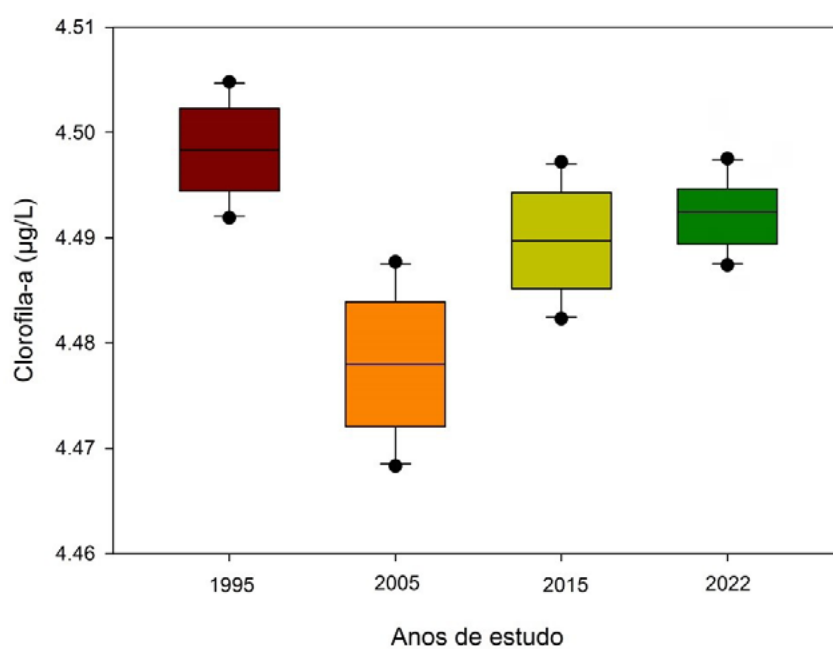


**Figura 3.** Gráfico Box plot da relação entre a turbidez (NTU) da água e os anos estudados.

Na **Figura 4** podemos observar o comportamento biológico da clorofila-a em relação a mudanças na vazão de água na bacia hidrográfica ao longo de quatro anos. A presença de clorofila-a na água se dá pela presença de organismos fotossintetizantes na água, tais como algas e fitoplânctons, Souza et al. (2021). Isso se dá devido a maior reflectância na faixa verde do espectro, Souza et al. (2021). Nota-se assim na **Figura 4A** uma maior concentração de organismos fotossintetizantes em relação aos anos consecutivos devido a uma maior vazão do rio no ano de 1995 ocasionando uma área superficial maior para a multiplicação desses organismos na água. Na **Figura 4B** referente ao ano de 2005 houve uma diminuição no volume de água no curso de água da bacia, contudo percebe-se uma alta atividade fotossintética. Essa diminuição se dá pela maior potencial de diluição de nutrientes numa área com baixo escoamento da água, permitindo que esses organismos permaneçam inertes na água aumentando sua taxa fotossintética, Serbeto et al. (2021), Narazeth (2020). Os anos de 2015 e 2022 (**Figuras 4C e 4D**) apresentaram comportamento similar, com uma aumento de 0,7% na concentração de clorofila-a do ano de 2015 para 2022, como mostrado na **Figura 5** do box plot. Essa baixa na concentração de componentes biológicos fotossintetizantes se deve a fatores climáticos com relação direta à pluviosidade, que segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM) o comportamento atmosférico nunca é igual de uma década para outra, havendo flutuações no regime hídrico, Steinke et al. (2005).



**Figura 4.** Distribuição espacial da variável clorofila-a da água da bacia do rio do alto Paraguai no município de Cáceres -MT, estimada para os anos de 1995 (A), 2005 (B) (sensor TM), 2015 (C) e 2022 (D) (sensor OLI).



**Figura 5.** Gráfico Box plot da relação da clorofila-a presente no curso do rio com os anos estudados.

Através dos dados obtidos com a clorofila-a e da turbidez da água, pode-se observar nas **Figuras 4 e 5** que a qualidade da água sofreu mudanças durante a sazonalidade dos anos estudados, principalmente em relação ao ano de 1995, no qual apresentou uma área com maior taxa de turbidez da água e maior taxa fotossintética produzida por organismos presentes na água. Muitos fatores estão relacionados a esse assoreamento do curso d'água, sendo a ação antrópica a maior fator de impacto, uma vez que, com o aumento do agronegócio onde há um aumento da degradação do solo e da água, gerando uma exposição do solo a qual deixa os mesmos mais suscetíveis a erosões, Silva (2012).

## 5. Conclusões e Sugestões

O uso de sensoriamento remoto no estudo da sazonalidade em bacias hidrográficas torna-se fundamental para avaliar a área molhada do rio, podendo verificar assim o escoamento dessas águas com precisão e em menos tempo de coleta de dados. A utilização do índice de água de diferença normalizada (NDWI) demonstrou eficácia para destacar problemas ambientais em recursos hídricos, podendo estimar e modelar resultados nos quais podem gerar ações para o uso consciente e sustentável de bacias hidrográficas, tão importantes para a economia local. Neste trabalho foi possível verificar através da turbidez da água e da clorofila-a presente em componentes biológicos da água que houve uma mudança à medida que os anos se passaram mostrando a importância do estudo temporal de bacias hidrográficas e como essa mudança pode afetar a sociedade que utiliza dessas águas para sobreviver, seja do turismo, da pesca ou da agricultura.

Através desse trabalho foi possível ver a sobre a dinâmica do curso de água da bacia do Alto-Paraguai no município de Cáceres para os anos 2000, sendo necessárias mais coletas de dados climáticas para correlacionar com dados orbitais. Nos quais tornam o levantamento hidrológico mais completo.

## 6. Referências

- ANA. **Regiões do Alto Paraguai**. Disponível em <http://www.ana.gov.br> Acesso em: 15 mai. 2024.
- Aparecida, L., Tonon, C., Pieretti, G. G., Seloin, V. J., Moura, M. M., & Regina, M. Análise de parâmetros de qualidade da água para consumo humano. **Revista Tecnológica**, v. 22, n. 1, p. 35–41. 2013. <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v22i1.12578>.
- Brezonik, P.; Menken, K. D.; Bauer, B. Landsat-based Remote Sensing of Lake Water Quality Characteristics, Including Chlorophyll and Colored Dissolved Organic Matter (CDOM), EUA. **Lake and Reservoir Management**, v. 21, n. 4, p. 373-382, 2005.
- Calheiros, D. F.; Oliveira, M. D.; Padovani, C. R. Hydro-ecological Processes and Anthropogenic Impacts on the Pantanal Wetland. In: IORIS, A. A. R. (ed.). *Tropical Wetland Management: The South-American Pantanal and the International Experience*. **Farnham**: Ashgate, p. 29-57, 2012.
- Chen, X.D., Zhang, C.K., Paterson, D.M. Hindered erosion: the biological mediation of noncohesive sediment behavior[J]. **Water Resour. Res.** v. 53, n. 6, p. 4787–4801, 2018. <https://doi.org/10.1002/2016WR020105>.
- Coelho, R. P. Phosphorus contribution and the presence of Cyanobacteria in the São Simão. Reservoir. 2004.
- Cohen, A. S.; Manobianco, J.; Dettman, D. L.; Black, B. A.; Beck, C.; Feibel, C. S.; Joordens, J. C.; Bert Van Bocxlaer, B. V.; Vonhof, H. Seasonality and lake water temperature inferred from the geochemistry and sclerochronology of quaternary freshwater bivalves from the Turkana Basin, Ethiopia and Kenya. **Quaternary Science Reviews**. EUA, v. 317, 2023.
- Collischon, W.; Tucci, C. E. M.; Clarke, R. T. Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? Brazil. **Journal of hydrology**. v. 245, p. 218-238, 2001.

- De Castro, P. H. M., de Freitas Pereira, A. C., & Barros, M. V. F. Modelos Empíricos para Inferência de Componentes Ópticamente Ativos em Ambientes Lóticos e Semilóticos do Rio Tibagi/PR, Aplicados À Imagens Landsat-8/OLI. **Raega O Espaço Geográfico Em Análise**, v. 43, n.75, 2018. <https://doi.org/10.5380/raega.v43i0.50545>.
- Dzurume, T.; Dube, T, Shoko, C. Remotely sensed data for estimating chlorophyll-a concentration in wetlands located in the Limpopo Transboundary River Basin, South Africa, South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 127, n. 3, 2022.
- Ercília Torres Steinke, E. T.; Souza, G. A.; Saito, C. H. Análise da variabilidade da temperatura do ar e da precipitação no distrito federal no período de 1965/2003 e sua relação com uma possível alteração climática. Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.
- Gholizadeh, M.H.; Melesse, A.M.; Reddi, L. A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. **Sensors** 2016, 16, 1298. <https://doi.org/10.3390/s16081298>
- Hutchinson, G.G. **A treatise on Limnology**. I Geography, Physics, and Chemistry, New York, John Wiley, p. 1050, 1957.
- Joly, C. A.; Scarano, F. R.; Bustamante, M.; Gadda, T. M. C.; Metzger, J. P. W.; Seixas, C. S.; Ometto, J. P. H. B.; Pires, A. P. F.; Boesing, A. L.; Sousa, F. D. R. S.; Quintão, J. M. B.; Gonçalves, L. R.; Padgurschi, M. C. G.; Aquino, M. F. S. A.; Castro, P. F. D.; Santos, I. L. Brazilian assessment on biodiversity and ecosystem services: summary for policy makers. Brazilian assessment on biodiversity and ecosystem services: summary for policy makers. **Biota Neotropica**. v. 19, n. 4, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0865>.
- Lin, C.; Bao, R.; Longhai Zhu, L.; Hu, R.; Ji, J.; Yu, S. Surface sediment erosion characteristics and influencing factors in the subaqueous delta of the abandoned Yellow River Estuary. **Marine Geology**, China. v. 468, n. 107219, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2024.107219>.
- Mcfeters, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996.
- Menken, K. D.; Brezonik, P.; Bauer, M. E. Influence of Chlorophyll and Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) on Lake Reflectance Spectra: Implications for Measuring Lake Properties by Remote Sensing, **Lake and Reservoir Management**, v. 22, n. 3, p. 179-190, 2006.
- Nazareth, J. L. **Correlacionando a qualidade da água com o uso e a abertura da terra: um estudo da Bacia de Contribuição da Represa Doutor João Penido**, Juiz de Fora (MG) Dissertação (mestrado). 114 f. Universidade Federal de Juiz de Fora, MG. 2020.
- Oliveira, M. D.; Calheiros, F. D.; Hamilton, S. K. Mass balances of major solutes, nutrients and particulate matter as water moves through the floodplains of the Pantanal (Paraguay River, Brazil). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos Brazilian Journal of Water Resources** v. 24, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.231820170169>.
- Penido, A. S.; Valério Filho, M.; Bastos, R. A. B. Monitoramento Ambiental de Bacias Hidrográficas Urbanizadas Com Suporte das Geotecnologias. Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 4135-4143. 2007.
- Santos, L.; Zamparoni, C. A. G. P.; Soares, J. C. O. O ritmo pluviométrico na região de Cáceres-mt no período Compreendido entre a série histórica de 1971 a 2010. Brasil. **Revista Geonorte**, v.1, n.5, p.1091 – 1102, 2012.
- Serbeto, L. F.; Mendes, G. C. R.; Pereira, R.O. Determinação da Concentração de Clorofila-a pôr Sensoriamento Remoto no Reservatório de Chapéu d’Úvas (Mg), Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.06, p. 3561-3576, 2021.
- Silva, A.; Souza Filho, E. E.; Cunha, S. B. Padrões de canal do rio Paraguai na região de Cáceres (MT), Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 167-177, 2008.
- Silva, R. V. da.; Souza, C. A. de. Ocupação e degradação na margem do Rio Paraguai em Cáceres, Mato Grosso. **Revista Brasileira De Gestão E Desenvolvimento Regional**, v. 8, n.1, 2012.
- Souza, A. P; D.; Teodoro, P. E.; Teodoro, L. P. R.; Taveira, A. C.; Oliveira Júnior, J. F.; Della Silva, J. L.; Baio, F. H. R.; Lima, M.; Silva Junior, C. A. Application of remote sensing in environmental impact assessment: a case study of dam rupture in Brumadinho, Minas Gerais, Brazil. Brazil. **Environ Monit**, v. 193, n. 606, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09417-z>.

Souza, A.P.D., Teodoro, P.E., Teodoro, L.P.R. et al. Application of remote sensing in environmental impact assessment: a case study of dam rupture in Brumadinho, Minas Gerais, Brazil. **Environ Monit Assess**, v. 193, n. 606, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09417-z>

Souza, C. A.; Cunha, S. B. Pantanal de Cáceres - MT: dinâmica das margens do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a estação ecológica da ilha de Taiamã –MT. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas**, Três Lagoas - MS, v. 1, n. 5, 2007.



## **Território Mato Grosso: transparência dos dados fundiários e subsídio à conservação e uso sustentável da terra e dos recursos naturais**

Mônica A. Cupertino-Eisenlohr <sup>1</sup>

Weslei Butturi <sup>1</sup>

Lucas Neris Araújo <sup>1</sup>

Vinícius Freitas Silgueiro <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Centro de Vida – ICV

Av. Ariosto da Riva, 3473, Centro

78580-000 - Alta Floresta - MT, Brasil

{monica.cupertino, weslei.butturi, lucas.araujo, vinicius.silgueiro}@icv.org.br

**Resumo.** Mato Grosso abrange rica diversidade biológica e sociocultural representada por seus três biomas, mais de 40 povos indígenas e diversas comunidades tradicionais. Ao mesmo tempo, o estado se apresenta como protagonista nacional na produção agropecuária e de madeira nativa. Nesse sentido, essa diversidade biológica e sociocultural presente em Mato Grosso implica também em uma complexa estrutura fundiária. A qualidade e robustez de bases de dados fundiários oficiais, bem como a transparência na disponibilização destes dados consiste em um dos desafios relacionados à regularização fundiária em Mato Grosso. Assim, este trabalho busca contribuir para o conhecimento sobre as diferentes categorias de ocupação territorial em Mato Grosso, visando subsidiar iniciativas voltadas a conservação e uso sustentável da terra e dos recursos naturais a partir da construção de uma base de tipologia fundiária e de sua implementação em um painel interativo. A base de tipologia fundiária de Mato Grosso apresentada neste trabalho engloba imóveis rurais cadastrados, assentamentos, territórios quilombolas, terras indígenas, unidades de conservação, áreas urbanizadas e áreas não cadastradas identificadas de acordo com município e bioma de ocorrência. Além disso, é possível acessar sobreposições de imóveis rurais com terras indígenas e unidades de conservação. Destacamos que o acesso a todas essas informações de forma interativa é uma novidade para o estado de Mato Grosso. Esperamos que este painel seja uma ferramenta útil para ações de monitoramento e gestão territorial e para fomentar discussões sobre temas relacionados à ocupação territorial em Mato Grosso.

**Palavras-chave:** Conflitos fundiários, *dashboard*, gestão territorial, governança de terras, monitoramento, tipologias fundiárias.

**Abstract.** Mato Grosso encompasses a rich biological and sociocultural diversity represented by its three biomes, over 40 indigenous peoples, and various traditional communities. At the same time, the state is a national protagonist in agricultural and native timber production. This biological and sociocultural diversity in Mato Grosso also implies a complex land structure. The quality and robustness of official land databases, as well as transparency in the provision of these data, are among the challenges related to land regularization in Mato Grosso. This study aims to contribute to the knowledge of the different categories of territorial occupation in Mato Grosso, aiming to support initiatives focused on the conservation and sustainable use of land and natural resources by building a land typology database and implementing it in an interactive panel. The land typology database for Mato Grosso presented in this study includes registered rural properties, settlements, quilombola territories, indigenous lands, conservation units, urbanized areas, and unregistered areas identified according to the municipality and biome of occurrence. Additionally, it is possible to access overlaps of rural properties with indigenous lands and conservation units. We highlight that accessing all this information interactively is a novelty for the state of Mato Grosso. We hope that this panel will be a useful tool for monitoring and territorial management actions and for promoting discussions on topics related to territorial occupation in Mato Grosso.

**Key-words:** Land conflicts, Dashboard, Land governance, Land typologies, Monitoring, Territorial management.

## 1. Introdução

Mato Grosso representa um território de extrema importância do ponto de vista da diversidade biológica e sociocultural e de complexidade fundiária ímpar. Situado em um dos maiores e mais importantes mosaicos vegetacionais da região neotropical, composto pelos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal (Eisenlohr et al. 2023), o estado também abriga uma diversidade de povos e comunidades tradicionais (PCTs), tais como Indígenas, Quilombolas, Extrativistas, Seringueiros, Ribeirinhos, Pescadores, Retireiros e retireiras do Araguaia, Pantaneiros, Morroquianos, Povos de terreiro e Ciganos (Mitraud et al. 2021). Somado a isso, o estado é o maior produtor de *commodities* agropecuárias do Brasil Corrêa et al. (2019); IBGE (2019a) e de madeira nativa IBGE (2023).

Nesse sentido, o contexto socioambiental histórico do estado de Mato Grosso é complexo e permeado por conflitos socioambientais relacionados ao uso e ocupação da terra Sato e Silva (2012). Dentre os principais conflitos socioambientais presentes no território mato-grossense estão a disputa por terra, disputa por água, desmatamento, queimadas e uso abusivo de agrotóxicos Sato e Silva (2012). Nos últimos dois anos, o estado registrou 187 conflitos por terra, sendo que a maioria envolveu povos e comunidades tradicionais, ou seja, territórios indígenas, quilombolas e extrativistas CPT (2022; 2023).

Os principais problemas relacionados à regularização fundiária em Mato Grosso estão relacionados às lacunas presentes na legislação, bem como à falta de recursos humanos, qualidade das bases de dados fundiários e transparência na disponibilização destes dados Almeida et al. (2021). Assim, a atualização e disponibilização da base fundiária oficial do estado é um elemento imprescindível para a gestão territorial do estado Almeida et al. (2021), principalmente, quando consideramos a complexidade da estrutura fundiária do Brasil, bem como dos estados da federação, que é composta por distintas categorias fundiárias regulamentadas e administradas por leis e órgãos distintos Chiavari et al. (2016); Freitas et al. (2018).

Dentre as categorias ou tipologias fundiárias presentes no território mato-grossense estão terras indígenas, unidades de conservação, assentamentos rurais, territórios quilombolas, imóveis rurais cadastrados etc Almeida et al. (2021). Um grande desafio na agregação de distintas bases fundiárias está relacionado à presença de sobreposições entre as mesmas. Em Mato Grosso, por exemplo, há desde a presença de sobreposições entre terras indígenas e unidades de conservação Pantaleoni et al. (2023) até a presença de sobreposições de imóveis rurais cadastrados em terras indígenas Carvalho e Fanzeres (2020). Assim, a qualidade e robustez das bases disponibilizadas pelos diversos órgãos oficiais é de suma importância para a

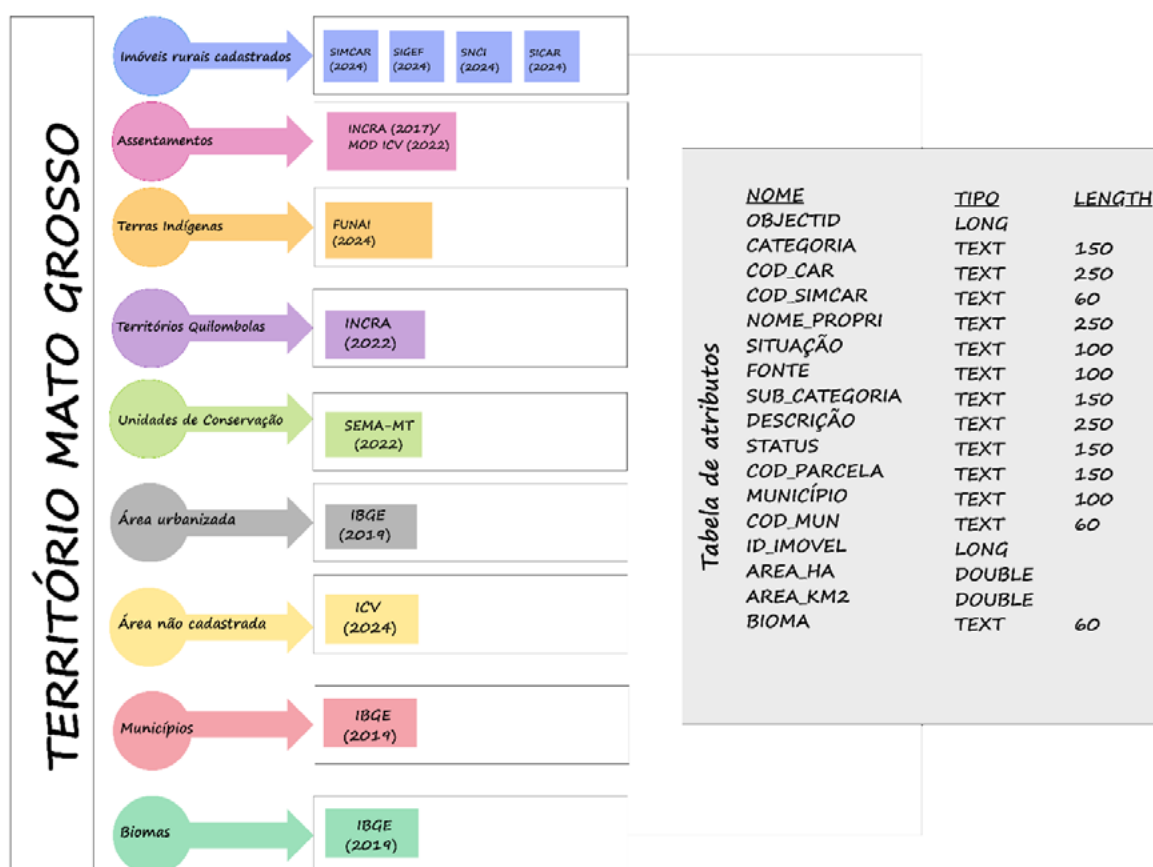
construção de uma base de tipologias fundiárias para o estado, visto que essa tarefa envolve um complexo processo de limpeza e análise de sobreposições de bases fundiárias distintas.

## 2. Objetivo

A partir da construção de uma base de tipologia fundiária e de sua implementação em um painel interativo, buscamos contribuir para a transparência dos dados fundiários e subsidiar iniciativas voltadas à conservação e uso sustentável da terra e dos recursos naturais de Mato Grosso.

## 3. Material e Métodos

Para a construção da base de tipologia fundiária de Mato Grosso compilamos bases de imóveis rurais cadastrados do Sistema Mato-Grossense de Cadastro Ambiental Rural (SIMCAR), Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF), Sistema Nacional de Certificação de Imóveis (SNCI) e Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) (**Figura 1; Tabela 1**). Além das bases de imóveis rurais cadastrados inserimos base de Assentamentos Rurais, Territórios Quilombolas, Terras Indígenas, Unidades de Conservação e Áreas Urbanizadas (**Figura 1; Tabela 1**). Inicialmente analisamos, selecionamos e criamos uma camada “template” com os atributos essenciais de cada uma dessas bases que deveriam estar presentes na base de tipologia fundiária de Mato Grosso.



**Figura 1.** Bases fundiárias e estrutura da tabela de atributos utilizadas para a construção da base de tipologia fundiária de Mato Grosso.

**Tabela 1.** Bases fundiárias utilizadas para a construção da base de tipologia fundiária de Mato Grosso.

<b>Bases fundiárias</b>			
	<b>Fonte</b>	<b>Data de download</b>	<b>Link</b>
<b>Imóveis rurais cadastrados</b>	Sistema Mato-Grossense de Cadastro Ambiental Rural - SIMCAR	09-02-2024	<a href="https://geoportal.sema.mt.gov.br/">https://geoportal.sema.mt.gov.br/</a>
	Sistema de Gestão Fundiária - SIGEF	14-02-2024	<a href="https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py">https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py</a>
	Sistema Nacional de Certificação de Imóveis - SNCI	09-02-2024	<a href="https://geoportal.sema.mt.gov.br/">https://geoportal.sema.mt.gov.br/</a>
	Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural - SICAR	15-02-2024	<a href="https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index">https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index</a>
<b>Terras Indígenas</b>	Fundação Nacional dos Povos Indígenas - FUNAI	09-02-2024	<a href="https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas">https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas</a>
<b>Unidades de Conservação</b>	Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso – SEMA MT	09-02-2024	<a href="https://geoportal.sema.mt.gov.br/">https://geoportal.sema.mt.gov.br/</a>
<b>Territórios Quilombolas</b>	Acervo Fundiário - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA (2022)	2022	<a href="https://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php">https://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php</a>
<b>Assentamentos</b>	Acervo Fundiário - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA – Modificado ICV (2022)	2017	<a href="https://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php">https://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php</a>
<b>Area urbanizada</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2019)	19-03-2024	<a href="https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html">https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html</a>
<b>Limites Municipais</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2019)	20-03-2024	<a href="https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15774-malhas.html">https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15774-malhas.html</a>
<b>Biomás</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2019)	20-03-2024	<a href="https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/15842-biomas.html">https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/15842-biomas.html</a>

Realizamos a correção dos erros de sobreposições de cada uma das bases de tipologia fundiária (SIMCAR, SIGEF, SNCI e SICAR) de forma individual com base no status de cada imóvel, priorizando os imóveis validados pelo órgão gestor. Nesta etapa utilizamos as ferramentas ‘Excluir Geometrias’ e ‘Dissect and dissolve’ do software QGIS versão 3.26. Em seguida utilizamos ArcCatalog 10.8.2. para criar um arquivo geodatabase onde foi possível criar regras de topologia para cada uma das bases utilizadas. Foi aplicada a regra “*Must Not Overlap*” para identificar os erros de sobreposição entre os imóveis da mesma camada “*layer*”. Corrigimos os erros de sobreposição que ainda restaram após a validação da topologia por meio da ferramenta “*Error Inspector*” do ArcMap 10.8.2. Após a correção dos erros de topologia de todas as bases de imóveis individualmente realizamos a junção das mesmas por meio da ferramenta “*Load*” do ArcCatalog 10.8.2. Para isso seguimos os seguintes critérios hierárquicos: i) a primeira base fundiária considerada foi a base do SIMCAR. Essa decisão se deve ao fato desta base ser mais constantemente atualizada e possuir maior número de imóveis cadastrados; ii) a segunda base fundiária inserida foi a base do SIGEF, pois apesar de ter número menor de imóveis cadastrados é uma das bases mais robustas. Aqui, inserimos apenas aqueles imóveis presentes na base do SIGEF, mas que não se sobreponham aos imóveis da base do SIMCAR (já inserida), pois dessa forma, priorizamos os imóveis do SIMCAR em relação ao SIGEF; iii) a terceira base de imóveis inserida foi a base do SNCI. Aqui, inserimos apenas aqueles imóveis presentes na base do SNCI, mas que não se sobreponham aos imóveis da base do SIMCAR e SIGEF; iv) a quarta e última base de imóveis inserida foi a base do SICAR. Aqui, inserimos apenas aqueles imóveis que estavam na base do SICAR, mas que não se sobreponham aos imóveis da base do SIMCAR, SIGEF e SNCI. A cada nova base inserida realizamos a verificação, validação e correção de possíveis erros de sobreposição seguindo os critérios hierárquicos citados acima.

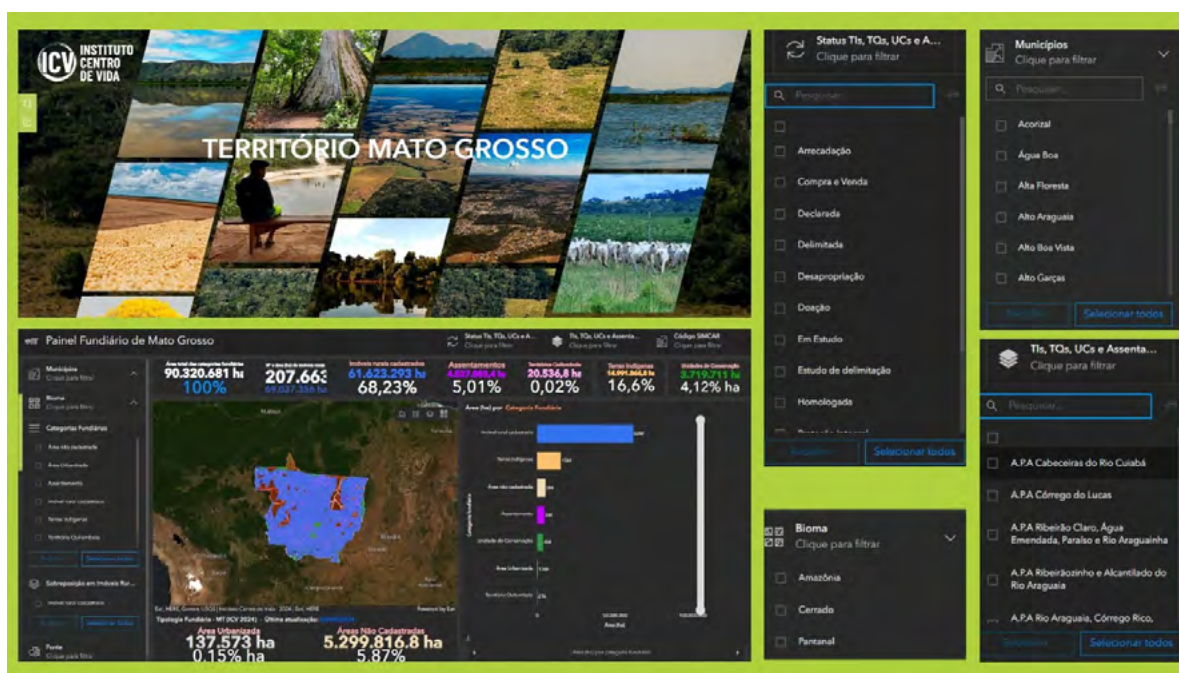
Após a obtenção de uma base de imóveis rurais cadastrados o próximo passo foi criar uma camada com as bases de Terras Indígenas, Terras Quilombolas, Assentamentos, Unidades de Conservação e Áreas Urbanizadas e verificar, validar e corrigir as sobreposições entre as mesmas. Iniciamos o processo com a criação de topologias individuais para cada uma das bases e correção de possíveis sobreposições. Posteriormente, para corrigir os erros de sobreposição entre as bases de Terras Indígenas, Terras Quilombolas, Assentamentos, Unidades de Conservação e Áreas Urbanizadas utilizamos com os seguintes critérios hierárquicos: i) Terras Indígenas tem prioridade em todas as sobreposições; ii) Territórios quilombolas tem prioridade em sobreposições com Assentamentos, Unidades de Conservação e Áreas urbanizadas; iii) Assentamentos tem prioridade em sobreposições com Unidades de Conservação e Áreas urbanizadas, e; iv) Unidades de Conservação tem prioridade em sobreposições com Áreas urbanizadas. Após a correção dos erros de topologia geramos uma nova topologia para confirmar a ausência de sobreposições. Em seguida, por meio da ferramenta “*Clip*” identificamos os imóveis rurais cadastrados que se sobreponham às categorias Terras Indígenas, Terras Quilombolas, Assentamentos, Unidades de Conservação e Áreas Urbanizadas, os quais foram identificados na coluna “sub-categoria” da tabela de atributos. Posteriormente, para não gerar sobreposições, recortamos os imóveis rurais cadastrados que se sobrepueram a essas categorias por meio da ferramenta “*Erase*”. Por fim, fizemos a junção de todas as bases de categorias fundiárias na camada final por meio da ferramenta “*Load*”.

Realizamos a identificação dos limites municipais IBGE (2019c) e biomas IBGE (2019b) por meio da ferramenta “*Intersect*”. Em seguida, obtivemos a camada das áreas não cadastradas por meio da ferramenta “*Erase*” com base na camada de limite do estado de Mato Grosso e a camada de áreas cadastradas (descrita acima) e geramos uma topologia final utilizando as regras “*Must not have overlap*” e “*Must not have gaps*” e corrigimos possíveis erros de topologia remanescentes. Por fim, com o intuito de eliminar “nesgas” de polígonos, identificamos todos

os polígonos com área total  $\leq 0,01$  ha e aplicamos a ferramenta "Eliminate" para eliminar os pequenos polígonos que não representam tipologia fundiária. Adotamos o sistema de coordenadas "South\_America\_Lambert\_Conformal\_Conic\_MT\_SIRGAS" durante todo o processo de construção da base de tipologia fundiária de Mato Grosso. Após a construção da base de tipologia, realizamos a sua implementação em um painel interativo "dashboard".

#### 4. Resultados e Discussão

A base de tipologia fundiária de Mato Grosso apresentada neste trabalho engloba imóveis rurais cadastrados, assentamentos, territórios quilombolas, terras indígenas, unidades de conservação, áreas urbanizadas e áreas não cadastradas identificadas de acordo com município e bioma de ocorrência. Por meio do painel desenvolvido a partir da base de tipologia fundiária disponível na página do Portal de Inteligência Territorial do Instituto Centro de Vida (Acesso disponível em: <https://inteligencia-territorial-instcentrodevida.hub.arcgis.com/pages/territorio-matogrosso>; **Figura 2**) o usuário pode acessar informações sobre número e área (em hectares) das categorias fundiárias e fazer filtros por municípios, biomas, bem como a fonte dos dados. Além disso, é possível acessar sobreposições de imóveis rurais com terras indígenas e unidades de conservação. Destacamos que o acesso a todas essas informações de forma interativa é uma novidade para o estado de Mato Grosso.



**Figura 2.** Painel interativo de tipologias fundiárias do estado de Mato Grosso.

Fonte: <https://inteligencia-territorial-instcentrodevida.hub.arcgis.com/pages/territorio-matogrosso>.

De acordo com a base de tipologia fundiária mais de 68% (~61.641.504 ha; **Figura 2**) do território mato-grossense é composto por imóveis rurais cadastrados. Terras indígenas correspondem à segunda maior categoria fundiária, ocupando 16,62% (~15.041.457 ha) do território, seguido pelos assentamentos (5,01%; ~4.527,517 ha), unidades de conservação (4%; ~3.701.060) e territórios quilombolas (0,02%; ~20.511) (**Figura 2**). Cerca de 6% do território de Mato Grosso é composto por áreas não cadastradas, o que totaliza cerca de 5.283.356 ha.

Os imóveis rurais cadastrados que se sobrepõem a terras indígenas e unidades de conservação de proteção integral totalizam aproximadamente 2.888.760 ha (**Figura 2**). Considerando as diversas restrições legais que o estado de Mato Grosso dispõe no Decreto 1.031/2017 sobre a regulamentação de sobreposição de cadastros ambientais rurais em terras indígenas e unidades de conservação de proteção integral, esse alto número de hectares de sobreposição implica em grandes desafios à gestão fundiária do estado relacionadas à identificação e verificação da legalidade da sobreposição. Além disso, quando consideramos as sobreposições entre unidades de conservação e territórios tradicionais (terras indígenas e territórios quilombolas) é necessário conhecer o cenário histórico e atual dessas sobreposições para que seja possível corrigir injustiças que impõem limitações ao exercício dos direitos de povos e comunidades tradicionais (Madeira et al. 2015).

## 5. Conclusões e Sugestões

Povos e comunidades tradicionais, acadêmicos, jornalistas e gestores públicos poderão se beneficiar das informações fundiárias disponíveis no painel interativo da base de tipologia fundiária de Mato Grosso. Nesse sentido, esperamos que este painel seja uma ferramenta útil para a gestão de territórios quilombolas, indígenas, agricultura familiar etc, bem como para subsídio de ações de monitoramento e gestão territorial desenvolvidas por organizações da sociedade civil que atuam no Estado. Por fim, o público acadêmico, desde a educação básica até o ensino superior, poderá se beneficiar do conhecimento interativo que o painel oferece para discutir temas relacionados à ocupação territorial em Mato Grosso.

Reforçamos ainda que é de suma importância que os distintos órgãos governamentais responsáveis pelo acesso às bases de categorias fundiárias garantam a qualidade das informações disponibilizadas para garantir cada vez mais acurácia no planejamento e na gestão dos territórios.

## 6. Referências

- Almeida, J.; Brito, B.; Gomes, P.; Valdiones, A.P. **Leis e práticas de regularização fundiária no Estado de Mato Grosso**. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia; Instituto Centro de Vida. Belém: Imazon. 41p. 2021. Disponível em: [https://imazon.org.br/wp-content/uploads/2021/03/LeisRegularizacaoFundiar\\_MatoGrosso.pdf](https://imazon.org.br/wp-content/uploads/2021/03/LeisRegularizacaoFundiar_MatoGrosso.pdf). Acesso em: 30 jul. 2024.
- Carvalho, R.C.; Fanzeres, A. **A análise de imóveis rurais cadastrados no sistema mato-grossense de cadastro ambiental rural (SIMCAR) sobrepostos a terras indígenas em Mato Grosso**. Programa de direitos indígenas, política indigenista e informação à sociedade. Cuiabá: OPAN. 24p. 2020. Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/acervo/documentos/analise-de-imoveis-rurais-cadastrados-no-sistema-mato-grossense-de-cadastro>.
- Chiavari, J.; Lopes, C. L.; Marques, D.; Antonaccio, L.; Braga, N. **Panorama dos direitos de propriedade no Brasil rural: Legislação, gestão fundiária e código florestal**. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative. 111p. 2016. Disponível em: <https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2021/02/REL-Panorama-dos-direitos-de-Propriedade-no-Brasil-Rural-2021.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2024.
- Corrêa, M. L. M.; Pignati, W. A.; Pignatti, M. G. Segurança Alimentar, produção de alimentos e saúde: um olhar para os territórios agrícolas de Mato Grosso. **ACENO-Revista de Antropologia do Centro-Oeste**, v.6, n.11, 129-146. 2019.
- CPT. Comissão Pastoral da Terra. **Conflitos no Campo Brasil 2023**. Centro de Documentação Dom Tomás Balduino – CPT. Goiânia: CPT Nacional. 214p. 2024. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/download/41-conflitos-no-campo-brasil-publicacao/14308-conflitos-no-campo-brasil-2023>. Acesso em: 30 jul. 2024.
- CPT. Comissão Pastoral da Terra. **Conflitos no Campo Brasil 2022**. Centro de Documentação Dom Tomás Balduino – CPT. Goiânia: CPT Nacional. 254p. 2023. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/downlods/summary/41-conflitos-no-campo-brasil-publicacao/14302-livro-2022-v21-web>. Acesso em: 30 jul. 2024.

Eisenlohr, P. V.; Souza, L. A. S.; Santos-Silva, D. L.; Silva-Pereira, I.; Soares-Lopes, C. R. A.; Cupertino-Eisenlohr, M. A. Unraveling tree species connections and their relationships with environment in a vegetation mosaic in Brazil. **Folia Geobotanica**, v.58, n.19, p.1-19. 2023.

Freitas, F.L.M.; Guidotti, V.; Sparovek, G.; Hamamura, C. Nota Técnica: **Malha Fundiária do Brasil**. Atlas - A Geografia da Agropecuária Brasileira. Piracicaba: IMAFLORA, v.1812. 2018. Disponível em: [https://www.imaflora.org/public/media/biblioteca/1594237486imaflora\\_atlasagropecuario\\_documentacao\\_malhafundiaria\\_v1812.pdf](https://www.imaflora.org/public/media/biblioteca/1594237486imaflora_atlasagropecuario_documentacao_malhafundiaria_v1812.pdf). Acesso em: 30 jul. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – (PEVS). 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html>. Acesso em: 30 jul. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal (PAM)**. 2019a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 30 jul. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil - 1**: 250.000. 2019b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/15842-biomass.html>. Acesso em: 30 jul. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal**. 2019c. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 30 jul. 2024.

Madeira, J. A.; Abirached, C. F. C.; Francis, P. A.; Castro, D. D. M. P.; Barbanti, O.; Cavallini, M. M.; Melo, M. M. Interfaces e sobreposições entre unidades de conservação e territórios de povos e comunidades tradicionais: dimensionando o desafio. **Anais do VII SAPIS e II ELAPIS**. Florianópolis: UFSC, 2015. p. 617-626. Disponível em: <https://sapiselapis2015.paginas.ufsc.br/>. Acesso em: 30 jul. 2024.

Mitraud, S.; Ramos, J.F.; Gomes, J; Guyot, C.S.D.; Castro, I. **Diagnóstico de povos e comunidades tradicionais em Mato Grosso - subsídio para processo de inclusão participativa no subprograma de agricultura familiar do REM**. Cuiabá: Programa REDD Early Movers (REM MT). 2021. Disponível em: <https://www.remmt.com.br/wpcontent/uploads/2024/06/diagnosticodepovosecomunidadestradicionaisematogrosso.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2024.

Pantaleoni, R. F.; Klein, T.; Santos, T. M. **Povos Indígenas no Brasil, 2017-2022**. São Paulo: Instituto Socioambiental. 2023. 828 p. Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/acervo/publicacoes-isa/povos-indigenas-no-brasil-2017-2022-2a-ed>. Acesso em: 30 jul. 2024.

Silva, M. J. D.; Sato, M. Territórios em tensão: o mapeamento dos conflitos socioambientais do Estado de Mato Grosso-Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v.15, p.1-22, 2012.



## **El Niño e os focos de incêndio em Poconé - MT: Um estudo comparativo dos anos de 2002, 2009, 2015 e 2019**

Joelma Nayara da Silva Garcia  
Tatiane Deoti Pelissari  
Amanda Ferreira da Silva  
Carlos Antonio da Silva Junior

Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Av. dos Ingás, 3001 - Jardim Imperial  
78555-000 - Sinop - MT, Brasil  
{joelma.nayara, carlosjr, carlosjr}@unemat.br

**Resumo.** Este resumo tem como objetivo identificar e quantificar os focos de incêndio e a extensão das áreas afetadas nos anos de 2002, 2009, 2015 e 2019, durante os quais o município de Poconé, localizado no Pantanal ao sul do estado de Mato Grosso, estava sob a influência do fenômeno El Niño. Foram usados dados de anomalias térmicas (focos de calor) e de área queimadas dos anos de ocorrência do fenômeno climático El Niño. Os dados de focos de calor foram baixados diretamente da plataforma National Aeronautics and Space Administration/Fire Information for Resource Management System (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>). As imagens foram obtidas pelo sensor MODIS MCD14DL (TERRA/AQUA) da coleção 6. Foi observado que no período estudado uma área de 722.181 hectares foi atingida, cerca de 42% da área total do município, e uma área de 4.272 hectares de focos de incêndio no município. Os resultados demonstram que os incêndios têm causas antrópicas e climáticas, como El Niño. Portanto, planos governamentais de proteção do bioma são medidas urgentes para prevenir e combater incêndios, protegendo a biodiversidade e a sustentabilidade econômica do município de Poconé e de todo o Pantanal.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, queimadas, Pantanal, eventos climáticos.

**Abstract.** This summary aims to identify and quantify the fire outbreaks and the extent of the affected areas in the years 2002, 2009, 2015 and 2019, during which the municipality of Poconé, located in the Pantanal south of the state of Mato Grosso, was under the influence of the El Niño phenomenon. Data on thermal anomalies (hot spots) and burned area from the years in which the El Niño climate phenomenon occurred were used. Hot spot data was downloaded directly from the National Aeronautics and Space Administration/Fire Information for Resource Management System platform (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>). The images were obtained by the MODIS MCD14DL sensor (TERRA/AQUA) from collection 6. It was observed that during the period studied, an area of 722,181 hectares was affected, around 42% of the total area of the municipality, and an area of 4,272 hectares of fire outbreaks. fire in the municipality. The results demonstrate that the fires have anthropogenic and climatic causes, such as El Niño. Therefore, government plans to protect the biome are urgent measures to prevent and combat fires, protecting biodiversity and the economic sustainability of the municipality of Poconé and the entire Pantanal.

**Key-words:** Remote Sensing, Fires, Pantanal, Climate Events.

## 1. Introdução

O Pantanal, um dos biomas mais importantes do Brasil, é reconhecido mundialmente por sua rica biodiversidade e seu papel fundamental na manutenção do equilíbrio ambiental na América do Sul. Designado como Patrimônio Mundial e Reserva da Biosfera pela UNESCO, possui uma extensão que abrange territórios do Brasil, Paraguai e Bolívia, sendo a maior área úmida continental do planeta. Seus ciclos hidrológicos são influenciados pelas chuvas da Floresta Amazônica, sustentam uma biodiversidade excepcional e uma paisagem única (Alho & Silva, 2012)

Apesar da sua importância ecológica, o Pantanal enfrenta diversos desafios ambientais, muitos dos quais resultantes da atividade humana, como desmatamento, manipulação da terra, erosão do solo e contaminação dos recursos hídricos. A criação de gado e a pesca excessiva também afetam significativamente esses problemas, ameaçando tanto a biodiversidade quanto o sustento das comunidades locais (Leal Filho et al., 2021).

Além da degradação antrópica, eventos climáticos extremos, como aumento das temperaturas globais e fenômenos como El Niño e La Niña, impactaram os padrões de inundação e seca no Pantanal, aumentando sua vulnerabilidade ao fogo. Marengo et al. (2021). A junção da estiagem com a ocorrência de ondas de calor gerou as condições ideais para a propagação de incêndios de grandes proporções e fora de controle. Libonati et al. (2022). Nota-se que nos últimos anos, apesar de o bioma Pantanal ser propício à ocorrência de incêndios naturais, a grande maioria é provocado por práticas de manejo inadequado afetando diretamente o ambiente (Ramos et al., 2018).

Uma das áreas mais afetadas pelos incêndios é o município de Poconé, Silgueiro et al. (2021). No sul de Mato Grosso, porta de entrada do bioma Pantanal, com diversos estabelecimentos turísticos no entorno da Rodovia Transpantaneira (Rodovia Zelito Dorileo). Além do turismo, outras atividades econômicas se destacam, como a pecuária, com 526.275 cabeças de gado, a mineração e a agricultura, Prefeitura de Poconé (2018). Embora Poconé tenha uma importante contribuição para a economia local e regional, foi classificado como área de risco para recorrência de incêndios (Pelissari et al., 2023).

Este fato destaca a importância do monitoramento dos focos de incêndios e da regeneração da vegetação após as queimadas, tornando se essencial para compreender o impacto ambiental ocasionado pelo fogo, em busca de estabelecer uma gestão sustentável após o desastre. (Ferreira et al. 2023). Uma alternativa para a avaliação de incêndios, são os sistemas de detecção remota que oferecem uma abordagem econômica e eficiente em termos de tempo para cumprir essa tarefa (Lentile et al., 2006).

O sensoriamento remoto uma ferramenta que detecta alterações na vegetação através de

índices espectrais e em séries temporais, permitindo o estudo a longo prazo e modelagem para o futuro, possibilitando pesquisas de variação da vegetação, possibilitando o estudo das variações da vegetação.

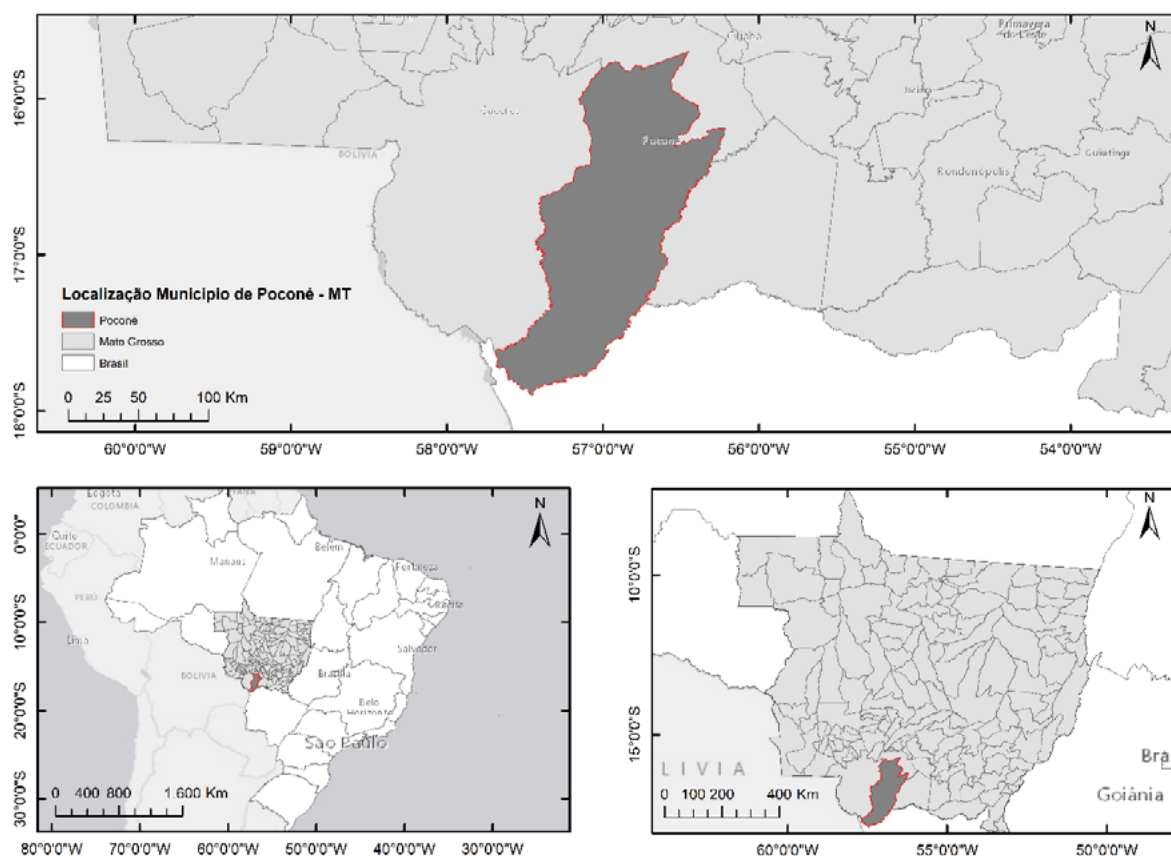
## 2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é identificar e quantificar os focos de incêndio e a extensão das áreas afetadas no município de Poconé, localizado no Pantanal ao sul do estado de Mato Grosso nos períodos de El Niño em quatro linhas temporais, nos respectivos anos, 2002, 2009, 2015 e 2019.

## 3. Material e Métodos

### 3.1 Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida no município de Poconé, distante 104 km da capital Cuiabá com altitude média de 153 m. O município de Poconé **Figura 1**, está localizado ao sul do estado de Mato Grosso, na bacia do rio Paraguai, que pertence à grande bacia platina. Possui uma área total de 1.731.507 hectares e 81% de sua área está inserida no Bioma Pantanal, com os 19% restantes no bioma Cerrado, IBGE (2019). Segundo a classificação de Köppen, possui clima tropical (Aw), com duas estações bem definidas: verão chuvoso e inverno seco, com médias anuais de temperatura e precipitação em torno de 26 C° e 1.239 mm respectivamente.



**Figura 1.** Localização geográfica do município de Poconé –MT. Para elaboração da imagem foi utilizado o ArcGIS PRO.

Fonte: Autores (2024).

### 3.2 Aquisição de imagens e processamento de dados

Foram usados dados de anomalias térmicas (focos de calor) e de área queimadas dos anos de ocorrência do fenômeno climático El Niño: 2002, 2009, 2015 e 2019, no município de Poconé- MT. Os dados de focos de calor foram baixados diretamente da plataforma National Aeronautics and Space Administration/Fire Information for Resource Management System (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>). Esta plataforma disponibiliza os dados em shapefile formato vetorial com resolução de 1 km oriundos do sensor MODIS MCD14DL (TERRA/AQUA). Foram usados a coleção 6 — Anomalias térmicas/locais de incêndio MODIS em tempo quase real (NRT).

Os arquivos da área queimada foram baixados diretamente do Programa Queimadas do INPE (BDqueimadas) (<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/>). O BDqueimadas disponibiliza dados mensais de áreas queimadas em arquivo shapefile oriundos do produto AQ1Km elaborado a partir dos dados MODIS coleção 6 dos satélites AQUA e TERRA simultâneo, com resolução espacial (1 km), disponibilizando uma estimativa e monitoramento das áreas queimadas em todos os biomas brasileiros, BDQ (2022 ). Vale ressaltar, que para o ano de 2002, os meses de dados disponíveis na plataforma eram de setembro a dezembro e não o período do ano todo como os demais anos estudados.

Ambos os conjuntos de dados, focos de calor e áreas queimadas foram processados no software ArcGIS PRO. Onde foram processados, recortados e extraídos os valores, e posteriormente foram confeccionados os mapas visuais com os focos e as áreas queimadas.

### 3.3 Estatística

Neste estudo, foi utilizado o Diagrama de Sankey para analisar a dinâmica dos focos de fogo e da área queimada, assim como verificar o percentual de ambas as variáveis durante os anos estudados 2002, 2009, 2015 e 2019 no município de Poconé-MT. Onde é demonstrado visualmente a origem e quantidade de focos de fogo e área queimada em cada ano de estudo. O Diagrama de Sankey foi construído utilizando o site (<https://sankeymatic.com/>).

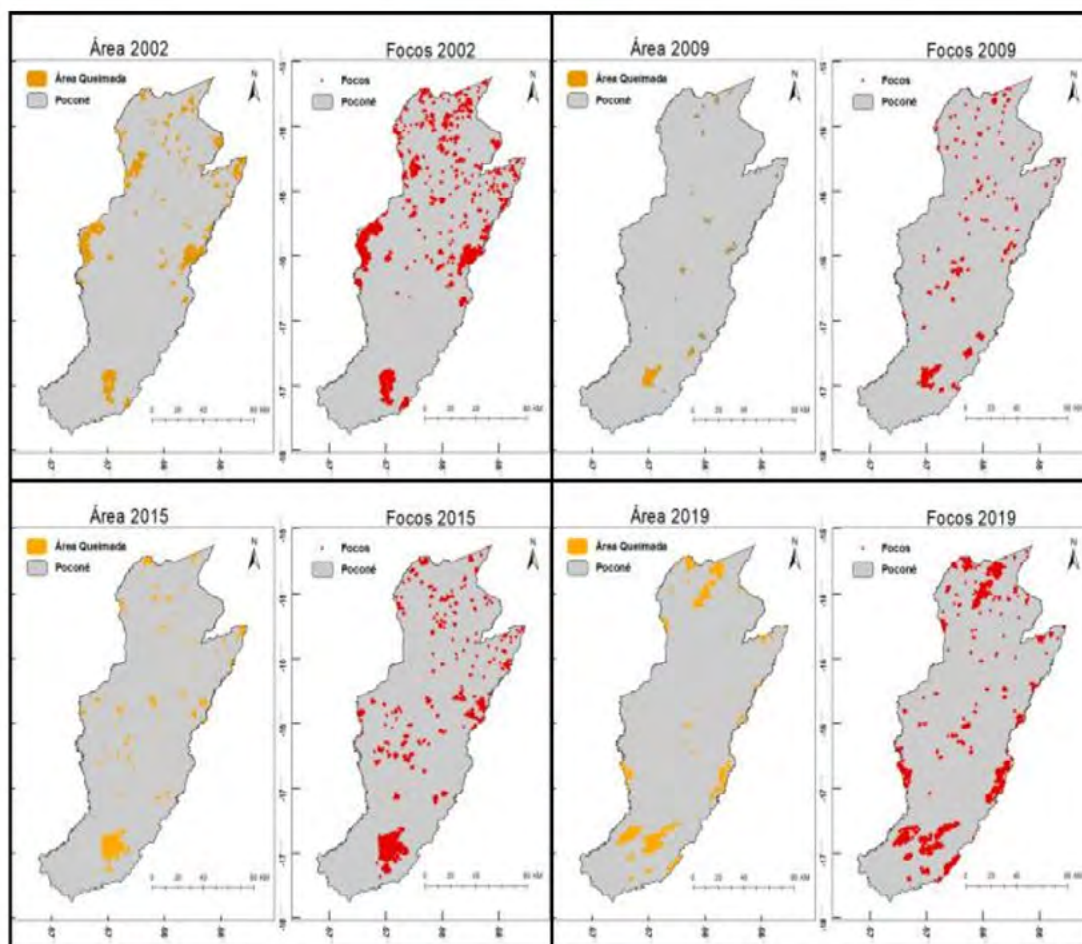
## 4. Resultados

As informações sobre a quantificação dos elementos estudados estão disponíveis a seguir. Na **Figura 2** os mapas estão apresentando as dimensões das áreas queimadas e dos focos de incêndios dos anos estudados no município de Poconé.

Em relação aos focos de incêndios para os anos estudados, observou-se que, em quase toda a extensão do município foi recoberta por focos em algum momento dos anos analisados. O ano com o maior número de focos ao longo do período em análise foi: 2002, nas quais foram detectados 37% de todos os focos analisados nos anos estudados, seguido por 2019 com 31%, 2015 com 23% e 2009 fechando com 9%.

O número de focos de queimadas e extensão de área registrados no município de Poconé dos respectivos anos são mostrados na **Tabela 1**.

Com base nos dados coletados, conforme ilustrado na **Tabela 1 e Figura 3**, identificou-se que aproximadamente 95% dos focos de incêndio ocorreram entre os meses de agosto e dezembro, resultado semelhante ao plano de manejo (2023) que mostra que aproximadamente 90% das áreas queimadas no Pantanal ocorrem nos meses finais do ano. Período de estação seca em que a biomassa gerada durante a cheia fica acessível para queimada. Nota-se também que há meses com focos, mas sem área queimada por se tratar da estação chuvosa.

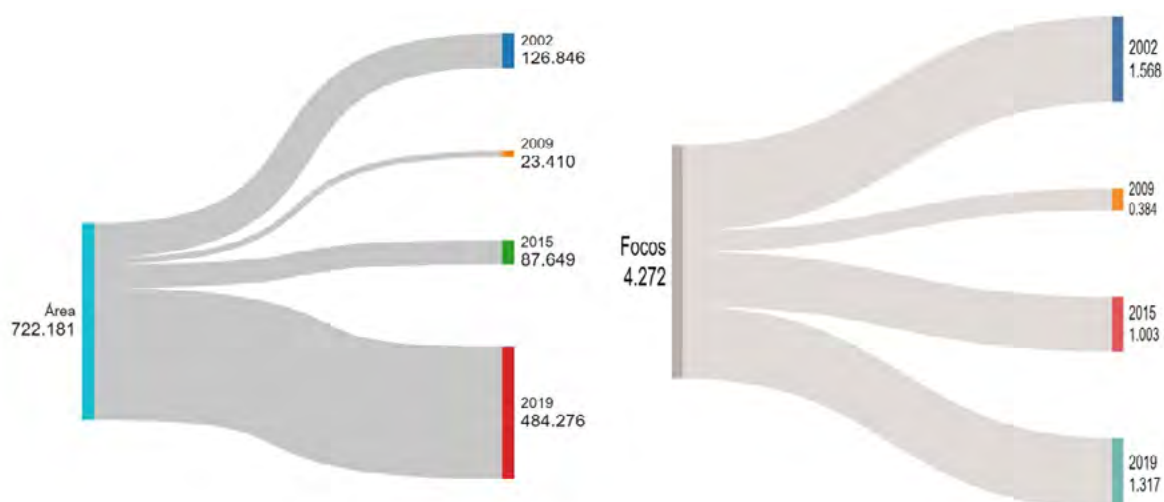


**Figura 2.** Área e focos de incêndio no município de Poconé em seus respectivos anos. Para elaboração da imagem foi utilizado o ARCGIS.

Fonte: Autores (2024).

**Tabela 1.** Extensão e focos de incêndio. Fonte: Autores (2020).

Meses	2002		2009		2015		2019	
	Área (ha)	Focos	Área (ha)	Focos	Área (ha)	Focos	Área (ha)	Focos
JAN	0	1	12.469	167	0	5	1174	17
FEV	0	0	0	2	0	5	2820	24
MAR	0	0	0	0	17.157	11	0	8
ABR	0	0	0	2	0	0	0	3
MAI	0	1	0	1	0	3	0	1
JUN	0	6	355	2	1844	24	119	14
JUL	0	23	238	8	2.125	13	1091	21
AGO	0	46	2.046	11	70.002	38	1575	8
SET	21.758	203	3.326	44	13.905	75	30.888	319
OUT	48.001	398	4.034	96	9.677	186	394.606	215
NOV	53.254	812	942	42	2.080	58	25.676	395
DEZ	3.833	78	0	9	33.859	585	26.327	292



**Figura 3.** Diagrama de Sankey, demonstrando área e focos por anos.

Durante os quatro anos de análise do fenômeno El Niño, a área total queimada no município foi equivalente a cerca 42% da sua área total, resultando em aproximadamente 722.181 hectares queimados, quase metade da área total do município, que é de 1.731.507 hectares, há casos recorrentes de focos na mesma área. Nesse período, foram registrados um total de 4.272 focos de incêndio.

#### 4.1 Discussão

Os incêndios do bioma Pantanal são ocasionados pelo uso e manejo do solo juntamente com eventos climáticos do uso e manejo do solo com eventos climáticos, que influenciam nos períodos e quantidades das chuvas, favorecendo maiores períodos de seca, aumentando a probabilidade de incêndios, que na maioria das vezes são movidos por ignição humanas, (Valente e Laurini, 2024). Este fato é evidenciado na **Figura 2**, onde os dados mostram que os anos 2002 e 2019 tiveram a maiores quantidades de focos de área queimada, contudo, o ano de 2002 não apresentou todos os dados mensais de área queimada no banco de dados disponível.

Vários estudos relatam o impacto dos fenômenos climáticos El Niño no bioma Pantanal (Marinho et al. 2021), (De Oliveira Júnior, et al 2023). Justificando não só eventos incendiários no ano de ocorrência dos eventos El Niño, mas também nos anos posteriores, como por exemplo os grandes incêndios em 2020 agravados pelas secas de 2019, (Calim Costa et al. 2024).

O município de Poconé se encontra entre os municípios mais afetados pelos incêndios ao longo dos anos. Poconé tem forte representatividade na pecuária e na mineração, este município também desempenha um importante papel no turismo, devido a sua localização geográfica ser a entrada do Pantanal, Prefeitura de Poconé (2024). Estas alterações na vegetação nativa para utilização da agropecuária e mineração podem levar a alterações na dinâmica do fogo, Valente e Laurini (2024). Vale salientar que os municípios do Pantanal são negligenciados e vem enfrentando um processo de mudança na ocupação do solo, agravados nos últimos anos (Lorenz et al. 2024). (Araújo et al. 2012) ressalta que 80% das queimadas no bioma Pantanal são na vegetação nativa.

Os dados apresentados na **Tabela 1** mostram que a grande maioria dos incêndios são nos meses de seca entre agosto e novembro, evidenciando que são eventos de origem antrópica. Já que os incêndios naturais acontecem no verão, de dezembro a fevereiro, estes meses são

propícios a ocorrência de raios que podem ocasionar incêndios, (Menezes et al. 2022), no entanto, como demonstrado na **Tabela 1** esses eventos são a minoria.

Poconé é um importante polo turístico com uma importância na economia local, é um detentor da biodiversidade, pois seu território abrange dois importantes biomas: Cerrado e Pantanal, este fato evidencia a importância e necessidades de planos de manejo de fogo que atenda às urgências ambientais atuais. Desse modo é crucial que sejam tomadas medidas urgentes para prevenir e combater os incêndios florestais, protegendo a biodiversidade e a sustentabilidade econômica do Pantanal. Isso inclui fortalecer a fiscalização, investigar e responsabilizar os responsáveis pelos incêndios, além de investir em tecnologias de monitoramento e capacitar o pessoal para lidar com os incêndios de forma mais eficaz.

## 5. Conclusões

Com o presente trabalho foi possível uma análise dos focos de incêndio e áreas queimadas em Poconé durante períodos de El Niño, revelando variações importantes que destacam a vulnerabilidade do município a eventos climáticos extremos. Com 95% dos focos simultâneos entre agosto e dezembro (estação de seca) e a queima de aproximadamente 42% da área total do município no período de análise, fica claro que os incêndios, exacerbados por atividades humanas, condições climáticas como El Niño, representam uma ameaça contínua. Portanto, é imperativo que se implementem planos de manejo eficazes e medidas urgentes para prevenir e combater incêndios, protegendo a biodiversidade e a sustentabilidade econômica de Poconé, um município de grande importância ecológica e econômica.

## 6. Referências

- Alho, Cleber JR; Silva, João SV. Effects of severe floods and droughts on wildlife of the Pantanal wetland (Brazil)—a review. *Animals*, v. 2, n. 4, p. 591-610, 2012
- BDIA. Website do **BDIA** – Banco de informações ambientais. 2020. Disponível na biblioteca digital URL: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br>>. Acesso em: 02 abr. 2024.
- BDQ. Website do **BDQ**- Banco de dados de queimadas.2022. Disponível na biblioteca digital URL: <<https://terrabrasil.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>>. Acesso em: 23 abr. 2024.
- Calim Costa, Mabel et al. Multiscale analysis of drought, heatwaves, and compound events in the Brazilian Pantanal in 2019–2021. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 155, n. 1, p. 661-677, 2024.
- Climate prediction center internet team. **National weather Service-climate prediction center**. 2024. Disponível na biblioteca digital URL:<[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)>. Acesso em: 18 jun. 2024.
- Clima Poconé. **Climate Data**.2024. Disponível na biblioteca digital URL: <<https://pt.climate-data.org/americado-sul/brasil/mato-grosso/pocone-31801/>>. Acesso em: 01 jun. 2024.
- De Araújo, Fernando Moreira; Ferreira, Laerte Guimarães; Arantes, Arielle Elias. Padrões de distribuição de áreas queimadas nos biomas brasileiros: uma análise com base em dados de satélite para o período de 2002 a 2010. *Sensoriamento Remoto*, v. 4, n. 7, p. 1929-1946, 2012.
- De Freitas Silgueiro, Vinícius et al. Dimensões da catástrofe do incêndio florestal de 2020 no Pantanal: O caso do município de Poconé, Mato Grosso, Brasil. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, v. 10, n. 15, p. e08101522619-e08101522619, 2021.
- De Medeiros, Thaís Pereira et al. **Spatial patterns of burned area in the Pantanal biome and their relationship with landscape structure**. 2023.
- De Oliveira Júnior, José Francisco et al. **Orbital remote sensing to identify fire foci and the relationship with precipitation in Brazil**. 2023.
- E. Ponomarev, A. Zabrodin, and T. Ponomareva. Classification of Fire Damage to Boreal Forests of Siberia in

2021 Based on the dNBR Index. **Fire**, v. 5, pp. 19, 2022.

Fachin, P. (2016). **Incêndios na floresta amazônica acarretam uma redução de 94% das espécies de árvores** (Entrevista especial com Erika Berenguer). Disponível na biblioteca digital URL: <<http://www.ihu.unisinos.br/563108-incendios-na-floresta-amazonica-acarretam-uma-reducao-de-94-das-especies-de-arvores-entrevista-especial-com-erika-berenguer>>. Acesso em: 23 jun. 2024.

Federal, Serviço público. **Plano de ação para o manejo integrado do fogo no bioma Pantanal**. 2023

Ferreira, Marcos César; Da Silva, Caroline. Análise espaço-temporal das áreas de ocorrência de fogo no Parque Nacional do Pantanal Mato-Grossense entre 1990 e 2020 e suas relações com as zonas de manejo. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 21, n. 3, p. 268-288, 2023.

IBGE- **Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística**. 2019. Disponível na biblioteca digital URL: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/pocone/panorama/>>. Acesso em: 01 jun. 2024.

Leal Filho, W., Azeiteiro, U. M., Salvia, A. L., Fritzen, B., & Libonati, R. (2021). Fire in Paradise: Why the Pantanal is burning. **Environmental Science and Policy**, 123, 31–34. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.05.005>

Lentile, LB, ZA Holden, AMS Smith, MJ Falkowski, AT Hudak, P. Morgan, SA Lewis, PE Gessler e NC Benson. 2006. Técnicas de sensoriamento remoto para avaliar características de incêndio ativo e efeitos pós-incêndio. **International Journal of Wildland Fire** 15: 319–345.

Libonati, R. et al. Assessing the role of compound drought and heatwave events on unprecedented 2020 wildfires in the Pantanal. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 015005, 2022.

Lorenz, Camila et al. Could the compound effects of drought and fire have caused an increase of COVID-19 cases in the Pantanal wetland?. **Wetlands Ecology and Management**, v. 32, n. 1, p. 133-137, 2024.

L. Saulino, A. Rita, A. Migliozi, C. Maffei, E. Allevato, A. Pietro Garonna, and A. Saracino. Detecting Burn Severity across Mediterranean Forest Types by Coupling Medium-Spatial Resolution Satellite Imagery and Field Data. **Remote Sensing**, v. 12, pp. 741, 2020.

Marengo, Jose A. et al. Extreme drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: characterization, causes, and impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 639204, 2021.

Marinho, Ana Aguiar Real et al. Temporal record and spatial distribution of fire foci in State of Minas Gerais, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 280, p. 111707, 2021.

Menezes, Lucas S. et al. Lightning patterns in the Pantanal: Untangling natural and anthropogenic-induced wildfires. **Science of the total environment**, v. 820, p. 153021, 2022.

Pelissari, Tatiane Deoti et al. Dinâmica dos principais desastres ambientais envolvendo fogo no Pantanal brasileiro. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 21669, 2023.

Prefeitura de Poconé. **Dados Econômicos.2018**. Disponível na biblioteca digital URL: <<https://www.pocone.mt.gov.br/Prefeitura/Dados-Economicos/>>. Acesso em: 12 mai. 2024.

Ramos, L. F., Oliveira, M. da R., & Soriano, B. M. A. (2018, outubro). **Análise da distribuição de focos de calor no Pantanal brasileiro em 2017**. Resumos do 6ºEvento de Iniciação Científica do Pantanal na XIII de Biologia, Corumbá,MS,Brasil, 12.

Silgueiro, V. de F., Souza, C. O. C. F. de, Muller, E. O., & Silva, C. J. da. (2021). Dimensions of the 2020 wildfire catastrophe in the Pantanal wetland: the case of the municipality of Poconé, Mato Grosso, Brazil. **Research, Society and Development**, 10(15), e08101522619.

Sukojo, B. M. & Arimurti, A. S. P. Forest Fire mapping using normalized burned ratio and cloud computing to calculate the losses incurred in Mount Lawu, Magetan Regency. In **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** vol. 936 (IOP Publishing Ltd, 2021).

Valente, Fernanda; LaurinI, Márcio. The Dynamics of Fire Activity in the Brazilian Pantanal: A Log-Gaussian Cox Process-Based Structural Decomposition. **Fire**, v. 7, n. 5, p. 170, 2024.



## **Queimadas no Pantanal em 2020: avaliando a gravidade e a amplitude do desastre**

Joelma Nayara da Silva Garcia  
Handrya da Silva  
Nephtali Mitchell François  
Daniela Mendes Nunes da Silva  
Ronaldo Vilarinho da Silva  
Rafael Gomes de Carvalho  
Neydara da Silva Perin  
Carlos Antonio da Silva Junior

Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
A.v dos Ingás, 3001 Caixa Postal 78555-000  
Sinop - MT, Brasil  
{joelma.nayara, carlosjr, nephtali.mitchell}@unemat.br

**Resumo.** O presente texto traz um estudo sobre o Pantanal, que é um dos seis biomas presentes no Brasil e vem enfrentando severos incêndios florestais, sendo registrado o maior incêndio em 2020, queimando 26% da sua área. Este fenômeno causou grande repercussão na sociedade brasileira, e mostrou a importância das políticas ambientais de monitoramento dos focos de calor no Brasil. Sendo assim os objetivos deste estudo são analisar as áreas atingidas pelo fogo, sua severidade, e quantificar a extensão das áreas atingidas, no período do ano em questão. Utilizando o sensoriamento remoto para coleta de dados. Os resultados permitiram identificar as dimensões das áreas queimadas em todo o Pantanal mato-grossense que foi de aproximadamente 4.836.400 hectares..

**Palavras-chave:** Pantanal Mato-grossense, sensoriamento remoto, incêndios.

**Abstract.** This text presents a study on the Pantanal, which is one of the six biomes present in Brazil and has been facing severe forest fires, with the largest fire being recorded in 2020, burning 26% of its area. This phenomenon caused great repercussions in Brazilian society, and showed the importance of environmental policies for monitoring hot spots in Brazil. Therefore, the objectives of this study are to analyze the areas affected by the fire, its severity, and quantify the extent of the areas affected, during the period of the year in question. Using remote sensing for data collection. The results made it possible to identify the dimensions of the burned areas throughout the Pantanal of Mato Grosso, which was approximately 4,836,400 hectares.

**Key-words:** Mato Grosso Pantanal, Remote sensing, Fires

## 1. Introdução

O bioma Pantanal é a maior área alagada do mundo e compreende três países: Bolívia, Paraguai e Brasil. Segundo o IBGE de 2019 este bioma ocupa 1,8% do território brasileiro, e abrange porções dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. O Pantanal é predominantemente caracterizado por tipologias de vegetação do Cerrado, com ocorrências de vegetação similar à caatinga e pequenas áreas de florestas. Essa região abriga uma ampla gama de representantes da fauna brasileira e durante o período de inundação, parte dessa fauna busca refúgio em áreas mais elevadas, retornando quando as águas baixam (IBGE, 2019).

O Pantanal tem como característica fundamental o seu relevo plano e suas grandes áreas de pastagens naturais, essa região possui grande relevância no âmbito socioeconômico, visto que, a agricultura e a pecuária são as principais atividades econômicas praticadas em seu território, se tornando assim uma área de grande importância nacional, tanto quando se fala de produção agropecuária ou de preservação ambiental, sendo considerado patrimônio nacional pela Constituição Federal de 1988 e como reserva da biosfera pelas Nações Unidas, em 2000 (Embrapa, 2002).

Apesar dos títulos acima, em 2020 o Pantanal Mato-Grossense sofreu o maior incêndio já registrado neste bioma, queimando 26% de sua área total (Lasa, 2020). Os incêndios florestais ocorridos recentemente no Brasil têm consumido grandes extensões da vegetação nativa em unidades de conservação. O aumento das queimadas e dos incêndios florestais resulta no aumento de impactos ambientais e socioeconômicos. Destacando a importância da monitoração das áreas queimadas (Matos, 2014).

Devido a sua localização e complexidade, o ecossistema possui fortes características biogeográficas de outros biomas, como a da Amazônia, o do Cerrado e o da Mata Atlântica. É um dos biomas mais complexos de campos inundáveis, savanas, cerrados, matas, entre diversas outras fitofisionomias que contribuem para uma grande diversidade de espécies que habitam o bioma (Polaz, 2013). O regime de queimadas também possui relação com regime de inundação, quando a biomassa acumulada durante o fluxo de inundação torna-se um material combustível para as queimadas (Garcia et al., 2021).

O desenvolvimento de métodos e técnicas de sensoriamento remoto, tais como, detecção de incêndios e focos de calor, quantificação de áreas com ocorrência de fogo, distribuição espacial, perda de cobertura vegetal, entre outros, têm se mostrado eficazes para o monitoramento ambiental (Matos, 2014). Deste modo, informações obtidas a partir do sensoriamento remoto são imprescindíveis para a detecção e monitoramento dos focos de calor, trazendo importantes informações para tomadas de decisões e desenvolvimento de políticas públicas eficazes para o combate e a mitigação do fogo em unidades de conservação (Matos, 2014).

## 2. Objetivo

Os objetivos do presente estudo são identificar e quantificar a extensão das áreas atingidas por

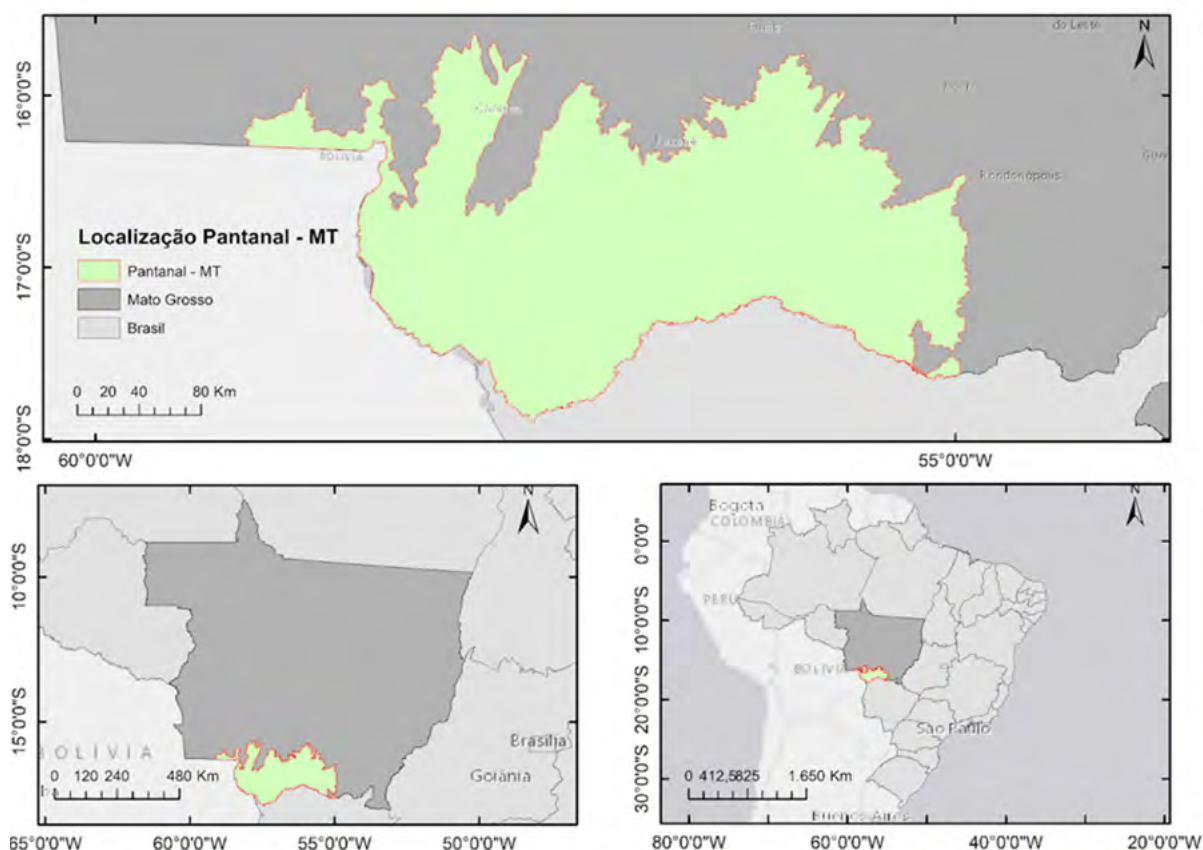
focos de incêndio, assim como a rebrota e severidade, da região do pantanal Mato-grossense, no período do ano de 2020.

### 3. Material e Métodos

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo abrange o fragmento do Pantanal localizado no estado do Mato Grosso **Figura 1**, que faz parte do bioma Pantanal brasileiro, situado na região central da América do Sul, na bacia do rio Alto Paraguai. O ecossistema do Pantanal se estende pelo Brasil, Bolívia e Paraguai, totalizando uma área de 210 mil km<sup>2</sup>. Aproximadamente 70% dessa área está em território brasileiro, 20% na Bolívia e 10% no Paraguai. A porção brasileira do Pantanal é estimada em cerca de 138 mil km<sup>2</sup>, com 48.865 km<sup>2</sup> (35,36%) localizados no Mato Grosso e 89.318 km<sup>2</sup> (64,64%) no Mato Grosso do Sul, (P. PERPRN, 2024).

O Pantanal, localizado na bacia Alto Rio Paraguai, é uma planície sujeita a inundações frequentes, principalmente entre novembro e abril. A estação seca se estende de maio a setembro, e a chuvosa, de outubro a abril, Polaz, (2013). Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima do Pantanal é Aw, caracterizado como tropical com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação anual varia, sendo mais elevada nas áreas de planalto ao norte-nordeste (2.000 mm) e ao sul (1.800 mm), e mais baixa no Pantanal central (900 mm). Pelissari et al., (2023).



**Figura 1.** Localização geográfica da área do estudo – Pantanal - MT.  
Fonte: Autores (2024).

### 3.2 Aquisição de imagens e processamento de dados

Foram utilizados dados sobre áreas queimadas detectadas pelo índice espectral (NDFI), em que foram adicionados pontos que indicam os focos de queimadas ocorridos durante todo o ano de 2020. Os focos de queimadas foram detectados pelo satélite Landsat-8, usando dados do sensor MODIS/061/MCD64A1, INPE. A severidade das queimadas foi estimada com base na diferença do Índice de Queimada por Razão Normalizada (dNBR) entre as imagens antes e depois do fogo e a classificação da severidade das áreas queimadas foi baseada na tabela de valores de dNBR utilizada conforme Sukojo (2021). Os mapas foram produzidos no ArcGIS PRO.

### 4. Resultados e Discussões

Apesar de o bioma Pantanal ser propenso a incêndios naturais, a maioria das queimadas são de origem antrópica (Libonati et al., 2020). Especialmente durante a estiagem, pois há um acúmulo de biomassa seca de fácil ignição, que, em contato com fogo, pode gerar incêndios de difícil controle. Sendo a principal atividade econômica do Pantanal, a pecuária, utiliza o fogo como ferramenta agrícola para o manejo da vegetação, com o objetivo de eliminar gramíneas não consumidas pelos bovinos, espécies indesejadas ou realizar a rebrota promovida pelo fogo, tal prática é o principal fator de ignição de incêndios, (Soriano et al., 2020).

A queima controlada é importante para evitar incêndios de grandes proporções, que frequentemente atingem fitofisionomias importantes para o refúgio de animais. Porém, este tipo de queima só pode ser realizado mediante autorização do IBAMA, respeitando condições como época do ano, condições climáticas no dia da queima e quantidade de combustível a ser queimado, entre outras (Rodrigues, 2002).

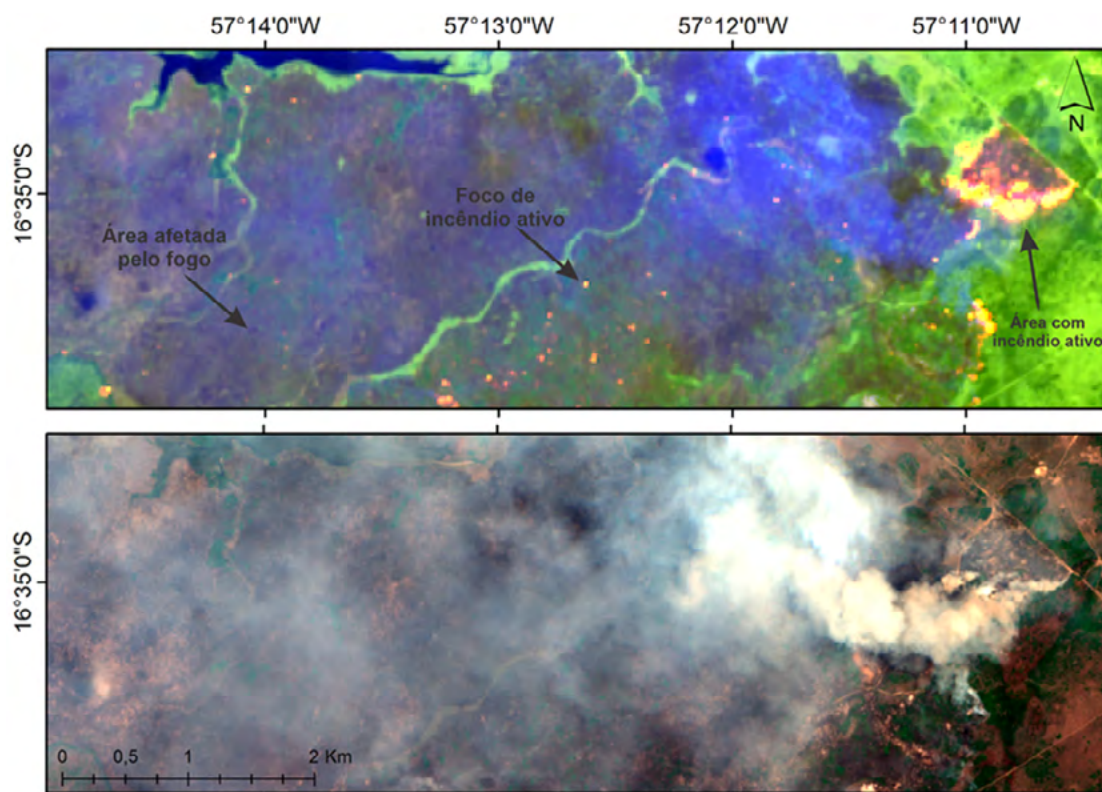
Esse conjunto de fatores climáticos, ambientais e humanos foi intensificado por decisões desfavoráveis do governo federal em relação aos procedimentos de aplicação da lei ambiental para atividades de queimadas ilegais e ao corte de orçamento para combate e prevenção de incêndios. Bem como a extinção de agendas importantes, como a Secretaria de Mudanças Climáticas (Pelissari et al., 2023)

A catástrofe ambiental de 2020 no Pantanal evidenciou a fragilidade das políticas e práticas ambientais de gestão e combate aos incêndios neste bioma. Portanto, é fundamental conhecer as causas e circunstâncias que potencializam esses incêndios (Pelissari et al., 2023).

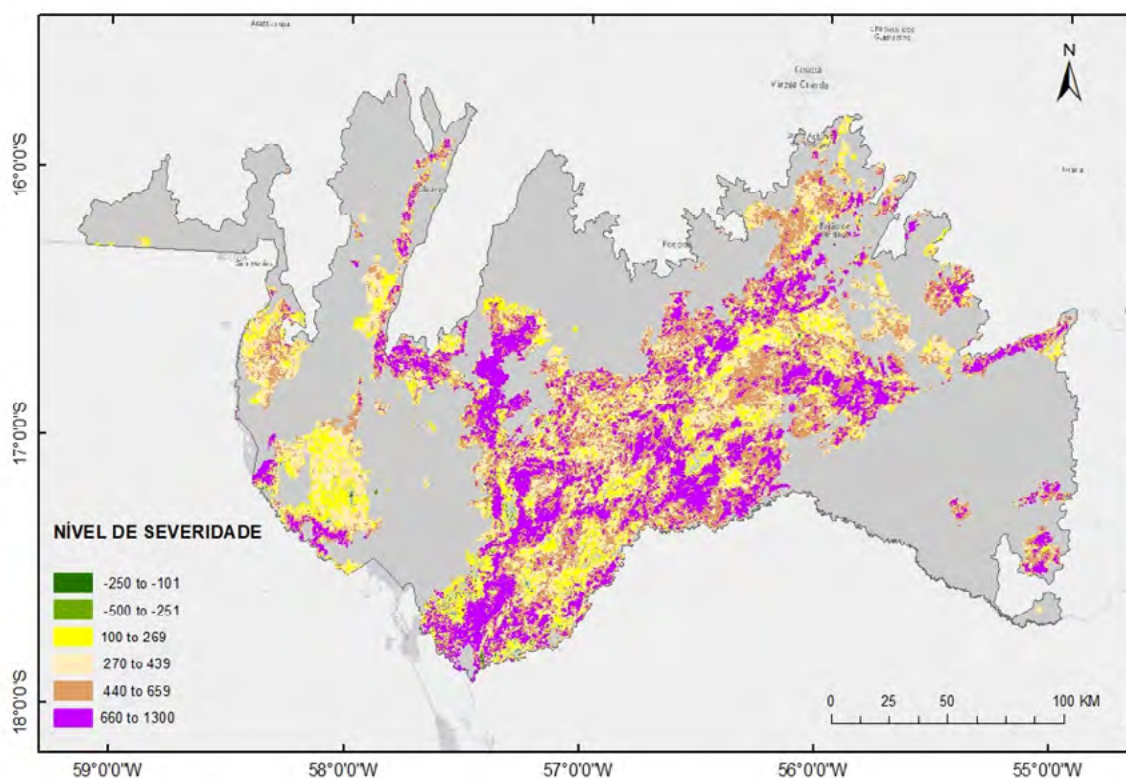
Na **Figura 2**, apresenta um recorte da área de estudo atingida pelo fogo visualizado pelas imagens RGB e dNBR, respectivamente, a fim de comparação, onde a região afetada com maior intensidade pelo fogo é mostrada na imagem colorida RGB, havendo uma conformidade das cicatrizes na cor azul com as cores mais avermelhadas, tendendo a alta severidade. Conseguimos identificar uma grande cicatriz de fogo, juntamente com focos de incêndios ainda ativos.

Para analisar os índices de severidade presente no bioma pantanal foram quantificadas as áreas queimadas para cada nível de severidade uma vez que o objetivo do trabalho é identificar e quantificar a extensão das áreas atingidas por focos de incêndio. Para facilitar a compreensão, separamos as classes em vários tons. **Figura 3**. Observa-se uma mudança gradual na paisagem do Pantanal à medida que a severidade da queimada aumenta, resultando em uma propagação crescente do fogo.

Os tons verdes representam tanto as áreas de alta e baixa regeneração quanto as áreas não queimadas. Já os tons amarelados indicam o início da alteração da paisagem, caracterizada como queimadas de baixa severidade. Inicialmente, surgem focos pontuais de queimada com severidade alta a moderada. Por fim, é notável a intensificação das queimadas, que passam de baixa moderada severidade para alta severidade moderada.









**Figura 2.** Composição colorida RGB e Cálculo dNBR de um recorte da área de estudo.  
Fonte: Autores (2024). (setembro 2023 na região de Cáceres-MT, MSI/Sentinel-2 – R11G3B2)



**Figura 3.** Classificação do índice severidade, utilizado no bioma Pantanal mato-grossense, no ano de 2020. Para elaboração da imagem foi utilizado o ARCGIS.  
Fonte: Autores (2024).

Após o processamento dos dados, as áreas de cada classe foram quantificadas, conforme apresentado na **Tabela 1**.

**Tabela 1.** Classificação do índice de severidade.

	<b>NÍVEL DE SEVERIDADE</b>	<b>ALCANCE DNBR</b>	<b>ÁREA HECTARES</b>
	Alta Rebrotada Aprimorada	-500 <u>to</u> -251	2146,482448
	Baixa Rebrotada Aprimorada	-250 <u>to</u> -101	5233,223287
	Baixa Severidade	100 <u>to</u> 269	282908,730992
	Baixa Severidade Moderada	270 <u>to</u> 439	639343,872389
	Alta Severidade Moderada	440 <u>to</u> 659	835845,072702
	Alta Severidade	660 <u>to</u> 1300	557724,995557

Os valores de DNBR foram utilizados para estimar a severidade de queima, sendo que, valores mais altos indicam danos mais graves, enquanto, valores negativos podem indicar rebrota após incêndios.

As inferências visuais corroboram com as informações apresentadas na tabela, revelando uma transformação gradual na paisagem do Pantanal à medida que a severidade da queimada aumenta **Figura 3**. A intensificação das severidades é claramente evidente, especialmente ao analisar os percentuais de áreas consumidas pelas queimadas nas categorias de baixa e alta moderada severidade. Essa tendência é consistentemente observada tanto para a baixa moderada severidade quanto para a alta moderada severidade.

Severidade e Detecção de Áreas Queimadas: Como mostra a **Figura 3** e a **Tabela 1**, a área total do Pantanal atingida por queimadas em 2020 foi de aproximadamente 4.836.400 hectares. A análise das queimadas revelou a seguinte distribuição de severidade: Severidade alta-moderada: 35,97% da área total queimada, seguida por severidade moderada-baixa: 27,52%, severidade alta: 24,01%, e por último Severidade baixa: 12,18% da área total queimada.

Além disso, foi observado o impacto das queimadas na rebrota da vegetação: Alta rebrota: 2.146,482448 hectares (0,09% da área total) e baixa rebrota: 5.233,223287 hectares (0,23% da área total).

Examinando a extensão e a severidade das queimadas em detalhes: Baixa severidade moderada: 282.908,730992 hectares, Alta severidade moderada: 639.343,872389 hectares, Alta severidade: 557.724,995557 hectares.

Essa análise detalhada mostra que, embora a maior parte da área tenha sofrido queimadas de severidade baixa a moderada, uma porção significativa foi gravemente impactada, refletindo a severidade das queimadas no Pantanal em 2020. A ação antrópica através da pecuária teve

impacto significativo com aumento de 4,62% do ano de 2019 a 2021, na produção de gado de corte, gerando assim maior impacto ambiental pelas queimadas (IBGE, 2021).

## 5. Conclusões

Os resultados permitiram identificar as áreas queimadas que ocorreram no ano de 2020, avaliar a severidade e medir suas dimensões em todo o Pantanal mato-grossense, além de analisar as classes estudadas, associando esses dados com fatores naturais e antrópicos na área de estudo. Considerando isso, investigações adicionais focadas no pantanal são essenciais para identificar problemas e propor soluções que envolvam a comunidade local. Tais estudos podem abordar questões relacionadas a possíveis impactos no ecossistema, poluição atmosférica e outros danos ambientais que possam surgir.

## 6. Referências

EMBRAPA. **Impactos da Agropecuária nos Planaltos sobre o Regime Hidrológico do Pantanal**. Disponível em: <URL>. Acesso em: abr. 2024.

GARCIA, Letícia Couto et al. Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans. **Journal of environmental management**, v. 293, p. 112870, 2021.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas territoriais**. 2020. Disponível em: <URL>. Acesso em: abr. 2024.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agropecuária - Bovinos**. Disponível em: <URL>. Acesso em: jun. 2024.

LASA - **Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais. Área queimada – Pantanal 2020**. 2020. Disponível em: <URL>. Acesso em: abr. 2024.

MATOS, N. M. **Incêndios florestais no bioma pantanal: Dinâmica espacial e temporal entre 2003 e 2013. Monografia** (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília. Brasília, 2014. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/10146>. Acesso em: abr. 2024.

Ministério do Meio Ambiente. **Desmatamento no Pantanal brasileiro em 2020**. Governo Federal, Brasil. 2020.

NOAA - **National Oceanic and Atmospheric Administration**. Oceanic Niño Index. Disponível em: <URL>. Acesso em: abr. 2024.

PELLISSARI, Tatiane Deoti et al. Dynamics of major environmental disasters involving fire in the Brazilian Pantanal. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 21669, 2023.

POLAZ, C. N. M. **Caracterização da ictiofauna e aplicação do índice de integridade biótica no Parque Nacional do Pantanal Mato-Grossense**, Poconé, MT. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2013. Disponível em: <URL>. Acesso em: abril 2024.

RODRIGUES, Cristina Aparecida Gonçalves; CRISPIM, Sandra Mara Araújo; COMASTRI FILHO, José Aníbal. **Queima controlada no Pantanal**. 2002.

Serviços de Mato Grosso. **Plano de Manejo - Parque Estadual das Nascentes do Taquari**. Disponível em: <URL>. Acesso em: jun. 2024.

SORIANO, Balbina Maria Araújo; NARCISO, Marcelo Gonçalves. **Sistema de alerta de risco de incêndio para o Pantanal**. 2020.

SUKOJO, Bangun Muljo; ARIMURTI, Adinda Sitaresmi Putri. Forest fire mapping using normalized burned ratio and cloud computing to calculate the losses incurred in Mount Lawu, Magetan Regency. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2021. p. 012002. PELLISSARI, Tatiane Deoti et al. Dynamics of major environmental disasters involving fire in the Brazilian Pantanal. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 21669, 2023.

## Utilização da Avaliação Multicritério no apoio à identificação áreas adequadas à ocupação urbana

Anderson de Freitas Barros<sup>1</sup>  
André Luiz Santos Portela<sup>2</sup>  
Natalya Loverde Parpinelli<sup>3</sup>  
Leandro Almeida da Silva<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Terras de Mato Grosso-INTERMAT  
Ed. Eng. José Morbeck, R. Eng. Agron. Arnaldo Duarte Monteiro, S/n  
78050-970- Cuiabá - MT, Brasil  
andersonbarros@intermat.mt.gov.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso – FAENG/CUVG/UFMT  
Av. Edgar Vieira, 1183-1221 – Bairro Boa Esperança  
78068-600 - Cuiabá - MT, Brasil  
andreportelageo@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso -UNEMAT  
Rua Fernando Corrêia da Costa- Setor Rodoviária  
78750-799- Rondonópolis - MT, Brasil  
natalya.parpinelli@unemat.br

<sup>4</sup> Movimento Vambora  
R. Ricardo Franco, 534 – Centro Norte,  
78005-000- Cuiabá - MT, Brasil  
Leandros2@gmail.com

**Resumo.** A produção do espaço urbano é vista como um produto nos moldes capitalistas (produto imobiliário) que quase sempre força a expansão urbana para regiões que oferecem o máximo de lucro. Esta expansão ocorre de forma natural alimentado pela especulação imobiliária. Diante disso, esta pesquisa tem o objetivo principal aplicar a avaliação multicritério na identificação de áreas adequadas à ocupação urbana na cidade de Cuiabá-MT. Foram realizados o levantamento de dados, através de pesquisa documental, dados primários e secundários que serviram de parametro para as análises propostas. De modo geral, em relação a metodologia, a mesma foi dividida em quatro etapas: aprofundamento teórico, análise e sistematização dos dados, e elaboração do texto monográfico. Por fim, a proposta metodológica para aplicar a avaliação multicritério produziu resultados satisfatórios, como a identificação de áreas com adequabilidades, que variam de 0 a 255 níveis de cinza, sendo possível verificar as áreas com maior ou menor adequabilidade para ocupação urbana no município de Cuiabá-MT. A partir das análises realizadas, tivemos como resultado que a concentração de áreas em condições favoráveis à ocupação urbana dentro da área consolidada da cidade de Cuiabá, especialmente em locais com lotes vazios, sem ocupação, como os localizados no Centro Político Administrativo. É possível criar políticas públicas de incentivo à ocupação destes locais, aproveitando toda a infraestrutura e equipamentos urbanos existentes, com isso reduzindo-se a criação de novas áreas de expansão urbana.

**Palavras-chave:** geoprocessamento, análise multicritério, expansão urbana, ocupação urbana.



**Abstract.** The production of urban space is seen as a product along capitalist lines (real estate product) that almost always forces urban expansion to regions that offer maximum profit. This expansion occurs naturally, fueled by real estate speculation. Therefore, this research has the main objective of applying multi-criteria assessment to identify areas suitable for urban occupation in the city of Cuiabá-MT. Data collection was carried out, through documentary research, using primary and secondary data that served as a parameter for the proposed analyses. In general, in relation to the methodology, it was divided into four stages: theoretical deepening, analysis and systematization of data, and preparation of the monographic text. Finally, the methodological proposal to apply the multi-criteria assessment produced satisfactory results, such as the identification of areas with suitability, ranging from 0 to 255 gray levels, making it possible to verify areas with greater or lesser suitability for urban occupation in the municipality of Cuiabá -MT. From the analyzes carried out, we had the result that the concentration of areas in favorable conditions for urban occupation within the consolidated area of the city of Cuiabá, especially in places with empty lots, without occupation, such as those located in the Administrative Political Center. It is possible to create public policies to encourage the occupation of these locations, taking advantage of all existing infrastructure and urban equipment, thereby reducing the creation of new areas of urban expansion.

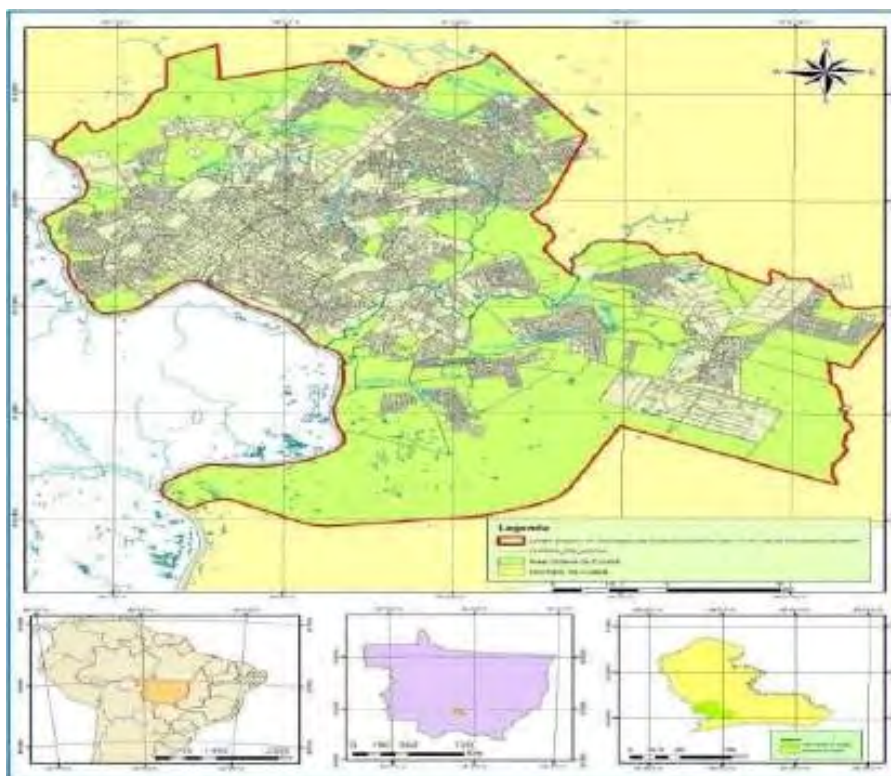
**Key-words:** geoprocessing, multicriteria analysis, urban expansion, urban occupation.

## 1. Introdução

A produção do espaço urbano é vista como um produto nos moldes capitalistas (produto imobiliário) que quase sempre força a expansão urbana para regiões que oferecem o máximo de lucro. No caso específico da cidade de Cuiabá-MT, é necessário saber que a produção do espaço urbano oferece características favoráveis aos que ocuparão o espaço. A avaliação multicritério, utilizada como instrumento de apoio à identificação de áreas adequadas à ocupação urbana, pode contribuir na definição de áreas propícias a expansão urbana. Este modelo de avaliação utiliza critérios e estudos em situações complexas com objetivo de formular recomendações ou proporcionar orientações de natureza operacional. Também, é eficaz para identificar as áreas com restrição à ocupação urbana, de modo a evitar prejuízos ambientais, sociais e econômicos à sociedade. O município de Cuiabá está localizado geograficamente entre as coordenadas de longitude 56°20'42,052"W latitude 15°11'59,459"S e 55°34'42,255"W 15°45'35,492"S, conforme mostrado na **Figura 1**. Possui uma área territorial de aproximadamente 3.495,4240 km<sup>2</sup>, com população de aproximadamente 650.877 habitantes (IBGE, 2023), distribuídos em 6 distritos, criados pela Lei Municipal nº 5.395, de 26 de maio de 2011 (CUIABÁ, 2011), e 1 sede municipal: Aguaçu, Nova Esperança (Pequizeiros), Sucuri, Nossa Senhora da Guia, Coxipó da Ponte, Coxipó do Ouro e sede (Cuiabá), conforme apresentado na **Figura 2**.

A cidade de Cuiabá conforme PORTELA (2014, p. 64), teve a primeira definição de seu perímetro urbano na década de 1960, e nas décadas posteriores ocorreram algumas alterações principalmente motivadas por implantação de órgãos/equipamentos estatais, o Centro Político e Administrativo (CPA) é um exemplo deste processo, pois foi neste período que a área urbana da cidade teve maior aumento. No que tange às principais ligações rodoviárias, a cidade possui ligação pela BR-364 com os estados de Goiás, Rondônia e Acre; pela BR-163 com o estado de São Paulo, via Mato Grosso do Sul; e pela BR-070 com o Distrito Federal, via Goiás, o que contribuiu muito com o processo de ocupação da cidade.

Nos últimos anos surgiram muitos empreendimentos distantes do centro da cidade tornando-a uma cidade espraiada. Com isso, gera um alto custo na implantação de infraestrutura (luz, água, asfalto, etc.) e de equipamentos urbanos (creche, escola, praça, etc.), principalmente nas áreas de expansão urbana. É possível que o crescimento urbano na cidade de Cuiabá esteja descorrelacionado de áreas urbanizáveis identificadas sob o aspecto legal de ocupação. Também, é possível que o crescimento de áreas ocupadas na cidade esteja, em grande parte influenciada (senão determinada) pelos interesses do Estado e dos promotores imobiliários. Daí a importância do estudo da avaliação multicritério para demonstrar que uma determinada área está adequada à



**Figura 1.** Mapa de Localização da cidade de Cuiabá Adaptado pelos autores a partir das bases cartográficas IPDU (2023).



**Figura 2.** Mapa de localização dos distritos de Cuiabá-MT.

ocupação urbana ou não, ou que seja possível demonstrar o nível de adequabilidade à ocupação urbana de modo a garantir o mínimo de ordenamento espacial.

## 1. Objetivo

Foi definido como objetivo geral aplicar a avaliação multicritério na identificação de áreas adequadas à ocupação urbana no município de Cuiabá.

Também, foram definidos como objetivos específicos:

- Identificar as áreas favoráveis e desfavoráveis à ocupação urbana;
- Analisar a relação entre áreas favoráveis e desfavoráveis à ocupação urbana e áreas efetivamente ocupadas por população urbana;
- Identificar áreas favoráveis à ocupação urbana para uma possível expansão urbana;
- Analisar a relação entre áreas favoráveis e desfavoráveis à ocupação urbana e áreas de expansão urbana definidas pela prefeitura.

## 2. Materiais e Métodos

Para a elaboração deste trabalho foram utilizados programas computacionais, equipamentos, mapas digitais e legislação. Os programas computacionais usados foram o ArcGIS Desktop 10.5, Copyright © 1999-2016-Microsoft® Office Word 2007. Os equipamentos utilizados foram o Microcomputador modelo Laptop Acer Aspire, processador Intel Core i5-8265U CPU 1.60GHz, 1800 Mhz, 4 núcleos, 8 processadores lógicos; Sensor de satélite de navegação modelo Trimble Juno SB, 12 canais. Os mapas digitais usados foram os disponibilizados pelos órgãos estaduais e municipais, conforme constam na bibliografia, este arcabouço teórico/técnico embasaram as análises realizadas, contando com os dados secundários e primários, disponibilizados em formato pdf e shapefile (shp). Foram realizadas ainda consultas a legislação Federal, Estadual e Municipal que nortearam a apresentação do tema proposto, as legislações consultadas estão presentes na bibliografia deste trabalho. A proposta metodológica para a identificação de áreas adequadas à ocupação urbana no município de Cuiabá-MT, a partir da avaliação multicritério, compreende o levantamento e a análise de condicionantes existentes na legislação; nos mapas digitais de abairramento, modelo digital de elevação, estradas, hidrografia e unidade de conservação; e na análise espacial desses dados.. Depois da análise e da interpretação das legislações foi possível definir as principais considerações a serem adotadas neste trabalho As áreas de preservação permanente, regulamentadas pela Lei Federal nº 12.651/2012.

Para simplificação da metodologia, todos os rios receberam uma faixa de 30 metros na identificação das áreas de preservação permanente ao longo de seu curso, independentemente de sua largura. Em cumprimento à Lei Federal nº 12.651/2012 (Brasil, 2012), foram identificadas as áreas de preservação permanente em encostas ou partes destas com declividade superior a 45° equivalentes a 100% na linha de maior declive. A área de terra existente ao longo de estradas, regulamentada pela Lei Estadual nº 8.280/2004 (Mato Grosso, 2004), para simplificação da metodologia, foi considerada uma faixa de domínio de 20 metros, em cada lado, a partir do eixo das estradas federais, estaduais e municipais, incluindo as vicinais, e uma faixa não edificante de 15 metros, em cada lado a partir da faixa de domínio. A área de terra dentro de unidade de conservação, regulamentada pela Lei Federal nº 9.985/2000 (BRASIL,2012), para simplificação da metodologia, foi considerada restrita à ocupação urbana, sendo assim não permitida a ocupação urbana nessa área. A **Tabela 1** apresenta os critérios de restrições e seus indicadores. Os indicadores de elementos hídricos que se referem às nascentes, massas d'água, nascentes ou quaisquer outros recursos hídricos (exceto os rios) não foram considerados na identificação de áreas de preservação permanente devido à falta destas bases de dados.

**Tabela 1.** Critérios de restrições e seus indicadores.

CRITÉRIOS	INDICADORES	
Restrições	Área de preservação permanente	Área na faixa de 30 m para todos os rios.
		Área na encosta ou partes destas com declividades superiores a 45° equivalentes a 100% na linha de maior declive.
	Área de terra fora do limite municipal.	
	Área de terra dentro de unidade de conservação.	
Área de terra ao longo de estradas na faixa de 35 metros (sendo 20 metros como faixa de domínio e 15 metros como faixa não edificante) para todas as estradas federais, estaduais e municipais, incluindo as vicinais.		

Fonte: Elaboração própria dos autores (2023).

A **Tabela 2** apresenta os critérios de fatores e seus indicadores mais significativos. Os indicadores de aspecto geológico, geotécnico, topo de morros, monte ou montanha e uso e ocupação do solo, não foram considerados devido à falta destas bases de dados.

**Tabela 2.** Critérios de fatores e seus indicadores.

CRITÉRIOS	INDICADORES	
Fatores	Classes de declividade	Áreas de 0% a 2% (relevo plano).
		Áreas de 2% a 5% (relevo suavemente ondulado).
		Áreas de 5% a 10% (relevo ondulado)
		Áreas de 10% a 15% (relevo moderadamente ondulado).
		Áreas 15% a 100% (relevo fortemente ondulado, montanhoso e escarpado)
	Distância da área urbana consolidada (bairros estabelecidos).	
	Distância da área de unidade de conservação.	
Distância da estrada		
Distância do rio.		

Fonte: Elaboração própria dos autores (2023).

A padronização de critérios de restrições foi estabelecida nos indicadores de área de proteção permanente (área na faixa de 30 metros para todos os rios e área em encostas ou partes destas com declividades superiores a 45° equivalentes a 100%), área de terra ao longo de estradas na faixa de 35 metros, área de terra dentro de unidade de conservação e área de terra fora do limite municipal.

Para o modelo em estudo, os indicadores de critérios de restrições receberam valor de aptidão 0, sendo a situação nula ou a de impedimento à ocupação urbana. A padronização de critérios de fatores foi estabelecida segundo o uso da função Distância Euclidiana (*Euclidean Distance*), somente nos indicadores com referência nas distâncias; e a aplicação da função Reclassificação (*Reclassify*) em todos os indicadores. Para o modelo em estudo, os indicadores de critérios de fatores receberam valores de aptidão que variam de 1 a 5, sendo o valor de 1 a situação menos favorável e o valor de 5 a situação mais favorável à ocupação urbana. As **Tabelas 3, 4, 5, 6 e 7** apresentam os valores de aptidão aplicados aos indicadores de fatores e de restrições do modelo proposto.

**Tabela 3.** Aptidão aplicada à declividade e área de preservação permanente (app).

CRITÉRIOS	INDICADORES	INTERVALO (%)		APTIDÃO
		DE	ATÉ	
Fatores	Classes de declividade.	0	2	5
		2	5	4
		5	10	3
		10	15	2
		15	100	1
Restrições	Área de preservação permanente na encosta ou partes destas com declividade superior a 45° equivalentes a 100%.	Acima de 100		0

Fonte: Elaboração própria dos autores (2023).

**Tabela 4.** Aptidão aplicada à área urbana consolidada.

CRITÉRIOS	INDICADORES	INTERVALO (m)		APTIDÃO
		DE	ATÉ	
Fatores	Distância da área urbana consolidada (bairros estabelecidos).	0	5.000	5
		5.000	10.000	4
		10.000	15.000	3
		15.000	20.000	2
		20.000	A	1
Restrições	Área de terra fora do limite municipal.	Acima de A		0

Fonte: Elaboração própria dos autores (2023).

O valor de A refere-se à maior distância encontrada da área urbana consolidada (bairros estabelecidos) após a aplicação da função Distância Euclidiana.

**Tabela 5.** Aptidão aplicada à unidade de conservação.

CRITÉRIOS	INDICADORES	INTERVALO (m)		APTIDÃO
		DE	ATÉ	
Restrições	Área de terra dentro de unidade de conservação.	0	0	0
Fatores	Distância da área de unidade de conservação.	0	200	1
		200	300	2
		300	400	3
		400	500	4
		500	B	5

Fonte: Elaboração própria dos autores (2023).

**Tabela 6.** Aptidão aplicada à estrada.

CRITÉRIOS	INDICADORES	INTERVALO (m)		APTIDÃO
		DE	ATÉ	
Restrições	Área de terra ao longo de estradas na faixa de 35 metros.	0	0	0
Fatores	Distância da estrada.	0	2.000	5
		2.000	4.000	4
		4.000	6.000	3
		6.000	8.000	2
		8.000	C	1

Fonte: Elaboração própria dos autores (2023).

O valor de C refere-se à maior distância encontrada da estrada após a aplicação da função Distância Euclidiana.

**Tabela 7.** Aptidão aplicada ao rio.

CRITÉRIOS	INDICADORES	INTERVALO (m)		APTIDÃO
		DE	ATÉ	
Restrições	Área de preservação permanente na faixa de 30 metros para todos os rios.	0	0	0
Fatores	Distância do rio.	0	200	1
		200	300	2
		300	400	3
		400	500	4
		500	D	5

Fonte: Elaboração própria dos autores (2023).

O valor de D refere-se à maior distância encontrada do rio após a aplicação da função Distância Euclidiana.

As imagens obtidas na etapa da padronização de critérios e de indicadores foram submetidas à função Calculadora de Imagens (Raster Calculator).

Neste momento, foi realizada a multiplicação escalar de matrizes das imagens obtidas na aptidão aplicada à declividade e à preservação permanente, área urbana consolidada, unidade de conservação, estrada e rio.

Todos os pixels que receberam valores de aptidão variando de 0 a 5 sofreram multiplicação escalar com seu(s) correspondente(s) pixels da(s) outra(s) imagem(ns), de mesma localização de linha e de coluna.

Os valores da imagem final obtida foram redistribuídos no intervalo de 0 a 255 níveis de cinza (NC) para facilitar a análise visual do resultado.

A **Tabela 8** apresenta os valores dos intervalos de nível de cinza e de adequabilidade aplicados ao modelo proposto.

**Tabela 8.** Valores de nível de cinza associado à adequabilidade.

NÍVEL DE CINZA	ADEQUABILIDADE
201 a 255	Altíssima
151 a 200	Alta
101 a 150	Média
51 a 100	Baixa
1 a 50	Baixíssima
0	Restrição

Fonte: Elaboração própria dos autores (2023).

O modelo adotado na metodologia foi descrito por FERREIRA (2014, p. 330), como sendo o critério para decisão espacial, utilizando os fatores, ou categorias de um mapa temático com as restrições.

### 3. Resultados e discussões

A avaliação multicritério mostrou desempenho satisfatório na identificação de áreas adequadas à ocupação urbana no município de Cuiabá.

A **Figura 2** apresenta as áreas para ocupação urbana com adequabilidade variando de 0 a 255 níveis de cinza. As áreas com adequabilidade 0 nível de cinza representam os indicadores de restrição com aptidão igual a 0 nas áreas de terra dentro das 10 unidades de conservação existentes no município de Cuiabá. A parte mais ao sul do município apresentou grande concentração de áreas com adequabilidade altíssima para ocupação urbana e a parte mais ao norte apresentou grande concentração de áreas com adequabilidade baixíssima.

Porém, se houvesse a feição de bairros estabelecidos dos distritos de Aguaçu, Nossa Senhora da Guia, Sucuri e Coxipó do Ouro, que estão na parte mais ao norte, os resultados de adequabilidade seriam diferentes. Dessa forma, existiriam mais dados para definir as aptidões dos indicadores de distância da área urbana consolidada (bairros estabelecidos), no critério fator, da **Tabela 4**, ou seja, poderiam ser analisadas as distâncias de acordo com a metodologia utilizada em relação às áreas urbanas consolidadas.

Também, é possível verificar na **Figura 3** uma grande concentração de áreas com adequabilidade alta e altíssima, em 2 locais, sendo em parte do Distrito Nova esperança (Pequizeiro, mais ao sul do município e Cuiabá-MT, em direção aos limites com o município de Santo Antônio de Leverger-MT, identificado com o nº 01, na figura 4 e em parte distrito de Sucuri, ao longo do anel rodoviário de Cuiabá identificado com o nº 02, destacado na Figura 4

Ambos os locais apresentam áreas favoráveis à expansão urbana, que no caso da parte do Sucuri foi transformada recentemente em área urbana do distrito de Sucuri e está na mira de grandes construtoras e incorporadoras.

A **Figura 3** apresenta as áreas com adequabilidade variando de 1 a 100 e 151 a 255 níveis de cinza, associadas como áreas desfavoráveis e favoráveis, respectivamente, à ocupação urbana.

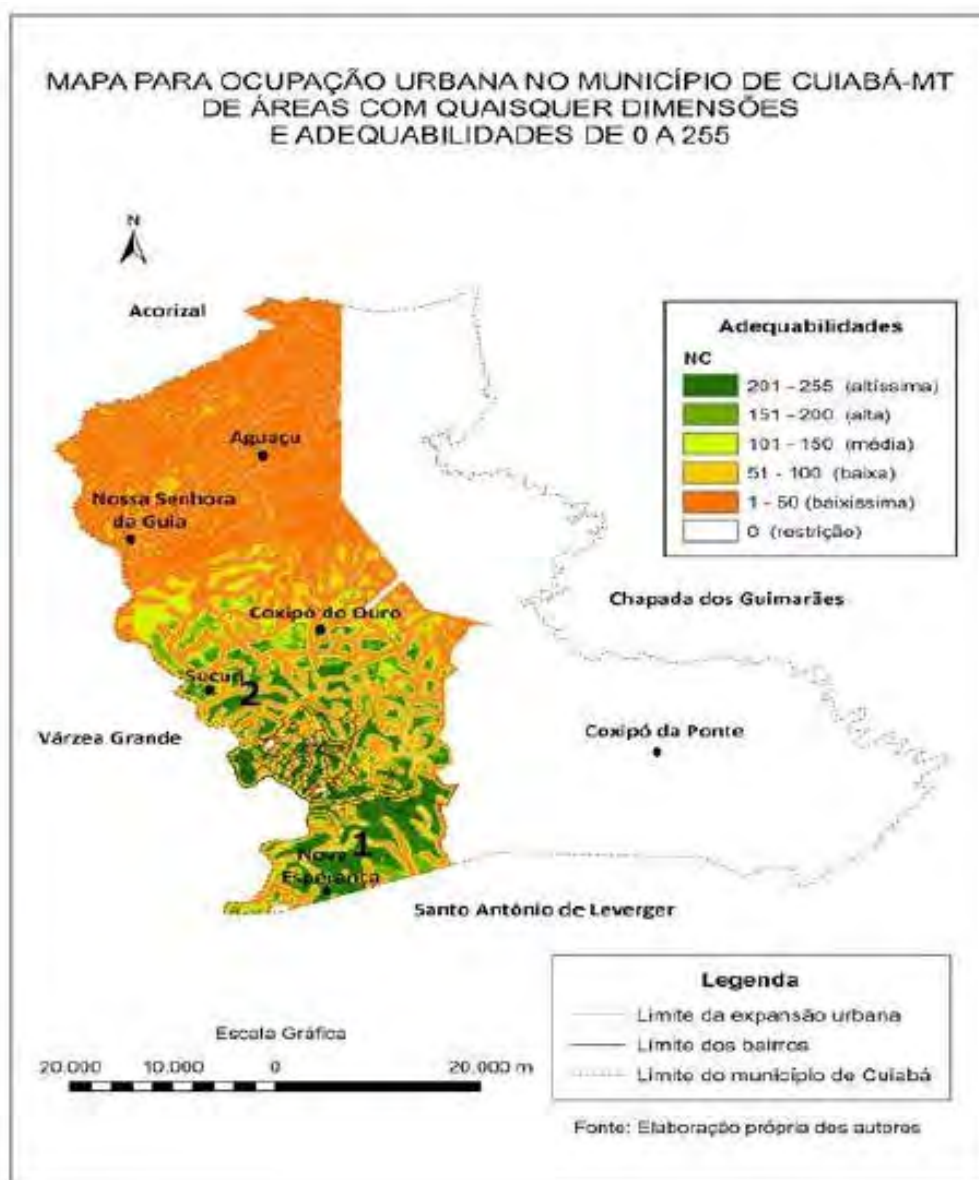
As áreas desfavoráveis à ocupação urbana estão localizadas principalmente ao longo dos rios. Estas áreas apresentam uma grande concentração na parte norte do município por causa dos baixos valores de aptidão definidos nos indicadores de distâncias da área urbana consolidada (bairros estabelecidos) e estradas, combinados aos indicadores de distâncias dos rios. As áreas favoráveis à ocupação urbana estão localizadas principalmente ao redor da área urbana consolidada (bairros estabelecidos). Isto é devido aos altos valores de aptidão definidos nos indicadores de declividade e de distâncias das unidades de conservação, estradas e rios, combinados aos indicadores de distância de área urbana consolidada (bairros estabelecidos).

A **Figura 4** apresenta áreas desfavoráveis e favoráveis à ocupação urbana e áreas efetivamente ocupadas por população urbana no município de Cuiabá-MT.

A situação desfavorável (**Figura 4a**) foi verificada no empreendimento Condomínio Brasil Beach (1), instalado sobre a nascente de córrego temporário afluente do Ribeirão do Lipa. A situação desfavorável encontrada neste condomínio, é justificada pois o mesmo encontra-se em uma área de restrição devido ao curso de água e Área de Preservação Permanente.

A situação favorável (**Figura 4b**) foi verificada em 4 dos 7 empreendimentos de condomínios Rios de Cuiabá, localizados no bairro Jardim Imperial, são eles: Rio Claro (1), Rio Manso (2), Rio Jangada (3) e Rio Cachoeirinha (4). Os condomínios Rio Coxipó (5), Rio São Lourenço (6) e Reserva Rio Cuiabá (7) estão fora da situação favorável.

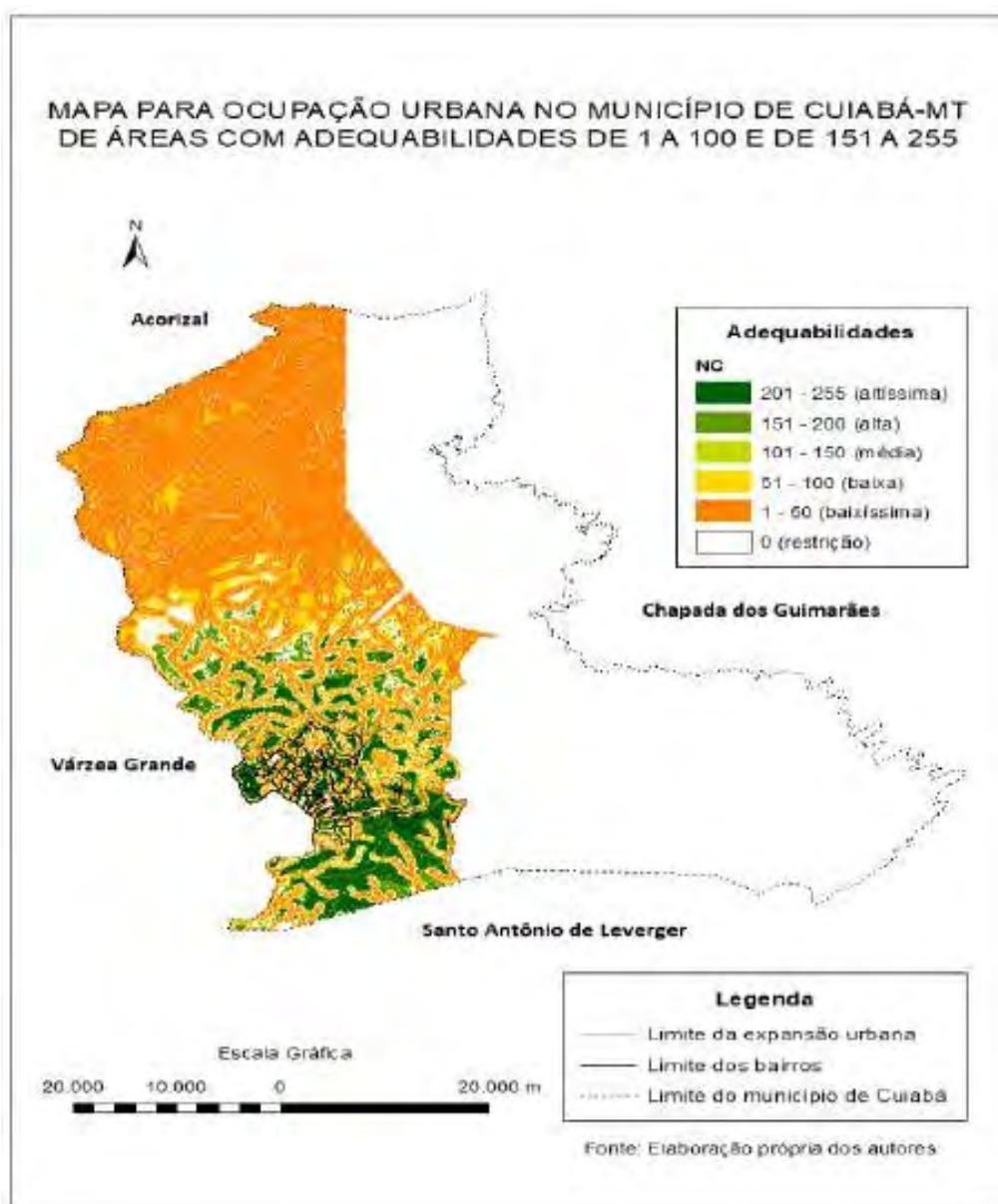
É importante informar que a instalação dos empreendimentos Condomínios Rios de Cuiabá está localizada na área de abrangência da Estação de Tratamento de Água do Tijucal. Esta instalação influencia na captação e tratamento da água coletada no rio Coxipó. Por isso, é necessária uma atenção quanto ao uso e ocupação do solo nesta região.



**Figura 3.** Figura demonstrando a ocupação urbana no município de Cuiabá-MT de áreas, com adequabilidade de 0 a 255 níveis de cinza.

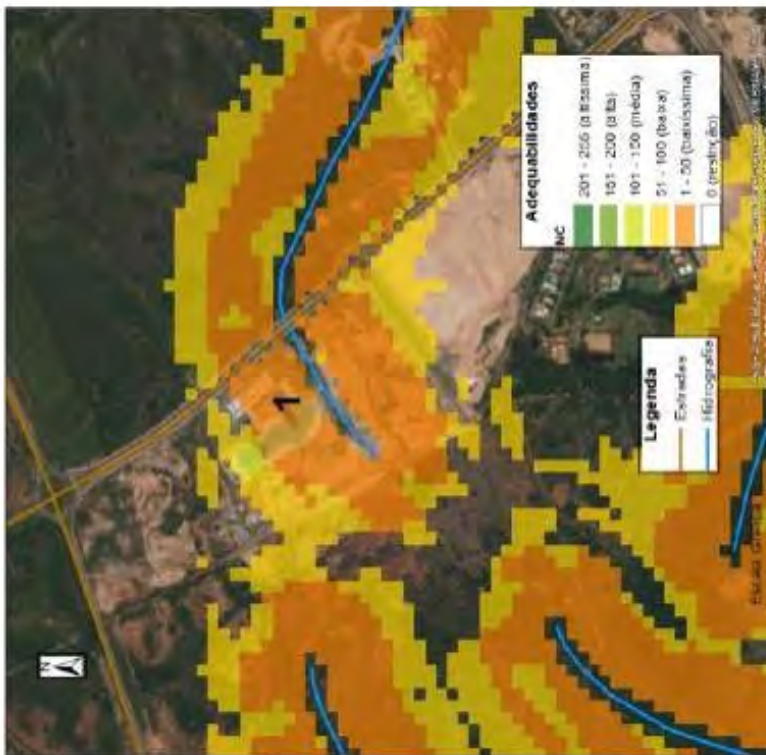
Fonte: Elaboração própria dos autores. (2023).





**Figura 4.** Figura demonstrando a ocupação urbana no município de Cuiabá-MT de áreas com adequabilidade de 1 a 100 níveis de cinza (desfavoráveis) e de 151 a 255 (favoráveis).  
Fonte: Elaboração própria dos autores. (2023).

Johny, acho que não está certo chamada de duas Figuras 4 distintas



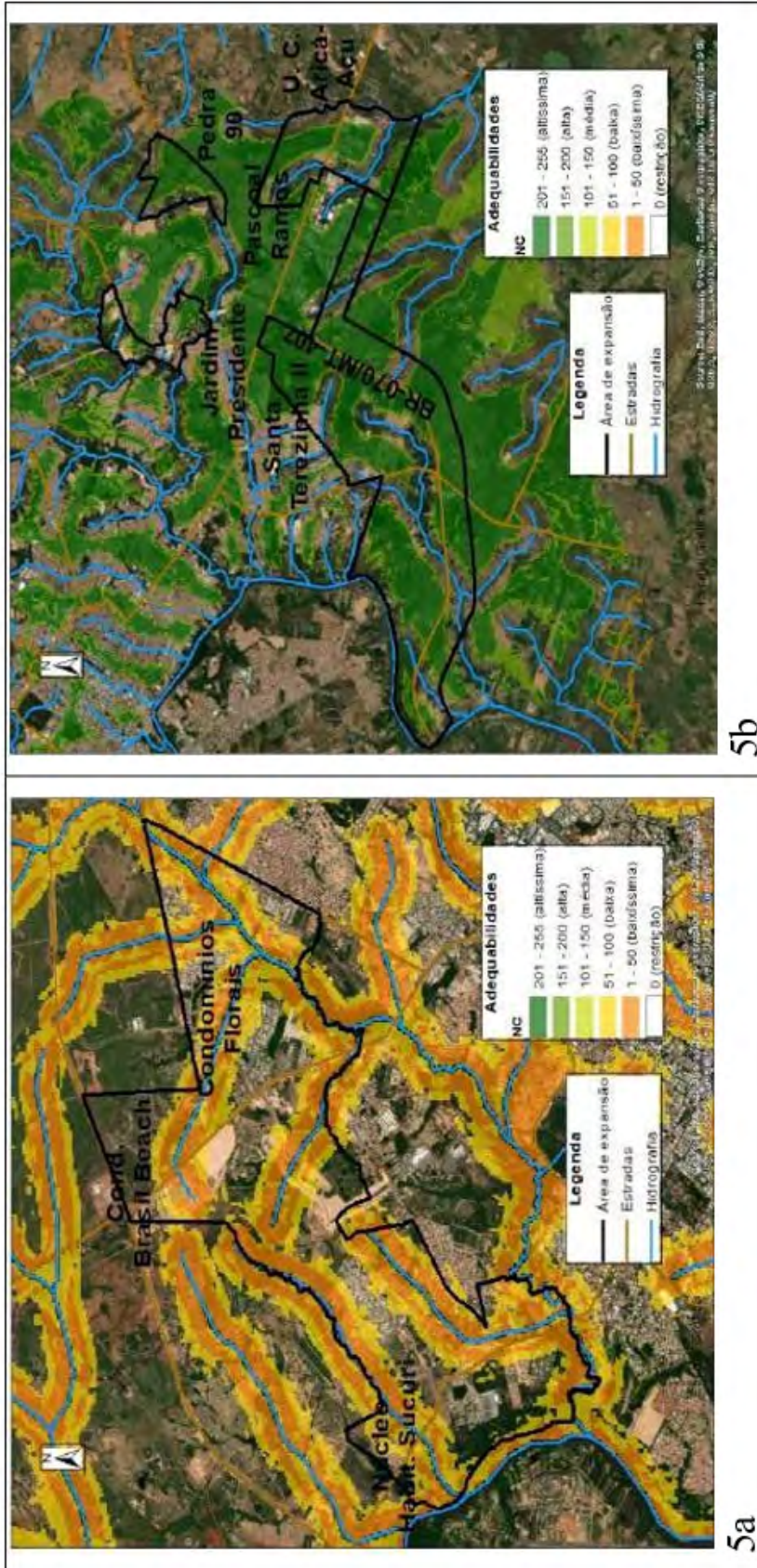
4a



4b

**Figura 4.** Áreas desfavoráveis (4a) e favoráveis (4b) à ocupação urbana e áreas efetivamente ocupadas por população urbana no município.  
Fonte: Elaboração própria dos autores.

A **Figura 5** apresenta áreas desfavoráveis e favoráveis à ocupação urbana identificadas neste trabalho e áreas de expansão urbana definidas pela prefeitura de Cuiabá-MT.



**Figura 5.** Áreas desfavoráveis (5a) e favoráveis (5b) à ocupação urbana identificadas no trabalho e áreas de expansão urbana definidas pela prefeitura.

Fonte: Elaboração própria dos autores.

Johny, posso girar assim?

A situação desfavorável à ocupação urbana (Figura 5a) foi verificada na área de Expansão Urbana Região Oeste (em linha preta), estabelecida pela prefeitura de Cuiabá-MT. Existe uma grande concentração de áreas com adequabilidade baixíssima e baixa ao longo da hidrografia, que é muito presente na região.

É uma região com alta rede de drenagem natural (hidrografia) que, com a ocupação desordenada em nascentes, córregos, áreas verdes, etc., pode sofrer impactos ambientais, tais como alteração no ciclo hidrológico, assoreamento, redução do nível do lençol freático, etc.

Mesmo com a situação desfavorável à ocupação urbana, muitas construtoras e incorporadoras implantaram diversos empreendimentos imobiliários nesta região, tais como: os condomínios Florais e Brasil Beach, ambos ocupados por pessoas de alto poder aquisitivo; e o Núcleo Habitacional Sucuri, ocupado por pessoas de baixo poder aquisitivo. A situação favorável à ocupação urbana (Figura 5b) foi verificada na área de Expansão Urbana Região Sul (em linha preta), estabelecida pela prefeitura de Cuiabá-MT, junto aos loteamentos Santa Terezinha e Jardim Presidente.

É possível verificar concentração de áreas com adequabilidade alta e altíssima ao longo da rodovia do Imigrantes (BR-070/MT-407). Porém no zoneamento municipal, esta região está delimitada como Zona de Alto Impacto (ZAI) devido à presença de atividades industriais. Além disso, parte destas áreas favoráveis, junto aos bairros Pascoal Ramos e Pedra 90, estão próximas dos limites de divisa com a unidade de conservação Aricá-Açu.

#### **4. Conclusões**

A proposta metodológica para aplicar a avaliação multicritério na identificação de áreas adequadas à ocupação urbana no município de Cuiabá produziu resultados satisfatórios.

A técnica da avaliação multicritério, foi considerada adequada para este tipo de análise e que foram utilizados alguns parametros para o teste da funcionalidade. É interessante e importante que sejam utilizados mais parametros para análises mais criteriosas, sendo possível esta realização a partir de maior quantidade de dados disponibilizados.

Em relação as áreas com baixa adequabilidade, notou-se que muitas delas possuem empreendimentos construídos, atingindo principalmente áreas de nascentes, o que contribuem com a degradação acelerada delas, afetando o regime hidrológico da bacia do rio Cuiabá, que é dos grandes contribuintes da Bacia do Alto Paraguai, conseqüentemente do Pantanal.

É importante uma gestão de bacia, principalmente em áreas urbanas que acabam interferindo em todo um sistema ambiental “rio abaixo”, prejudicando o bioma Pantanal.

A expansão urbana em Cuiabá está "direcionada" para as regiões Oeste e Sul, que de acordo com a pesquisa são regiões com concentração de áreas em condições favoráveis à ocupação urbana, com adequabilidade, variando de 151 a 255 níveis de cinza, no raster avaliado em relação a análise multicritério.

Também, foi encontrada concentração de áreas em condições favoráveis à ocupação urbana dentro da área consolidada da cidade de Cuiabá, especialmente em locais com lotes vazios, sem ocupação, como os localizados no Centro Político Administrativo. É possível criar políticas públicas de incentivo à ocupação destes locais, aproveitando toda a infraestrutura e equipamentos urbanos existentes, com isso reduzindo-se a criação de novas áreas de expansão urbana.

É importante informar que a utilização de outros insumos, tais como: - mapa geotécnico, mapa geológico, mapa de uso e ocupação do solo, entre outros, possibilitarão definir outros critérios de fatores/restrições e seus indicadores a fim de oferecer mais credibilidade à identificação de áreas adequadas à ocupação urbana.

## 5. Referencias

ALMEIDA, P. D. C.; PORTELA, A. L. S. **Rondonópolis: A Dinâmica de uma Cidade Média** In: XV Encontro Nacional de Geógrafos Brasileiros. Anais ISBN. Universidade de São Paulo-USP, 2008.

BRASIL. Grandes Regiões. Censo Demográfico 2022. Disponível em < [www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html](http://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html) (2023). Acessado em 21/07/2024.

. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, p. 1-1, 2000.

. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro. 2012. Disponível em:<[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm?itid=lk\\_inline\\_enhanced-template](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm?itid=lk_inline_enhanced-template)> acesso em: 07/09/2024.

CUIABÁ., Prefeitura Municipal. Lei Complementar Nº 389: Disciplina o uso e ocupação do solo no município de Cuiabá. Cuiabá, 2015.

. Lei Complementar n. 150, de 29 de janeiro de 2007. Plano Diretor de desenvolvimento estratégico de Cuiabá. Lex: Gazeta Municipal, Cuiabá, Nº 829 de 02 fev. 2007.

. Mapas digitais de abairramento do município de Cuiabá (2010), feições vetoriais baixadas pelo portal de mapas da prefeitura de Cuiabá <<https://www.cuiaba.mt.gov.br/mapas/mapas/7938>>;

. Lei nº 5.395, de 26 de maio de 2011. Dispõe sobre a criação dos Distritos do Aguaçu, Nova Esperança (Pequi-zeiro) e Distrito do Sucuri e da reorganização administrativa distrital do Município de Cuiabá e dá outras providências. Cuiabá: Câmara Municipal de Cuiabá, 2011a. Disponível em: Lei Ordinária 5425 2011 de Cuiabá MT ([leismunicipais.com.br](http://leismunicipais.com.br)) /. Acesso em: 01 de Set. 2024.

FEDERAL, Senado. LEI Nº 6.766, DE 19 DE DEZEMBRO DE 1979. **Dispõe sobre Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências**, 2023.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à Análise Geoespacial**. São Paulo: UNESP, 2014. 343 p

INTITUTO DE TERRAS DE MATO GROSSO- INTERMAT. Mapas digitais de Modelo Digital de Elevação do estado de Mato Grosso, imagens raster obtidas pela SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), produzidas e baixadas pelo portal de dados de informações de Jet Propulsion Laboratory < <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/cbanddataproducts.html>>;

.Mapa digital de sistema viário do estado de Mato Grosso, feições vetoriais baixadas pelo portal de informações cartográficas do INTERMAT

<<http://www.intermat.mt.gov.br/-/11303036-bases-cartograficas>>;

.Mapa digital de trecho de drenagem do estado de Mato Grosso, feições vetoriais baixadas pelo portal de informações cartográficas do INTERMAT

<<http://www.intermat.mt.gov.br/-/11303036-bases-cartograficas>>;

.Mapa digital de unidades de conservação do estado de Mato Grosso, feições vetoriais baixadas pelo portal de informações cartográficas do INTERMAT

<<http://www.intermat.mt.gov.br/-/11303036-bases-cartograficas>>.

MATO GROSSO.

PORTELA, A. L. S. P. **Políticas públicas urbanas em Cuiabá – Mato Grosso**: o papel do instrumental técnico de planejamento para a identificação de necessidades sociais e adoção de políticas públicas. 2014. 157 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Cuiabá, 2014.

RIBEIRO FILHO, Mendes et al. Lei Federal n.º 12.651 de 25 de maio de 2012. Código Florestal. 2012.

## **A polêmica na denominação, delimitação e dominialidade de Rios contribuintes do Pantanal: o exemplo dos Rios Cuiabá e São Lourenço**

Renato Gatto de Moraes<sup>1</sup>  
Marinés Alejandra Gonzalez Colina<sup>1</sup>  
Peter Zeilhofer<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Núcleo Interdisciplinar de Estudos em Saneamento Ambiental (NIESA/UFMT)  
Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367  
78060-900 - Cuiabá – MT, Brasil  
{renatogatto12, marines.alejandra94}@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT  
Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367  
78060-900 - Cuiabá – MT, Brasil  
zeilhoferpeter@gmail.com

**Resumo.** A denominação de rios e córregos e das suas bacias hidrográficas contribuintes possui geralmente origem histórico. Com o desenvolvimento de critérios técnicos, baseados em métodos de geoprocessamento as discussões sobre denominação, delimitação e dominialidade se intensificaram principalmente por questões políticos-legais-administrativos no contexto da gestão de Recursos Hídricos. Um caso típico dessa questão gira em torno dos Rios Cuiabá e São Lourenço, principalmente na planície de inundação do Pantanal. Exemplificamos a partir desses dois importantes sistemas hídricos do Pantanal a relação entre questões históricas, técnicas estabelecidas pela cartografia sistemática e o procedimento da sua Otto-codificação multi-escala, adotada no Brasil, das incertezas das técnicas atuais utilizadas para a extração da rede hidrográfica e delimitação de bacias de contribuição por MDE e das características hidrológicas e geomorfológicas do Pantanal, que dão origem a denominações e delimitações contraditórias. Discutimos ainda os desdobramentos discrepâncias sobre a gestão dos recursos hídricos que ocorrem principalmente em decorrência da polemica atual sobre a exploração do potencial hidroelétrico do rio Cuiabá.

**Palavras-chave:** Gestão de recursos hídricos, cartografia, geoprocessamento, Pantanal.

**Abstract.** The denomination of rivers and streams and its contribution areas are largely grounded in historical aspects. With the development of technical criteria, based on methods of spatial data analysis, discussions about the denomination, delimitation and dominium have been intensified, principally due to political, legal and administrative aspects in the context of water resource management. A typical case of this polemic thematic are the Cuiabá and São Lourenço rivers, principally inside the Pantanal floodplain. Using these two adjacent river systems, we exemplify the dialectic relation between historical aspects, techniques established by systematic cartography and the procedures of multiscale Otto-codification adopted in Brazil, uncertainties in modern techniques used for hydrographic network extraction and basin delimitation by DEM and the hydrologic and geomorphologic characteristics of the Pantanal, which have been the origin of conflicting proposals for denomination and delimitation. Furthermore, we discuss the effects of contradictions on water resource management, which occur principally due to the polemic discussion on the further exploration of the hydropower potential of the Cuiabá River.

**Key-words:** water resource management, cartography, spatial data analysis, Pantanal.

## 1. Introdução

A nomeação de rios e córregos muitas vezes tem origem em fatores históricos, como a língua dos povos que habitavam os vales de um manancial. Um exemplo é o nome do Rio Paraguai, que em guarani significa "um grande rio". Ao longo do tempo, com o avanço das técnicas de geoprocessamento e a necessidade de sistematizar a nomenclatura por razões político-legais e administrativas. Isso gerou debates sobre qual seria a denominação "correta" para determinados cursos d'água e suas bacias hidrográficas.

A delimitação das bacias hidrográficas dos rios Cuiabá e São Lourenço, assim como a nomeação do trecho resultante após sua confluência na planície de inundação do Pantanal, tem sido alvo de décadas de discussões divergentes na literatura técnica. Essas divergências ganharam relevância com o planejamento de seis novos empreendimentos hidrelétricos (PCHs) previstos para o curso principal do Rio Cuiabá. A implementação ou não depende juridicamente da dominialidade do Rio Cuiabá, que por sua vez é discutida – no âmbito legal – em função da sua denominação. Esta breve análise busca esclarecer essa discussão e destacar os diferentes fatores que estão relacionados a origem dessas divergências.

A Resolução ANA nº 399/2004, que altera a Portaria nº 707 de 17/10/1994 do DNAEE, estabelece os Critérios Técnicos para Identificação dos Cursos D'Água. No Artigo 1º, item 5.3, define-se que "em cada confluência será considerado curso d'água principal aquele cuja bacia hidrográfica possuir a maior área de drenagem". Sendo esse critério técnico recente, a denominação dos rios em muitos casos, é decorrente de uma série de outros fatores históricos e técnicos. São os principais deles:

1. Aspectos históricos, relacionados com a prática popular na denominação de cursos de água;
2. Origem e qualidade da cartografia sistemática oficial do Brasil e sua codificação em Ottobacias de acordo com a metodologia de Pfafstetter;
3. Acurácia dos dados espaciais disponíveis que interferem na delimitação das bacias hidrográficas como Modelos Digitais de Elevação (MDE);
4. Característica da hidrologia e geomorfologia da planície de inundação do Pantanal e seus megaleques.

Quanto à dominialidade dos rios, a Constituição Federal de 1988, em seu artigo 20, inciso III, estabelece que são de domínio da União "os lagos, rios e quaisquer correntes de água localizados em terrenos de seu domínio, que banhem mais de um estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, incluindo os terrenos marginais e as praias fluviais".

Os itens a seguir (2.1-2.4) têm como objetivo esclarecer esses quatro aspectos em relação ao

Rio Cuiabá, sua denominação e dominialidade até a sua confluência oficial com o Rio Paraguai na planície pantaneira, contribuindo para uma discussão mais objetiva sobre o tema.

## **2. Origens da polemica na denominação de trechos dos rios Cuiabá e São Lourenço e delimitação das suas bacias de contribuição**

### **2.1 Aspectos históricos**

Em 8 de abril de 1719, Pascoal Moreira Cabral, comandante da região de Cuiabá, assinou a ata de fundação da cidade no local conhecido como Forquilha, às margens do Rio Coxipó, com o objetivo de assegurar os direitos de descoberta à Capitania de São Paulo (Siqueira, 2002). A denominação "Cuiabá", de provável origem indígena, já era utilizada antes dessa data para se referir ao principal manancial no qual o Rio Coxipó deságua, denominado Rio Cuiabá. Este nome está profundamente enraizado na história e na cultura da região, sendo um fato histórico que dificilmente será alterado, dada a ligação cultural, socioeconômica e ambiental da população mato-grossense com o Rio Cuiabá.

Contudo, esses aspectos históricos contrastam com definições técnicas estabelecidas pela Resolução ANA nº 399/2004. Segundo seus critérios, o curso d'água atualmente denominado Rio Cuiabá deveria, na verdade, ser chamado de "Rio Manso", uma vez que a área de contribuição deste último abrange aproximadamente 10.830 km<sup>2</sup>, superando significativamente a área de drenagem da cabeceira do próprio Rio Cuiabá (conhecido como "Cuiabazinho"), que totaliza cerca de 4.370 km<sup>2</sup> até sua confluência no Município de Nobres, conforme as microbacias delimitadas pela Unidade de Planejamento e Gestão (UPG-4) no Plano Estadual de Recursos Hídricos (SEMA-MT). Este exemplo ilustra que a nomenclatura dos corpos d'água muitas vezes não segue, e possivelmente nunca seguirá, exclusivamente critérios técnicos objetivos.

### **2.2. Reflexos da cartografia sistemática e da Otto-codificação adotada pela ANA**

Em resposta a um questionamento oficial da Diretoria de Recursos Hídricos da Secretaria Estadual de Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA-MT) em 2023, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio de sua Superintendência de Estudos Hídricos e Socioeconômicos (SHE), esclareceu que a metodologia de referenciação espacial adotada é baseada na Base Hidrográfica Otto-Codificada (BHO), conforme o método desenvolvido por Otto Pfafstetter (1989). Esta abordagem utiliza uma metodologia de hierarquização em múltiplas escalas, construída a partir da hidrografia oficial contida nas Cartas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A escala de 1:1.000.000 é, de maneira geral, a referência para o mapeamento hidrográfico em âmbito nacional. No entanto, algumas regiões hidrográficas adotam a codificação Otto em escalas mais detalhadas, como 1:250.000, 1:100.000 e 1:50.000, onde essas informações estão disponíveis. No caso da região hidrográfica do Rio Paraguai, da qual os rios Cuiabá e São Lourenço fazem parte, a hierarquização foi realizada com base em cartas na escala de 1:250.000. Essas bases cartográficas, entretanto, apresentam imprecisões e discrepâncias, tanto de forma intrínseca quanto em comparação com cartas de outras escalas. Por esse motivo, encontram-se em processo contínuo de atualização (IBGE, 2016).

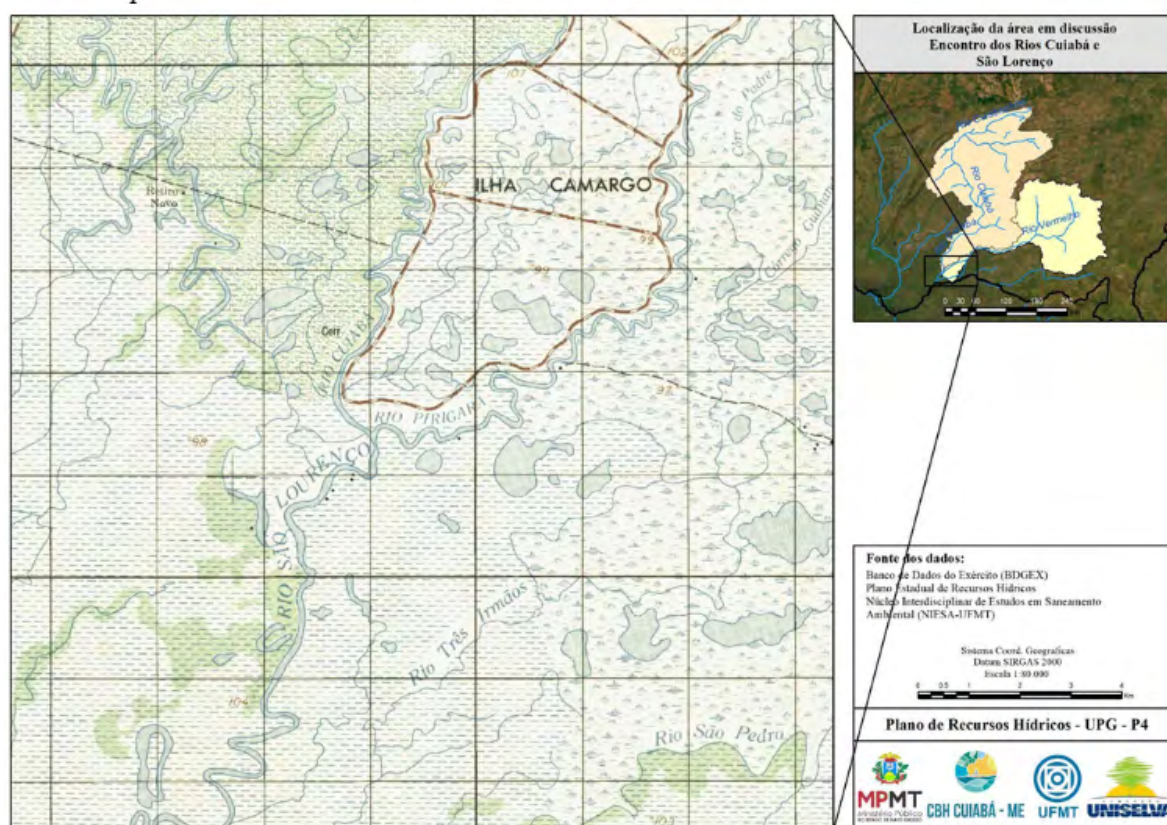
Em resposta a uma consulta, a Coordenadoria de Ordenamento Hídrico da SEMA-MT confirmou que considera a foz do Rio Cuiabá no Rio Paraguai, em conformidade com a divisão das Bases Hidrográficas Otto-Codificadas (BHO) publicadas pela ANA (2021) e pelo IBGE (2021). A SEMA-MT destacou que uma das causas da discrepância histórica na nomenclatura dos rios da região é o fato de que houve alterações na desembocadura do Rio São Lourenço



no século passado, e a base hidrográfica oficial não foi atualizada para refletir essas mudanças (IHGMS, 2021).

Em nossa análise, as inconsistências cartográficas, também observadas no servidor de mapas e dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) (<https://portal1.snirh.gov.br/>), são mais abrangentes. Essas inconsistências resultam de uma combinação dos quatro fatores discutidos neste estudo. Por exemplo, na folha Porto Joffre (SC.22-Z-B-VI) da carta topográfica na escala 1:100.000, o trecho do Rio Cuiabá, após sua confluência com o Rio São Lourenço, é erroneamente identificado como “Rio São Lourenço”, enquanto o próprio Rio São Lourenço, antes dessa confluência, é denominado “Rio Pirigara” (**Figura 1**).

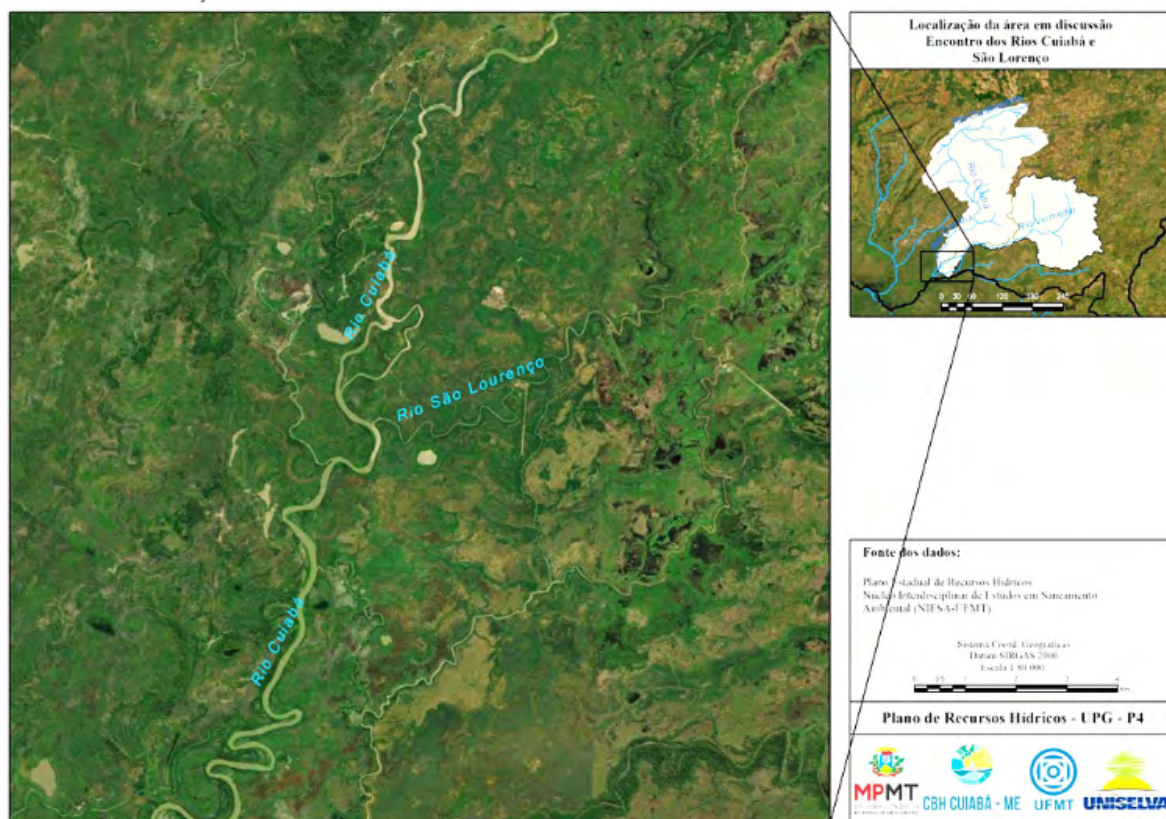
Essa discrepância pode ter surgido, à época da composição da carta topográfica, tanto por um entendimento de que o trecho final no Pantanal era tradicionalmente chamado de Rio São Lourenço, quanto pela percepção de que a bacia de contribuição do Rio São Lourenço seria maior do que a do Rio Cuiabá.



**Figura 1.** Denominação do trecho do Rio Cuiabá como “São Lourenço” a jusante da confluência. O Rio São Lourenço está denominado de “Rio Pirigara” a montante. Carta topográfica 1:100.000 (“Porto Joffre. SC.22-Z-B-VI”).

A análise de imagens de satélite de alta resolução, disponíveis no *Wold Imagery* do Basemap (ESRI) (**Figura 2**) e pelo Modelo Digital de Elevação (MDE) Merit (Yamazaki et al., 2017), indica que a área de contribuição do Rio Cuiabá é de aproximadamente 39.200 km<sup>2</sup>, enquanto a bacia do Rio São Lourenço abrange cerca de 25.000 km<sup>2</sup> (**Figuras 2 e 3**). Em resposta a um questionamento do Núcleo Interinstitucional de Estudos de Saneamento Ambiental (NIESA), a Coordenadoria de Ordenamento Hídrico da SEMA-MT também confirmou que considera a foz

do Rio Cuiabá na confluência com o Rio Paraguai, em consonância com a divisão das Bases Hidrográficas Otto-Codificadas (BHO), publicadas pela ANA (2021) e pelo IBGE (2021).



**Figura 2.** Imagens de satélite de alta resolução espacial do Google Earth™ na região da confluência dos Rios Cuiabá e São Lourenço com as denominações corretas, de acordo com o entendimento do presente documento.

A SEMA-MT destacou ainda que uma das causas da discrepância histórica na definição das desembocaduras dos rios é o fato de que, no século passado, ocorreram alterações na foz do Rio São Lourenço, e a base hidrográfica oficial não foi atualizada para refletir essas mudanças (IHGMS, 2021), o que tem gerado discussões recentes sobre a correta denominação e dominialidade dos rios.

Com base nesses dados, entendemos que a dominialidade do Rio Cuiabá, no trecho compreendido entre a afluência do Rio Manso e sua foz no Rio Paraguai, é de caráter federal, conforme estipulado pela Resolução ANA nº 399, de 22 de julho de 2004, que alterou a Portaria DNAEE nº 707, de 17 de outubro de 1994. Dessa forma, a área de contribuição da bacia do Rio Cuiabá, na confluência com o Rio São Lourenço, é maior do que a da bacia do Rio São Lourenço.

### 2.3 Acurácia dos dados espaciais disponíveis e sua interferência na delimitação das bacias hidrográficas

O procedimento de delimitação de bacias hidrográficas é geralmente realizado a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE). MDEs como o SRTM, ASTER ou ALOS PALSAR, amplamente disponíveis para esse propósito, apresentam limitações de acurácia, tanto horizontal quanto, principalmente, vertical. Em comparativo, Nandam & Patel (2024) apontam as fortes

limitações da utilização dos mais atuais MDE orbitais disponíveis para estudos hidrodinâmicos em planícies de inundação. Em consequência dos erros verticais, técnicas automatizadas para simulação da direção do fluxo superficial e determinação dos divisores de água podem ser consideradas inaptas para sua aplicação no Pantanal. Em ensaios realizados aqui, erros dessa natureza foram observados inclusive na Depressão Cuiabana, no curso médio do rio Cuiabá, fora da planície de inundação, até jusante do centro metropolitano de Cuiabá e Várzea Grande.

Uma comparação entre seis MDEs em bacias com relevo semelhante revelou Erros Médios Quadráticos (RMSE) variando entre 1,7% (5,3 m) e 3,1% (7,4 m) (Datta et al., 2022). Quando a validação é realizada com dados de elevação do solo em áreas florestadas, esses erros tendem a dobrar (Preety et al., 2022; Chai et al., 2022). O MDE MERIT, interpretado neste estudo, supera produtos como o SRTM ou ALOS PALSAR por ser pré-processado para remoção de objetos que excedem a superfície do terreno (Nandam & Patel, 2024), tais como as matas ciliares características ao longo dos sistemas fluviais ativos do Pantanal.

As planícies de inundação e os megaleques dos rios Cuiabá e São Lourenço são caracterizados por rios classificados como multicanais (*anabranching*) e canais secundários que apresentam conectividade temporária, dependendo do nível da água nos canais principais, nos quais é comum a inversão periódica da direção do fluxo (Macedo et al., 2019; Stevaux et al., 2020). Dessa forma, procedimentos de pré-processamento de MDEs, como a imposição da rede hidrográfica - utilizando técnicas como o *stream burning* ou o algoritmo Topogrid, desenvolvido por Hutchinson (1989) - não garantem a redução das incertezas na delimitação das bacias hidrográficas.

Considerando a variabilidade de resoluções espaciais e acurácias dos diferentes MDEs, além das diversas formas de pré-processamento e algoritmos de imposição de redes de drenagem pré-existentes, como o D8 ou *multi-D8* (ver Li et al., 2019), que interferem na delimitação automatizada das bacias, não há um valor uniforme e “correto” para a área de contribuição de uma determinada bacia hidrográfica. Para padronizar ou aproximar os resultados das delimitações, seria essencial que os dados de entrada (MDEs, redes hidrográficas) e os procedimentos de processamento fossem uniformizados por órgãos competentes, como a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

## **2.4 Características da hidrologia e geomorfologia da planície de inundação do Pantanal e seus megaleques**

O Rio Cuiabá apresenta duas características geomorfológicas distintas ao longo de seu percurso. Inicialmente, percorre uma superfície de erosão, comportando-se como um rio de planalto. Ao adentrar no Pantanal, a jusante da região metropolitana de Cuiabá e Várzea Grande, o rio integra um sistema deposicional, formando um complexo de planícies de inundação (Meira et al., 2019). Assine (2016) estima que o gradiente topográfico ao longo do Rio Cuiabá, dentro de sua planície alagável, é inferior a 0,20 m/km. A mudança de canais de drenagem é um fenômeno comum, decorrente de processos dinâmicos associados ao transbordamento do canal principal.

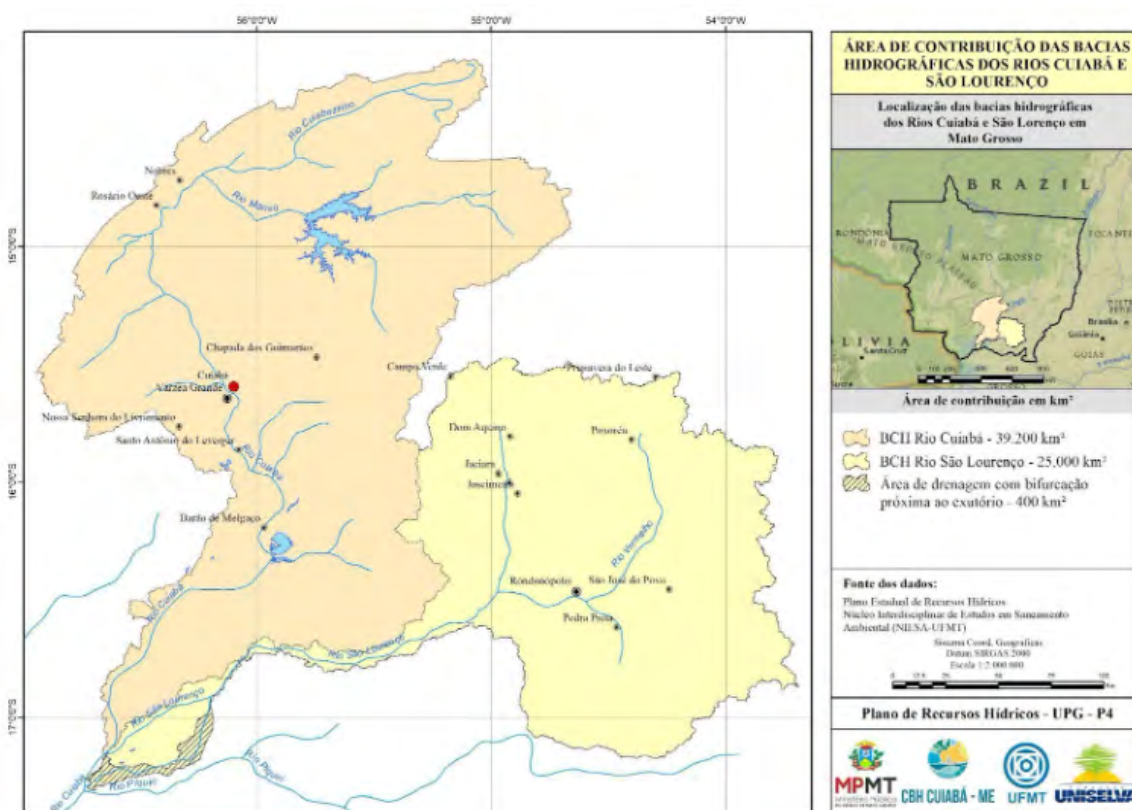
A combinação dessas características geomorfológicas com os erros verticais típicos dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) disponíveis para delimitação de divisores de água, como discutido anteriormente, evidencia as significativas incertezas inerentes aos trabalhos técnicos voltados à delimitação de bacias hidrográficas em planícies alagáveis (Turcotte et al., 2001; Li et al., 2019).

Isso fica evidente também em geoinformações disponibilizadas pelo IBGE (acessados em outubro de 2023), onde em diferentes níveis de codificação das Otto-Bacias (Níveis 2 a 6) de acordo com a metodologia Pfafstetter (IBGE) ocorrem diversas inconsistências nas delimitações

([https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/estudos\\_ambientais/bacias\\_e\\_divisoes\\_hidrograficas\\_do\\_brasil/2021/Bacias\\_Hidrograficas\\_do\\_Brasil\\_BHB250/vetores/](https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/bacias_e_divisoes_hidrograficas_do_brasil/2021/Bacias_Hidrograficas_do_Brasil_BHB250/vetores/)). Já um documento PDF, de escala original de 1:250.000 (IBGE 2021), que é idêntico ao disponibilizado pela ANA (2021), mostra as bacias hidrográficas do Rio Cuiabá e São Lourenço delimitadas similarmente como proposto aqui.

Pelas análises aqui apresentadas, baseadas na delimitação pelo MDE Merit e interpretação de imagens de satélite de alta resolução do *World Imagery* (Basemap), a bacia do Rio Cuiabá abrange fora e dentro da planície uma área total de 39.200 km<sup>2</sup> aproximadamente. Considerando os mencionados desafios na delimitação, a ANA estipula cifras similares, com área de 36.000 km<sup>2</sup>. Já a bacia hidrográfica do Rio São Lourenço, de acordo com nossas análises, totaliza cerca de 25.000 km<sup>2</sup>, enquanto a ANA estima em 24.300 km<sup>2</sup>. Portanto, de acordo com a resolução ANA nº 399/2004 o curso d'água a partir da confluência desses dois rios mantém o nome do Rio Cuiabá, e considerando a Constituição Federal de 1988 em seu artigo 20 inciso III, o Rio Cuiabá é de domínio federal, pois a jusante do encontro supracitado, o Rio Cuiabá passa a ser o limite entre os estados Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

As incertezas na delimitação exata de bacias hidrográficas em planícies de inundação e leques aluviais são exemplificadas na **Figura 3**. O polígono hachurado representa uma área de cerca de 400 km<sup>2</sup> que poderia ser computada como área de contribuição da bacia do Rio São Lourenço, caso o curso temporário da base cartográfica for considerado uma bifurcação do canal principal próximo ao exutório.



**Figura 3.** Delimitação das bacias hidrográficas dos Rios Cuiabá e São Lourenço de acordo com uma interpretação visual de imagens de alta resolução espacial (Google Earth™) e Modelo Numérico de Elevação MERIT.

Tal caracterização porém foi considerada incerta, apesar da repetida análise com imagens de alta resolução e o MDE Merit.

### 3. Conclusão

As incertezas e discussões sobre a denominação dos cursos d'água e delimitação das bacias de contribuição na bacia alto Rio Paraguai e assim na bacia hidrográfica do Rio Cuiabá e bacias adjacentes não possuem uma origem simples. São de fato um produto de: i) questões históricas, ii) técnicas estabelecidas pela cartografia sistemática e o procedimento da sua Otto-codificação multi-escala, adotada no Brasil, iii) das incertezas das técnicas atuais utilizadas para a extração da rede hidrográfica e delimitação de bacias de contribuição por MDE e, iv) das características hidrológicas e geomorfológicas do Pantanal.

Apesar das incertezas persistentes, conclui-se que o Rio Cuiabá é um corpo d'água federal, com área de contribuição cerca de 14.200 km<sup>2</sup> maior do que o seu afluente Rio São Lourenço. Devido às incertezas no processo da delimitação na planície não consideramos adequada uma quantificação mais precisa.

Denominações de trechos do Rio Cuiabá após a sua confluência com o Rio São Lourenço como “Rio São Lourenço” ou do próprio Rio São Lourenço como “Rio Pirigara” dentro da planície pantaneira nas bases cartográficas de referência (1:1.000.000, 1:100.000) deveriam ser corrigidas no decorrer das atualizações contínuas das bases cartográficas brasileiras.

Entendemos que a delimitação das duas bacias hidrográficas deve seguir aos limites das Ottobacias da ANA (2021) ou ao estudo aqui apresentado (**Figura 3**). Salienta-se que a delimitação da ANA possui as limitações intrínsecas da sua escala original de elaboração das folhas topográficas da escala 1:250.000. Deve-se considerar também que a região a jusante da confluência do Rio Cuiabá com o São Lourenço é chamada pela ANA na sua totalidade de “Pantanal noroeste”, convenção proveniente da metodologia multi-escala de Pfafstetter (1989).

É tecnicamente justificável, porém, não contribuiu para uma simplificação das polêmicas, que o Plano Estadual de Recursos Hídricos adotou uma divisão alternativa. Nesse documento legal, a bacia do Rio Cuiabá (UPG-P4) termina na cidade de Barão de Melgaço. As áreas a jusante são chamadas de Região hidrográfica do Pantanal. Entendemos, que isso se motivou principalmente por considerar questões históricas na toponímia, pela qual a cidade de Barão de Melgaço é comumente considerada um portal de entrada no Pantanal e cujo perímetro urbano é localizado por sua major parte em área de dobramento fora da planície.

Em termos de litologia, relevo e declividade as áreas úmidas do Pantanal se iniciam a montante da cidade de Santo Antônio do Leverger, onde o Rio Cuiabá já apresenta largas áreas de planície.

### 4. Agradecimentos

Agradecemos ao Núcleo Interdisciplinar de Estudos em Saneamento Ambiental (NIESA) da UFMT pelo suporte na realização das análises dos dados e na concessão de duas bolsas de Pesquisador Associado. O Ministério Público do Estado de Mato Grosso (MPMT) é Financiadora oficial do Plano de Recursos Hídricos da UPG-P4 (Alta e Média Bacia do Rio Cuiabá), pelo qual esse trabalho foi desenvolvido.

### 5. Referências

ANA - Agência Nacional das Águas e Saneamento. [https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/fb87343a-cc52-4a36-b6c5-1fe05f4fe98c/attachments/mapa\\_das\\_divisoes\\_hidrograficas\\_do\\_brasil\\_2021.pdf](https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/fb87343a-cc52-4a36-b6c5-1fe05f4fe98c/attachments/mapa_das_divisoes_hidrograficas_do_brasil_2021.pdf), 2021.

Assine, M. L., Merino, E. R., Pupim, F. D. N., Macedo, H. D. A., & Santos, M. G. M. D. The Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, n. 3, 475-489, 2015.

Chai, L. T.; Wong, C. J.; James, D.; Loh, H. Y.; Liew, J. J. F.; Wong, W. V. C.; Phua, M. H. Vertical accuracy comparison of multi-source Digital Elevation Model (DEM) with Airborne Light Detection and Ranging (Li-DAR). **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1053, n. 1, 012025, 2022.

ESRI. World Imagery [Base de dados]. Disponível em: [https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World\\_Imagery/MapServer](https://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer). Acesso em: 10/03/2024.

Hutchinson, M.F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, p. 211-232, 1989.

IBGE - Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Meio Ambiente. **Bacias Hidrográficas do Brasil BHB250 - Documentação Técnica**. [https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/estudos\\_ambientais/bacias\\_e\\_divisoes\\_hidrograficas\\_do\\_brasil/2021/Bacias\\_Hidrograficas\\_do\\_Brasil\\_BHB250/vetores/Documentacao\\_Tecnica\\_BHB250.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/bacias_e_divisoes_hidrograficas_do_brasil/2021/Bacias_Hidrograficas_do_Brasil_BHB250/vetores/Documentacao_Tecnica_BHB250.pdf), 2016.

IBGE - Diretoria De Geociências Coordenação de Cartografia. Gerência de Bases Contínuas. **Base Cartográfica Contínua do Brasil ao Milionésimo – Bcim 5ª Versão**. Documentação Técnica Geral, Volume I., 2016.

**Instituto Histórico e Geográfico de Mato Grosso do Sul (IHGMS)**. Por que o Rio São Lourenço era chamado de Rio dos Porrudos?. 2021. Disponível em: <https://ihgms.org.br/vc-sabia/por-queo-rio-sao-lourenco-era-chamado-de-rio-dos-porrudos-71>. Acesso em: 12 set. 2024.

Li, L.; Yang, J.; Wu, J. A method of watershed delineation for flat terrain using Sentinel-2a imagery and DEM: A case study of the Taihu basin. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 12, 528, 2019.

Macedo, H. D. A.; Stevaux, J. C.; Silva, A.; Merino, E. R.; Lo, E. L.; Assine, M. L. Hydrosedimentology of the Paraguay River in the Corumbá fluvial reach, Pantanal wetland. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 2, 255, 2019.

Meira, F. C.; Stevaux, J. C.; Torrado, P. V.; & Assine, M. L. Compartimentação e evolução geomorfológica da planície do rio Cuiabá, Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 1, 2019.

Nandam, V., & Patel, P. L. A framework to assess suitability of global digital elevation models for hydrodynamic modelling in data scarce regions. **Journal of Hydrology**, v. 630, 130654, 2024.

Pfaffstetter, O. **Classificação de Bacias Hidrográficas – Metodologia de Codificação**. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOCS), 1989, 19 p.

Preety, K.; Prasad, A. K.; Varma, A. K.; & El-Askary, H. Accuracy assessment, comparative performance, and enhancement of public domain digital elevation models (Aster 30 M, Srtm 30 M, Cartosat 30 M, Srtm 90 M, Merit 90 M, And Tandem-X 90 M) using DGPS. **Remote Sensing**, v. 14, n. 6, 1334, 2022.

Datta, S.; Karmakar, S.; Mezbahuddin, S.; Hossain, M. M., et al. The limits of watershed delineation: implications of different DEMs, DEM resolutions, and area threshold values. **Hydrology Research**, v. 53, n. 8, 1047–1062, 2022.

SEMA/MT – Secretaria de Estado do Meio Ambiente de Mato Grosso. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Cuiabá: KCM Editora, 184 p. 2009.

Siqueira, E. M. **História de Mato Grosso**. Da ancestralidade aos dias atuais. Cuiabá: Entrelinhas, 2002, 107 p.

Stevaux, J. C.; Macedo, A. H.; Assine, M. L.; Silva, A. Changing fluvial styles and backwater flooding along the Upper Paraguay River plains in the Brazilian Pantanal wetland. **Geomorphology**, v. 358, 106906, 2020.

Turcotte, R.; Fortin, J.P.; Rousseau, A.N.; Massicotte, S.; Villeneuve, J. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. **Journal of Hydrology**, v. 240, 225–242, 2001.

Yamazaki D.; Ikeshima, D.; Tawatari, R.; Yamaguchi, T.; O'Loughlin, F.; Neal, J. C.; Sampson, C. C.; Kanae, S.; Bates, P. D. A high accuracy map of global terrain elevations. **Geophysical Research Letters**, v. 44, 5844-5853, 2017.

## **Caracterização Físico Ambiental e Feições Morfológicas no Alto Curso do Rio Jauru, Mato Grosso**

Vinicius de Souza Silva<sup>1</sup>  
Leila Nalis Paiva da Silva Andrade<sup>2</sup>  
Fabio Junior do Espírito Santo Andrade<sup>3</sup>  
Alfredo Zenén Dominguez Gonzalez<sup>4</sup>  
João Henrique da Silva Massavi<sup>5</sup>  
Lourena de Araújo Félix<sup>6</sup>

Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Av. São João, s/nº – Cavahada II, Cáceres – MT, Brasil  
{vinicius.silva<sup>1</sup>, leilaandrade<sup>2</sup>, fabio.andrade<sup>3</sup>, joao.henrique<sup>5</sup>, lourena.felix<sup>6</sup>}@unemat.br  
alfredozdg@gmail.com <sup>4</sup>

**Resumo.** O rio Jauru é um afluente importante para o Pantanal norte, sendo que, qualquer alteração nele pode prejudicar o ecossistema aquático e terrestre dessa planície alagável. Nesse contexto, a pesquisa teve como objetivo caracterizar os fatores físicos-ambientais e as feições morfológicas do alto curso do rio Jauru, afluente da margem direita do rio Paraguai no estado de Mato Grosso. Foram utilizados como procedimentos metodológicos trabalho de gabinete para revisão bibliográfica; caracterização físico-ambiental e confecção de mapas temáticos das feições morfológicas. Os resultados da pesquisa revelaram a identificação de 62 feições morfológicas distintas, abrangendo desde barras de sedimentos, baías, canais artificiais, corredores fluviais, ilhas, lagos, lagoas e meandros abandonados.

**Palavras-chave:** Pantanal, Rio Jauru, deposição.

**Abstract.** The Jauru River is an important tributary for the northern Pantanal, and any change in it could harm the aquatic and terrestrial ecosystem of this floodplain. In this context, the research aimed to characterize the physical-environmental factors and morphological features of the upper course of the Jauru River, a tributary on the right bank of the Paraguay River in the state of Mato Grosso. Desk work for bibliographic review was used as methodological procedures; physical-environmental characterization and creation of thematic maps of morphological features. The research results revealed the identification of 62 distinct morphological features, ranging from sediment bars, bays, artificial channels, river corridors, islands, lakes, lagoons and abandoned meanders.

**Key-words:** Pantanal, Jauru River, deposit.

## 1. Introdução

As bacias hidrográficas são transformadas espaço-temporalmente pelos rios, que são seus agentes mais importantes da paisagem (Christofoletti, 1980). A dinâmica natural e as atividades humanas podem influenciar esses rios, e qualquer mudança neles acarreta impactos na bacia como um todo. Carmo e Silva (2010) destacam a necessidade cada vez mais da preservação, recuperação e utilização de forma adequada dos recursos hídricos.

Riccomini et al. (2009), ressalta que os rios são compreendidos, de maneira geral, como cursos naturais de água doce, apresentando canais bem definidos e fluxo permanente ou intermitente em direção a um oceano, lago, ou outro rio. Além disso, destaca-se que, devido à sua capacidade de promover erosão, transporte e deposição. Os rios desempenham um papel essencial como agentes de transformação na paisagem dos continentes, influenciando continuamente as características do relevo. Stevaux e Latrubesse (2017) destacam a importância dos estudos geomorfológicos, especialmente os trabalhos dos rios para a esculturação da paisagem ao longo do tempo.

Nesse contexto, Christofoletti (1980) pontua que os rios são agentes fundamentais no transporte de materiais intemperizados das áreas elevadas para as mais baixas e dos continentes para o mar, sendo sua importância capital entre todos os processos morfogenéticos.

A fisionomia do rio, ao longo de seu perfil longitudinal, pode exibir padrões retilíneo, anastomosado e meândrico, sendo resultado do ajuste do canal à sua seção transversal. Essa configuração geométrica é influenciada por diversas variáveis, como descarga líquida, carga sedimentar, declive, largura e profundidade do canal, velocidade do fluxo e rugosidade do leito (Guerra, 1994).

Conforme destacado por Stevaux e Latrubesse (2017), o transporte fluvial ocorre devido ao impacto intenso e constante das águas do canal. Esse processo faz com que o material presente na água seja fragmentado em pequenas partículas de sedimentos. Essas partículas diluídas são transportadas pelo canal, impulsionadas pela força gravitacional, até que a velocidade do fluxo diminua, permitindo que as partículas de sedimentos se depositem em algum ponto do rio, resultando na formação de bancos de areia.

As formas de relevo em ambientes fluviais estão intrinsecamente ligadas aos processos de sedimentação e erosão, onde a carga detrítica transportada pelos cursos de água, seja em suspensão ou nas proximidades da superfície do leito, se deposita conforme condições temporais e espaciais diversas. A evolução da morfogênese fluvial ao longo do tempo pode conduzir à formação de terraços fluviais e à configuração de vales fluviais. A análise abrangente das formas topográficas em ambientes fluviais engloba desde microformas no canal, até aquelas de grandeza correspondente aos vales (Christofoletti, 1981).

Assim, as feições morfológicas são oriundas da própria dinâmica fluvial do rio (Justiniano et al., 2010) e, podem ser desestabilizadas (desaparecerem ou aumentarem) conforme os tipos de uso. Na estiagem os sedimentos são depositados no canal e na planície de inundação, o que originam as barras lateral ou central, e com o tempo formam-se ilhas fluviais, fontes de grande



acumulação sedimentológica (Coelho, 2007).

Pelech (2021, p. 3) apresenta discussões sobre as pesquisas, as metodologias e as formas de classificação das feições morfológicas desde o seu aparecimento e evolução, conforme desígnios ou especificidade de cada área. E tendo como objetivos o “reconhecimento do funcionamento dos rios; associação entre as feições geomorfológicas fluviais e os respectivos habitats de comunidades de organismos, numa interface com a ecologia; e a restauração (e/ou reabilitação, recuperação e propostas afins) fluvial, em um caráter mais aplicado”.

Nesse sentido, pontua-se a importância de conhecer o processo do ciclo geográfico dos sistemas fluviais (erosão, transporte e deposição) para entender a dinâmica do processo que reconfiguram ou modelam os ambientes fluviais conforme a escala temporal e sazonal, contribuindo com a formação, evolução ou migração de feições morfológicas.

## 2. Objetivo

Assim, a pesquisa teve como objetivo caracterizar os fatores físicos-ambientais e as feições morfológicas do alto curso do rio Jauru, afluente da margem direita do rio Paraguai no estado de Mato Grosso.

## 3. Material e Métodos

### 3.1. Área de Estudo

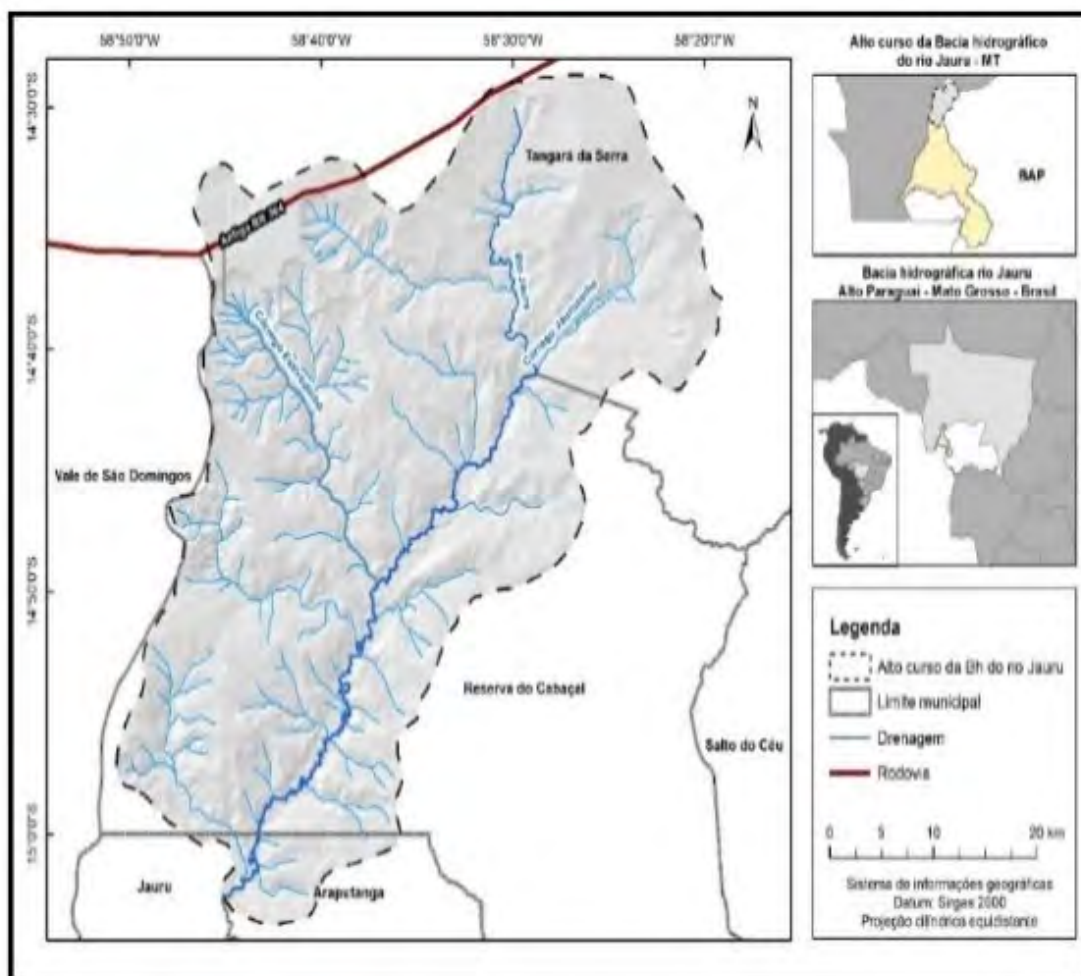
A área de estudo corresponde ao alto curso da bacia hidrográfica do rio Jauru localizadas aproximadamente no quadrante sobre as coordenadas geográficas 14° 30' 30" a 15° 00' 30" de latitude Sul e 58° 20' 00" a 58° 50' 00" da longitude Oeste. O Datum de referência geográfica corresponde ao SIRGAS 2000 sobre a zona 21 Sul de meridiano central 57°. A confecção do mapa foi estabelecida sobre a projeção cilíndrica equidistante. O Perímetro da área de estudo apresenta 1.968,89 km e área de 217,19 km<sup>2</sup> (**Figura 1**).

De acordo com Souza et al. (2014), os municípios banhados pelo rio Jauru são: Jauru, Glória D'Oeste, Indiavaí, Figueirópolis D'Oeste, Porto Esperidião, Araputanga, Cáceres, São José dos Quatro Marcos, Mirassol D'Oeste, Curvelândia, Barra do Bugres e Tangará da Serra. Além disso, os municípios inteiramente contidos nesta bacia hidrográfica são: Jauru, Indiavaí, Glória D'Oeste, Figueirópolis D'Oeste e Porto Esperidião.

Foram identificados em termos de vegetação pelo IBGE (2023) a Savana Florestada, Floresta Estacional Sempre Verde Submontana, Savana Arborizada com Floresta de Galeria, Área Antrópica (quando predominante), Floresta Estacional Sempre Verde Aluvial com Dossel Emergente e Savana Parque sem Floresta de Galeria (**Tabela 1**).

Em geomorfologia conforme o IBGE (2023), destacam-se: Chapada dos Parecis, Planalto dos Parecis, Planícies e Terraços Fluviais. Quanto à geologia, foi identificada a Cobertura detrítico-laterítica cenozoica, bem como sedimentos da formação Utariti e rochas ígneas metamorfizadas do Grupo Alto Guaporé. Na pedologia, Argissolo Vermelho Eutrófico, Organossolo Háplico Sápico, Neossolo Quartzarênico Órtico e Latossolo Vermelho Distrófico.

De acordo com Marostega (2012), o clima na região é do tipo Aw, caracterizado como tropical sub-úmido. Este clima é marcado por duas estações distintas: uma estação chuvosa, que ocorre de outubro a abril, e uma estação seca, que vai de maio a setembro. No entanto, há variações na sua duração e intensidade. Durante a maior parte do ano, as temperaturas são elevadas, frequentemente ultrapassando os 35°C. Entretanto, episódios de um fenômeno conhecido como friagem são comuns nos meses de junho e/ou julho, quando as temperaturas caem para 10°C ou menos.



**Figura 1.** Mapa de localização do alto curso do rio Jauru, Mato Grosso.

Fonte: ANA (2008). Organizado pelos autores (2023).

**Tabela 1.** Caracterização da vegetação, geomorfologia, geologia e pedologia no Alto Curso do Rio Jauru.

Vegetação	Geomorfologia	Geologia	Pedologia
Savana Florestada	Chapada dos Parecis	Cobertura Detrito-Laterítica Neogênica	Argissolo Vermelho Eutrófico
Floresta Estacional Sempre Verde Submontana	Planalto dos Parecis	Utiariti	Organossolo Háptico Sáprico
Savana Arborizada com floresta-de-galeria Área Antrópica (quando predominante)	Planícies e Terraços Fluviais	Alto Guaporé	Neossolo Quartzarênico Órtico
Floresta Estacional Sempre Verde Aluvial com dossel emergente			Latossolo Vermelho Distrófico
Savana Parque sem floresta de-galeria			

Fonte: IBGE (2023). Organizado pelos autores (2023).

### 3.2. Procedimentos Metodológicos

Foram realizados levantamentos bibliográficos sobre a temática em livros, artigos e revistas especializadas. Para a caracterização geoambiental (solo, formação geológica, vegetação, clima e hidrografia), foi consultado o projeto RADAMBRASIL (1982) e EMBRAPA Solos (1999).

Para elaborar o mapa de localização, foi utilizado o Datum de referência geográfica SIRGAS 2000, na zona 21 Sul com meridiano central 57°, sobre uma projeção cilíndrica equidistante. Os dados do perímetro e a área foram obtidos na Agência Nacional de Águas (ANA). Utilizando um software de Sistema de Informações Geográficas (SIG), no ArcGIS, os dados cartográficos foram processados e o mapa foi elaborado de acordo com as especificações fornecidas.

Foi realizado o levantamento de informações de delimitação de polígonos Google Earth Pro sobre as ilhas fluviais e barras (central e lateral). Cada feição foi contabilizada separadamente, para cálculo da área em km<sup>2</sup> e m<sup>2</sup> para ilhas e barras, respectivamente.

A confecção do mapa de feições morfológicas foi realizada utilizando o Google Earth Pro, na disponibilidade de imagens, em alta resolução, datada em junho de 2015. A vetorização das feições ao longo no canal fluvial, de aproximadamente 35,62 km<sup>2</sup>, ocorreu utilizando a ferramenta de polígono do software já mencionado.

Após a identificação e vetorização das barras, ilhas, baías, lagos, lagoa, meandros abandonados, canal artificial, foi exportado para dbGeo próprio em formato \*.kml e depois importado para o ArcGIS utilizando a função kml to layer disponível no diretório toolboxes\ system toolboxes\conversion tools.tbx\from kml\kml to layer. Posteriormente, foi feito o processamento dos dados, quantificando as feições e o tamanho da área respectivamente. Do mesmo modo, foram atribuídas cores para representação visual dos dados mapeados.

Os dados básicos foram submetidos a pós-processamento, sendo a elaboração do layout realizada no software ArcGIS 10.8 sob licença. A composição final do layout seguiu as diretrizes cartográficas estabelecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (Silva; Freitas, 1998).

### 4. Resultados e Discussão

O corredor fluvial do alto curso do rio Jauru abrange uma área significativa de 28.573.887,36 m<sup>2</sup>. Dentre as feições mapeadas no corredor fluvial na região do alto curso do rio Jauru, destacam-se barras de sedimentos que evidenciam processos de transporte e deposição; lagoas naturais e artificiais, que desempenham papéis importantes na hidrologia local; a rede de drenagem que organiza o escoamento superficial na área; ilhas que surgem como resultado da dinâmica fluvial; e canais artificiais construídos para diversos fins, como drenagem de áreas alagadas ou navegação (**Figura 2**).

Em escala regional destacam as pesquisas de Carvalho e Souza (2020) sobre as feições morfológicas no corredor fluvial do rio Paraguai na cidade de Cáceres, Lima et al. (2021, p. 9) também identificaram no rio Cabaçal várias feições morfológicas ao longo da escala temporal com o “(surgimento ou desaparecimento, redução ou aumento de dimensão de lagoas, baías, barras de sedimentos, ilhas fluviais)”. E Fernandes et al. (2023) com os estudos da evolução morfológica e depósitos de canais no rio Sepotuba, ambos rios citados afluentes do rio Paraguai no Pantanal mato-grossense.

Entre as feições identificadas no rio Jauru no Trecho 1 (**Figura 2**) destacam-se as barras de sedimentos (BS16, BS15, BS07, BS06, BS05, BS04, BS03, BS02, BS01), indicativas de processos de deposição e sedimentação ao longo do tempo. As baías (BA09, BA08, BA07, BA06, BA05, BA04, BA03, BA02, BA01), funcionam como áreas de captação de água, desempenhando um papel importante na regulação do fluxo hídrico regional (**Figura 3**).



**Figura 2.** Trecho 1, no alto curso do rio Jauru, Mato Grosso.  
Fonte: Google Earth (2015). Organizado pelos autores (2023).

Os lagos (LG04, LG03, LG01), e lagoas (LG03), servem como habitats aquáticos fundamentais para a fauna local. Os meandros abandonados (MA03, MA02, MA01), e as ilhas (BA07, BA06, BA08), são evidências da evolução do rio e contribuem para a diversidade do



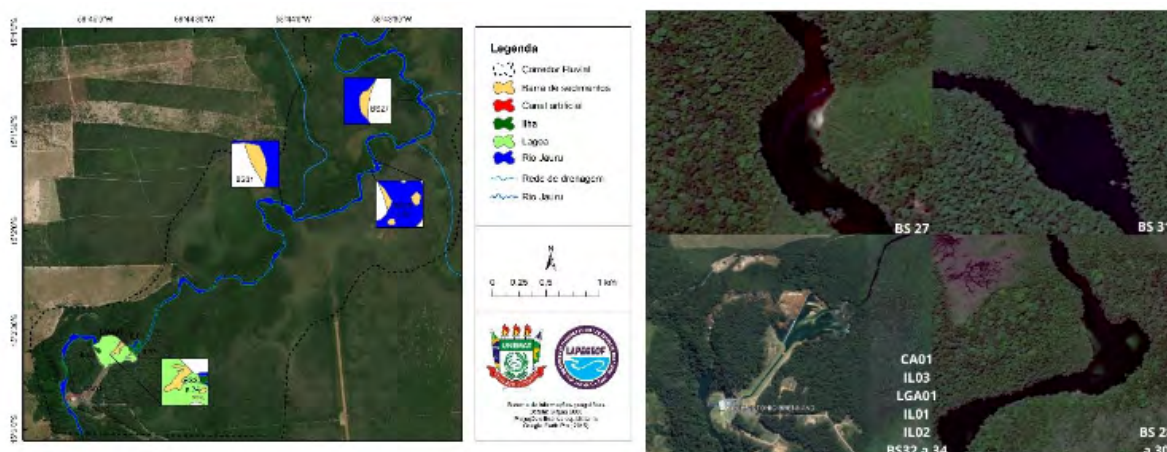
**Figura 3.** Trecho 2, no alto curso do rio Jauru, Mato Grosso.  
Fonte: Google Earth (2015). Organizado pelos autores (2023).

ambiente. As feições identificadas na região, correspondentes à Feição M01, apresentam uma variedade de características geomorfológicas significativas (Figura 3).

Além disso, a identificação de lagos naturais (LG09, LG07, LG05 e LG06), sugere uma diversidade de ambientes aquáticos na região, com potencial importância para a biodiversidade local e para atividades humanas como pesca e recreação, ressaltando a relevância desses ecossistemas na sustentabilidade ambiental e socioeconômica da área do alto curso do rio Jauru (Figuras 2 e 3).

As barras de sedimentos (BS26, BS25, BS24, BS23, BS22, BS20, BS19, BS18, BS21 e BS17), representam depósitos de sedimentos ao longo do curso do rio Jauru, indicando processos de erosão e deposição ativos na área. Essas barras podem influenciar o padrão de fluxo do rio e criar habitats únicos para a vida aquática (**Figura 4**).

Entre essas feições, destacam-se as barras de sedimentos (BS34, BS31, BS28, BS27). As ilhas (IL03, IL02, IL01), contribuem para a diversidade do ambiente e servem como habitats para a fauna local. O canal artificial (CA01) representa uma intervenção humana na paisagem



**Figura 4.** Trecho 3, no alto curso do rio Jauru, Mato Grosso.  
Fonte: Google Earth (2015). Organizado pelos autores (2023).

com possíveis implicações na dinâmica fluvial da região (**Figura 4**).

Em relação as baías a BA02 possui área de 1.170,17 m<sup>2</sup>, apresentando uma extensão menor em comparação com a BA01; mesmo assim, representa uma área substancial dentro do corredor fluvial. Sua localização e tamanho podem desempenhar um papel importante na dinâmica hidrológica e na ecologia da região. A BA03 registrou em 2015, área era de 1.661,93 m<sup>2</sup> (**Tabela 2**).

A BA04 possui área de 579,44 m<sup>2</sup>. Apesar de sua extensão, se comparada com as outras citadas, pode desempenhar um papel importante na captação e drenagem de água na região circundante (**Tabela 2**). A BA05 destaca-se como a maior baía dentro do corredor fluvial, com área de 10.230,63 km<sup>2</sup>. Sua vasta extensão sugere um sistema fluvial de grande porte,

**Tabela 2.** Área da feição baías.

Feição	Quantificação	Áreas em m <sup>2</sup>
Baía	BA01	2.450,46
	BA02	1.170,17
	BA03	1.661,93
	BA04	579,44
	BA05	10.230,63
	BA06	1.059,06
	BA07	2.199,67
	BA08	637,63
	BA09	164,93

Fonte: Google Earth (2015). Organizado pelos autores (2023).

com uma biodiversidade variada (Tabela 3). A BA06 corresponde a 1.059,06 m<sup>2</sup> de área. Enquanto a BA07 apresentou 2.199,67 m<sup>2</sup> de área, em termo de dimensão, foi a terceira identificada dentro do corredor fluvial (Tabela 2).

A BA08 registrou 637,63 m<sup>2</sup> de área. Essa baía é considerada de tamanho intermediário dentro do corredor fluvial. Sua área pode abrigar uma combinação de atividades humanas e recursos naturais, exigindo uma abordagem cuidadosa para sua gestão e conservação. A BA09 apresentou a menor área, totalizando 164,93 m<sup>2</sup>. Essa baía ainda assim desempenha um papel importante na conectividade hidrológica.

As barras de sedimentos identificadas na região apresentam uma ampla variedade de áreas. Destaca-se a barra de sedimentos 06, com uma extensão significativa de 902,17 m<sup>2</sup>, indicando uma acumulação substancial de sedimentos influenciando pela dinâmica fluvial. Outras áreas importantes incluem a barra de sedimentos 04 e 08, com área de 681,67 m<sup>2</sup> e 351,19 m<sup>2</sup>, respectivamente (Tabela 3).

Enquanto isso, áreas menores, como a barra de sedimentos (BS15), com 35,74 m<sup>2</sup>, e a 02, com 82,30 m<sup>2</sup>, também contribuem para a complexidade do ambiente fluvial, mesmo que em menor escala (Tabela 3).

**Tabela 3.** Feição barras de sedimentos.

	Barra de sedimentos	Áreas km <sup>2</sup>		Barra de sedimentos	Áreas m <sup>2</sup>
	BS01	73,04		BS18	123,97
	BS02	82,30		BS19	73,63
	BS03	84,28		BS20	120,20
	BS04	681,67		BS21	90,36
	BS05	127,15		BS22	203,17
	BS06	902,17		BS23	185,01
Feição	BS07	78,05	Feição	BS24	218,33
	BS08	351,19		BS25	188,67
	BS09	244,46		BS26	104,00
	BS10	92,89		BS27	317,85
	BS11	110,70		BS28	309,30
	BS12	135,66		BS29	247,19
	BS13	158,15		BS30	109,86
	BS14	218,91		BS31	199,32
	BS15	35,74		BS32	6.164,15
	BS16	104,22		BS33	524,13
	BS17	122,54		BS34	335,59

Fonte: Google Earth (2015). Organizado pelos autores (2023).

Destaca-se o canal artificial (CA01), com uma área de 5.419,71 m<sup>2</sup>, representando uma intervenção antrópica da paisagem. Enquanto as ilhas mapeadas, como IL01, IL02 e IL03, com áreas respectivas de 3.730,41 m<sup>2</sup>, 1.407,65 m<sup>2</sup> e 2.221,93 m<sup>2</sup>, contribuem para a biodiversidade e oferecem habitats únicos para a fauna local (Tabela 4).

Os lagos e lagoas, desde LG01 até LG09 e LGA01, apresentam uma ampla gama de tamanhos, destacando-se LGA01, com uma área impressionante de 72.437,19 km<sup>2</sup>, proporcionando uma

diversidade de habitats aquáticos. Os meandros abandonados (MA01, MA02, MA03), revelam a evolução do curso do rio ao longo do tempo, com áreas variando de 3.832,23 m<sup>2</sup> a 26.552,67 m<sup>2</sup> (Tabela 4).

**Tabela 4.** Registro de outras Feições identificadas.

Feições	Identificações	Área em m <sup>2</sup>
Canal artificial	CA01	5.419,71
Corredor Fluvial	Corredor Fluvial	28.573.887,36
Ilha	IL01	3.730,41
Ilha	IL02	1.407,65
Ilha	IL03	2.221,93
Lago	LG01	1.006,27
Lago	LG02	21.421,55
Lago	LG03	1.208,75
Lago	LG04	571,21
Lago	LG05	1.381,11
Lago	LG06	5.960,52
Lago	LG07	2.735,96
Lago	LG08	110,29
Lago	LG09	236,63
Lagoa	<u>LGA01</u>	72.437,19
Meandro abandonado	MA01	26.552,67
Meandro abandonado	MA02	3.832,23
Meandro abandonado	MA03	11.078,52

Fonte: Google Earth (2015). Organizado pelos autores (2023).

## 5. Conclusões

Considerando os dados analisados observam-se aumentos moderados em áreas de Formação Florestal e Áreas não vegetadas, no entanto, os resultados não indicam uma recuperação ambiental, e sim uma crescente degradação nessa área, verificado na evolução das feições morfológicas identificadas.

Portanto, é essencial adotar estratégias eficazes de gestão e conservação ambiental, buscando um equilíbrio entre o desenvolvimento socioeconômico e a preservação dos recursos naturais. Isso inclui a implementação de políticas que incentivam práticas sustentáveis de uso da terra, o fortalecimento da legislação ambiental e o engajamento da sociedade civil e do setor privado na promoção da conservação da natureza. Só assim será possível garantir um futuro ambientalmente sustentável para a região e suas comunidades.

## 6. Referências

- ANDRADE, L. N. P. S.; CUNHA-SANTINHO, M. B.; ANDRADE, F. J. E. S. Mapeamento e classificação das feições morfológicas no médio curso do rio Teles Pires, Mato Grosso. **Revista Equador**. V. 12. N. 23. 2023. Disponível em: <<https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/14119>>. Acesso em: 03 de jun. 2024.
- CARMO, J. P. de A.; SILVA, P. D. D.'O. A bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão. **XVI Encontro Nacional dos Geógrafos**, 2010.
- CARVALHO, L. R.; SOUZA, C. A. Caracterização de feições morfológicas no corredor fluvial do rio Paraguai

próximo ao perímetro urbano da cidade de Cáceres, Mato Grosso. **Revista Equador**. V. 9, n. 1, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/9477>. Acesso em: 12 de Set. 2024.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Blücher, 1980. cap. 6. p. 65-98.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Editora Blücher, 1981.

COELHO, A. L. N. **Alterações hidrogeomorfológicas no médio-baixo Rio Doce/ES**. 2007. Tese de Doutorado. PhD Thesis. Universidade Federal Fluminense.

EMBRAPA. Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, 1999.

FERNANDES, V. S. S.; VIEIRA, E. S.; LEANDRO, G. R. S.; HURTADO, M. D. S. Evolução morfológica e depósitos de canal no baixo curso do rio Sepotuba – Mato Grosso. **Revista Geoaraguaia**. V. 13. N. Especial. 2023. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/15273>. Acesso em: 03 de mai. 2024.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Bertrand Brasil, 1994.

JUSTINIANO, L. A. A.; SOUZA, C. A. Evolução das margens e transporte de sedimentos no rio Paraguai entre a foz do rio Sepotuba e a foz do rio Cabaçal. **Gestão e educação ambiental: água, biodiversidade e cultura**, v. 3, p. 62-89, 2010.

LIMA, C. S.; LIMA, T. E.; SOUZA, C. A.; VIEIRA, M. E. S. Mudanças feições morfológicas no baixo curso do rio Cabaçal, afluente da margem esquerda do rio Paraguai, Mato Grosso. **Research, Society and Development**. V.10, n. 12. 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20226>. Acesso em: 12 de Set. 2024.

PELECH, A. S. Classificações geomorfológicas de rios: uma breve discussão teórica. **William Morris Davis – Revista de Geomorfologia**. V. 2, n. 2, 2021. Disponível em: <https://williammorrisdavis.uvanet.br/index.php/revistageomorfologia/article/view/126>. Acesso em: 10 de Set. 2024.

PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**. Disponível em: [https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR). Acesso em 02 de dez. 2023.

RICCOMINI, C. et al. **Processos fluviais e lacustres e seus registros**. Decifrando a Terra, p. 306-333, 2009.

SILVA, R. V.; DE SOUZA, C. A. **Ocupação e degradação na margem do Rio Paraguai em Cáceres, Mato Grosso**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v. 8, n. 1, 2012.

SILVA, G. de J. O. et al. Estado de conservação das áreas de preservação permanente de nascentes da bacia hidrográfica do rio Jauru/MT-Brasil. **Cerrados**. v. 18, n. 1, p. 3-22, 2020.

SOUZA, C. A.; SOUSA, J. B.; ANDRADE, L. N. P. S. Bacia hidrográfica do rio Jauru e seus afluentes. **Enciclopédia Biosfera**. v. 10, n. 18, 2014.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. Oficina de Textos, 2017.

8, Part 1, p. 186-188.



## Uso e Ocupação da Terra no Alto Curso do Rio Jauru-Pantanal Norte, Mato Grosso

Vinicius de Souza Silva<sup>1</sup>  
Leila Nalis Paiva da Silva Andrade<sup>2</sup>  
Fabio Junior do Espírito Santo Andrade<sup>3</sup>  
Alfredo Zenén Dominguez Gonzalez<sup>4</sup>  
João Henrique da Silva Massavi<sup>5</sup>  
Lourena de Araújo Félix<sup>6</sup>

Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Av. São João, s/nº – Cavalhada II, Cáceres – MT, Brasil  
{vinicius.silva<sup>1</sup>, leilaandrade<sup>2</sup>, fabio.andrade<sup>3</sup>, joao.henrique<sup>5</sup>, lourena.felix<sup>6</sup>}@unemat.br  
alfredozdg@gmail.com <sup>4</sup>

**Resumo.** A pesquisa teve como objetivo identificar os tipos de uso da terra no alto curso do rio Jauru, afluente da margem direita do rio Paraguai no estado de Mato Grosso. Foram utilizados como procedimentos metodológicos trabalho de gabinete para revisão bibliográfica; levantamento no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE dos dados populacionais e elaborados mapas temáticos sobre o uso/ocupação da terra do alto curso do rio Jauru em anos distintos (1985 e 2022). Verificou-se que houve a substituição da vegetação para algumas práticas humanas, em destaque, as construções das PCHs, da usina hidrelétrica e o aumento do cultivo de soja na região que compromete a dinâmica fluvial do rio Jauru e consequentemente o Pantanal mato-grossense.

**Palavras-chave:** Pantanal, Rio Jauru, Atividades antrópicas.

**Abstract.** The research aimed to identify the types of land use in the upper course of the Jauru River, a tributary on the right bank of the Paraguay River in the state of Mato Grosso. Desk work for bibliographic review was used as methodological procedures; survey at the Brazilian Institute of Geography and Statistics – IBGE of population data and elaborate thematic maps on the use/occupation of land in the upper reaches of the Jauru River in different years (1985 and 2022). It was found that there was a replacement of vegetation for some human practices, in particular, the construction of PCHs, the hydroelectric plant and the increase in soybean cultivation in the region, which compromises the fluvial dynamics of the Jauru River and consequently the Pantanal of Mato Grosso.

**Key-words:** Pantanal, Jauru River, Anthropogenic activities.

## 1. Introdução

As áreas de contribuição do Pantanal possuem condições hidrogeológicas altamente A água é um recurso extremamente importante para manutenção da vida de todos os seres vivos do planeta (LORANDI e CANÇADO, 2002). Freire et al. (2014, p. 123) reforça que “a importância da água para a vida é inegável. Todos os organismos precisam de água para sobreviver e a sua disponibilidade é um dos fatores mais importantes na estruturação dos ecossistemas”.

Tundisi (2014) complementa que a “água é recurso renovável essencial à vida no planeta Terra; seu ciclo tem continuado por séculos e milênios, sustentando a biodiversidade e mantendo em funcionamento ciclos nos ecossistemas, comunidades e populações”.

Neste sentido, Almeida Filho (2008), destaca que as atividades humanas provocam alterações severas, que causam consequências às vezes irreversíveis ao ambiente, especialmente por empregar técnicas inadequadas. De acordo com Souza et al (2012), as atividades antrópicas como a retirada da vegetação original são predominantemente responsáveis por comprometerem os canais fluviais.

Nas palavras de Vanzela, Hernandez e Franco (2010) o principal resultado das atividades agrícolas é o assoreamento, que não só degrada o meio ambiente, mas altera também a qualidade da água, bem como a biodiversidade de espécies vegetais e animais. Diminui a percolação e o declínio da velocidade e do fluxo da água, e conseqüentemente uma redução na disponibilidade hídrica.

Marostega (2012) destaca que o processo de povoamento impulsionou as primeiras atividades agroindustriais na região do alto curso do rio Jauru. Vale ressaltar ainda que a construção das primeiras rodovias viabilizou o transporte de mercadorias produzidas no campo, mas acabou gerando impactos significativos, incluindo a modificação do ambiente natural e a geração de empregos em um contexto econômico, social e ambiental.

De acordo com Souza et al. (2012) devido os tipos de uso da terra, a bacia hidrográfica do rio Jauru passou por mudanças na no seu meio físico. A ocupação na década de 1950 foram intensificadas especialmente para o cultivo e lavoura de subsistência, o que provocou o desmatamento da área (Andrade et al., 2012).

## 2. Objetivo

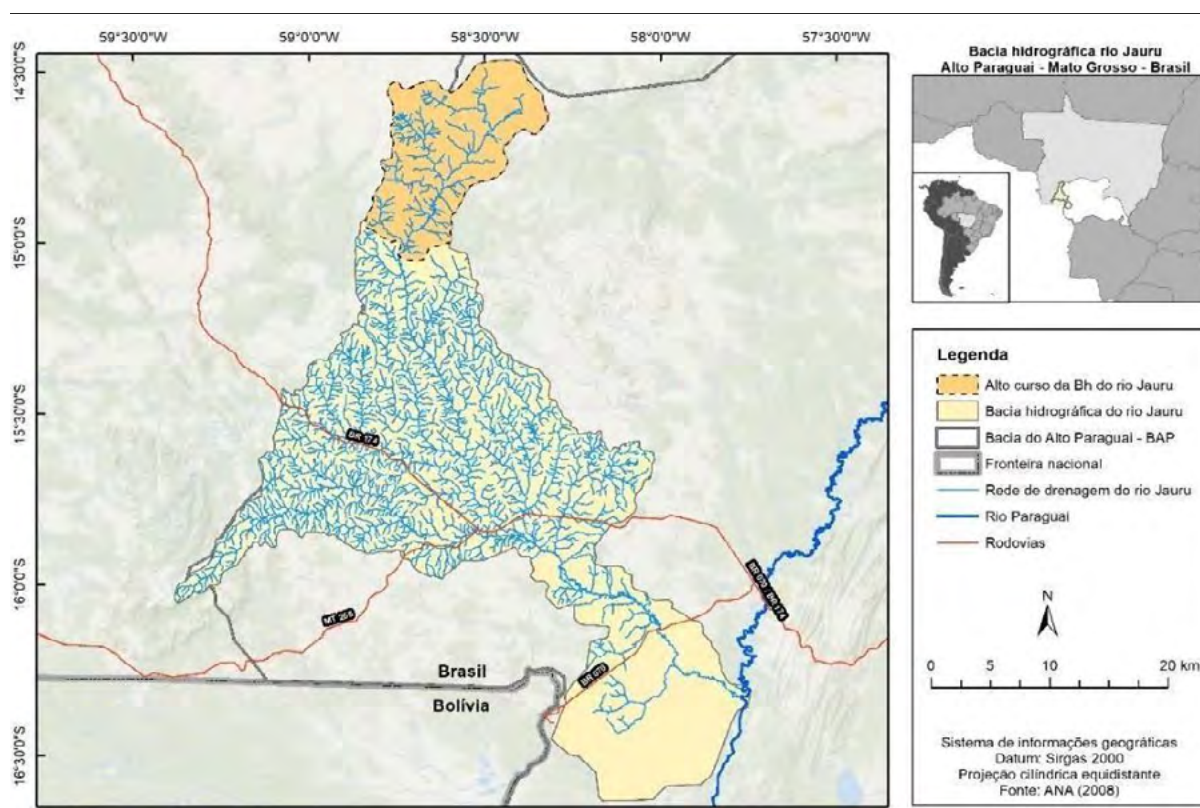
Assim, a pesquisa teve como objetivo identificar os tipos de uso da terra no alto curso do rio Jauru, afluente da margem direita do rio Paraguai no estado de Mato Grosso.

## 3. Material e Métodos

### 3.1. Área de Estudo

A área de estudo corresponde ao alto curso da bacia hidrográfica do rio Jauru localizadas aproximadamente no quadrante sobre as coordenadas geográficas 14° 30' 30" a 15° 00' 30" de

latitude Sul e 58° 20' 00" a 58° 50' 00" da longitude Oeste (**Figura 1**).



**Figura 1.** Mapa de localização do alto curso do rio Jauru, Mato Grosso. Fonte: ANA (2008). Organizado pelos autores (2023).

De acordo com Souza et al. (2014), os municípios banhados pelo rio Jauru são: Jauru, Glória D'Oeste, Indiavaí, Figueirópolis D'Oeste, Porto Esperidião, Araputanga, Cáceres, São José dos Quatro Marcos, Mirassol D'Oeste, Curvelândia, Barra do Bugres e Tangará da Serra. Além disso, os municípios inteiramente contidos nesta bacia hidrográfica são: Jauru, Indiavaí, Glória D'Oeste, Figueirópolis D'Oeste e Porto Esperidião.

### 3.2. Procedimentos Metodológicos

Tendo em vista que classificação dos tipos de uso e cobertura foi realizada utilizando o sítio eletrônico do projeto MapBiomias coleção 8. Isso foi processado em nuvem com utilização de inteligência artificial – IA pelo método de Learn Machine, que permite classificar e comparar cada pixel para uma determinada classe, se o resultado for positivo há segmentação da classe, se o resultado for negativo é realizada a comparação com outra classe (MapBiomias, 2023).

Foram realizados levantamentos bibliográficos sobre a temática em livros, artigos e revistas especializadas. Para a caracterização geoambiental (solo, formação geológica, vegetação, clima e hidrografia), foi consultado o projeto RADAMBRASIL (1982) e EMBRAPA Solos (1999). Foi consultado ainda, o site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para levantamento das atividades econômicas e densidade populacional dos municípios inseridos no alto curso do rio Jauru.

Para elaborar o mapa de localização, foi utilizado o Datum de referência geográfica SIRGAS 2000, na zona 21 Sul com meridiano central 57°, sobre uma projeção cilíndrica equidistante. Os

dados do perímetro e a área foram obtidos na Agência Nacional de Águas (ANA). Utilizando um software de Sistema de Informações Geográficas (SIG), no ArcGis, os dados cartográficos foram processados e o mapa foi elaborado de acordo com as especificações fornecidas.

Foram elaborados mapas temáticos sobre o uso/ocupação do alto curso da bacia hidrográfica do rio Jauru em anos distintos (1985 e 2022). Os dois anos foram selecionados pelos seguintes motivos: 1985, por apresentar o início da colonização na região onde hoje fica a cidade de Jauru e 2022 para verificar as mudanças ocorridas devido às ações antrópicas. Os mapas foram confeccionados utilizando o software ArcGis para melhor avaliação dos pontos que foram observados.

## **4. Resultados e Discussão**

### **4.1. Processo de ocupação e atividades econômicas nos municípios do alto curso do rio Jauru**

Segundo Marostega (2012), com o aumento da população e das atividades produtivas, observa-se o surgimento de núcleos urbanos que, com o tempo, se transformam em sedes municipais. Essa transição é acompanhada pelo estabelecimento de indústrias voltadas para o beneficiamento dos produtos extrativistas, como serrarias, beneficiadoras de arroz, café, algodão, laticínios e frigoríficos. Mais recentemente, tem-se notado um crescimento expressivo das atividades do setor terciário, incluindo comércio e prestação de serviços nas áreas de educação e saúde. No entanto, persistem desafios significativos relacionados aos recursos disponíveis, à infraestrutura física e à gestão.

O município de Araputanga, situado no Estado de Mato Grosso, destaca-se por sua vasta extensão territorial, abrangendo uma área de 1.639,733 km<sup>2</sup>. Com base no último censo realizado em 2022 (IBGE), a população residente totalizava 14.786 pessoas, conferindo-lhe uma densidade demográfica de 9,02 habitantes por quilômetro quadrado. Em termos de potencialidade agrícola, cerca de 66,17% são considerados propício, 20,18% é restrito, bem como 12,95% é considerado moderado, e 0,7% é considerado fortemente restrito ao uso agrícola. O município destaca-se economicamente com um Produto Interno Bruto (PIB) a preços correntes de 655.136,564 reais. Esse valor é impulsionado principalmente pelo setor agropecuário, que contribui com R\$ 56.998,782, para o valor adicionado bruto. A indústria e os serviços também têm participação significativa, somando 248.916,757 e 175.754,392 reais, respectivamente.

Em termos de urbanização, dados de 2019 revelam que Araputanga possui uma área urbanizada de 6,09 km<sup>2</sup>. No que diz respeito ao saneamento básico, apenas 11,5% da população desfruta de acesso adequado ao esgotamento sanitário, enquanto a arborização das vias públicas alcança 59,7% e a urbanização dessas mesmas vias atinge 22,4%, conforme registrado em 2010 no IBGE. Informações sobre a população exposta a riscos não estão disponíveis. A nível territorial mais amplo, Araputanga está inserido na mesorregião do Sudoeste Mato-grossense e na microrregião de Jauru, de acordo com a divisão administrativa vigente em 2021. Esses dados oferecem uma visão abrangente da estrutura e características demográficas do município de Araputanga, fornecendo subsídios essenciais para análises e planejamento local.

Jauru, também em Mato Grosso, apresenta um PIB a preços correntes de R\$ 348.817,376, com uma forte contribuição da indústria, que adiciona R\$ 169.612,77 ao valor total. O setor agropecuário e os serviços também desempenham papéis importantes na economia local, com valores de R\$ 47.838,028 e R\$ 53.090,44, respectivamente (IBGE, 2021). O município de Jauru, situado no estado de Mato Grosso, abrange uma área territorial de 1.345,411 km<sup>2</sup>. Sua densidade demográfica é de 6,22 habitantes por quilômetro quadrado, totalizando

uma população de 8.367 pessoas (IBGE, 2022). Em relação à área urbanizada, dados de 2019 indicam que Jauru possui 3,52 km<sup>2</sup>. Quanto à infraestrutura, apenas 10,8% da população possui acesso adequado ao esgotamento sanitário, enquanto a arborização de vias públicas atinge um índice de 91% e a urbanização das mesmas chega a 14,5%, conforme registrado (IBGE, 2010). Em termos de potencialidades agrícolas registra 70,18% muito boa, 1,17% considerado boa, 14,49% moderado, 12,85% considerado restrito ao uso, e 1,31% fortemente restrito ao uso agrícola.

O município de Tangará da Serra, localizado no estado de Mato Grosso, registrou uma população de 106.434 pessoas no último censo realizado em 2022, resultando em uma densidade demográfica de 9,15 habitantes por quilômetro quadrado. Seu Produto Interno Bruto (PIB) per capita em 2021 foi de R\$ 51.892,66 reais. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) em 2010 foi de 0,729. A área urbanizada do município, conforme informações de 2019, abrange 30,97 km<sup>2</sup>. Em relação à infraestrutura básica, 38,7% da população possui acesso adequado ao esgotamento sanitário, enquanto a arborização de vias públicas atinge um índice de 51,3% e a urbanização das mesmas é de 11,8%, conforme registrado no último censo (IBGE, 2010). Em termos de potencialidades agrícolas 3,5 muito boa, 49,53 boa, e 26,53, restrito, 19,15 moderado, e 1,27 fortemente restrito.

Por sua vez, Tangará da Serra se destaca com um expressivo PIB a preços correntes de R\$ 5.585.258,742 reais. Este município mato-grossense possui uma economia diversificada, onde o setor de serviços, excluindo administração pública e saúde, é o principal motor, contribuindo com R\$ 2.044.547,107 reais. A indústria e a agropecuária também têm relevância, com valores de R\$ 735.980,433 e R\$ 1.448.813,005, respectivamente. Desta forma, o PIB per capita, Tangará da Serra lidera com 51.892,66 reais, seguido por Jauru com 41.639,89 reais e Araputanga com 38.361,43 reais. Esses números refletem não apenas as diferenças econômicas entre os municípios, mas também suas respectivas estruturas industriais e produtivas (IBGE, 2010).

De acordo com os dados fornecidos pela Seplan, observa-se que o município de Tangará da Serra abarca uma área geográfica de 1.345,67 km<sup>2</sup>, com aproximadamente 1.136,82 km<sup>2</sup> de desmatamento acumulado até 2015, correspondendo a 84,48% de sua extensão territorial. É relevante destacar que os municípios de Araputanga, Jauru e Tangará da Serra estão situados no bioma Amazônia e Cerrado (IBGE, 2010).

#### **4.2. Análise espaço temporal dos tipos de uso da terra no alto curso do rio Jauru**

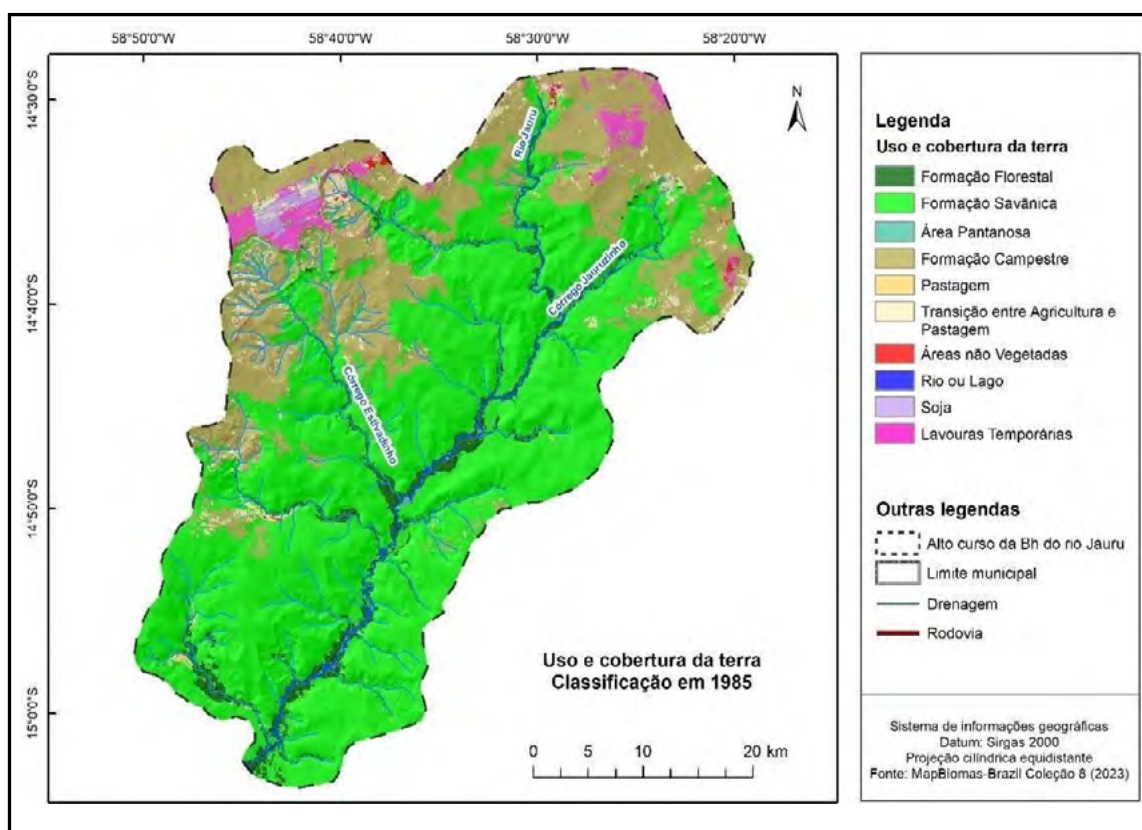
O corredor fluvial do alto curso do rio Jauru abrange uma área significativa de 28.573.887,36 m<sup>2</sup>, e é essencial para o funcionamento do ecossistema aquático. Durante o período em análise, que compreende os anos 1985 e 2022, ocorreram mudanças significativas no uso da terra e na cobertura vegetal, refletindo as dinâmicas socioeconômicas e ambientais. Por meio da análise de dados fornecidos é possível compreender as tendências e os impactos dessas transformações ao longo do tempo.

As áreas de Formação Florestal registraram um crescimento no ano de 2022 de 0,17% se comparada a 1985 (**Tabela 1**).

**Tabela 1.** Uso e cobertura da terra. Fonte: MapBiomias (2023). Organizado pelos autores (2023).

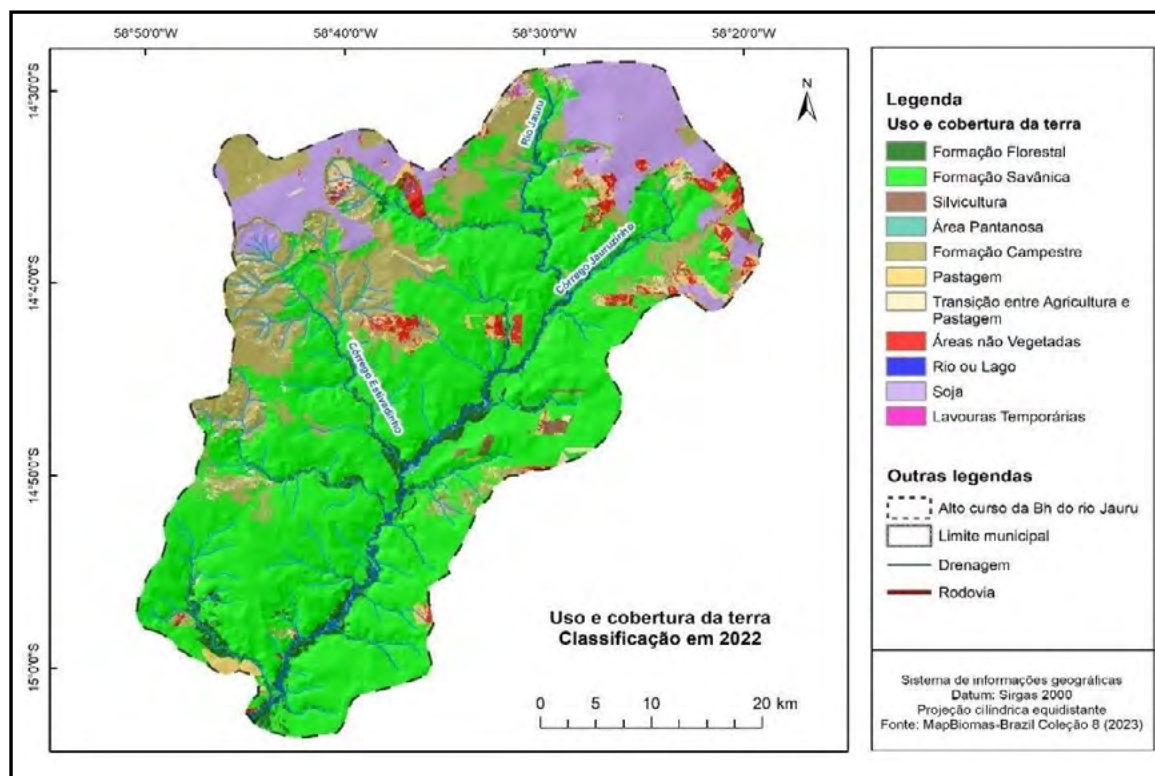
Perímetro (km)	Área (km <sup>2</sup> )			
	217,19		1.968,89	
Classe	1985		2022	
	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Formação Florestal	96,42	4,90	99,83	5,07
Formação Savânica	1.261,51	64,07	1.191,35	60,51
Silvicultura	----	----	8,25	0,42
Área Pantanosa	8,35	0,42	6,70	0,34
Formação Campestre	484,7	24,62	325,38	16,53
Pastagem	3,25	0,17	41,09	2,09
Trans. de Agricultura e Pastagem	50,49	2,56	44,61	2,27
Áreas não vegetadas	3,87	0,20	43,36	2,20
Rio ou Lago	4,08	0,21	0,55	0,03
Soja	9,5	0,48	206,68	10,50
Lavouras Temporárias	46,72	2,37	1,09	0,06
<b>Total:</b>	<b>1.968,89</b>	<b>100,00</b>	<b>1.968,89</b>	<b>100,00</b>

Enquanto às formações Savânica e Campestre, enfrentaram declínios significativos de 70,16 km<sup>2</sup> e 159,32 km<sup>2</sup>, respectivamente. Esses números indicam diminuição da área de cobertura vegetal devido o avanço do uso da terra, representando um desafio para a conservação da biodiversidade e dos ecossistemas naturais (**Figura 2 e Tabela 1**).



**Figura 2.** Mapa de uso e cobertura da terra – 1985 – alto curso do rio Jauru. Fonte: MapBiomias (2023). Organizado pelos autores (2023).

As áreas não vegetadas tiveram um aumento de 35,62 km (2% da área) no ano de 2022. Esse fator justifica-se pelo crescimento expressivo na área de cultivo de soja, que apresentou um aumento de 197,18 km<sup>2</sup> da área plantada em 2022. No ano de 1985 o plantio de soja registrou 9,5 km<sup>2</sup>. Além disso, a pastagem também registrou um aumento significativo da área de 37,84 km<sup>2</sup>, indicando a intensificação da criação de animais (**Figura 3 e Tabela 1**).



**Figura 3.** Mapa de uso e cobertura da terra – 2022 – alto curso do rio Jauru.  
Fonte: MapBiomas (2023). Organizado pelos autores (2023).

Os dados da **Tabela 1** mostram uma distribuição detalhada da cobertura do solo em 1985 e 2022, destacando mudanças significativas em várias categorias. Registrou em 2022 0,42% de área à silvicultura, devido à plantação de árvores para diversos fins, como produção de madeira.

A área da Formação Savânica e Campestre diminuíram, para atividades como agricultura, pastagem ou urbanização. Enquanto as áreas pantanosas e de rio ou lago, mostram uma diminuição em área, indicando uma redução nas áreas úmidas e corpos d'água. Isso é preocupante do ponto de vista ambiental, pois esses ecossistemas são importantes para a biodiversidade e para a regulação do ciclo da água.

Tanto a pastagem como a transição de agricultura aumentaram em área entre 1985 e 2022. Isso sugere uma expansão da agropecuária, refletindo mudanças nas práticas no uso da terra. Dentre as monoculturas desenvolvidas nesse trecho em estudo estão a soja e as lavouras temporárias, as quais tiveram aumentos significativos em área entre 1985 e 2022, especialmente a área dedicada à soja. Isso reflete o aumento da demanda por commodities agrícolas e a expansão da agricultura comercial na região, como apontado por (Neves, 2017).

Enquanto às áreas não vegetadas, elas tiveram um aumento notável entre 1985 e 2022, indicando mudanças na paisagem devido a fatores como urbanização, mineração ou degradação ambiental (áreas abandonadas). Nesse contexto Fernandes et al. (2023, p. 37) também

ressaltaram que no rio Sepotuba “o intenso processo de ocupação e uso do solo nas margens do rio Sepotuba gerou um aumento significativo de carga sedimentar transportada pelo canal nas últimas décadas, resultando na formação de depósitos de canal”.

Outra atividade humana que também contribui com mudanças na fisiografia do rio Jauru foram as construções de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs e a Usina Hidrelétrica – UHE. Esses empreendimentos hidroelétricos altera o canal e a dinâmica fluvial a montante e jusante. Nos estudos realizados no rio Teles Pires os pesquisadores destacaram que:

Com a construção da UHE Colíder acarretou problemas de ordem ambiental e biológica. De ordem fisiográfica ocorreu a mudança na largura, profundidade, velocidade implicando diretamente na vazão. Com o alagamento da área para o reservatório da usina, as margens e as ilhas ficaram submersas, pois a maioria das feições morfológicas na área do reservatório não foram retiradas, o que contribuiu com o desaparecimento da fauna local (Andrade et al., 2023, p. 502).

Nesse sentido, verifica-se que os tipos de uso da terra, especialmente de forma direta compromete a rede hídrica da bacia hidrográfica do rio Jauru. Mas pode-se identificar ainda que a forma de ocupação acelerada dos municípios comprometeu essa unidade de análise.

## 5. Conclusões

Considerando os dados analisados entre os anos de 1985 e 2022, é possível fazer algumas considerações sobre as mudanças no uso da terra e na cobertura vegetal na região em estudo. Observam-se aumentos moderados em áreas de Formação Florestal e Áreas não vegetadas, no entanto, os resultados não indicam uma recuperação ambiental, e sim uma crescente degradação nessa área

É preocupante notar os declínios significativos nas áreas de Formação Savânica e Formação Campestre, diminuindo uma queda na cobertura vegetal devido ao avanço do uso da terra, representando um desafio específico para a conservação da biodiversidade e dos ecossistemas naturais locais. Além disso, os dados revelam um crescimento expressivo na área de cultivo de soja e na expansão de pastagens, o que pode indicar uma intensificação das atividades agrícolas e pecuárias na região, com impactos negativos sobre a biodiversidade, os recursos hídricos e o equilíbrio ambiental.

## 6. Referências

- ALMEIDA FILHO, G. S. Processos erosivos urbanos. In: POLETO, C. (Org.). Ambiente e Sedimentos. Porto Alegre: ABRH, 2008. 404 p.
- ANDRADE, L. N. P. S.; CUNHA-SANTINHO, M. B.; ANDRADE, F. J. E. S. **Mapeamento e classificação das feições morfológicas no médio curso do rio Teles Pires, Mato Grosso**. Revista Equador, v. 12, n. 23, 2023. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/14119>. Acesso em: 03 jun. 2024.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412 p.
- FERNANDES, V. S. S.; VIEIRA, E. S.; LEANDRO, G. R. S.; HURTADO, M. D. S. **Evolução morfológica e depósitos de canal no baixo curso do rio Sepotuba – Mato Grosso**. Revista Georaguai, v. 13, n. especial, 2023. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/15273>. Acesso em: 03 mai. 2024.
- FREIRE, R.; BONIFÁCIO, C. M.; SCHNEIDER, R. M.; TAVARES, C. R. G. **Monitoramento das variáveis de qualidade das águas: um subsídio ao gerenciamento de recursos hídricos no estado do Paraná**. In: DIAS, L.; BENINI, S. M. (Orgs.). Estudos ambientais aplicados em bacias hidrográficas. Tupã: ANAP, 2014, Capítulo 7, p. 122-137.
- IBGE. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. 32 p. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes->



ambientais/15831-cobertura-e-uso-da-terra-do-brasil.html. Acesso em: 21 fev. 2024.

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. **Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas**. In: SCHIAVETTI, A. A.; CAMARGO, F. M. (Org.). *Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações*. Ilhéus, BA: Editus, 2002. p. 37-66.

MAROSTEGA, G. B. **Características físicas, ocupação territorial, atividades econômicas e indicadores hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Jauru – MT**. 2012. Dissertação (Mestrado). Universidade do Estado de Mato Grosso.

DA SILVA NEVES, S. M. A. et al. **Fragilidades Das Paisagens das Sub-Bacias do Rio Jauru, Mato Grosso-Brasil**. 2017.

PROJETO MAPBIOMAS. Coleção 8 da série anual de mapas de uso e cobertura da terra do Brasil. Disponível em: [https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR). Acesso em: 02 dez. 2023.

SOUZA, C. A.; SOUSA, J. B.; ANDRADE, L. N. P. S. **Bacia hidrográfica do rio Jauru e seus afluentes**. Enciclopédia Biosfera, v. 10, n. 18, 2014.

SOUZA, C. A. de et al. Bacia hidrográfica do rio Jauru e seus afluentes. In: SOUZA, C. A. de; SOUSA, J. B. de; ANDRADE, L. N. P. S (Org.). **Bacia hidrográfica do rio Jauru, Mato Grosso: dinâmica espacial e impactos associados**. São Carlos: RiMa Editora, 2012. p. 1-28.

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. **Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 1, p. 55-64, jan. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1415-43662010000100008>. Acesso em: 30 jul. 2024.

## Qualidade da água subterrânea em poços licenciados por Outorga na Alta e Média Bacia do Rio Cuiabá

Marinés Alejandra González Colina<sup>1</sup>

Renato Gatto de Moraes<sup>2</sup>

Peter Zeilhofer<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Núcleo Interdisciplinar de Estudos de Saneamento Ambiental da UFMT (NIESA)

R. Quarenta e Nove, 2367 - Boa Esperança

78060-900 - Cuiabá - MT, Brasil

{marinesalejandra.gc, renatogatto12}@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso

R. Quarenta e Nove, 2367 - Boa Esperança

78060-900 - Cuiabá - MT, Brasil

zeilhoferpeter@gmail.com

**Resumo.** A bacia hidrográfica do alto e médio rio Cuiabá apresenta uma diversidade de compartimentos hidrogeológicos, resultando em características físico-químicas e biológicas variáveis das águas subterrâneas. Poços rasos e profundos desempenham um papel importante no abastecimento para diversos usos, especialmente para o consumo humano. Neste estudo, avaliamos o único banco de dados institucional em nível estadual que contém registros sobre a qualidade da água, coletados durante os processos de licenciamento e outorga dos poços. A comparação com estudos anteriores revelou discrepâncias nas condições observadas de qualidade da água, o que atribuímos, em parte, ao fato de que os poços geralmente são amostrados apenas uma única vez durante o processo de implantação. Concluímos que o banco de dados possui limitações, sendo útil apenas para avaliações qualitativas preliminares, mas insuficiente para o desenvolvimento de modelos que representem de forma confiável as tendências geográficas e sua relação com as unidades hidrogeológicas. Portanto, consideramos essencial a implementação de um monitoramento sistemático para criar uma base de dados robusta, capaz de garantir, no futuro, um enquadramento confiável das águas subterrâneas e identificar eventuais riscos à segurança hídrica.

**Palavras-chave:** Aquíferos, poluição, disponibilidade hídrica, recursos hídricos.

**Abstract.** The upper and middle Cuiabá River basin features diverse hydrogeological compartments, resulting in variable physical-chemical and biological characteristics of the groundwater. Both shallow and deep wells are crucial for supplying water for various uses, particularly for human consumption. In this study, we evaluate the only state-level institutional database that contains records on water quality, collected during the licensing and granting processes for the wells. Comparisons with previous studies reveal inconsistencies in the observation of water quality conditions, which we partially attribute to the fact that wells are generally sampled only once during their implementation. We conclude that the database has limitations, allowing for preliminary qualitative assessments but not supporting the development of models that reliably represent geographical trends and their relationship with hydrogeological units. Therefore, we consider it essential to implement systematic monitoring to establish a database capable of ensuring a reliable framework for groundwater quality. This approach would also facilitate the diagnosis and prediction of future risks to water security.

**Key-words:** Aquifers, pollution, water availability, water resources.

## 1. Introdução

As áreas de contribuição do Pantanal possuem condições hidrogeológicas altamente diversificadas, que incluem desde rochas pré-cambrianas até sedimentos quaternários recentes (Assine et al., 2015), refletindo nas características físico-químicas das águas subterrâneas (Migliorini & Kimmelman, 1998). A bacia hidrográfica do alto e médio rio Cuiabá abrange regiões com baixa disponibilidade hídrica e mananciais intermitentes, além de bacias de contribuição maiores que 500 km<sup>2</sup> (NIESA, 2024), inclusive nas áreas urbanas de Cuiabá e Várzea Grande, a principal região metropolitana do estado de Mato Grosso. Dessa forma, o abastecimento na bacia hidrográfica depende, em parte, da disponibilidade de água subterrânea, tanto em quantidade quanto em qualidade.

Por outro lado, as informações sobre a qualidade das águas subterrâneas se restringem a levantamentos únicos realizados durante a instalação dos poços, dados cuja interpretação deve ser feita de forma conservadora para evitar conclusões precipitadas sobre as condições das águas subsuperficiais no estado.

## 2. Objetivo

Este estudo tem como objetivo principal realizar uma análise das informações contidas no único conjunto de dados oficial disponível sobre a qualidade da água subterrânea no estado de Mato Grosso, com ênfase na bacia do Alto e Médio Rio Cuiabá, uma das principais bacias hidrográficas do Pantanal setentrional.

## 3. Material e Métodos

Este estudo apresenta uma interpretação crítica do banco de dados sobre a qualidade da água subsuperficial em poços licenciados por Outorga e cadastrados como usos insignificantes (<10 m<sup>3</sup>/dia) na UPG-P4. A avaliação baseia-se no único banco de dados institucional disponível no estado, mantido pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de MT (SEMA-MT).

Como não há séries temporais de monitoramento contínuo, é importante ressaltar que os dados aqui apresentados foram fornecidos por empreendedores ou usuários individuais em levantamentos únicos, realizados durante a instalação de poços licenciados, podendo ter sido obtidos há mais de uma década, a partir de 2012. A regulação dessa atividade se deu a partir do Decreto nº 336, de 06/06/2007, que regulamenta a Outorga de Direitos de Uso dos Recursos Hídricos em MT, e da Portaria nº 04, de 06/06/2007, que dispõe sobre os procedimentos para a Outorga. Portanto, esses registros geralmente não representam a situação atual da qualidade da água nos poços.

Após uma análise preliminar dos dados fornecidos, a equipe técnica do NIESA foi informada

pela SEMA de que todos os dados de qualidade da água fornecidos pelos Outorgantes são submetidos a uma análise técnica e que foram efetuadas as devidas correções. Assim, os dados fornecidos foram considerados consolidados.

A Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição, e avaliação da qualidade das águas subterrâneas. Para consumo humano, estabelece limites máximos para diversos parâmetros inorgânicos (inclusive metais), orgânicos, agrotóxicos e seus metabólitos, e micro-organismos, conforme o uso preponderante. Como a maioria dos parâmetros não está disponível, esta análise se restringe a uma avaliação dos limites válidos para o consumo humano (Tabela 1), cujos valores são comumente disponibilizados para os poços licenciados. Essa prática de limitar a exigência quanto aos parâmetros a serem determinados, embora não desejável, está em consonância com a Resolução CONAMA nº 396, que define no seu Art. 12 que, para subsidiar o enquadramento das águas subterrâneas em classes, "devem ser considerados, no mínimo, Sólidos Totais Dissolvidos, Nitrato e Coliformes termotolerantes".

Para a análise da aptidão da água para consumo humano direto, foram editadas a Portaria de Consolidação nº de 28/08/2017 e a Portaria GM/MS nº 888, de maio de 2021, pelo Ministro de Estado da Saúde, que inclui mais parâmetros, inclusive subprodutos da desinfecção. Sendo os poços destinados ao abastecimento público ou, principalmente, nas propriedades rurais, pelo menos parcialmente para consumo humano, considerou-se a portaria de potabilidade.

Os dados fornecidos totalizam, na UPG-P4, 1508 poços. Este conjunto foi submetido a uma análise exploratória e comparado com a Resolução CONAMA nº 396 e a Portaria GM/MS nº 888, de maio de 2021, considerando também aspectos espaciais dos padrões de qualidade da água dentro da UPG-P4. Em seguida, os dados foram comparados com a literatura científica disponível na área de estudo.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Visão geral

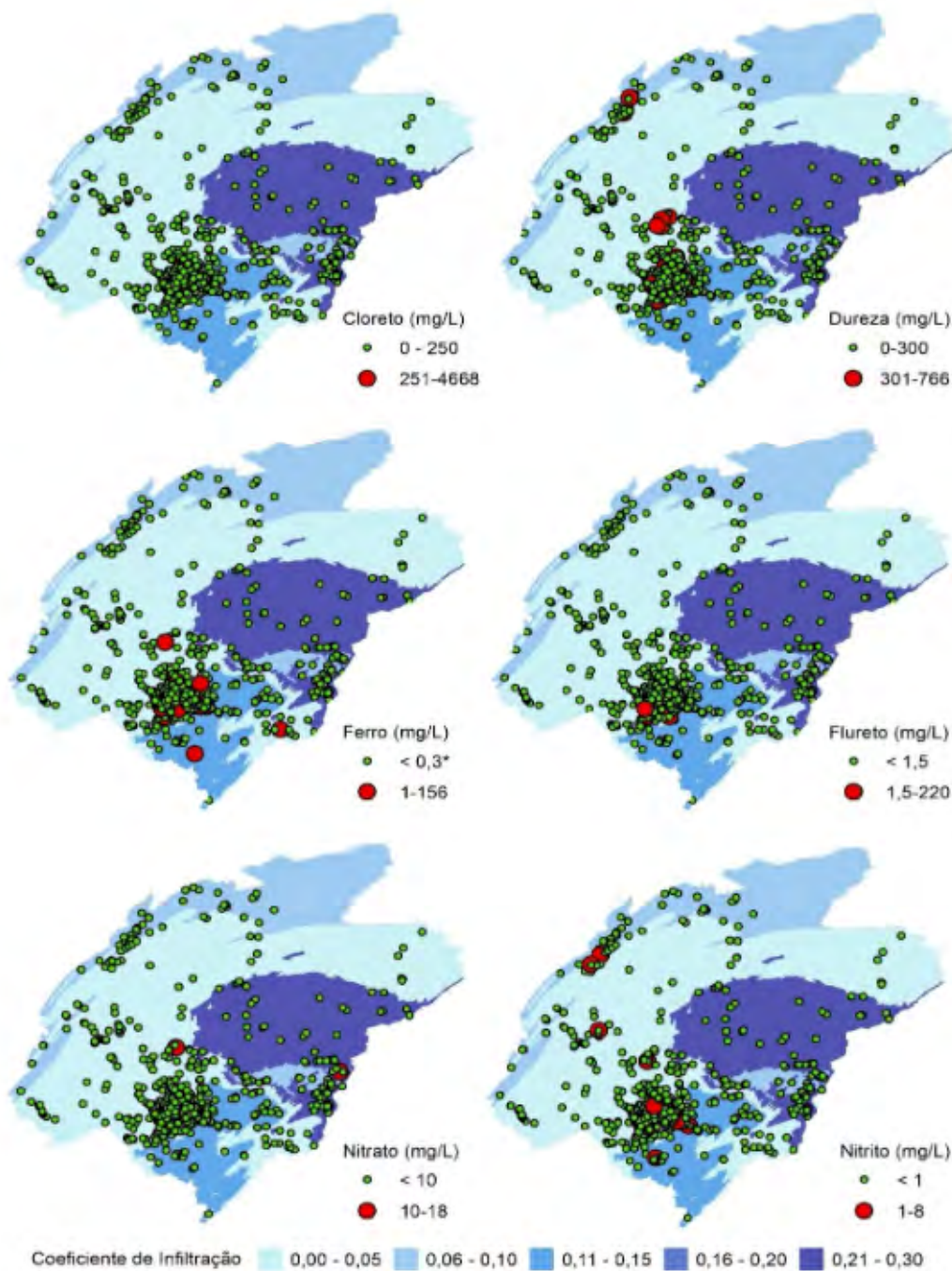
De acordo com os dados fornecidos, apenas parâmetros inorgânicos estavam acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396 (**Tabela 1**). Nenhum dos poços apresentou, no momento do licenciamento, poluição por coliformes termotolerantes. Os coliformes totais, que não são incluídos na Resolução, mas podem indicar poluição orgânica, foram detectados em cerca de 4% dos poços outorgados.

**Tabela 1.** Parâmetros de qualidade da água comumente disponíveis nas análises fornecidas, seus limites para uso humano de acordo com a Resolução CONAMA nº 396 e porcentagem de poços que extrapolam os limites (\*Os coliformes totais, também avaliados, não fazem parte da resolução).

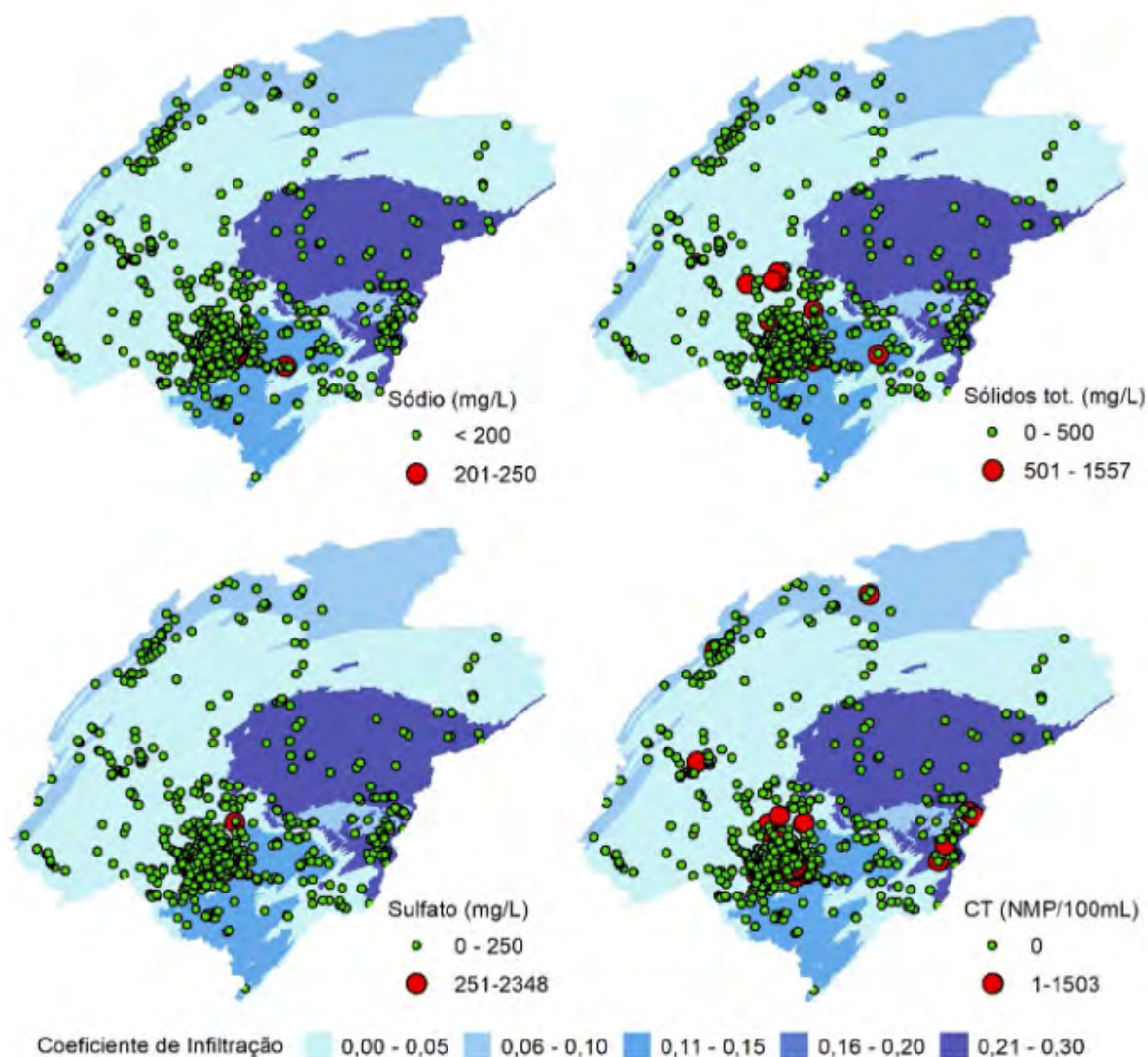
Tipo de Componente	Parâmetro	VMP - uso humano (CONAMA nº 396)	VMP - Portaria GM/MS nº 888	Poços acima VMP da GM/MS nº 888
Inorgânico	Cloreto	250 mg/l	250 mg/l	0,07 %
	Dureza total	-	300 mg/l	1,73 %
	Ferro	0,3 mg/l	0,3 mg/l	2,64 %
	Fluoreto	1,5 mg/l	1,5 mg/l	0,68 %
	Nitrato	10 mg/l	10 mg/l	0,60 %
	Nitrito	1 mg/l	1 mg/l	2,78 %
	Sódio	200 mg/l	200 mg/l	0,13 %
	Sólidos Totais Dissolvidos	1000 mg/l	500 mg/l	1,17 %
Microorganismos	Sulfato	250 mg/l	250 mg/l	0,07 %
	Coliformes Termotolerantes	ausentes	ausentes	0,00 %
	Coliformes totais*	-	ausentes	4,06 %

#### 4.2 Análise por parâmetro de qualidade de água e seus padrões espaciais

As **Figuras 1 e 2** apresentam a localização dos poços licenciados e a taxa média de infiltração nas diferentes unidades hidrogeológicas, um indicador da capacidade de recarga e, conseqüentemente, do potencial de deslocamento de poluentes superficiais para os aquíferos. Os poços representados em verde indicam concentrações dos parâmetros de qualidade de água em conformidade com a Resolução CONAMA nº 396 e a Portaria GM/MS nº 888, enquanto os poços em vermelho excedem os limites permitidos.



**Figura 1.** Poços outorgados e sua classificação de acordo com os Valores Máximos Permitidos (VMPs) para cloreto, dureza total, ferro total, fluoreto, nitrato e nitrito, conforme definido pela Portaria GM/MS nº 888, e o coeficiente de infiltração na UPG-P4.



**Figura 2.** Poços outorgados e sua classificação de acordo com os Valores Máximos Permitidos (VMPs) para sódio, sólidos totais dissolvidos, sulfato e coliformes totais\*, conforme definido pela Portaria GM/MS nº 888, e o coeficiente de infiltração na UPG-P4.

#### 4.2.1 Cloreto

O cloreto é o ânion inorgânico mais comum em águas naturais. Concentrações acima do limite permitido pela legislação podem aumentar a velocidade de corrosão dos materiais metálicos instalados nos sistemas de abastecimento, elevando a concentração de metais na água. Os valores variaram entre 0 e 1165 mg/L, com uma média de 9,78 mg/L (**Figura 1**). Apenas dois poços apresentaram valores acima dos limites para uso humano estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396 e pela Portaria GM/MS nº 888; um deles com concentrações quatro vezes superiores ao limite e o outro com valores 19 vezes superiores ao Valor Máximo Permitido (VMP).

#### 4.2.2 Dureza total

A dureza da água é definida como a capacidade de consumo de sabão pela água ou a sua habilidade de neutralizar o sabão devido à presença de cálcio, magnésio ou outros elementos como Fe, Mn, Cu, Ba, entre outros (Feitosa et al., 2008). A dureza total variou entre 0 e 766 mg/L.

Valores elevados de dureza devem estar associados ao ferro, cálcio e magnésio presentes nas rochas do Grupo Cuiabá, assim como ao cálcio e magnésio presentes nas formações carbonáticas do Grupo Araras. No total, 26 poços (1,48%) apresentaram concentrações que excedem o VMP estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888.

#### 4.2.3 Ferro Total

O ferro é um elemento comumente presente em águas subterrâneas, ocorrendo principalmente na forma de hidróxido férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) e, ocasionalmente, como hidróxido ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Os minerais ferromagnesianos podem ser encontrados em diversos tipos de rochas e em solos lateríticos (Feitosa et al., 2008). O VMP estabelecido pelas Portarias vigentes é de 0,3 mg/L. Foram detectadas 39 amostras (2,64%) com concentrações acima do limite permitido pela legislação vigente.

Na maioria das amostras, não foi detectada a presença de ferro, com as concentrações variando de 0 a 156 mg/L. Esses teores de ferro nas águas subterrâneas provavelmente estão associados à presença de pirita, um mineral comum nas rochas do Grupo Cuiabá e nos solos lateríticos da região.

#### 4.2.4 Fluoreto

A concentração de fluoreto em águas subterrâneas geralmente varia entre 0 e 25 mg/L, dependendo das condições físicas, químicas e geológicas do local. O fluoreto é comumente encontrado como um componente de rochas magmáticas (Ribeiro, 1992) e pode estar presente em concentrações mais elevadas em aquíferos formados por rochas metamórficas, compostas por moscovita, biotita e anfibólios (Fraga, 1992). Embora seja pouco solúvel, o fluoreto pode ser encontrado em concentrações elevadas devido ao uso de fertilizantes e agrotóxicos (Netto et al., 2017). Foram detectadas 10 amostras (0,68%) com teores acima do Valor Máximo Permitido (VMP) para consumo humano.

#### 4.2.5 Nitrato

O nitrato geralmente ocorre em pequenas concentrações e representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica. Segundo Bouchard et al. (1992), concentrações de nitrato superiores a 3 mg/L indicam contaminação proveniente de atividades antropogênicas, como despejo de esgoto, fossas sépticas, aterros sanitários, cemitérios, uso de adubos nitrogenados, e resíduos de animais. No entanto, o Valor Máximo Permitido (VMP) de nitrato para consumo humano, segundo as portarias vigentes, é de 10 mg/L. Foram detectadas quatro amostras com teores acima desse limite.

Na maioria das amostras, não foi detectado nitrato, possivelmente porque o banco de dados disponível não armazena casas decimais. As concentrações encontradas variaram de 1 a 18 mg/L, com média de 0,66 mg/L. Esses níveis estão associados a problemas construtivos em poços tubulares profundos ou poços escavados, como cacimbas e cisternas, que captam água do aquífero freático (pouco profundo).

#### 4.2.6 Nitrito

A presença de compostos de nitrogênio, como nitrato e nitrito, é um indicativo de contaminação do aquífero e de possíveis condições higiênico-sanitárias inadequadas. O nitrito e o nitrato estão relacionados a dois efeitos adversos à saúde: a indução de metemoglobinemia e a potencial formação de nitrosaminas e nitrosamidas, substâncias carcinogênicas (Alaburda & Nishihara, 1998). Assim como ocorre com o nitrato, as concentrações de nitrito são registradas sem casas decimais. Os valores encontrados variaram de 0 a 2 mg/L. O VMP de nitrito para consumo humano, conforme as portarias vigentes, é de 1 mg/L. No total, 41 poços (2,8%) apresentaram concentrações que excederam esse limite.

#### 4.2.7 Sódio

A presença de sódio ( $\text{Na}^+$ ) nas águas subterrâneas está associada à ampla disponibilidade e baixa estabilidade dos minerais-fonte (plagioclásio, anfíbólio e piroxênio), sua elevada solubilidade e à difícil precipitação de seus compostos em solução (Santos, 2008). O sódio é o principal cátion responsável pelo aumento da salinidade nas águas subterrâneas e apresenta concentrações típicas entre 0 e 100 mg/L. O VMP de sódio, conforme as portarias consideradas, é de 200 mg/L. Apenas dois poços apresentaram concentrações superiores a este limite (Figura 2).

#### 4.2.8 Sólidos totais dissolvidos

Os sólidos totais dissolvidos (TDS) referem-se a todas as substâncias orgânicas e inorgânicas filtráveis presentes na água. A água com TDS superior a 500 mg/L não é recomendada para consumo humano, pois grandes quantidades de TDS podem afetar negativamente sua palatabilidade. As portarias do Ministério da Saúde estabelecem um VMP de 500 mg/L, enquanto a Resolução CONAMA nº 396 define um VMP de 1000 mg/L. Dezesete poços (1,2%) apresentaram valores acima do limite estabelecido pelo Ministério da Saúde, com um valor máximo registrado de 1557 mg/L.

#### 4.2.9 Sulfato

O sulfato é um ânion muito comum na natureza, ocorrendo em águas naturais em concentrações variadas. Ele é encontrado em águas subterrâneas devido à dissolução de solos e rochas, como gesso ( $\text{CaSO}_4$ ) e sulfato de magnésio ( $\text{MgSO}_4$ ), e pela oxidação de sulfetos (por exemplo, sulfeto de ferro). Os sulfatos podem alterar o sabor da água, tornando-a predominantemente salgada ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ou amarga ( $\text{CaSO}_4$  e  $\text{MgSO}_4$ ), além de terem um efeito laxativo em humanos, especialmente em crianças (Vasconcelos & de Oliveira, 2018). Apenas um poço apresentou concentração de sulfato acima do VMP.

#### 4.2.10 Coliformes Totais

61 poços (4,1%) apresentaram coliformes totais, que, de acordo com as portarias vigentes do Ministério da Saúde, devem estar ausentes em 100 mL de amostra. A presença desses coliformes pode estar relacionada a problemas construtivos nos poços, permitindo que a água subterrânea do aquífero freático (mais raso), alcance o aquífero mais profundo. Em poços tubulares bem construídos, não é esperado que isso ocorra.

#### 4.2.11 Coliformes Termotolerantes

Nenhuma amostra apresentou coliformes termotolerantes, atendendo aos Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos pelas portarias vigentes.



## 5. Conclusões

Considerando as discrepâncias mencionadas em relação a estudos científicos anteriores e o fato de as análises terem sido realizadas com base em apenas uma data de coleta durante o processo de outorga, sem um monitoramento sistemático, o banco de dados disponível é útil apenas para uma avaliação qualitativa preliminar. Por outro lado, isso gera incertezas significativas sobre a real situação da qualidade da água e seus padrões espaciais na bacia hidrográfica, impedindo o desenvolvimento de modelos espaciais que representem de forma confiável as tendências espaciais e sua relação com as unidades hidrogeológicas. Portanto, é essencial estabelecer um monitoramento sistemático amostral por unidades hidrogeológicas em poços cuja qualidade construtiva tenha sido avaliada, visando à constituição de uma base de dados capaz de garantir, no futuro, um enquadramento confiável.

## 6. Agradecimentos

Agradecemos ao Núcleo Interdisciplinar de Estudos de Saneamento Ambiental da UFMT (NIESA) pelo suporte na realização das análises dos dados e pela concessão de duas bolsas de Pesquisador Associado. Agradecemos também à Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso (SEMA-MT) pela disponibilização do banco de dados aqui analisado. O Ministério Público do Estado de Mato Grosso é o financiador oficial do Plano de Recursos Hídricos da UPG-P4 (Alta e Média Bacia do Rio Cuiabá), no âmbito do qual este trabalho foi desenvolvido.

## 7. Referências

- Alaburda, J. & Nishihara, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, v. 32, 160-165, 1998.
- Assine, M. L., Merino, E. R., Pupim, F. D. N., Macedo, H. D. A., & Santos, M. G. M. D. The Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, n. 3, 475-489, 2015.
- Bouchard, D. C.; Willians, M. K.; Surampalli, R.Y. Nitrate contamination of groundwater: sources and potential health effects. **J. Am. Water Works Ass.**, v. 84, 85-90, 1992.
- Fraga, C. G. **Origem de fluoreto em águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Botucatu e Serra Geral da Bacia do Paraná**. Diss. Universidade de São Paulo, 1992.
- Kulldorff, M. A spatial scan statistic. **Communications in Statistics: Theory and Methods**, v. 26, 1481-1496, 1997.
- Migliorini, R. B. (1999). **Hidrogeologia em Meio Urbano. Região de Cuiabá e Várzea Grande – MT**. Tese de Doutorado apresentada no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. 145p.
- Migliorini, R. B. Qualidade físico-química e bacteriológica de águas subterrâneas em meio urbano. Região de Cuiabá e Várzea Grande – MT. **Águas Subterrâneas**, 2014. <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23601>
- Migliorini, R. B. & Kimmelman, A. A. (1998). **Análise do comportamento das águas subterrâneas no grupo Cuiabá**. Águas subterrâneas. São Paulo: ABAS. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22248>. Acesso em: 04 dez. 2023.
- Moreira, J. C.; Peres, F.; Simões, A. C.; Pignati, W. A.; Dores, E. D.; Vieira, S. N.; ... Mott, T. Groundwater and rainwater contamination by pesticides in an agricultural region of Mato Grosso state in central Brazil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, 1557, 2012.
- Netto, J. P. G. M.; Neto, C. B.; Franco Filho, F. W. B.; Ramos, C. S. B.; Lima, N. P.; Brunelli, B. F. **Gênese, ocorrência e tecnologias de tratamento para o excesso de flúor na água subterrânea, com ênfase a região metropolitana de São Paulo**. Águas Subterrâneas, 2017. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28705>
- Nogueira, E. N.; Dores, E. F.; Pinto, A. A.; Amorim, R. S.; Ribeiro, M. L.; Lourencetti, C. Currently used

pesticides in water matrices in Central-Western Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, 1476-1487, 2012.

Ribeiro, R.A. **Contribuição ao estudo do fluoreto nas águas subterrâneas da Bacia do Médio Tietê – Caracterização e metodologias propostas para sua extração**. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 1992, 151 p.

Santos, A.C. **Noções de hidroquímica**. In: FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMÉTRIO, J.G.A (Coords). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Rio de Janeiro: CPRM, p. 347-357, 2008.

Silva, D. D. D.; Migliorini, R. B.; Silva, E. D. C.; Lima, Z. M. D.; Moura, I. B. D. Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, 43-52, 2014.

Vasconcelos, M. A. & de Oliveira, I. B. Especiação Química do Sulfato em Águas Subterrâneas do Domínio Hidrogeológico Sedimentar do Estado da Bahia-Brasil, utilizando o Método Tableau. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, 256-266, 2018.

## **Distribuição de carbono nos solos do entorno de lagoas salino-alcálicas (LSA) do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul (MS), Brasil**

André Renan Costa Silva<sup>1</sup>

Célia Regina Montes<sup>2</sup>

Yves Lucas<sup>3</sup>

Adolpho José Melfi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP  
Av. Centenário, 303 - Caixa Postal 96  
13400-970 - Piracicaba - SP, Brasil  
andrerenan00@usp.br

<sup>2</sup> Instituto de Energia e Ambiente – IEE/USP  
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289  
05508-900 - São Paulo - SP, Brasil  
crmluar@usp.br, ajmelfi@usp.br

<sup>3</sup> Université de Toulon – IM2NP/UTLN  
Campus La Garde, Bâtiment R  
BP 132 – F - 83957 La Garde Cedex  
lucas@univ-tln.fr

**Resumo.** Lagoas salino-alcálicas (LSA) encontradas no sistema fluviolacustre existente na região sul da Nhecolândia destacam-se por seu isolamento da drenagem superficial e diferentes tipos de ambientes (eutróficos e oligotrófico turbídeos ou vegetados). Os solos do entorno são susceptíveis a alcalinização a partir da dinâmica hídrica entre estações secas e chuvosas, capaz de transportar e acumular diferentes solutos entre eles o carbono. Análises via combustão seca determinaram teores de carbono total ( $C_T$ ) e inorgânico ( $C_{INO}$ ) de amostras pertencentes a quatro toposequências (T1, T4, T6 e T7) e caracterizaram a distribuição deste elemento ao redor dos diferentes tipos de LSA. A acumulação de  $C_T$  nos solos é superficial e não segue a dinâmica de pH encontrada. Médias de  $C_T$  variam de zero na vertente da T4 a 102,43 mg C.g<sup>-1</sup> na superfície próxima da lagoa na T7.  $C_{INO}$  é mais comum em sedimentos de fundo, zonas de transição entre solo-lagoa e como nódulos carbonáticos. Concluiu-se que a dinâmica de carbono dos solos é preferencialmente orgânica e diverge da atuante em sedimentos de fundo das lagoas. Distribuições distintas entre regiões ácidas evidenciaram uma diversidade de fatores ambientais capazes de interagir com o carbono orgânico, influenciando seu transporte e acumulação. Os resultados obtidos sugerem que regiões mais elevadas (cordilheiras) podem atuar como área fonte de carbono para as lagoas, mas não exclui a possibilidade de acúmulos entre as vertentes e as jusantes serem reflexo da variação cíclica dos níveis dos lençóis freáticos locais, protegidas da lixiviação por horizontes de solos mais argilosos em profundidade.

**Palavras-chave:** solos, Pantanal, lagoas salinas, áreas úmidas, carbono orgânico, carbono inorgânico.

**Abstract.** Saline-alkaline lakes (LSA) found in the fluvial-lacustrine system in the southern region of Nhecolândia are notable for their isolation from surface drainage and associations to different types of environments (eutrophic and oligotrophic turbid or vegetated). The surrounding soils are susceptible to alkalization due to the water fluxes between dry and rainy seasons, capable of transporting and accumulating solutes, with carbon among them. Analyses via dry combustion determined total ( $C_T$ ) and inorganic carbon ( $C_{INO}$ ) levels in samples from four toposequences (T1, T4, T6, and T7) and characterized the distribution of this element around the different types of LSA. The accumulation of  $C_T$  in the soils is superficial and does not follow the pH dynamics.  $C_T$  averages range from zero on the T4 slope to 102.43 mg C.g<sup>-1</sup> on the surface near the lake in T7.  $C_{INO}$  is more common in the lake sediments, soil-lake transition zones and can occur as carbonate nodules as well. This study concluded that soils' carbon dynamics are mainly organic and differ from those in the LSA sediments. Distinct distributions between acidic regions highlighted a diversity of environmental factors capable of interacting with organic carbon, influencing its transport and accumulation. The results suggest that higher regions (*cordilheiras*) may act as a carbon source, but without excluding the possibility that accumulations between slopes and downstream areas reflect the cyclical variation in local water levels, protected from leaching by deeper clay-rich soil horizons.

**Key-words:** soils, Pantanal, soda lakes, wetlands, organic carbon, inorganic carbon

## 1. Introdução

A região sul da Nhecolândia, no Pantanal, se destaca por mais de 10.000 lagoas formadas em substrato arenoso regidas principalmente por um balanço hídrico negativo com taxa de evapotranspiração anual superior à de precipitação. Dentre estas lagoas, destacam-se três tipos de ambientes salino-alcálicos: eutróficos, oligotróficos túrbidos e oligotróficos vegetados (Pellegrinetti et al. 2020). As lagoas salino-alcálicas (LSA), diferentemente de lagoas de água doce prevalentes no ambiente da Nhecolândia, permanecem isoladas da drenagem superficial, funcionando como sistemas endorréicos recarregados por chuvas ou fluxos subterrâneos laterais. Durante a estação chuvosa, a precipitação excede levemente a evapotranspiração e permite a lixiviação de espécies solúveis, enquanto na estação seca a evaporação concentra as espécies solúveis e alcaliniza os solos ao redor das lagoas.

Estudos nestes ambientes estabelecem uma sólida base de conhecimento geoquímico sobre as lagoas e os solos em seu entorno (Barbiero et al., 2008; Furquim et al., 2008; Furian et al., 2013; Merdy et al., 2021; Costa-Silva et al., 2024), porém a dinâmica de carbono nos solos em áreas úmidas vem sendo constantemente alvo de novas pesquisas. O interesse gira em torno (i) de as águas em ambientes como os encontrados no Pantanal terem concentrações de matéria orgânica dissolvida (MOD) capazes de influenciar a química do solo, (ii) de o processo de alcalinização dos solos ao redor das lagoas poder afetar a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de carbono, (iii) de o pH elevado alterar a disponibilidade e transformação do carbono, e (iv) de características inerentes do solo influenciarem na estabilização e disponibilidade desse elemento no solo.

Costa-Silva et al. (2024) sugerem que a geometria de horizontes esverdeados argilosos afeta os diferentes tipos de ambientes, seja pela maior capacidade de concentração de solutos na água quando mais espessos ou pela distribuição de espécies minerais por meio da dinâmica das águas. Dentre a mineralogia, carbonatos, óxidos metálicos e argilominerais desempenham um papel importante na formação de agregados de carbono, estabilizando e protegendo o carbono orgânico da decomposição microbiana. As LSA funcionam como sumidouros líquidos de CO<sub>2</sub> enquanto as lagoas de água doce são uma fonte de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (Guerreiro et al., 2019). Desta forma, nas LSA a interação entre os minerais e o carbono dos sedimentos poderiam favorecer o aumento da capacidade de sequestro de carbono a longo prazo.

Outros fatores também podem influenciar a estabilização do carbono no solo, como o pH, pois este afeta a atividade microbiana, a decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, a formação de complexos organominerais. No contexto local estudado, a existência de horizontes

hiperácidos adjacentes a zonas alcalinas favorece dinâmicas múltiplas, por vezes com condições que estimulam a sua liberação ao invés de sua permanência nos solos. Ambas as condições podem implicar numa maior capacidade de transporte de carbono através de diferentes tipos de horizontes, resultando eventualmente, na liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera ou na sua fixação no solo.

## 2. Objetivo

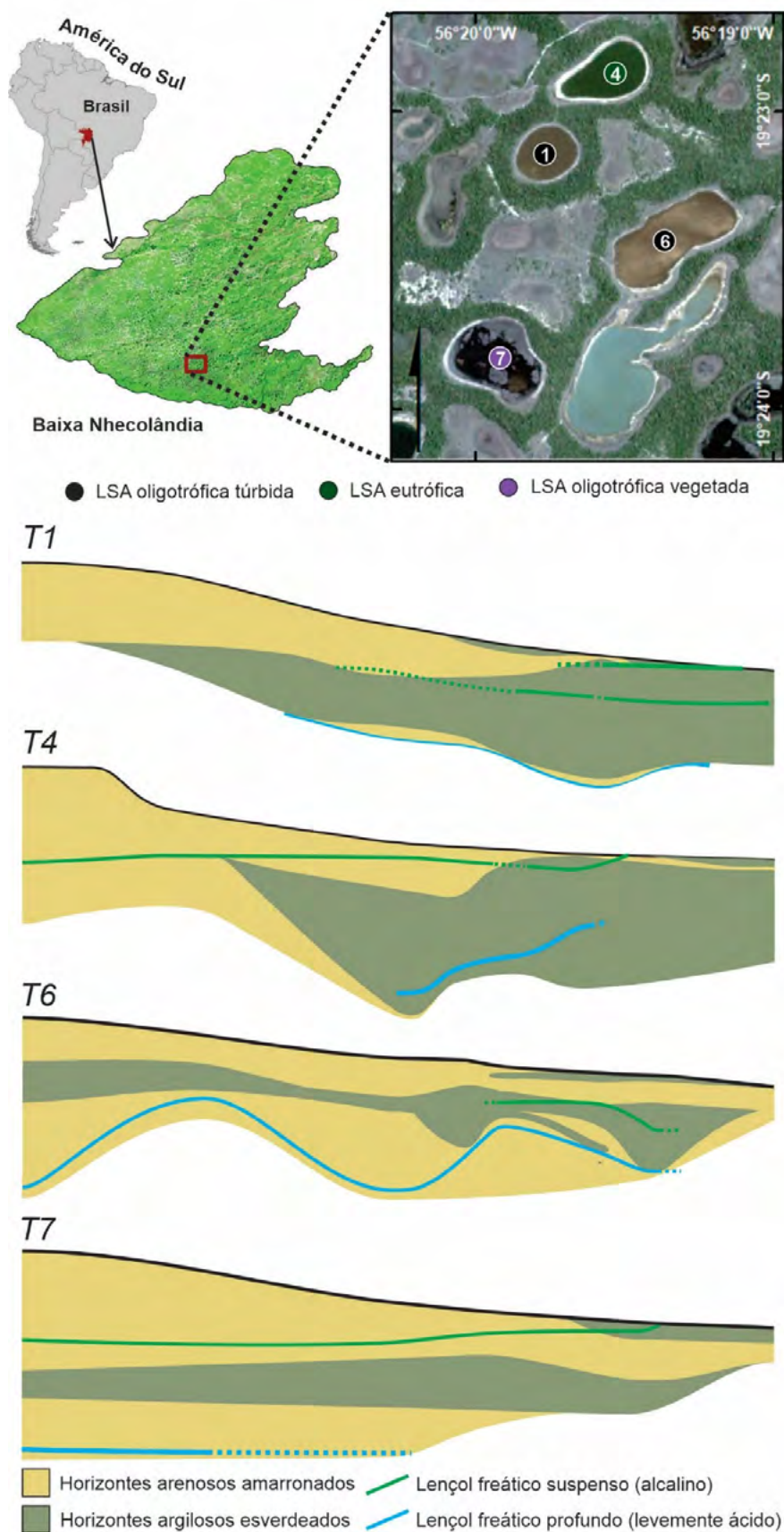
Uma vez que a distribuição espacial de carbono no solo varia globalmente, e a interação deste elemento com as demais características físicas e químicas do solo determina a sua fixação, buscou-se observar a distribuição de carbono total e inorgânico nos solos de áreas úmidas, ao redor de cada tipo de LSA, em lugar representativo de todo o sistema fluviolacustre da Nhecolândia, a partir das topossequências estudadas por Costa-Silva et al. (2024). As quatro topossequências (T1, T4, T6 e T7) estudadas estão situadas na Fazenda São Roque, no município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul (MS) (**Figura 1**) e exemplificam todos os tipos de ambientes salino-alcalinos descritos por Pellegrinetti et al. (2020). Especificamente, avaliou-se como o carbono se acumula nos solos do entorno, sua relação com o pH, e indícios de transporte de matéria orgânica tanto vertical quanto horizontalmente.

As áreas de ressaca são campos de inundação de grande extensão e alimentadas por um sistema complexo de bacias hidrográficas inseridas no perímetro urbano da cidade de Macapá. São espaços de relevante interesse ambiental e urbano, pois funcionam como elementos naturais de drenagem, corredores de circulação de vento, além de abrigar uma biodiversidade característica que agregam qualidade ambiental à cidade. Todavia, vem sendo francamente ocupados pela população de baixa renda, que encontra um espaço “gratuito” para a construção de suas moradias. A falta de políticas públicas para o ordenamento das ressacas, associada à ineficiência de fiscalização vem contribuindo para o aumento da ocupação e degradação socioambiental desses ecossistemas. Segundo Acselrad (2004), a desigualdade ambiental é sem dúvida uma das principais expressões da desigualdade social, em que “os pobres estão mais expostos aos riscos devido à localização de suas residências, mais vulneráveis a enchentes, a ação do esgoto a céu aberto, além do lançamento de rejeitos sólidos”.

## 3. Material e Métodos

Teores de carbono total (C<sub>T</sub>) e inorgânico (C<sub>INO</sub>) por combustão via seca foram obtidos em duplicata a partir de 50mg de amostras de terra fina seca em estufa (TFSE) a 40°C, moídas e peneiradas em 106µm. Nódulos de três amostras foram removidos e analisados separadamente (N1, N2 e N3). Medidas foram realizadas em analisador de carbono Shimadzu TOC-L CPH/CPN acoplado à módulo de amostra sólida Shimadzu SSM-5000A (Japão). Resultados de C<sub>T</sub> foram obtidos para toda a coleção de amostras (343 amostras) e comparadas com dados químicos e mineralógicos de Costa-Silva et al. (2024).

Curvas de calibração de C<sub>T</sub> foram montadas com auxílio de amostras de solo padrão para CHNS nas concentrações 0,84-2,35-12,26-22,8% (LECO Part. No. 502-062, 502-308, 502-309 e 502-814). Resultados de C<sub>INO</sub> foram conduzidos em grupo selecionado de 154 amostras representativas da coleção. A curva de calibração para C<sub>INO</sub> foi montada a partir das concentrações de 0,25-1,0-2,5-5,0 mg de C utilizando carbonato de Sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), seguido de gotejamento de ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 25%) em cada concentração. O ácido fosfórico, também foi adicionado às amostras analisadas.



**Figura 1.** Localização das LSA e adaptação de horizontes principais das toposseqüências de Costa-Silva et al (2024). A classificação de tipos de ambiente é baseada em Pellegrinetti et al. (2020).

#### 4. Resultados e Discussão

No cenário geral, dentre os solos das quatro topossequências, a acumulação de  $C_T$  nos solos é superficial e sem relação direta com o pH do solo (**Figura 2**). Médias dos teores de  $C_T$  vão desde zero em regiões intermediárias da T4 a 102,43 mg C. g<sup>-1</sup> nas regiões mais superficiais da T7. Esse alcance de valores determinou a representação dos resultados de carbono como observado nas **Figuras 2A, 2C, 2E e 2G**, e a comparação com os dados de pH do solo de Costa-Silva et al, (2024) (**Figuras 2B, 2D, 2F e 2H**). Optou-se pela abreviação de valores >3,0 mg C. g<sup>-1</sup> devido aos resultados obtidos na T1 não ultrapassarem 3,5 mg C. g<sup>-1</sup>, assim permitindo a visualização em uma mesma escala entre topossequências.

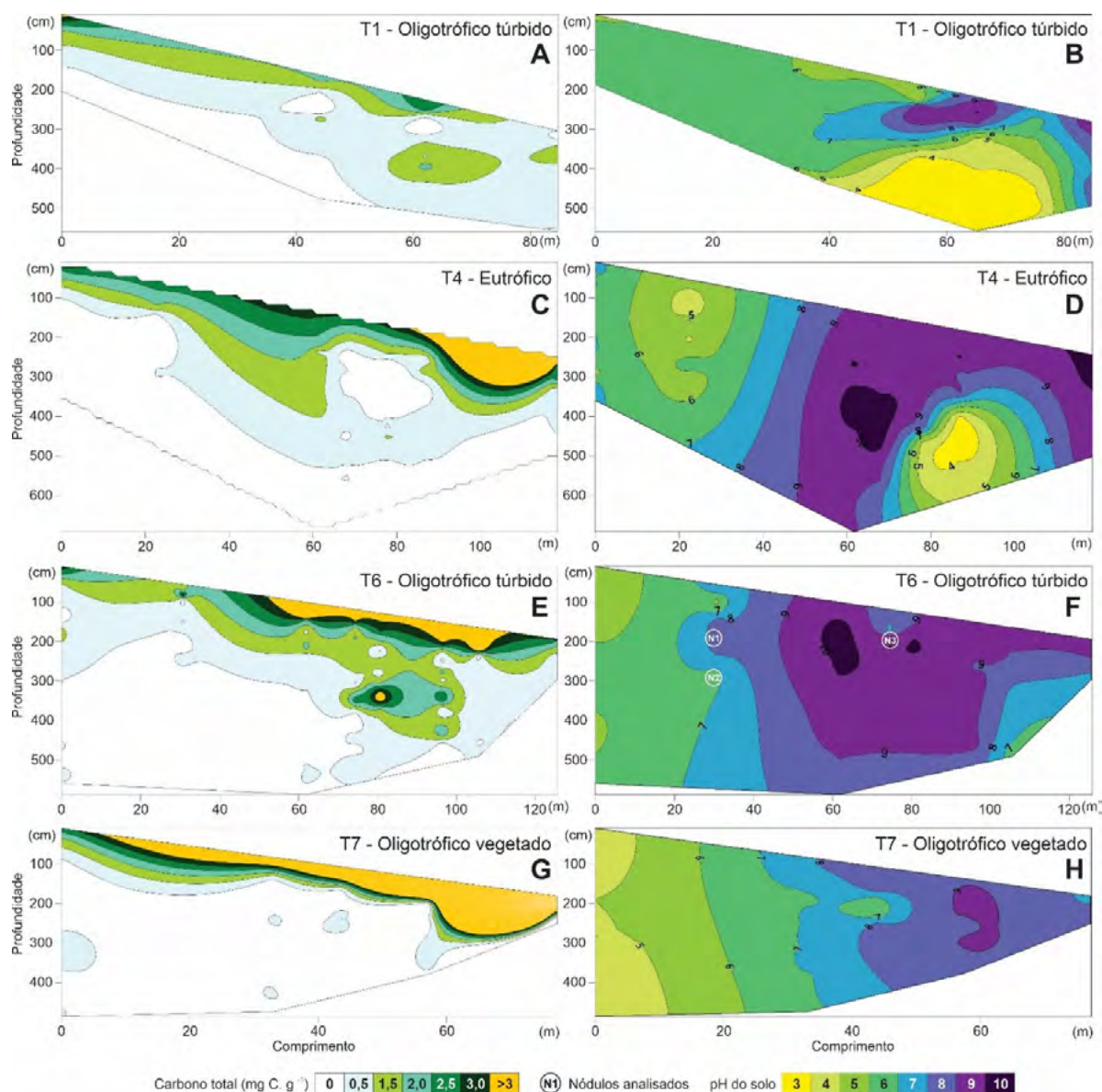
O padrão de distribuição de  $C_T$  obtido revela T1 como a única topossequência com maiores valores em região mais elevada (cordilheira), densamente vegetada e mais afastada da lagoa, enquanto que nas demais topossequências, apesar de existirem acumulações da mesma magnitude nas cordilheiras, maiores valores são encontrados ao longo da vertente e à jusante. A acumulação de  $C_T$  evidencia as regiões acima de horizontes esverdeados, onde o lençol freático alcalino atua, como mais propícias a preservação de matéria orgânica do solo (MOS), além de uma tendência geral de aumento nos valores em direção às lagoas, marcando uma possível área fonte de carbono à montante com acúmulo à jusante (exceto em T1). Por outro lado, a distribuição encontrada também pode ser resultado do potencial cumulativo de solutos das LSA, ao longo dos anos, próximo à lagoa, a partir da variação do nível da água ao longo do regime hidrológico anual.

Dentre os ambientes estudados, acúmulos em subsuperfície encontrados na T6 e T1, ambos oligotróficos túrbidos, apresentam diferentes associações. Enquanto na T6 podem ser associadas a presença de carbonatos, principalmente calcita (CaCO<sub>3</sub>), previamente identificados em regiões próximas das lagoas, na T1 são melhor associados a MOS devido as suas condições ácidas. Contudo, a distribuição entre zonas hiperácidas, exclusivas das topossequências T1 e T4 (eutrófico), também é diferente. Nas regiões de transição entre condições alcalinas e ácidas, onde há um maior acúmulo em T1, há um empobrecimento de CT em T4. A influência de outros fatores também é observada pela distribuição superficial contínua observada na T7 (oligotrófico vegetado) ressaltando a presença de gramíneas e vegetação interna que caracterizam a paisagem.

Resultados de CINO em T1 apresentaram-se nulos em todas as amostras de solo, exceto em amostras de sedimentos de fundo de lagoa nas quais Costa-Silva et al (2024) identifica a presença de calcita e CINO tem média de 4,28 mg C. g<sup>-1</sup>. Tal resultado aponta para uma dinâmica exclusivamente orgânica nos solos no entorno de T1, possivelmente funcionando como fonte de carbono para precipitação antigênica de carbonatos na lagoa. Na T4, carbono inorgânico chega a ser detectado em superfície em perfis da vertente (média de 0,25 mg C. g<sup>-1</sup>) e em sedimentos de fundo da lagoa (1,92 mg C. g<sup>-1</sup>). T6 e T7 exibiram as maiores médias para ambas as frações de carbono, com o predomínio da porção orgânica, entretanto a dinâmica de acúmulos pontuais na vertente em amostras de profundidade da T6 motivou a análise de três nódulos nessas posições, onde foram também observados diferentes pH<sub>SOLO</sub>. Dentre os nódulos N1 (pH<sub>SOLO</sub> = 8,41), N2 (pH<sub>SOLO</sub> = 6,80) e N3 (pH<sub>SOLO</sub> = 9,83) (**Figura 2F**) apenas N3 pode ser considerado carbonático, com 93,7% de carbono na forma inorgânica. CINO não foi detectado em N1 e N2. Amostras da T7 também possuem CINO, contudo o predomínio é orgânico.

#### 5. Conclusões

Foi possível observar múltiplas dinâmicas entre tipos de LSA, condições de pH do solo e entre solo-sedimento. Os dados encontrados contribuem para os resultados mineralógicos de Costa-



**Figura 2.** Comparativo da distribuição de carbono total (CT) com pH SOLO para cada topossequência de Costa-Silva et al. (2024). Escalas horizontais são apresentadas em metros e verticais em centímetros. O posicionamento de amostras de nódulos analisados separadamente da amostra de solo, é dada pelas marcações (NX) na imagem 2F.

Silva et al. (2024) ao identificar nódulos carbonáticos e associa-los a acumulações distintas daquelas encontradas em regiões mais ácidas. Portanto, nos solos estudados, a distribuição de CT observada sugere que mais de um fator ambiental seja capaz de interagir com carbono na sua forma orgânica, fixando este elemento em regiões mais profundas. Os resultados também permitem a hipótese de um transporte lento de carbono de regiões mais elevadas nas topossequências (cordilheiras) em direção às lagoas, onde horizontes mais argilosos e sedimentos de fundo servem como impedimento de lixiviação de elementos (e consequente acúmulo), permitindo a precipitação antigênica de carbonatos.



## 6. Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento da pesquisa (Projetos FAPESP 19/21157-1 e 16/14227-5). Agradecemos o suporte laboratorial de D. A. Ishida, I. N. Teixeira e L. Z. Schossler durante as análises.

## 7. Referências

- Barbiero, L.; Rezende-Filho, A.T.; Furquim, S.A.C.; Furian, S.; Sakamoto, A.Y.; Vallès, V.; Graham, R.C.; Fort, M.; Ferreira, R.P.D.; Queiroz-Neto, J.P. Soil morphological control of hydrogeochemistry in a saline and fresh-water lake landscape in the Pantanal of Nhecolândia, Brazil. **Geoderma**, 148, 91-106, 2008.
- Costa-Silva, A. R.; Lucas, Y.; Filho, A. T. R.; Ramos, M. D.; Merdy, P.; Ishida D. A.; Barbiero, L.; Melfi, A. J.; Montes, C. R. Soils surrounding saline-alkaline lakes of Nhecolândia, Pantanal, Brazil: Toposequences, mineralogy and chemistry. **Geoderma Regional**, Article e00746, 2024.
- Furian, S.; Curti-Martins, E.R.; Parizotto, T.M.; Rezende-Filho A.T.; Victoria, R.L.; Barbiero, L. Chemical diversity and spatial variability in myriad lakes in Nhecolândia in the Pantanal wetlands of Brazil. **Limnology and Oceanography**, 58: 2249-2261, 2013.
- Furquim, S.A.C.; Graham, R.C.; Barbiero, L.; Queiroz-Neto, J.P.; Vallès, V. Mineralogy and genesis of smectites in an alkaline-saline environment of Pantanal wetland, Brazil. **Clays and Clay Minerals**, 56, 579- 595, 2008
- Guerreiro, R.L.; Bergier, I.; McGlue, M.M.; Warren, L.V.; Abreu, U.G.P.; Abrahão, J.; Assine, M.L. The soda lakes of Nhecolândia: A conservation opportunity for the Pantanal wetlands. **Perspectives in Ecology and Conservation**, vol. 17, no. 1, p. 9-18, Jan. 2019.
- Pellegrinetti, T.A.; Cotta, S.R.; Sarmiento, H.; Costa, J.S.; Delbaje, E.; Montes, C.R.; Camargo, P.B.; Barbiero, L.; Rezende-Filho, A.T.; Fiore, M.F. Bacterial communities along environmental gradients in tropical soda lakes. **Microbial Ecology**, 2022.
- Merdy, P.; Lucas, Y.; Coulomb, B.; Melfi, A. J.; Montes, C. R. Soil organic carbon mobility in equatorial podzols soil column experiments. **SOIL**, 7, 585-594, 2001

## **O uso das geotecnologias na comp]reensão e análise dos crimes sexuais no município de Cáceres, Mato Grosso, Brasil**

Camila Macedo de Souza<sup>1</sup>  
Sandra Mara Alves da Silva Neves<sup>1</sup>  
Laís Fernandes de Souza Neves<sup>1</sup>  
Bruno de Souza Lima<sup>1</sup>  
Joliene da Silva Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Av. Santos Dumont, s/n – Cidade Universitária. Bairro: Lobo  
78211-298 – Cáceres/MT

{camila.macedo.souza; ssneves; lais.neves; bruno.souza.lima; joliene.silva}@unemat.br

**Resumo.** A violência contra a mulher é reconhecida como um problema de saúde pública ainda recorrente no contexto contemporâneo brasileiro. A desigualdade de gênero é construída culturalmente desde os primórdios da vida humana, implicando em diferenciações no trato em homens e mulheres nas mais diferentes situações cotidianas, seja em ambientes de trabalho, familiar ou social. Considerando a importância de espacialização de dados sobre a violência contra a mulher para possíveis tomadas de decisões para mitigar a referida problemática, a presente investigação utilizou técnicas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), as quais possibilitaram a identificação de áreas que ocorreu maior quantidade de registro de violência, viabilizando assim análises e discussões que permitem encaminhamentos para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de combate à violência sofridas pelas mulheres. Concluiu-se que dos registros verificados, todas as vítimas não declararam o vínculo com o autor do crime, acabando assim ressaltando a urgência de combater a violência contra a mulher, especialmente em áreas urbanas.

**Palavras-chave:** Violência contra mulher; Assédio moral; SIG; Pantanal: Destino turístico.

**Abstract.** Violence against women is recognized as a public health problem that still recurs in the contemporary Brazilian context. Gender inequality has been culturally constructed since the beginning of human life, resulting in differences in the treatment of men and women in the most different everyday situations, whether in work, family or social environments. Considering the importance of spatializing data on violence against women for possible decision-making to mitigate this problem, the present investigation used Geographic Information System (GIS) techniques, which enabled the identification of areas where a greater number of incidents occurred. record of violence, thus enabling analyzes and discussions that allow for the development of more effective strategies to combat violence suffered by women. It was concluded that from the records verified, all victims did not declare a link with the perpetrator of the crime, thus highlighting the urgency of combating violence against women, especially in urban areas.

**Key-words:** Violence against women; Crime; Moral harassment; Geotechnologies; Tourist Destination.

## 1. Introdução

Cáceres é conhecida como a "Porta de entrada do Pantanal", destino popular para turistas que desejam experimentar a beleza natural da região, localizada na faixa de fronteira com a Bolívia, destacando-se como um destino turístico rico em história, cultura e natureza. Segundo Silva & Silva (1995), o pulso da enchente e sua consolidação da cheia no Pantanal produzem mudanças significativas nas unidades de paisagem, na dinâmica dos processos ecológicos e biológicos e no modo de vida dos pantaneiros, os quais sobrevivem neste ambiente alagável..

Outro ponto relevante é sua condição hídrica, banhada pelo Rio Paraguai e seus afluentes Cabaçal, Sepotuba, Jauru e Cachoeirinha, Cáceres é um município atrativo para os amantes da pesca esportiva, atraídos pela variedade de espécies de peixes como dourados, pacus e jaús nas baías, atividade que se intensifica durante Festival Internacional de Pesca Esportiva - FIPE. Tais característica potencializam Cáceres-MT como um relevante destino turístico.

Segundo Silveira et al. (2015) o turismo de pesca é uma das atividades mais desenvolvidas no rio Paraguai, os mesmos relatam que esse tipo de atividade no rio Paraguai vem sendo praticado principalmente por meio dos cruzeiros fluviais, realizados por barcos-hotéis que circulam no corredor fluvial, garantindo o deslocamento de turistas e visitantes, visto a relevante concentração de barcos-hotéis nas margens do rio Paraguai, restaurantes flutuantes. Além disso, a cidade conta ainda com um relevante conjunto histórico cultural composto por fazendas históricas como: Descalvados, Grendene (Ressaca), Jacobina e Fação; além da cidade propiciar caminhadas no centro histórico, arquitetura colonial ao observar o Marco do Jauru e a Igreja Matriz, ambos localizados na praça Barão do Rio Branco, a observação da casa rosa e ainda no centro nas mediações da praça Barão o Anjo da Ventura e o Museu Municipal.

Do ponto de vista ambiental, Cáceres destaca-se ainda como um grande laboratório a céu aberto, com uma relevante fauna e flora investigadas por pesquisadores regionais, nacionais e internacionais, uma vez que a região está localizada em uma área de transição dos biomas Amazônico, Cerrado e Pantanal, tendo como importante Unidades de Conservação para a preservação integral da fauna e flora da região a Estação Ecológica Serra das Araras e Taiamã.

Entretanto, por trás desse cenário há uma realidade relacionada à violência sexual contra a mulher, uma triste realidade presente desde os primórdios da humanidade. De maneira mais ampla, várias são as formas de violência sofrida pelas mulheres, o próprio fato histórico de "casamentos forçados" já configura um ato violento contra o gênero feminino. Conforme definido pela Organização Pan americana da saúde Mundial da Saúde (OPAS), a violência contra a mulher pode ser considerada como "qualquer ato de violência de gênero que cause danos ou sofrimento físico, sexual ou mental às mulheres". Os atos de violência englobam também ameaças, coação ou privação arbitrária de liberdade, seja em vida pública ou privada OPAS, (2024).

Ainda sobre as definições de violência contra a mulher, indica-se:

A violência, seja ela ocorrida em âmbito familiar ou comunitário, perpetrada ou tolerada pelo Estado, é compreendida como um dos principais obstáculos para a garantia dos direitos humanos e das liberdades fundamentais de mulheres e meninas (Engel, 2020, p. 159).

Anteriormente ao ano de 2001, o assédio sexual era considerado chantagem e passou a ser considerado crime com a criação da Lei nº 10.224. Segundo a controladoria da União, o artigo 216-A do Código Penal descreve assédio sexual como o ato de “Constranger alguém com o intuito de obter vantagem ou favorecimento sexual, prevalecendo-se o agente da sua condição de superior hierárquico ou ascendência inerentes ao exercício de emprego, cargo ou função”. E conforme o artigo 146 do Código Penal prevê a pena ou a detenção por 3 meses a 1 ano ou multa para o transgressor

Em Mato Grosso no âmbito estadual e regional há a Lei nº 12.456 sancionada no dia 15 de março de 2024, denominada o Programa Patrulha Maria da Penha – PMP, que dá em atenção às mulheres em situação de violência doméstica e familiar. Os debates a essa temática tem se intensificado, acompanhado do aumento de denúncias de mulheres que relatam terem sido vítimas de violência.

Nessa perspectiva, considerando a relevância e importância de geração de dados e informações sobre a violência contra a mulher, reconhece-se a necessidade de compreender a realidade posta no município de Cáceres. Um município de área de fronteira, rico em fauna e flora com inserção de 3 biomas, com uma Zona de Processamento de Exportação (ZPE) em processo de início de suas operações e que tem na pesca uma das principais atividades desenvolvidas na região. Tais características suscitam a curiosidade e necessidade de trazer luzes sobre a temática da violência contra a mulher nesta municipalidade.

## **2. Objetivos**

A presente investigação tem como objetivo analisar as ocorrências de assédio sexual registradas na Delegacia Especializada da Mulher do município mato-grossense de Cáceres, no período de 2017 a 2022, com a finalidade de oferecer subsídios aos órgãos municipais e estaduais na proposição de políticas públicas.

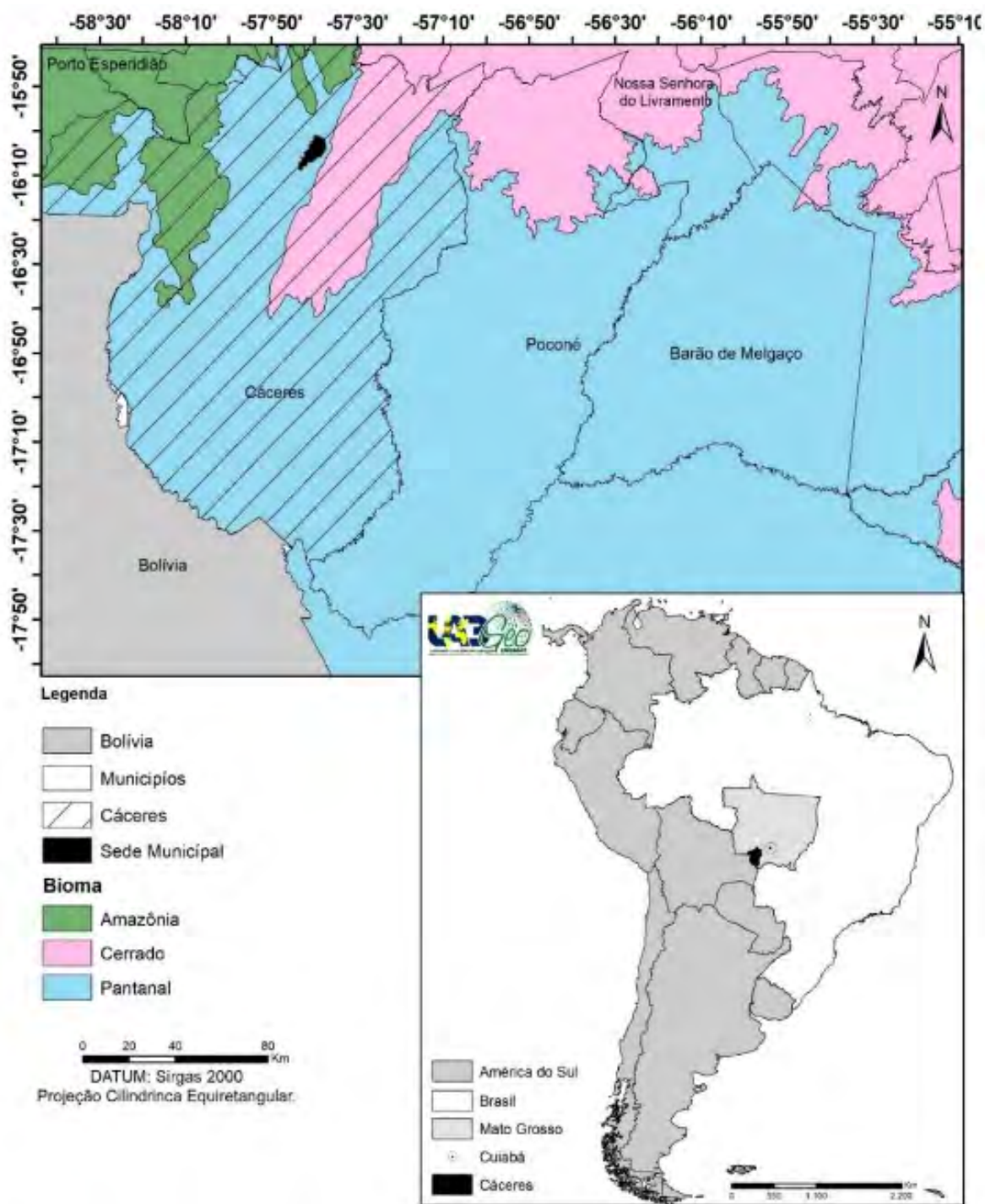
## **3. Metodologia**

### **3.1. Área de Estudo**

Cáceres foi fundada em 6 de outubro de 1778, é uma cidade localizada no estado de Mato Grosso com extensão territorial de 24.398 km<sup>2</sup>. De acordo com IBGE de 2022, conta com uma população de 89.478 habitantes, sendo desta 49,9% feminina e 50,1% masculina. Como área de estudo, foi analisado o perímetro urbano de Cáceres que segundo o Plano Diretor Participativo do Desenvolvimento Sustentável do Município de Cáceres – PDPDSMC (2019) conta atualmente com 49 bairros (**Figura 1**).

### **3.2. Procedimentos metodológicos**

Para fundamentar a discussão sobre o tema foi realizada pesquisa bibliográfica visando aperfeiçoamento de conhecimento por meio da análise científica de obras já publicadas e pesquisa documental por meio da coleta de dados de documentos e



**Figura 1.** Município de Cáceres, Mato Grosso, Brasil e seus respectivos biomas.

Fonte: Os autores (2024).

informações na Delegacia de Atendimento à Mulher (DEAM) do município de Cáceres-MT, buscando dados referentes as denúncias de assédio sexual, no período de 2017 a 2022. Posteriormente os dados foram organizados, sistematizados e quantificados no software Excel da Microsoft.

Para elaboração dos mapas foi utilizada a base cartográfica da malha urbana de Cáceres-MT, disponibilizada no sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, (2024) e construídos no software ArcGis 10.7.1 ESRI, (2019), adotando a técnica de mapas Coropleticos.

Estes se caracterizam pelo uso de diferentes sombreamentos, cores e tonalidades com base em dados quantitativos, sendo a tonalidade mais clara com menores índices registrados e com o aumento de intensidade consequentemente há o aumento de ocorrências.

#### 4. Resultados e discussão

No período investigado (2017 a 2022), foram registrados 41 casos de assédio sexual, com ocorrência em 17 bairros, dos 49 existentes no município de Cáceres. Os bairros com registros de boletim de ocorrência foram: Cavanhada I, Centro, Cohab Velha, DNER, Guanabara, Jardim das Oliveiras, Jardim do Trevo, Junco, Lava-pés, Marajoara, Rodeio, São Luiz da Ponte, Vila Mariana, Vitória Régia e Vila Real. Dentre todos os anos, destaca-se o bairro Centro e Vila Nova, com maiores registros de ocorrências de dados.

Como pode ser observado na **Figura 2**, no ano de 2017 observou-se ocorrências em 2 bairros da cidade, sendo elas nos bairros Jardim Marajoara e Cavanhada I, totalizando 3 casos. No ano de 2018 ocorreram registros no bairro Centro, Jardim Guanabara, Jardim São Luiz da ponte, Jardim Marajoara e Vitória Régia, totalizando 5 ocorrências sendo uma ocorrência por bairro.

Em 2019 ocorreram registros de assédio em 3 bairros da cidade, os referidos bairros foram Centro, Jardim Das Oliveiras e Vila Mariana totalizando 6 casos ao todo. Em 2020 ocorreu registros no bairro Centro, Cavanhada I, Vila Real, Junco, São Miguel, Cohab Velha, totalizando 8 casos.

Em 2021, ocorreram registros de assédio em 6 bairros da cidade sendo eles Vitória Régia, DNER, Jardim das Oliveiras, Jardim do Trevo, Rodeio, Lavapés, sendo 1 registro por bairro totalizando 6 casos ao todo.

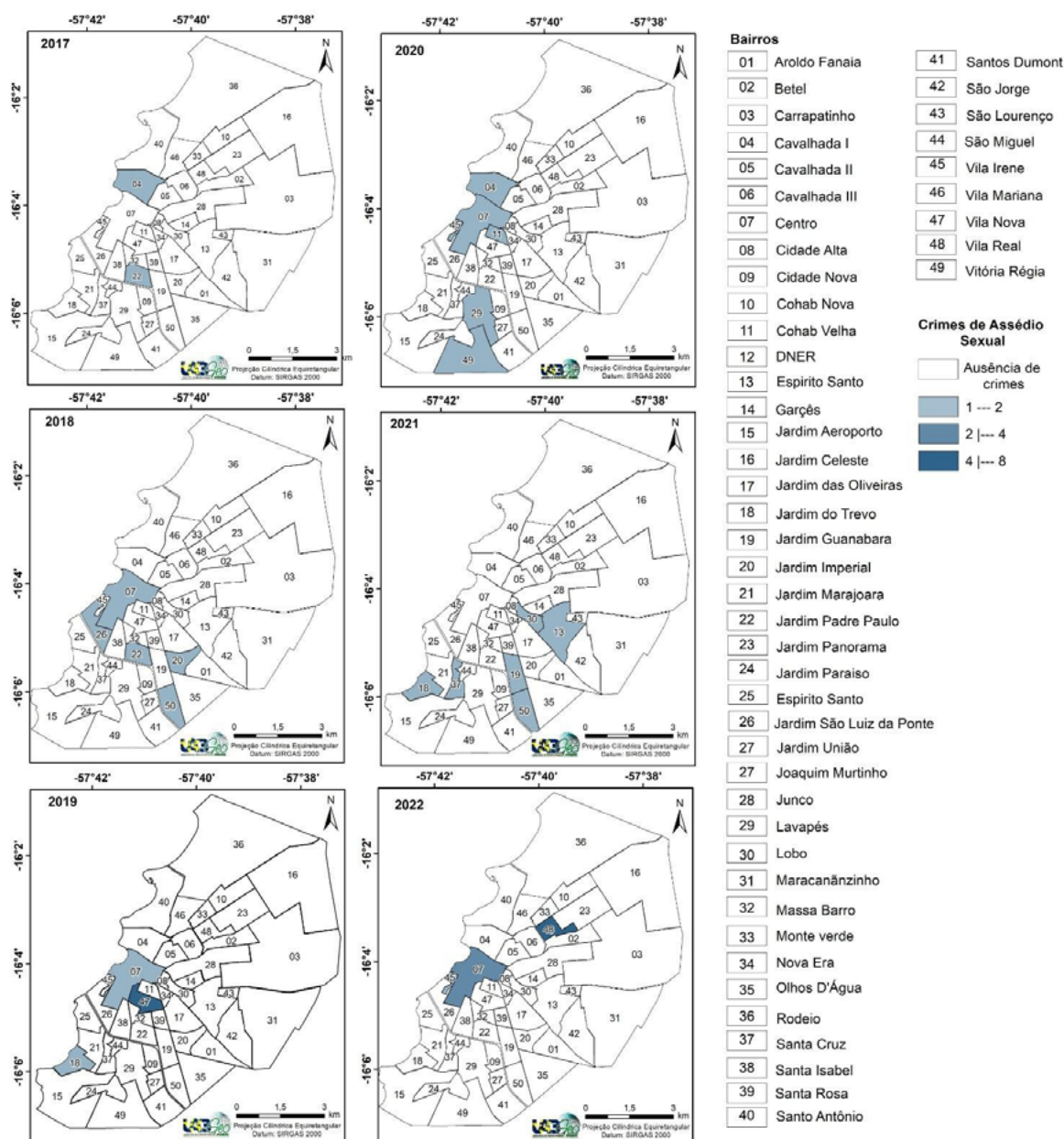
Por fim no ano de 2022, ocorreram registros de assédio sexual em 3 bairros da cidade sendo eles Centro, São Miguel e Vila Nova, sendo o bairro Vila Nova com o maior quantitativo, 8 casos ao todo, seguido 4 registros no bairro Centro e 1 no São Miguel, totalizando 13 casos ao todo.

Sobre o assédio sexual, destaca-se que esse tipo de ato criminoso pode acontecer no trabalho, na rua ou até mesmo no seio familiar. Acerca dos danos causados por esse ato, Dias (2008, p. 16) cita que:

[...] é psicológica e emocionalmente perturbador para as vítimas. É sentido como uma perda da dignidade e da confiança dos outros. Provoca depressão e comportamentos autodestrutivos. Suscita o sentimento de desânimo e de abandono.

Além da violência, muitas mulheres apresentam doenças psicológicas como ansiedade, depressão e doenças sexualmente transmissíveis (DSTS).

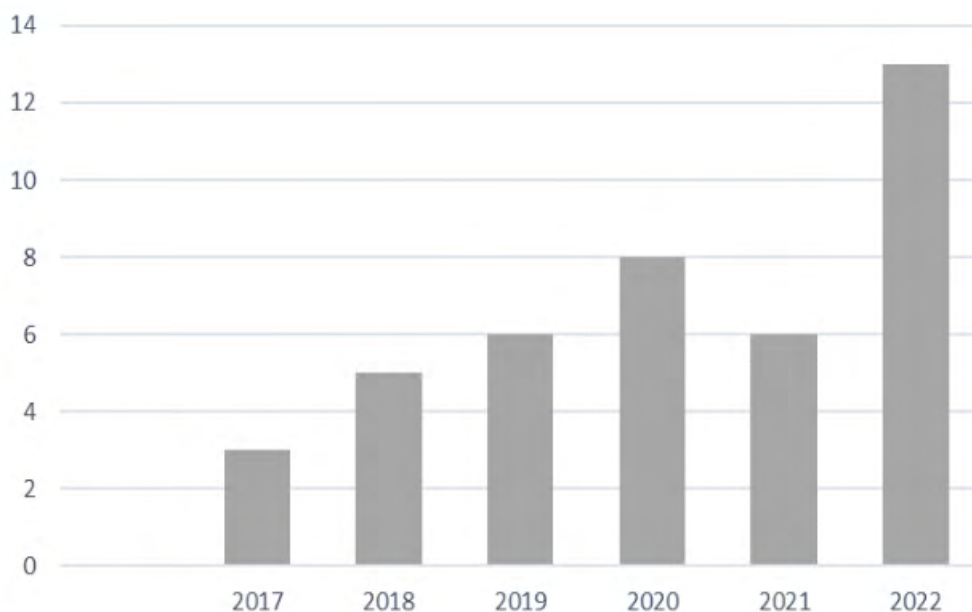
Nos anos de 2017, 2018 e 2019 os números de ocorrências registradas foram baixos, o que pode ser atribuído ao receio de represálias da família e amigos ou medo do agressor. O ano de 2020 ficou marcado pela redução dos registros, esses resultados, leva em consideração o período pandêmico, em que a circulação de pessoas na rua foi restrita, possibilitando assim a redução de fluxo nas delegacias e, consequentemente, podendo assim ter acarretado na queda de registros. Contudo, houve registros de dois casos em que as vítimas se encorajaram e denunciaram seus agressores.



**Figura 2.** Espacialização dos registros de casos de assédio sexual no período de 2017 a 2022.  
 Fonte: Os autores (2024).

Em contrapartida, no ano de 2022 o número de ocorrências quase que triplicou (**Figura 3**), o aumento de casos pode ser explicado mediante a alta desigualdade e a falta de emprego. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2023), o Brasil é conhecido por sua alta concentração de renda, onde o 1% mais rico da população detém 28,3% da renda total, tornando-o um dos países mais desiguais do mundo.

Nas análises também foram avaliados os dados sobre a faixa etária das vítimas, entretanto, não se observou variações significativas que justificassem uma predominância específica de um padrão para uma determinada faixa etária. Por meio da análise dos dados, é possível indicar que, do quantitativo total ao longo dos anos, os meses de maior registro de ocorrências foram os meses de janeiro e junho. Uma das possíveis razões ligadas a esse padrão pode estar atrelada



**Figura 3.** Ocorrências registradas de assédio entre os anos de 2017 a 2022.

Fonte: Os autores (2024).

ao período de férias escolares e/ou recessos e férias trabalhistas, períodos em que as rotinas familiares e conjugais podem sofrer mudanças que estimulam práticas de violência doméstica contra as mulheres.

Nos casos registrados entre os anos averiguados, nenhuma das vítimas informaram vínculo com o autor, esse fator pode ser atribuído a dois fatores: a vítima ter medo de represálias ou pelo não conhecimento do autor do crime. Considerando a média nacional indicada pelo Mulheres Brasileiras nos Espaços Público e Privado (FPA/Sesc, 2010), apud IPEA (2024), é demonstrado que cinco mulheres são espancadas a cada 2 minutos, o parceiro (marido, namorado ou ex) é o responsável por mais de 80% dos casos reportados.

Observa-se que os dados indicados pela DEAM podem estar sendo mascarados quanto ao apontamento dos cônjuges como responsáveis dos crimes, uma vez que, as vítimas preferem não indicar o vínculo com seu agressor, talvez pela vergonha ou medo. Em Mcewen et al. (2021), é demonstrado que a prevalência da masculinidade tóxica constitui campo fértil para práticas que marginalizam, silenciam e punem mulheres, no sentido de fazê-las aceitar ou tolerar rotineiramente a violência sexual cometida contra elas. Os referidos autores ainda enfatizam que o combate e a conquista da igualdade exigem uma ruptura das condições implícita que reproduzem os privilégios e injustiças, incluindo a tolerância cultural à violência.

## 5. Considerações finais

O assédio sexual compreende um, de vários atos de violência que a mulher sofre na atualidade. Dados da DEAM comprovam que muitas vítimas no momento do registro de ocorrência não apresentam dados de formas claras na DEAM, assim criando uma situação de dificuldade para as autoridades uma vez que são eventos corriqueiros na vida de mulheres de todas as idades. Assim sendo, destaca-se a necessidade da aplicação de ações previstas na Lei Maria da Penha, juntamente com a elaboração de políticas públicas de acolhimento e proteção às vítimas.



O uso das geotecnologia ajuda a combater a violência que a mulher sofre no cotidiano através do georeferenciamento do local, ajuda as autoridades a compreender e combater a violência.

## 6. Referências

- BrasiL. Casa Civil. Dispõe sobre a alteração do Decreto-Lei 2.848/1940. **Diário oficial** [da] República Federativa do Brasil - DOU, Poder Executivo. Brasília, DF, 7 dez. 1940.
- Cáceres (Município). Prefeitura Municipal de Cáceres. **Plano Diretor Participativo do Desenvolvimento Sustentável do Município de Cáceres – PDPDSMC**. (Org.). Comissão especial para atualização do Plano Diretor. Cáceres/MT: Secretaria de planejamento municipal, 2018.
- Dias, I. Violência contra as mulheres: o caso do assédio sexual. **Sociologia, problemas e práticas**, v. 1, n. 57, p. 11-23, 2008.
- Engel, C. L. A Violência Contra A Mulher. In: Fontoura, N.; Rezende, M.; Querino, A. C. (Org.) **Beijing+20: avanços e desafios no Brasil contemporâneo**. Brasília: Ipea, 2020. 546p.
- Esri. **ArcGIS advanced**: Release 10.7.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2019.
- IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia. Malha municipal do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 15 de jun.2024.
- IPEA– Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada. **demografia. População. Estudos revelam impacto da redistribuição de renda no Brasil Brasília**: Ipea, 2024.
- McEwen, Celina; Pullen, Alison; Rhodes, Carl. Assédio sexual no trabalho: um problema de liderança. *Revista de Administração de Empresas*, v. 61, p. e00000008, 2021.
- Opas – Organização Pan-Americana da Saúde. **Violência contra as mulheres**. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/topics/violence-against-women>. Genebra: OPAS, 2024.
- Silva, C. J & Silva, J. A. F. **No ritmo das águas do Pantanal**. São Paulo - SP: NUPAUB/ USP, 1995. 134 p.
- Silveira, M. A. T; Zibetti, R. A. O Turismo Náutico Como Vetor De Desenvolvimento Turístico Da Região Hidrográfica Do Paraguai: Desafios E Oportunidades. In: Seminário De Transporte E Desenvolvimento Hidroviário Interior, 9,. 2015, Manaus. **Anais** [...]. Manaus, 2015.

## **Cartografia de síntese para a avaliação temporal da planície do Pantanal sul-mato-grossense**

Vanderlei Leopold Magalhães <sup>1</sup>  
Giovana Clarice Poggere <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR  
Av. Brasil, 4232 - Caixa Postal 271  
85722-332 - Medianeira - PR, Brasil  
{vlmagalhaes; gcpoggere}@utfpr.edu.br

**Resumo.** A proposta deste artigo é promover a valorização do material produzido pelo Projeto RadamBrasil, e se utilizar da base cartográfica dos mapas publicados em 1982, de Geologia, Geomorfologia, Solos, e Vegetação do Pantanal do Mato Grosso do Sul – Brasil, nas proximidades da cidade de Corumbá. O objetivo é descrever, avaliar este sistema para verificar a evolução desta paisagem nos últimos 42 anos. A complexidade deste Bioma foi interpretada no mapa digital de uso e cobertura do solo elaborado pelo Projeto MapBiomias dos anos 2008 e 2022. Quando analisados e interpretados estes mapas, principalmente o de Geomorfologia, de Solos e de Vegetação, percebe-se que por ser uma área de planície, e comparado ao mapa do Projeto MapBiomias dos anos 2008 e 2022, não há mudanças extraordinárias nesta paisagem ao longo dos anos. Há a inserção da agropecuária em áreas bem específicas, e reforçando o objetivo da cartografia de síntese, isso é explicado pelo tipo de solo e seu potencial edáfico, e pelas formas de relevo que criam o verdadeiro Pantanal, inundado ao longo dos anos, prevalecendo uma vegetação arbustiva e herbácea. A mudança mais significativa é visualizada nas áreas ao sul de Corumbá no mapa digital do MapBiomias, em que fica evidente uma transformação da área antes ocupada pela Floresta Decidual, e agora há a inserção de áreas agricultáveis em meio a floresta. Porém, essa afirmação vale somente para este recorte da pesquisa.

**Palavras-chave:** projeto RadamBrasil, projeto MapBiomias, mapas temáticos.

**Abstract.** The purpose of this article is to promote the valorization of the material produced by the RadamBrasil Project to use on a cartographic basis two maps of Geology, Geomorphology, Soils, and Vegetation of the Pantanal of Mato Grosso do Sul, Brazil, in the vicinity of the city of Corumbá, published in 1982. The objective is to discover and validate this system to verify the evolution of this landscape in the last 42 years. The complexity of this biome was interpreted in a digital map of use and coverage that was only prepared by the MapBiomias Project in 2008 and 2022. When these maps are analyzed and interpreted, mainly of Geomorphology, Soils, and Vegetation, we realize that because it is a plain area, compared to the map of the MapBiomias Project, which has not made any extraordinary changes in this landscape of the years. There is the insertion of agriculture in very specific areas, and reinforcing the objective of synthetic cartography, this is explained by the type of soil and its edaphic potential, and by the relief forms that create the true Pantanal, flooded over the years, with shrubby and herbaceous vegetation prevailing. The most significant change is visualized in the areas south of Corumbá on the digital map of MapBiomias, in which a transformation of the area previously occupied by the Deciduous Forest is evident, and now there is the insertion of agricultural areas in the middle of the forest. Therefore, this statement is valid only for this area analyzed.

**Key-words:** RadamBrasil project, MapBiomias project, thematic maps.

## 1. Introdução

Se buscarmos uma definição para a Cartografia, facilmente encontraremos uma série enorme delas. As mais simples procuram a partir da etimologia da palavra e, então, se limitariam a dizer que Cartografia é o estudo ou todas as preocupações voltadas para a elaboração de mapas e outros produtos cartográficos. Mas definir Cartografia nesses termos, seria o mesmo que afirmar que a Geografia é o estudo da Terra.

De fato, a Cartografia, embora se preocupe fundamentalmente com a elaboração de cartas, mormente quando técnica auxiliar da Geografia, tem outras atribuições importantes. A Cartografia é, por si só, uma ciência perfeitamente definida, com propósitos e métodos próprios, quando cuida da representação de partes ou de toda a superfície terrestre. Ao atender a essas preocupações, a Cartografia cuida da locação exata dos detalhes naturais e artificiais, que careçam de representação gráfica ou espacial Joly, (1990).

Essa técnica e arte de produzir mapas revelam os aspectos visíveis da paisagem, espelham projetos de desenvolvimento regional e contribuem para organizar melhor o ambiente. Foi nessa premissa que se consolidou o Projeto RadamBrasil nos 1970, se fazendo uso do Sensoriamento Remoto com a principal finalidade de expandir a percepção sensorial do ser humano, através da visão panorâmica, por meio de imagens de Radar (na faixa do micro-ondas), fotografias aéreas e de imagens de satélites (na faixa do visível e infravermelho), possibilitando obter informações em regiões do espectro eletromagnético inacessíveis à visão humana.

No caso de dados que interessam a Geografia, mais precisamente a elaboração de mapas, a tecnologia da informática que envolvia a cartografia assistida por computador evoluiu para os chamados Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que se constituem em dispositivos automatizados, para a aquisição, gerenciamento, análise e apresentação dos dados georreferenciados que interessam ao objeto de estudo geográfico, monitorados no tempo, além de propiciar simulações de eventos e situações complexas da realidade (Florenzano, 2008).

A Fotointerpretação faz parte do Sensoriamento Remoto, o qual não é propriamente uma ciência, mas sim um conjunto de técnicas, tecnologias que dependem ou estão diretamente ligados aos avanços de outras ciências.

Segundo Anjos (1990), a Fotointerpretação é definida como o ato de examinar documentos fotográficos com o objetivo de identificar objetos (alvos) e avaliar sua significância. Para sua realização, é preciso seguir algumas etapas, tais como Fotoidentificação, Fotoanálise e a Fotointerpretação propriamente dita. Após estas etapas, podem ser realizados trabalhos de campo para autenticar as informações interpretadas.

Via de regra, é isso que o projeto RadamBrasil se propôs a fazer, e neste recorte da pesquisa o objetivo é apresentar, discutir e validar uma análise temporal da planície alagável do Pantanal do Mato Grosso do Sul. A planície alagável do Mato Grosso do Sul é parte integral do Pantanal. Este por sua vez é um ecossistema de suma importância tanto para a biodiversidade quanto para os serviços ecossistêmicos que oferece. Sua função como área de alagamento é essencial para a recarga dos aquíferos e para a filtragem natural das águas. Entretanto, o uso de áreas para atividades agropecuárias tem levado a modificações no uso e cobertura do solo neste local. Neste sentido, os mapas produzidos pelo Projeto RadamBrasil publicados em 1982 podem contribuir para o entendimento das alterações deste ambiente, quando confrontados com os mapas digitais de uso e cobertura do solo elaborados pelo Projeto MapBiomas Brasil (2024).

## 2. Objetivo

A proposta deste artigo é promover a valorização do material produzido pelo Projeto RadamBrasil, e se utilizar da base cartográfica dos mapas de Geologia, Geomorfologia, Solos, e Vegetação do Pantanal do Mato Grosso do Sul – Brasil, para descrever e avaliar este sistema bem como verificar a evolução desta paisagem nos últimos 42 anos pela comparação com o mapa digital de uso e cobertura do solo do Projeto MapBiomas dos anos 2008 e 2022.

## 3. Material e Métodos

O Radam (RADar AMazônia) foi criado em 1970 na Amazônia, com o objetivo de fazer o mapeamento e o levantamento de recursos naturais dessa região, no âmbito do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) do Ministério das Minas e Energia. Cinco anos mais tarde foi expandido para todo o território nacional, passando a se chamar RadamBrasil. Em 1985, ele foi integrado ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que incorporou seu acervo técnico e o corpo de profissionais.

O projeto foi pioneiro no uso de imagens de radar para interpretação da geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e do uso potencial da terra. As características climáticas da região amazônica, com uma grande quantidade de nuvens durante longos períodos do ano, foi um dos fatores determinantes para a escolha do Radar de Visada Lateral. Vale mencionar que o sensor de um Radar consegue capturar imagens em condições adversas, seja a noite, com chuva, ou mesmo com o local ter muitas nuvens. Logo, não seria possível tirar fotografias de avião através de câmeras comuns e, sem uma fotografia, os técnicos, geólogos, engenheiros e outros não poderiam estudar o meio ambiente amazônico.

Conforme Laurino (2021), foi um verdadeiro desafio técnico enfrentado para a interpretação das imagens de Radar, levando-se em consideração o que se tinha de tecnologia na época. Por conta disso, cada equipe de mapeamento tinha a sua respectiva Divisão, que consistia desde a interpretação até as idas a campo para validar os dados e resultados.

Já o Projeto MapBiomas (<https://brasil.mapbiomas.org/>), é mais atual, e envolve pesquisadores e especialistas em sensoriamento remoto, ciência da computação e pesquisadores dos biomas e dos principais usos da terra do país. Todo o trabalho é feito utilizando computação em nuvem através da plataforma Google Earth Engine.

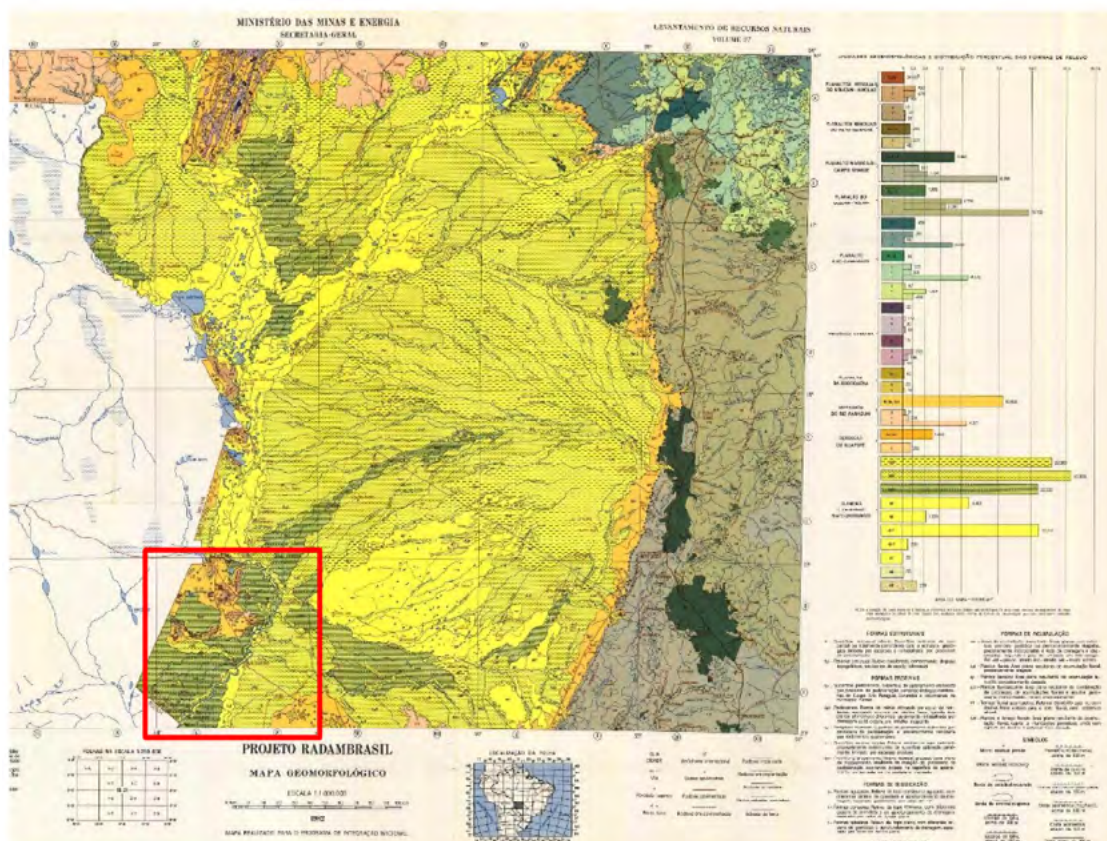
O projeto MapBiomas, conforme sugere o próprio site, é uma iniciativa do Observatório do Clima, co-criada e desenvolvida por uma rede multi-institucional envolvendo universidades, Organizações Não Governamentais e empresas de tecnologia com o propósito de mapear anualmente a cobertura e uso da terra do Brasil e monitorar as mudanças do território. Os dados do MapBiomas são públicos, abertos e gratuitos.

Diante da proposta deste artigo, foram selecionados quatro mapas desenvolvidos pelo

Projeto RadamBrasil. Os mapas do Projeto RadamBrasil, para essa área do Pantanal, foram desenvolvidos entre maio de 1978 a abril de 1981, pelo Ministério das Minas e Energia do Brasil, com publicação em 1982. Correspondem a Folha SE.21 Corumbá e parte da Folha SE.20 IBGE, (2024). Os mapas estão hospedados nos anexos do livro da biblioteca digital do IBGE (<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281409>):

- 1- Mapa Geológico na escala 1:1.000.000, elaborado pela Divisão de Geologia contou com auxílio de imagens do Satélite Landsat (norte americano) e fotografias aéreas.
- 2- Mapa Geomorfológico na escala 1:1.000.000, elaborado com base em interpretação de mosaicos semicontrolados de imagem de radar e trabalho de campo pela Divisão de Geomorfologia.
- 3- Mapa Exploratório de Solos na escala 1:1.000.000, elaborado com base em interpretação de mosaicos semicontrolados de imagem de radar e trabalho de campo pela Divisão de Pedologia. Para facilitar a relação entre as classes de solo descritas no mapa com as classes de solo atualmente descritas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018), nos resultados e discussão a classe do mapa será descrita seguida do seu correspondente atual no sistema brasileiro de classificação de solos.
- 4- Mapa de Vegetação na escala 1:1.000.000, elaborado com base em interpretação de mosaicos semicontrolados de imagem de radar e trabalho de campo pela Divisão de Vegetação.

Nos mapas, foi realizado um recorte de uma área do Pantanal do Mato Grosso do Sul – Brasil, nas proximidades da cidade de Corumbá (**Figura 1**). Nessa área, entre as coordenadas geográficas de 19º a 20º de latitude sul e 57º a 58º de longitude oeste, um quadrante de 111 por 111 km, foi possível descrever, avaliar este sistema para verificar a complexidade e a evolução desta paisagem em termos de uso nos últimos 42 anos.



**Figura 1.** Destaque para o recorte da área de estudo sobre o mapa Geomorfológico do Pantanal.

Pelo Pantanal Mato-Grossense ser considerado a maior planície alagada contínua do mundo, com aproximadamente 140.000 km<sup>2</sup> em território brasileiro, numa região de um mosaico complexo tendo o rio Paraguai como referência, que age nesta paisagem de uma imensa área de sedimentação e inundação Souza e Souza, (2010), foi utilizado e analisado o mapa digital de uso e cobertura do solo do Projeto MapBiomias dos anos de 2008 e 2022, para fins de comparação e entendimento da situação atual desta parte do Bioma Pantanal, principalmente para se ter ideia de como as águas agem nessa planície. Estes mapas digitais estão disponíveis na Plataforma de Mapas e Dados, no site do Projeto MapBiomias Brasil (2024).

#### 4. Resultados e Discussão

A expansão dos estudos geomorfológicos no Brasil se deu nos últimos 50 anos, devido à valorização das questões ambientais e por aplicar-se diretamente à análise ambiental.

Estudando vários temas e diversas regiões brasileiras, as primeiras gerações de geólogos brasileiros juntamente com alguns estrangeiros, desenvolveram a partir do início do século até a década de 1940 o conhecimento geomorfológico no Brasil. Vários trabalhos de brasileiros marcaram este período como, por exemplo, o de Guimarães (1943) e Azevedo (1949), que reúne e sintetiza o relevo brasileiro, Maack (1947) sobre a geologia do Paraná, Tricart (1959), que estabelece a divisão morfoclimática para o Brasil atlântico central, e Ab'Saber (1969) sobre a geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário.

Logo, o Projeto RadamBrasil, um dos maiores projetos já realizados, buscando o levantamento de recursos naturais, incluindo não somente a geologia, mas a geomorfologia, a pedologia, a vegetação e o uso do solo, teve todo aparato e uma base de toda produção científica produzida no Brasil até aquele momento.

Interpretar é o ato de compreender, explicar, dar uma versão lógica aos fatos observados e descritos. Na interpretação, os dados ou aspectos observados são classificados, fazendo-se deduções a respeito da sua ocorrência/distribuição no espaço.

É através das imagens de satélite que o ambiente mais distante ou de difícil acesso torna-se mais acessível. Ao retratarmos parte, ou uma face da superfície terrestre, elas permitem fazer a ligação entre o pontual ou local e o global. Sobre a Geologia do Bioma do Pantanal (**Figura 2**), a estrutura geológica em si não explica os vários tipos de paisagem. Neste recorte, fica evidente que a Formação Pantanal (Qp) é a mais representativa, seguido dos Aluviões Atuais (Ha) nas margens dos rios, os Depósitos Detríticos (Qd), e as Formações do Pré-Cambriano do Grupo Corumbá (PĒbo e PĒra) já nas proximidades da cidade de Corumbá.

Como é sabido, dentro da própria geologia, a essa estrutura são superimpostas às ações dos fatores climáticos que modelam as formas de relevo, atuando na parte superficial da Terra, por exemplo, a dos ventos, das chuvas, das águas (rios), da temperatura, dentre outros. O relevo, representado pelo mapa Geomorfológico (**Figura 1 e 3**), que é o resultado do equilíbrio entre a meteorização da rocha e sua resistência aos processos morfoclimáticos, destaca-se por uma área de Planalto e uma de planície. Uma paisagem onde a estrutura geológica desempenha papel preponderante e, outras onde as ações morfoclimáticas predominam.

Esse efeito paisagístico dos dois conjuntos varia em função do clima e da natureza das rochas. A Planície do Pantanal é drenada pelo rio Paraguai e uma extensa rede de afluentes sujeitos a um regime hídrico de cheias sazonais e particularidades que conferem um caráter peculiar à região. Como se observa no mapa (**Figura 3**), o lado direito e esquerdo do rio Paraguai é compartimentado em sua maior parte pelas Planícies e Pantanaís Mato-Grossense (Aai2 e Aai3). De acordo com as orientações do próprio Projeto RadamBrasil, Aai são áreas de acumulação inundáveis.





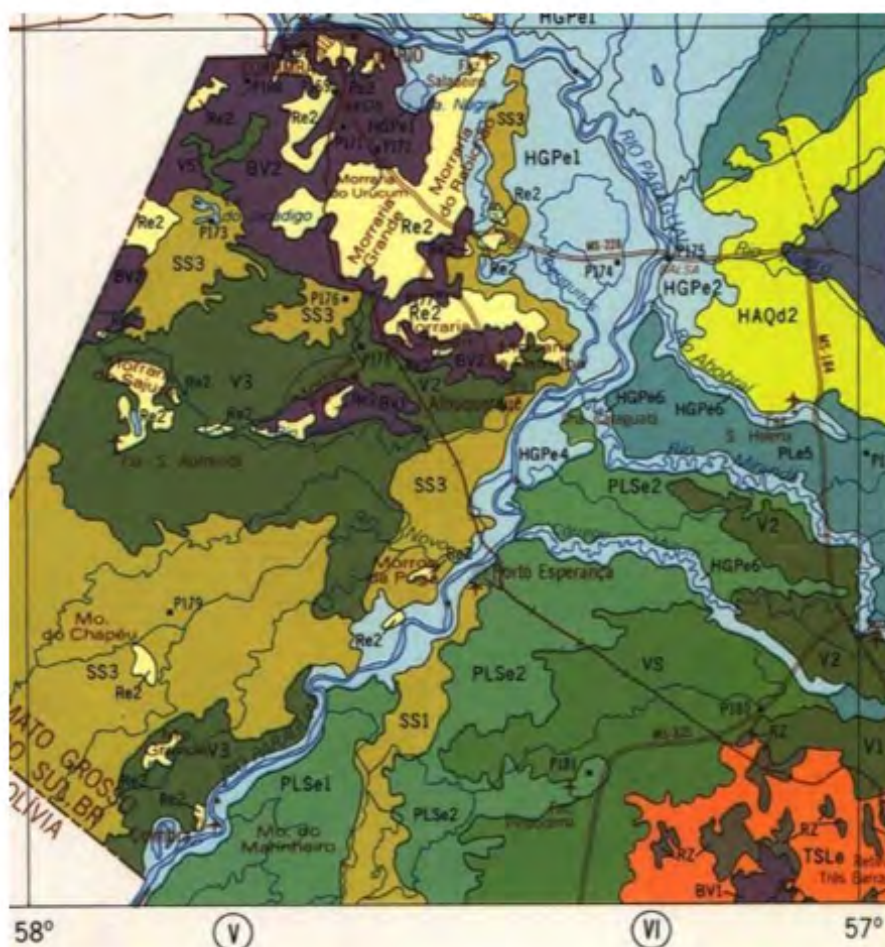
**Figura 3.** Mapa Geomorfológico.

em profundidade, entre outras, o que limita seu uso para cultivo (Santos et al. 1997).

No mapa da (Figura 4), porém, não é tão evidente os solos hidromórficos. O que se vê de mais representativo, são os Gleis Pouco Humico eutrófico (HGpe) (atualmente classificado como Gleissolo), que envolvem as margens do rio Paraguai, os BV – Brunizem Avermelhado (atualmente classificado como Chernossolo), V – Vertissolo, SS3 – Solonets Solodizado (atualmente classificado como Planossolo Nátrico) e Re – Solos Litólicos eutróficos (atualmente classificado como Neossolo Litólico), todos na vertente direita do rio, e os PLSe – Planossolo eutrófico Solódico e HAQd – Areias Quartzosas Hidromórficas distróficas (atualmente classificado como Neossolo Quartzarênico), Vertissolo Solódico (V), Planossolo eutrófico (PLe5), todos na vertente esquerda do rio.

Como exemplo de compreensão desta paisagem, pode-se citar os Vertissolos (V), que são solos minerais hidromórficos ou com sérias restrições à percolação de água. Possuem textura argilosa (no mínimo 30 g de argila por kg de solo) e pronunciada mudança de volume com a variação do teor de umidade, alta capacidade de troca de cátions e alta saturação de bases (maior que 50%) com teores elevados de cálcio e magnésio (Embrapa, 2018).





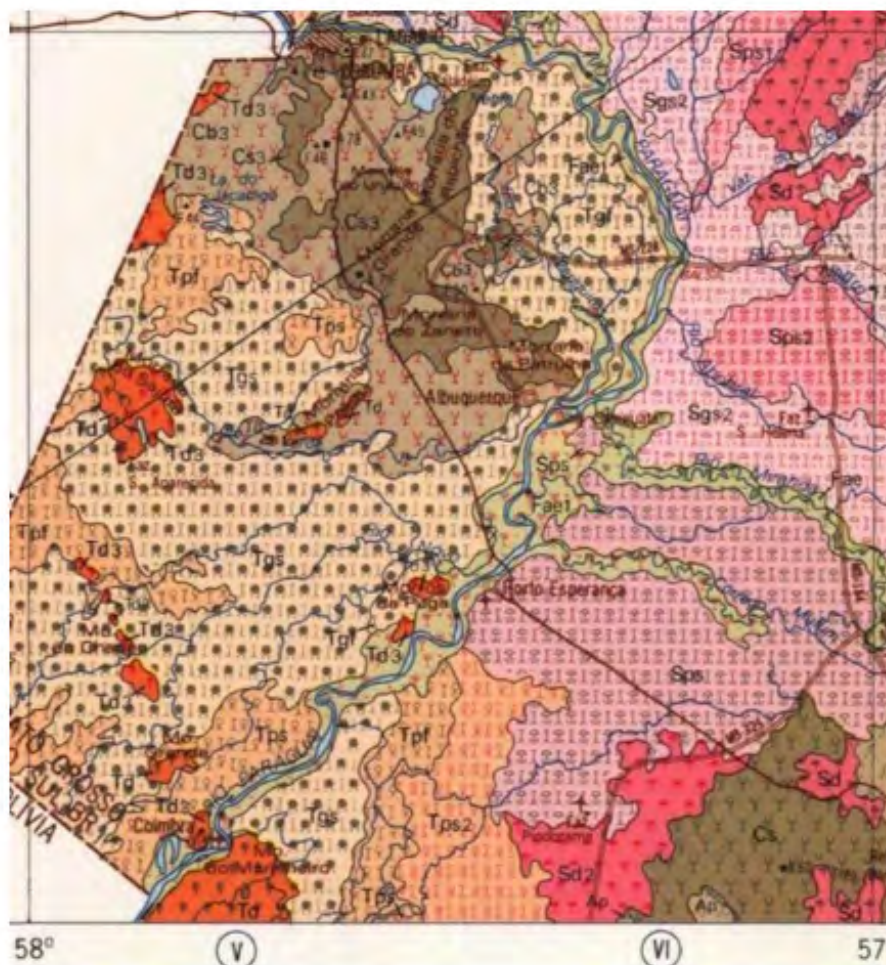
**Figura 4.** Mapa Pedológico.

O mapa da cobertura vegetal (**Figura 5**) é mais uma ferramenta para entender o Pantanal e a relação entre o planalto e a planície alagável, e para auxiliar os gestores a adotarem medidas para a conservação do Pantanal.

É interessante observar que este mapa contempla a mesma proposta de Classificação do IBGE com a última publicação em 2012, a exemplo do que é a Formação Florestal (Cb, Cs, Td) que identifica árvores altas e arbustos no estrato inferior: Floresta Decidual Submontana (Cs3), Floresta Decidual Terras baixas (Cb3) e Savana-Estépica Florestada (Td3). Essa situação pode ser verificada na (**Figura 5**), nas proximidades da cidade de Corumbá.

A formação florestal descrita acima fica envolvida pela Formação Savânica Estépica, que também é representada neste recorte, as margens direita do rio Paraguai, e corresponde ao grupo Tgs, Tgf e Tpf - espécies arbóreas de pequeno porte, distribuídas de forma esparsa e dispostas em meio à vegetação contínua de porte arbustivo e herbáceo. Como é de conhecimento comum, as arbustivas apresentam um tamanho intermediário, não tem grande altura, quando comparado às arbóreas, e são encontradas predominantemente na savana. As herbáceas apresentam o tamanho pequeno (de 10 a 50 cm), compostas principalmente por gramíneas.

Ainda se identifica na outra margem do rio, mais três formações expressivas: os Campos Alagados e Áreas Pantanosas (Sp) - vegetação herbácea com predomínio de gramíneas sujeitas ao alagamento permanente ou temporário (pelo menos uma vez ao ano) de acordo com os ciclos naturais de inundação; a formação campestre (Sg) - vegetação com predomínio de



**Figura 5.** Mapa da Vegetação.

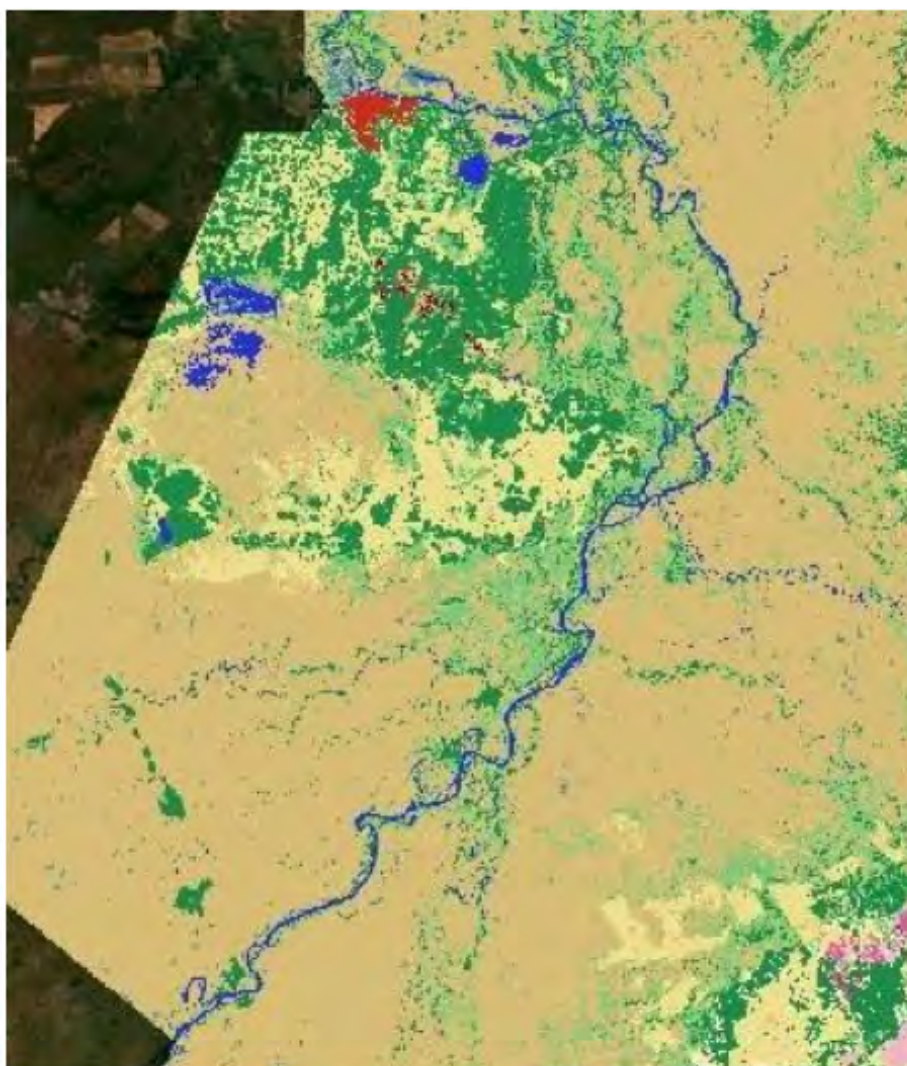
estrato herbáceo graminóide, com presença de arbustivas isoladas e lenhosas raquíticas; e uma representação da vegetação arbórea densa (Sd).

Analisando as áreas ao sul de Corumbá (em vermelho), no mapa digital de uso cobertura do solo do MapBiomias do ano de 2022 (**Figura 6**), fica evidente uma pequena transformação dessa área de vegetação (em verde no mapa) ao longo dos anos. Nas formações vegetais Cs3 e Cb3 identificadas no RadamBrasil (**Figura 5**), atualmente nota-se a inserção de áreas destinadas a agricultura e a pecuária em meio a floresta. Assim, como o avança da agropecuária em Tgs. Ambas são representadas pela cor amarela no MapBiomias.

As áreas representadas na cor azul, que correspondem a água, fazem sentido se observar que estão em áreas Tpf (alagáveis) nas proximidades dos rios, com plantas Td3 e Tgs. Isso é reforçado no mapa de 2008 (**Figura 7**) do MapBiomias.

A Formação natural não florestal na cor marrom claro, parece ter relação direta com o regime de inundações, e ser o fator determinante das possibilidades de uso da planície, que se restringe praticamente ao aproveitamento das pastagens nativas com pecuária extensiva.

Nota-se que nesta área de estudo, a composição botânica é influenciada diretamente pelos gradientes edáficos (especialmente as características físicas e químicas dos solos) e topográficos (Geomorfológicos). Associado a estas duas características, vale reforçar a ação das águas nessa paisagem, que aparentemente, além de desempenhar um papel importante nas



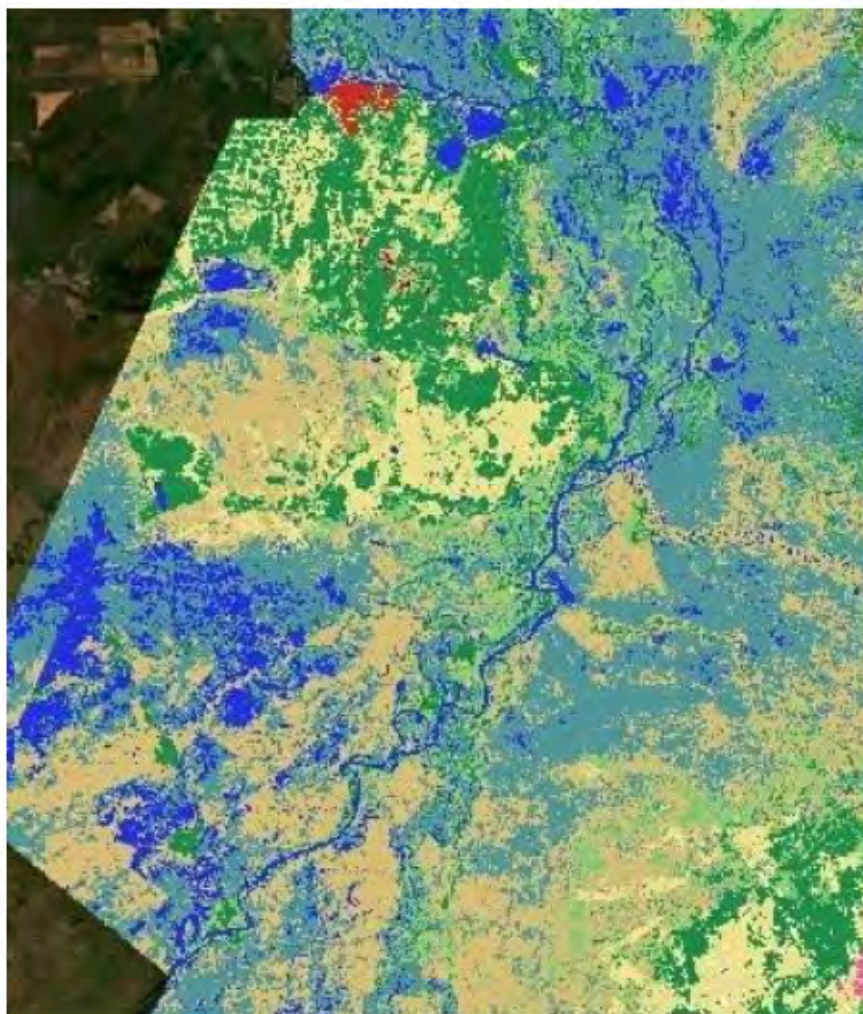
**Figura 6.** MapBiomomas no ano 2022.

mudanças na estrutura regional e na diversidade de espécies vegetais, acaba inibindo o avanço da agropecuária.

Hoje, com o uso intensivo, as áreas agrícolas e de pastagens, carentes de um manejo adequado que levam em conta as suas fragilidades naturais, tornaram-se grandes produtoras de sedimentos que são carregados para o leito dos rios. No momento em que os rios alcançam a região da planície, suas águas perdem a capacidade de transporte desses sedimentos, que são ali depositados causando o assoreamento generalizado dos baixos cursos fluviais.

O desmatamento no Pantanal sempre foi um tema polêmico para os atores envolvidos. Notoriamente, para poder discutir e buscar soluções para esta ameaça, são necessárias informações de credibilidade. Com esta perspectiva existem diversos projetos ligados a tecnologia e a ciência no Brasil, principalmente aqueles desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Embrapa, organizações não governamentais, e demais pesquisadores.

Um diagnóstico, publicado em 2009, mostra um Pantanal ainda conservado se comparado a outros biomas, como Mata Atlântica, mas vulnerável, principalmente em razão dos impactos ocorridos na parte alta da Bacia do Alto Paraguai (BAP). Enquanto a planície inundável mantém 86,6% da sua cobertura vegetal natural, no planalto da BAP, apenas 43,5% da área possui vegetação nativa Pantanal, (2009).



**Figura 7.** MapBiomomas no ano 2008.

Este estudo dos mapas do Projeto RadamBrasil, e do Projeto MapBiomomas, ajudam a reforçar a necessidade de olhar para o Pantanal com uma visão de bacia hidrográfica e não apenas a região alagável, a mais conhecida. Isso porque, é na parte alta onde estão as nascentes dos rios que abastecem o Pantanal. O equilíbrio ambiental e os processos ecológicos, responsáveis pela rica biodiversidade do Pantanal são determinados por eventos, naturais ou não, que ocorrem tanto na parte alta como na planície da bacia hidrográfica.

Vale ainda reforçar que os mapas temáticos produzidos pelo Projeto RadamBrasil, se revelaram, ao longo destas últimas décadas, como uma fonte valiosa na cartografia de síntese, e mostram-se como uma metodologia interessante para a compreensão da paisagem e para fins de gestão territorial. É um material de interesse direto para as atividades de geociências e ciências afins, em todas as suas áreas (geografia, cartografia, geodésia, recursos naturais, entre outras). É importante ainda para a estatística, particularmente pela preservação do material produzido na época e uma contribuição à memória do desenvolvimento da cartografia temática e do sensoriamento remoto no país e no mundo, em um momento em que os avanços obtidos com os novos sensores remotos, produzindo dados com melhores resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal, tem se mostrado cada vez mais úteis por permitir medir e estudar uma variedade de fenômenos geomorfológicos, hidrológicos e climáticos, por exemplo, com uma rapidez e precisão nunca obtidos anteriormente.

## 5. Conclusões e Sugestões

Ressalta-se que este trabalho se restringiu apenas a uma área de aproximadamente 111 por 111 km (1 arco de grau de latitude e longitude), na escala 1:1.000.000, e entrega resultados bem satisfatórios para um mapeamento elaborado a mais de 40 anos sobre o Bioma do Pantanal. Os mapas temáticos gerados pelo Projeto RadamBrasil possuem um nível de detalhamento maior do que o apresentado na escala, isso deve-se ao fato de serem uma junção de mapas na escala de 1:250.000. Quando analisados e interpretados estes mapas, principalmente o de Geomorfologia, de Solos e de Vegetação, percebe-se que por ser uma área de planície, e comparado ao mapa do Projeto MapBiomias dos anos 2008 e 2022, não há mudanças extraordinárias nesta paisagem ao longo dos anos. Há a inserção da agropecuária em áreas bem específicas, e reforçando o objetivo da cartografia de síntese, isso é explicado pelo tipo de solo e seu potencial edáfico, e pelas formas de relevo que criam o verdadeiro Pantanal. Porém, essa afirmação vale somente para este recorte da pesquisa. E sim, há a necessidade, portanto, que os trabalhos prossigam, aprofundando o nível em escalas de detalhes, estendendo a sua abrangência para a Bacia do Alto Paraguai, para que se possa construir uma base de dados computadorizados de mapeamento de uso e cobertura dos solos, assim como vem sendo feito pelo Projeto MapBiomias.

## 6. Referências

- Ab'Saber, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n.18, p. 1-23, 1969.
- Anjos, R. S. A. Questões estruturais e perspectivas da fotointerpretação do espaço urbano no Brasil: uma breve reflexão. **Cadernos de Geociências**, Rio de Janeiro, n. 7, p. 17-21, 1990.
- Azevedo, A. D. O planalto brasileiro e o problema da classificação de suas formas de relevo. **Boletim Paulista De Geografia**, n. 2, p. 43-53, 1949.
- Embrapa. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília-DF: Embrapa-Solos, 5 ed., 2018.
- Florenzano, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- Guimarães, F. M. S. Relevo do Brasil. **Boletim de Geografia**. Ano I, n. 4, p. 63-72, 1943.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Manuais Técnicos em Geociências. Rio de Janeiro, 2012. Disponível na biblioteca digital: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=263011>>. Acesso em: 16 jul. 2024.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Ministério das Minas e Energia do Brasil. Secretaria Geral. **Projeto RadamBrasil**. Folha SE.21 Corumbá e parte da Folha SE.20: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. Disponível na biblioteca digital: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281409>>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Joly, F. **A Cartografia**. Campinas: Papyrus. 1990.
- Laurino, A. A. A. **Radam/RadamBrasil: Um projeto para conhecer e mapear o Brasil**. Artigos. Instituto Histórico e Geográfico de Mato Grosso do Sul, 2021. Disponível em: <<https://ihgms.org.br/artigos>>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- Maack, R. Breves notícias sobre a Geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**. v. 2, p. 63-154, 1947.
- Pantanal. Relatório Técnico Metodológico. Bacia do Alto Paraguai: cobertura vegetal. **Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do Alto Paraguai (2002-2008)**. Iniciativa: CI – Conservação Internacional, ECOA - Ecologia e Ação, Fundación AVINA, Instituto SOS Pantanal, WWF- Brasil. Brasília, 2009. Disponível em: [https://wwfbrnew.awsassets.panda.org/downloads/mapacoberturabaciaaltoparaguai\\_estudocompleto.pdf](https://wwfbrnew.awsassets.panda.org/downloads/mapacoberturabaciaaltoparaguai_estudocompleto.pdf). Acesso em: 17 jul. 2024.
- Projeto MapBiomias – **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, para o**

**período de 1985 a 2022.** Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/>>. Acesso em: 27 jun. 2024.

Santos, R. D. dos; Carvalho Filho, A.; Naime, U. J.; Oliveira, H.; Motta, P. E. F.; Baruqui, A. M.; Barreto, W. O.; Melo, M. E. C. C. M.; Paula, J. L.; Santos, E. M. R.; Duarte, M. N. Pedologia. In: Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP: diagnóstico dos meios físico e biótico - meio físico. Brasília, DF: PNMA, v. 2, t. 1, p.127-307, 1997.

Souza, C. A. de; Souza, J. B. de. Pantanal Mato-Grossense: origem, evolução e as características atuais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros - Seção Três Lagoas**, n. 11, p. 34-51, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufms.br/index.php/RevAGB/article/view/654>>. Acesso em: 10 jul. 2024.

Tricart, J. Divisão morfoclimática do Brasil Atlântico Central. Geomorfologia. **Boletim Paulista de Geografia**. n. 31. p. 3-44 , 1959.

## **Avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra na Região de Planejamento Sudoeste de Mato Grosso-Brasil**

Adilson Ribeiro de Araújo<sup>1</sup>  
Diego Tarley Ferreira Nascimento<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Goiás – UFG  
Rua Dos Bem-te-vis, 287 – Parque Ohara  
782080-340 – Cuiabá-MT, Brasil  
adilsonaraujo@discente.ufg.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Goiás - UFG  
Av. Esperança, s/n - Samambaia  
74001-970 - Goiânia - GO, Brasil  
diego\_nascimento@ufg.br

**Resumo.** O trabalho tem como objetivo avaliar a dinâmica de uso e cobertura da terra na Região de Planejamento Sudoeste de Mato Grosso, de 1985 a 2022, utilizando os dados secundários provenientes do Projeto MapBiomass, validados por testes de normalidade. As classes de uso e cobertura das terras do mapeamento do MapBiomass foram agrupadas em seis categorias: Floresta Natural, Formação Natural não Florestal, Pastagem, Agricultura, Área não Vegetada e Corpos d'Água. Uma segunda reclassificação foi feita com a técnica do *Semi-Automatic Classification Plugin* e o *Landscape Statistic*, resultando nas seguintes classes: Inalterado, Desflorestado, Vegetação Remanescente, Reflorestado, Uso Consolidado e Corpos d'Água. Entre os dois períodos de avaliação, observou-se um aumento nas áreas de Agricultura (338%), Pastagem (187%) e Área não vegetada (300%), enquanto as áreas de Floresta Natural, Formação Vegetal não Florestal e Corpos d'Água diminuíram em 30,1%, 22,5% e 68,4%, respectivamente. Os testes de normalidade (Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors) indicaram consistência entre os dados de 1985 a 2022, exceto o Jarque-Bera, que apresentou divergências. As maiores variações de amplitude e distribuição irregular ocorreram nas classes de Formação Natural não Florestal e Agricultura/Pastagens sobre o uso e a cobertura da terra. Conclui-se que a região enfrenta uma intensa remoção de floresta, alterando significativamente os biomas Amazônico, Cerrado e Pantanal.

**Palavras-chave:** MapBiomass, Cobertura e uso do solo, Teste de Normalidade.

**Abstract.** The aim of this study is to assess the dynamics of land use and cover in the Southwest Planning Region of Mato Grosso, from 1985 to 2022, using secondary data from the MapBiomias Project, validated by normality tests. The land use and land cover classes from the MapBiomias mapping were grouped into six categories: Natural Forest, Non-Forest Natural Formation, Pasture, Agriculture, Unvegetated Area and Bodies of Water. A second reclassification was carried out using the Semi-Automatic Classification Plugin technique and Landscape Statistic, resulting in the following classes: Unchanged, Deforested, Remnant Vegetation, Reforested, Consolidated Use and Bodies of Water. Between the two evaluation periods, there was an increase in the areas of Agriculture (338%), Pasture (187%) and Unvegetated Area (300%), while the areas of Natural Forest, Non-Forest Plant Formation and Bodies of Water decreased by 30.1%, 22.5% and 68.4%, respectively. The normality tests (Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors) indicated consistency between the data from 1985 to 2022, except for Jarque-Bera, which showed divergences. The greatest variations in amplitude and irregular distribution occurred in the Natural Non-Forest Formation and Agriculture/Pasture classes of land use and cover. It is concluded that the region is facing intense forest removal, significantly altering the Amazon, Cerrado and Pantanal biomes.

**Key-words:** MapBiomias, Land cover and land use, Normality test.

## 1. Introdução

As paisagens são intensamente alteradas pelas ações humanas, pois respondem pela interação entre os elementos naturais e as atividades antrópicas, que dinamizam o espaço geográfico Santos, (2014). Essas paisagens referem-se à combinação de elementos naturais e humanos que compõe um determinado espaço geográfico, incluindo as suas formas, funções, dinâmicas e os seus processos Felício, (2021). A utilização da terra é amplamente debatida devido ao impacto das atividades humanas no espaço geográfico, sobretudo em relação à substituição de vegetação nativa por usos e atividades antrópicas Almeida, (2013), Petrișor, Sirodoev e Ianoș, (2020); Veiga e Silva, (2018). Desse modo, Leite e Rosa (2012) enfatizam que compreender a dinâmica do uso e da cobertura da terra é essencial para a gestão e o planejamento ambiental para o adequado e necessário ordenamento territorial.

Dentre as possibilidades de avaliação de uso e cobertura da terra, a interpretação de produtos de sensoriamento remoto, obtidos por satélites ou Veículo Aéreo não Tripulado (VANT), destacam-se por subsidiar o monitoramento e o diagnóstico atual da condição de apropriação do espaço. Essa tecnologia tem se tornado cada vez mais empregada para a tomada de decisões. Conforme Xaud e Epiphanyo (2014, p. 108), “o processamento digital de imagens apresenta diversas ferramentas que buscam otimizar a extração da informação desejada”, sendo uma parte integral da análise de dados de sensoriamento remoto.

O recurso das geotecnologias, sobretudo amparado pela iniciativa do Projeto MapBiomias, é fundamental para analisar as alterações na paisagem, oferecendo um panorama histórico cada vez mais detalhado da ocupação do território, e dos impactos ambientais decorrentes. Desde seu lançamento em 2015, o MapBiomias tem mapeado sistematicamente o uso e a cobertura da terra em todo o território nacional, utilizando séries temporais de imagens Landsat que são validadas por amostras de pixels e revisadas por intérpretes independentes. Esta plataforma colaborativa fornece uma série histórica de 1985 até 2022, na coleção 8.0; e os dados estruturados obtidos são essenciais para formular estratégias para enfrentar as alterações observadas nas superfícies terrestres do Brasil Freitas et al.(2023).

Desse modo, levando em consideração as alterações na cobertura e nos usos da terra na Região Planejamento Sudoeste de Mato Grosso - RPSMT, uma área notável e dinâmica desde a colonização até o desenvolvimento agropecuário promovido desde os programas Polonoeste (Programa Integrado de Desenvolvimento do Noroeste do Brasil) e Codemat (Coordenadoria Nacional de Defesa do Meio Ambiente do Trabalho), especialmente nos municípios de Sapezal e Campos de Júlio. Tal dinâmica, resultado de um processo intenso de conversão da cobertura vegetal em usos e atividades agropecuárias e infraestruturas urbanas e de escoamento da



produção, desfigurou a paisagem original Ferreira, (2014), Lobato et al., (2010), Moreno e Higa,( 2017), Mato Grosso, (2017).

## 2. Objetivo

Este trabalho tem como escopo avaliar as alterações de uso e cobertura da terra na Região de Planejamento Sudoeste de Mato Grosso, no período de 1985 a 2022.

## 3. Material e Métodos

### 3.1 Área de estudo

A Região de Planejamento Sudoeste de Mato Grosso estende-se entre as coordenadas 12°00' e 17°30' de latitude Sul e 57°00' e 60°40' de longitude Oeste, abrangendo 22 municípios e ocupando uma área de 117.400 km<sup>2</sup>, o que representa 12,6% do território de Mato Grosso. Com uma população de 333.933 habitantes, a região é a terceira mais populosa do estado, destaca-se por uma densidade demográfica de 2,85 habitantes por km<sup>2</sup> IBGE, (2022). Neste aspecto, Cáceres e Pontes e Lacerda emergem como importantes polos regionais Mato Grosso, (2017).

Os aspectos geográficos, como localização, clima e relevo, têm sido decisivos para o avanço do agronegócio, trazendo significativas transformações no uso e na cobertura da terra. A porção norte da Região Sudoeste de Mato Grosso, anteriormente, concentrada na agricultura, agora, expande para as áreas tradicionalmente destinadas à pecuária de bovinos. Além das transformações no setor agrícola, a região possui um grande potencial para o turismo ecológico, em razão de sua localização parcial no Pantanal e da existência de outras áreas com paisagens cênicas, como relevantes cursos d'água e uma rica diversidade biológica, que se estendem por outros biomas Souza et al. (2023).

Dessa forma, a região apresenta várias unidades de relevo, que vão desde planaltos e depressões até planícies, além de incluir duas principais zonas climáticas: a Equatorial Continental, com uma estação seca bem definida, e a Tropical, com períodos alternados úmidos e de estiagem. A (Figura 1) ilustra a distribuição dos biomas na região, indicando que o Amazônia compreende 58% da área, o Cerrado 17%, e o Pantanal 24% (Mato Grosso, 2017).

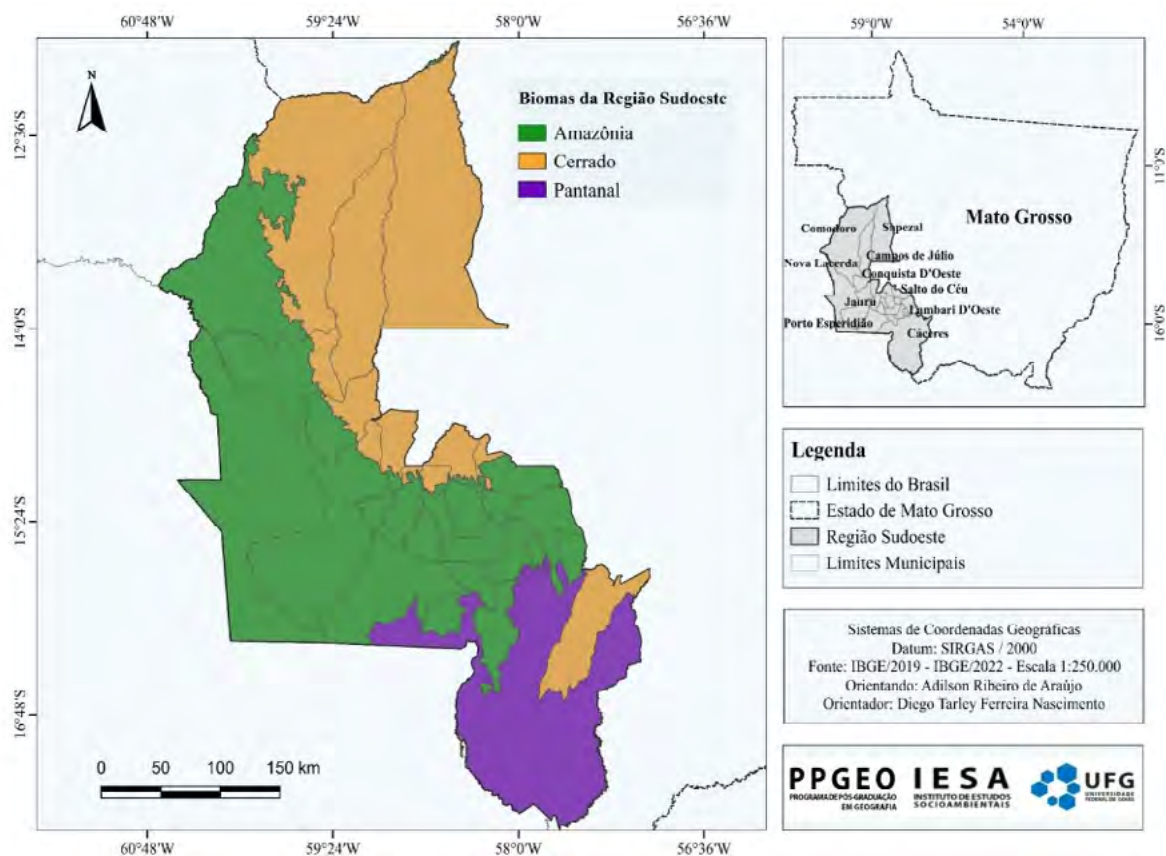
### 3.2 Procedimentos metodológicos

Os dados disponíveis na plataforma do projeto MapBiomas foram utilizados para a avaliação da dinâmica de uso e cobertura da terra da Região de Planejamento Sudoeste de Mato Grosso, relativos aos anos de 1985 e 2022. O MapBiomas emprega um processo de classificação automatizado, utilizando o algoritmo *Random Forest*, realiza o mapeamento de uso e cobertura da terra em nível de *pixel a pixel*, alcançando uma escala de 1:100.0000, conforme descrito por Haddad e Petri (2020).

O processamento dos dados envolveu, numa primeira etapa, a reclassificação das 15 classes temáticas do mapeamento do MapBiomas, simplificando para apenas seis classes: Floresta Natural; Formação Natural Não Florestal; Pastagem; Agricultura; Área Não Vegetada; Corpos d'Água. (Tabela 1).

Para avaliar as mudanças nas classes de uso e cobertura da terra, foram comparados mapas do período de 1985 e 2022, procedendo-se a uma nova reclassificação, em termos de evidenciar as classes de: Inalterado, Desflorestado, Vegetação Remanescente, Reflorestado, Uso Consolidado e Corpos d'Água.

Na terceira etapa, foram realizadas análises descritivas e testes de normalidade com o software PAST, que permite investigar agrupamentos anormais e criar dendrogramas. A adoção



**Figura 1.** Biomas presentes na Região de Planejamento Sudoeste de Mato Grosso. Fonte: IBGE/2019/2022.

Fonte: Os autores (2024).

**Tabela 1.** Classes do MapBiomas e reagrupamento para uso e cobertura.

ID	Classes do MapBiomas	Classes Agrupadas
3	Formação Florestal	1 - Floresta Natural
4	Formação Savânica	
11	Campo Alagado e Área Pantanosa	2 - Formação Natural não Florestal
12	Formação Campestre	
29	Afloramento Rochoso	
3	Pastagem	3 – Pastagem (pecuária)
9	Silvicultura	4 - Agricultura
20	Cana	
21	Mosaico de usos	
41	Outras lavouras temporárias	
62	Algodão	5 - Área não vegetada
24	Área Urbanizada	
30	Mineração	
25	Outras Áreas não Vegetadas	6 - Corpos d'Água
33	Rio, Lago e Oceano	

Fonte: MapBiomas (2022). Elaborado pelos autores (2024).

dessas ferramentas serve para agrupar informações, aumentar a precisão e, portanto, a acurácia das análises (Santos et al., 2017). A avaliação temporal das áreas de uso e cobertura da terra foi obtida através de regressão clássica, segundo um modelo específico de equação 1.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon_i \text{ (Eq.1)}$$

Onde:

$Y_i$  é uma observação da variável dependente;

$X_1, X_2, \dots, X_n$  são variáveis independentes e são representadas por  $\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ , que são os coeficientes de regressão; e

$\epsilon_i$  representa o erro associado às observações da variável dependente.

Para avaliar a conformidade das amostras com uma distribuição de probabilidade específica, utilizaram-se testes de hipóteses não paramétricos com valores em metros quadrados (m<sup>2</sup>), incluem-se Anderson-Darling (1954), Shapiro-Wilk (1965), Lilliefors (1967) e Jarque-Bera (1987), para os anos de 1985 e 2022.

#### 4. Resultados e Discussão

A análise mostrou que houve uma redução entre 1985 e 2022 das áreas naturais, com destaque para os biomas Cerrado e Pantanal. Por outro lado, o Bioma Amazônia, registrou uma perda menor na área em estudo, o que pode ser explicado pela maior presença de reservas indígenas. Além disso, foi observada uma redução notável nos corpos d'água, indicando uma diminuição expressiva de sua extensão original, evidente em 2022.

Destaca-se ainda a expansão da agricultura na área em estudo, que avançou de 234.293 hectares em 1985 para 1.026,166 (ha) em 2022, no qual representa um aumento de 338% na área plantada. A área de pastagem também teve aumento entre esses anos, crescendo 187,5% em 2022, ou seja, totalizando em 2.339,117 hectares. A área não vegetada na região Sudoeste também apresentou um aumento substancial, de 162,34 km<sup>2</sup> em 1985, ultrapassou os 650 km<sup>2</sup> em 2022, isto é, representando um aumento de mais de 300%. Esses dados são essenciais para entender essa dinâmica de uso e cobertura da terra e suas implicações ambientais ocorrido na região em estudo (**Tabela 2**).

**Tabela 2.** A variabilidade espaço-temporal do uso e cobertura das terras na Região de Planejamento Sudoeste de Mato Grosso.

Nº	Nome da Classe	I D	1985		2022		A/R %
			Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	
1	Floresta Natural	1	77.528,16	66,04	54.185,86	46,15	30,1
2	Formação Natural Não Florestal	10	18.685,34	15,92	14.489,32	12,34	22,5
3	Pastagem	15	12.470,24	10,62	35.861,45	30,54	<b>187,5</b>
4	Agricultura	18	2.342,93	2,00	10.261,66	8,74	<b>337,9</b>
5	Área Não Vegetada	22	162,34	0,14	650,52	0,55	<b>300,7</b>
6	Corpo d'Água	26	6.211,14	5,29	1.962,15	1,67	68,8
Soma da área das classes em (Km <sup>2</sup> ) e (%)			117.400,15	100	117.410,96	100	---

Fonte: MapBiomas (2022). Elaborado pelos autores (2024).

Em 2022, a região teve uma redução de 30,1% em sua Floresta Natural, comparada a 1985, equivalente a uma diminuição de 2.334,220 hectares. A Formação Natural não Florestal teve uma diminuição de 419,602 hectares, o que representa uma perda de 22,7%. Além disso, os corpos d'água, principalmente no Pantanal sofreram uma redução drástica de mais de 68%, totalizando 424.899 hectares, com uma queda contínua na área alagada observada durante todo o ano, sem influência da sazonalidade (MapBiomas).

De fato, as categorias relevantes de uso da terra, (agricultura e pastagem) apresentam tendência de aumento por causa da demanda por produção de alimentos, somada as políticas públicas para impulsionar a expansão dessas áreas em 2022. A agricultura abrangeu cerca de 10.261,66 km<sup>2</sup>, enquanto as pastagens totalizaram 35.831,45 km<sup>2</sup>. Calegari et al. (2010) apontam que práticas inadequadas de manejo nas pastagens podem compactar o solo, expor áreas e contribuir para o desmatamento. Paralelamente, o estudo de Ribeiro e Bourscheidt (2024) revelou um crescimento significativo nas áreas de pastagens, zonas urbanas e plantações de soja, com uma redução correspondente nas áreas florestais e savânica.

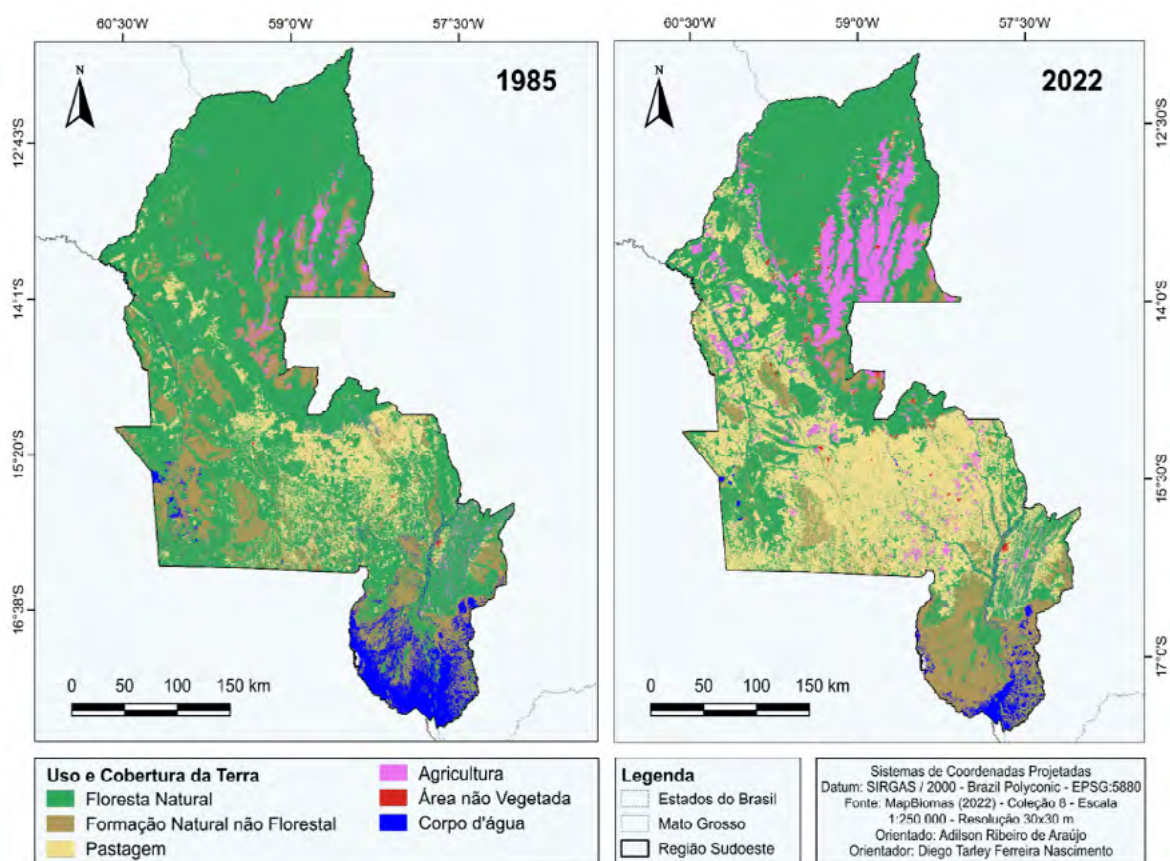
Desse modo, Souza, Silva e Neves (2023) projetam que, se a tendência atual continuar, até 2030, a área de pastagem pode chegar a 38.750,43 km<sup>2</sup> (33%), enquanto as áreas de Natureza, Agricultura e Pastagem representarão 56%, 12% e 41%, respectivamente, visto que a agricultura e pastagem são as atividades expoentes. Com efeito, dos 22 municípios da RPSMT, Campos de Júlio e Sapezal, foram os que tiveram mais avanços da atividade agropecuária, na agricultura voltada para a produção de *commodities*, que se concentra em monoculturas destinadas à exportação. Recentemente, essas atividades têm sido combinadas com a pecuária em maior escala, através de sistemas integrados de produção. Oportuno lembrar que Comodoro é outro município da área em estudo com forte relação tanto com a agricultura quanto com a pecuária (Souza; Silva; Neves, 2023).

Nos últimos 38 anos, a área estudada enfrentou reduções de peso em suas zonas de vegetação natural, pois a Floresta Natural encolheu 30,1%, a Formação Natural não Florestal diminuiu 22,2% e a situação dos Corpos d'Água também é preocupante, com uma redução de 68,4%. Em contraste, as áreas de pastagem aumentaram em 187,5% fazendo com que, em 2022, essas áreas superassem em extensão as formações naturais não florestais. (**Figura 2**).

A dinâmica de uso e cobertura da terra na área de estudo de 117.400,03 km<sup>2</sup> utilizou dados do projeto MapBiomas, reclassificando-os em seis novas categorias, empregando o *Semi-Automatic Classification Plugin* e o *Landscape Statistic* para uma reorganização e nova soma dos pixels. A reclassificação alcançou um intervalo de confiança de 95% entre os dados de referência e os classificados. Na (**Tabela 3**), é apresentada a quantificação dos dados em quilômetros quadrados, hectares e percentuais, ilustrando a evolução e a redistribuição do uso e cobertura da terra na Região de Planejamento Sudoeste do Estado de Mato Grosso nos anos observados.

Neste sentido, de 1985 a 2022, a região Sudoeste é composta principalmente pela classe inalterado, representando 45,4% do total da área. No entanto, a região também apresenta uma taxa alta de deflorestamento de 37,2% neste período analisado, o que representa uma preocupação significativa para a conservação florestal da região. Para Alves (2001), a degradação ambiental causada pelo desflorestamento ocorre com frequência em áreas próximas a regiões abertas, acarretando a contínua redução e, em alguns casos, até mesmo o esgotamento das áreas de cobertura vegetal e das áreas de reserva legal. Conforme ilustrado na (**Figura 3**).

Observou-se ainda que as áreas reflorestadas representaram apenas 4,4% do uso total da terra, enquanto os demais usos da terra, inclusive áreas urbanas, construção de estradas e outros empreendimentos, compõem 1,1% da região analisada. Vale mencionar a escassez de corpos d'água, que constituem apenas 0,01% do total da área estudada de 9.194 km<sup>2</sup>.



**Figura 2.** A dinâmica de uso e cobertura das terras na Região de Planejamento Sudoeste de Mato Grosso nos anos de 1985 e 2022.

Fonte: Projeto MapBiomas (2022). Elaborado pelos autores (2024).

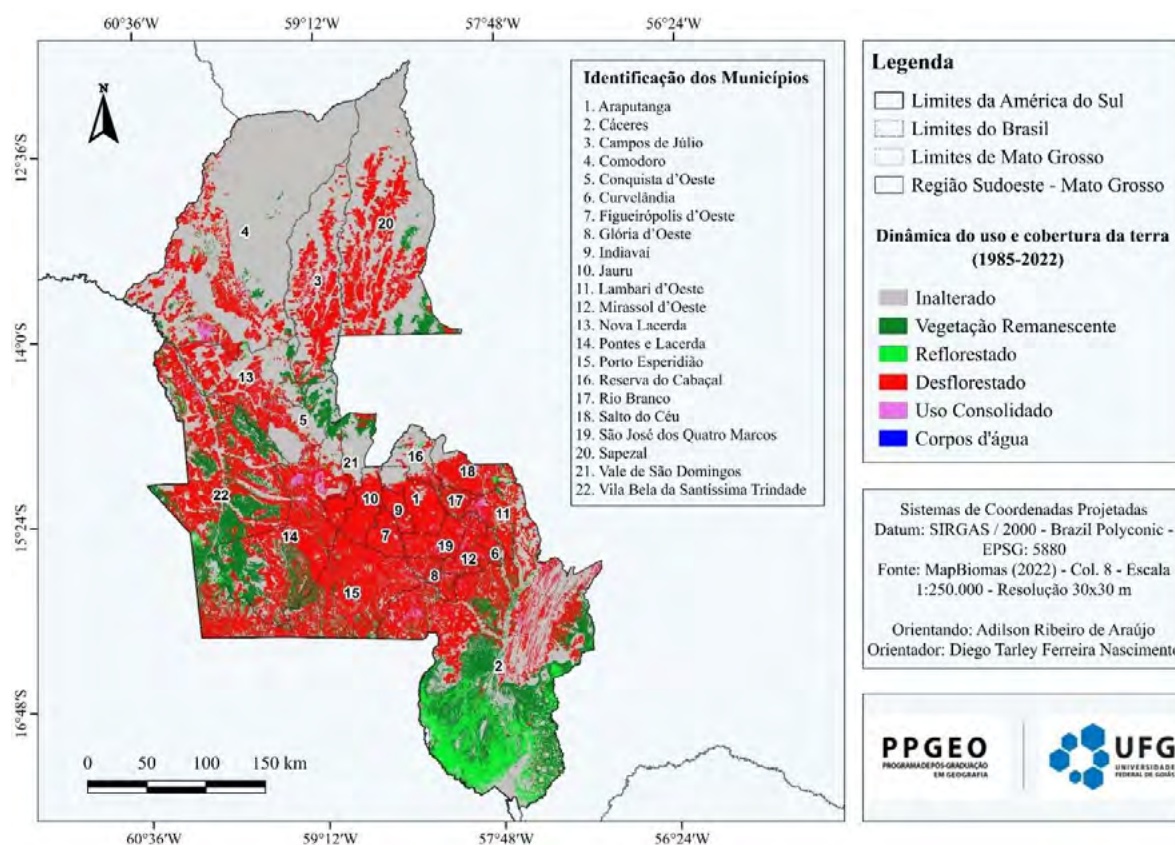
**Tabela 3.** Total da área e percentuais de cada classe.

Reclassificação	Área (km <sup>2</sup> )	Área (ha)	%
Inalterado	53.320,66	5.332,07	45,4
Desflorestado	43.713,85	4.371,39	37,2
Vegetação Remanescente	13.857,78	1.385,78	4,4
Reflorestado	5.178,48	517,85	1,1
Uso Consolidado	1.320,05	132,00	11,8
Corpos d'Água	9,194	0,92	0,01
Total da área de estudo	117.400,03	11.740,01	100

Fonte: MapBiomas (2022). Elaborado pelos autores (2024).

Isto mostra a crítica necessidade de se proteger e conservar os cursos hídricos para assegurar a sustentabilidade das atividades sociais na região a longo prazo.

Na análise estatística descritiva da dinâmica temporal de uso e cobertura da terra entre 1985 e 2022, observaram-se valores mínimos e máximos de 162,34 e 650,52, e de 77.528,1 e 54.185,86 km<sup>2</sup>, respectivamente, que indica uma redução nos valores máximos e um aumento nos mínimos ao longo do período estudado. As médias calculadas para os dois anos foram de



**Figura 3.** A dinâmica de uso e cobertura da terra na Região de Planejamento Sudoeste de Mato Grosso entre 1985 e 2022.

Fonte: Projeto MapBiomias (2022). Elaborado pelos autores (2024).

19.566,6 e 19.568,4 km<sup>2</sup>, mostrando pouca variação. O desvio padrão foi maior em 1985 do que em 2022, apresentando maior dispersão dos dados nesse ano. A amplitude dos valores foram 77.365,8 em 1985 e 53.535,3 km<sup>2</sup> em 2022, evidenciando uma diferença significativa entre os extremos da série e sugerindo uma distribuição não simétrica dos dados.

A (Tabela 4) revela que, para o período de 1985 a 2022, os testes de normalidade – Shapiro-Wilk, Anderson-Darling e Lilliefors – apresentaram resultados consistentes, tanto para os p-valores normais quanto para os p-valores Monte Carlo. Porém, o teste de Shapiro-Wilk registrou um valor W nulo para a série, além do teste de Jarque-Bera que demonstrou resultados

**Tabela 4.** Testes de normalidade entre o período de 1985-2022 analisado.

Teste de Normalidade	1985		2022	
	p-valor normal	p-valor Monte Carlo	p-valor normal	p-valor Monte Carlo
Shapiro Wilk W	0,007273	-	0,2466	-
Anderson Darling A	0,001114	0,0091	0,2498	0,2744
Lilliefors L	0,02522	0,0243	0,2251	0,2352
Jarque Bera JB	0,2639	0,0058	0,6767	0,2374

Fonte: MapBiomias (2022). Elaborado pelos autores (2024).

divergentes com os outros testes. Mesmo assim, esses resultados sugerem a aceitação da hipótese de normalidade dos dados. Esse padrão de resultado revelou-se similar ao verificado por Francisco et al. (2023) para a sua área de estudo.

Nota-se ainda um significativo fluxo direcionado para a classe Agricultura em 2022, originado principalmente da perda de área Floresta Natural e da Formação Natural Não Florestal entre 1985 e 2022. Trata-se de um fenômeno ligado ao processo de intensificação agrícola na região Sudoeste. Além disso, ocorreu uma ampla conversão de áreas florestais para pastagens e agricultura, destacando uma mudança na dinâmica de uso e nas características locais. A classe Corpos d'Água também sofreu alterações prejudiciais devido ao aumento das áreas de pastagens e agricultura, o que contribui na degradação de matas ciliares, essenciais para a manutenção dos cursos hídricos.

A precisão dos dados analisados foi assegurada pelo uso de imagens Landsat processadas através da técnica Random Forest, como descrito por MapBiomias (2022). Este método possibilita uma análise de acurácia detalhada, onde os dados são validados contra classes de referência através de uma matriz de confusão, permitindo o cálculo da acurácia global por bioma e a identificação de erros de omissão e comissão por classe de uso e cobertura da terra para cada ano estudado, como visto por Ganem et al. (2020).

## 5. Conclusões

Na Região de Planejamento Sudoeste de Mato Grosso entre 1985 e 2022 foi efetuada uma drástica redução na Floresta Natural, na Formação Natural Não Florestal e nos Corpos d'Água, enfatizando a crítica necessidade de proteção e conservação dos cursos hídricos.

Por outro lado, houve um aumento substancial nas áreas dedicadas à agricultura, às pastagens e às áreas não vegetadas, refletindo a intensificação das atividades agropecuárias. Este cenário de transformações acentuadas sugere uma pressão contínua sobre as paisagens locais, com implicações diretas para a biodiversidade e a sustentabilidade das atividades econômicas na região. A reclassificação dos dados ofereceu uma nova visão sobre a distribuição dos usos da terra e sublinha a urgência de implementar estratégias de gestão ambiental que equilibrem desenvolvimento e conservação.

O estudo ainda incluiu uma análise de normalidade dos dados, revelando percentuais consistentes para os testes de Shapiro-Wilk (70% e 87%), Anderson-Darling (85% e 39%) e Lilliefors (34% e 26%) entre os dois anos, assim os resultados apresentaram consistência no período estudado, no entanto, o teste Jarque-Bera mostrou divergência com os demais. Contudo, estes resultados sugerem a aceitação da hipótese de normalidade dos dados, e observaram variações significativas nas classes de Formação Natural não Florestal e Agricultura/Pastagens, corroboradas com a precisão das imagens obtidas do Projeto MapBiomias abarcando o período de 1985 e 2022.

As observações demonstram uma diminuição acentuada nas áreas de floresta e corpos d'água, contrastando com a expansão significativa das lavouras temporárias de soja, milho e algodão, além das pastagens na região. A necessidade de estratégias eficazes de manejo e conservação se torna evidente para proteger os recursos naturais e sustentar as atividades sociais a longo prazo. Além disso, o monitoramento contínuo dessas alterações é vital para compreender suas consequências ambientais e sociais, papel no qual o projeto MapBiomias se desdobra para melhorar a qualidade das informações sobre as alterações no uso e cobertura da terra na região Sudoeste.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Secretaria de Estado de Educação de Mato Grosso (Seduc-MT), pelo afastamento cedido ao primeiro autor para a realização do doutoramento, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa produtividade em pesquisa (PQ-2) ao segundo autor.

## 7. Referências

- Almeida, A. P. **Análise multitemporal e espacial do uso e cobertura das terras no município de Casa Nova, Bahia, no período de 1996 a 2011**. 2013. 173 f. (Dissertação em Geografia) - Ciências da Terra e do Ambiente, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2013.
- Alves, D. S. O processo de desmatamento na Amazônia. Modelos e cenários para a Amazônia: o papel da ciência. **Parcerias estratégicas**, v. 6, n. 12, p. 259-275, 2001.
- Anderson, T. W.; Darling, D. A. A test of goodness of fit. **Journal of American Statistical Association**, v. 49, p.765-769, 1954.
- Calegari, L. et al. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 34, n. 5, p. 871-880, 2010.
- Conceição, J. M.; Souza, R. S.; Carvalho, M. F. M. Dinâmica de uso e cobertura da terra do município de Buriti dos Lopes, Piauí, Brasil (1985-2020). Estudos Geográficos: **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 20, n. 2, p. 175-176, 2022.
- Congedo, L. Plugin de classificação semiautomática: Uma ferramenta Python para o download e processamento de imagens de sensoriamento remoto no QGIS. **Journal of Open Source Software**, v. 6, n. 64, p. 3.172, 2021. <https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.03172>.
- Felício, W. F. Concepções sobre o conceito de paisagem e sua inserção no ensino de geografia: elementos para uma investigação. **Revista Brasileira de Educação em Geografia**, v. 11, n. 21, p. 5-27, 2021.
- Ferreira, E. **Cáceres: Capital regional no contexto de Mato Grosso**. 2014, 249f. Tese (Doutorado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói/RJ, 2014.
- Francisco, P. R. M. et al. Dinâmica temporal da cobertura e uso das terras do Estado da Paraíba utilizando Mapbiomas©. **Revista Geama**, v. 9, n. 3, p. 57-66, 2023.
- Freitas, L. C. S.; Cavalcanti, L. C. S.; Braz, A. M. Avaliação da acurácia das classes de uso e cobertura da terra do MapBiomas (coleção 6) para o município de Carpina (PE). **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, n. 45, p. 38-52, 2023.
- Ganem, K. A. et al. Mapeamento da vegetação da caatinga a partir de dados ópticos de observação da terra – oportunidades e desafios. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. esp, p. 829-854, 2020.
- Gomes, D. J. C. et al. Variabilidade hidroclimática e alterações do uso e cobertura da terra, Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 1, p. 50-67, 2022.
- Haddad, I.; Petri, C. A. Análise da mudança no uso e cobertura da terra na UGRHI Tietê/Jacaré com dados MapBiomas entre 1985 e 2019. In: VI Jornada de Gestão e Análise Ambiental. **Anais...** São José dos Campos, p. 1-5, 2020.
- IBGE. **Cidades**. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mt/caceres.html>>. Acesso em: 14 jun. 2024.
- IBGE. **Censo Demográfico - Prévia da População dos Municípios com base nos dados do Censo Demográfico 2022**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=35938&t=resultados>>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- Jarque, C. M.; Bera, A. K. A test for normality of observations and regression residuals. **International Statistical Review**, v. 55, p. 163-172, 1987.
- Leite, E. F.; Rosa, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 4, n. 12, p. 90-106, 2012.



- Lilliefors, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. **Journal of the American Statistical Association**, v. 62, n. 318, p. 399-402, 1967.
- Lobato, A. S. et al. A formação histórico-territorial do Mato Grosso, as transformações e impactos decorrentes da expansão da soja. **Para Onde!?**, v. 4, n. 1, (s/p), 2010.
- MapBiomas. **Coleções 8** Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/codigos-de-legenda/>>. Acesso em: 9 jul. 2024.
- Mato Grosso. Secretaria de Estado de Planejamento. **Regiões de Planejamento de Mato Grosso**. Secretaria de Estado de Planejamento – Cuiabá, MT, 2017.
- Moreno, G.; Higa, T. C. S. **Geografia de Mato Grosso**: território, sociedade, ambiente. 2. ed. Cuiabá: Entrelinhas, 2017.
- Neves, S. M. A. S.; et al. análise climática aplicada à cultura do tomate na região Sudoeste de Mato Grosso: subsídios ao desenvolvimento da agricultura familiar regional. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 7, n. 2, p. 97-115, 2013.
- Petrișor, A. I.; Sirodoev, I.; Ianoș, I. Trends in the national and regional transitional dynamics of land cover and use changes in Romania. **Remote Sensing**, v. 12, n. 2, p. 230, 2020.
- Projeto MapBiomas – **Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 e 2022** – Coleção Disponível em: <https://mapbiomas.org/download-dos-atbds>. Acesso em: 1º ago. 2024.
- Ribeiro, J.; Bourscheidt, V. Uso da terra e tendência de dados climatológicos no arco do desmatamento Amazônico. **RA'EGA**, v. 59, p. 59-82, 2024.
- Santos, M. Espaço e Método. 5ª ed. São Paulo: Edusp, 2014.
- Santos, M. G. F. et al. Análise de Agrupamento Hierárquico Aglomerativo aplicada à Ecologia-Teoria e Prática. **Unisanta BioScience**, v. 6, n. 1, p. 68-77, 2017.
- Shapiro, A. S. S.; Wilk, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965.
- Souza, D. C.; Silva, J. S. V.; Neves, S. M. A. S. Dinâmica da agropecuária na Região de Planejamento Sudoeste de Mato Grosso no período de 1985 a 2018. **Revista Equador**, v. 12, n. 3, p. 322-341, 2023.
- Veiga, R. S.; Silva, V. A. Uso, cobertura e ocupação da terra no município de Porto Seguro-BA: uma análise espaço temporal (1985-2016). 2018. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 19, n. 65, p. 232-244, 2018.
- Xaud, M. R.; Epiphany, J. C. N. Dinâmica do uso e cobertura da terra no sudeste de Roraima utilizando técnicas de detecção de mudanças. **Acta Amazônica**, v. 44, p. 1

## **Arquitetura da paisagem e interfaces com a ecologia da paisagem: o caso do campus da Universidade Federal de Santa Maria em Cachoeira do Sul/RS**

Pedro Henrique Taschetto Marin <sup>1</sup>  
Raquel Weiss <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Pedro Henrique Taschetto Marin - UFSM, Campus Cachoeira do Sul  
Rod. Taufik Germano, 3013 - Universitário II  
96503-205 - Cachoeira do Sul - RS, Brasil  
pedro.taschetto@acad.ufsm.br; raquel.weiss@ufsm.br

**Resumo.** O presente artigo, derivado do trabalho de conclusão do curso de Arquitetura e Urbanismo, tem como objetivo analisar a Unidade de Paisagem (UP) imediata da Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul, bem como identificar nós de interesse ecológico e propor corredores que promovam a conexão da paisagem em estudo. Para isso, a pesquisa foi sustentada pelo aprofundamento teórico-metodológico da Ecologia da Paisagem e, por meio do cruzamento de dados e informações, utilizando Sistemas de Informação Geográfica (ArcGIS Pro), possibilitou a análise e a descrição da paisagem. Como resultados, destaca-se a caracterização da área de estudo, relacionando aspectos morfológicos da paisagem, definidos pelo bioma, e os diferentes tipos de uso e cobertura do solo, com a matriz como plano de fundo. A partir disso, foram gerados dados quantitativos, por meio de métricas da paisagem, que caracterizam a dinâmica e os processos da paisagem entre 1985 e 2022, sintetizados em um quadro comparativo. Os resultados, apoiados na quantificação e análise das mudanças na paisagem da UP, sugerem um crescimento da matriz, indicando um reflorestamento não planejado da formação campestre, extrato vegetal característico do bioma Pampa. A partir dessas análises, identificaram-se os nós de conexão e propuseram-se os corredores verdes e azuis, reforçando ações vinculadas à arquitetura da paisagem, através da ecologia da paisagem, a fim de remediar o processo de fragmentação da matriz da UP, importante reduto de cobertura campestre típica do bioma Pampa, garantindo a conservação da natureza nativa que nos foi herdada.

**Palavras-chave:** Paisagem; Arquitetura da Paisagem; Ecologia da Paisagem; Métricas e padrões da paisagem; Bioma Pampa.

**Abstract.** This article, derived from a final project in Architecture and Urbanism, aims to analyze the immediate Landscape Unit (UP) of the Federal University of Santa Maria, Cachoeira do Sul Campus, identify ecologically significant nodes, and propose corridors to enhance landscape connectivity. The research is supported by a theoretical and methodological framework based on Landscape Ecology. By integrating data and information using Geographic Information Systems (ArcGIS Pro), the study enabled the analysis and description of the landscape. Key results include the characterization of the study area, relating the morphological aspects of the landscape defined by the biome to various land use and cover types, with the matrix as the backdrop. Quantitative data were generated through landscape metrics, which describe the dynamics and processes from 1985 to 2022, summarized in a comparative framework. The findings, supported by the quantification and analysis of landscape changes in the UP, suggest a growth in the matrix, indicating unplanned reforestation of the campestre formation, the characteristic vegetation of the Pampa biome. These analyses led to the identification of connection nodes and the proposal of green and blue corridors. The study emphasizes actions linked to landscape architecture through landscape ecology to address the fragmentation of the UP matrix, an important area of typical campestre cover of the Pampa biome, ensuring the preservation of the native nature inherited from us.

**Key-words:** Landscape; Landscape Architecture; Landscape Ecology; Landscape Metrics and Patterns; Pampa Biome.

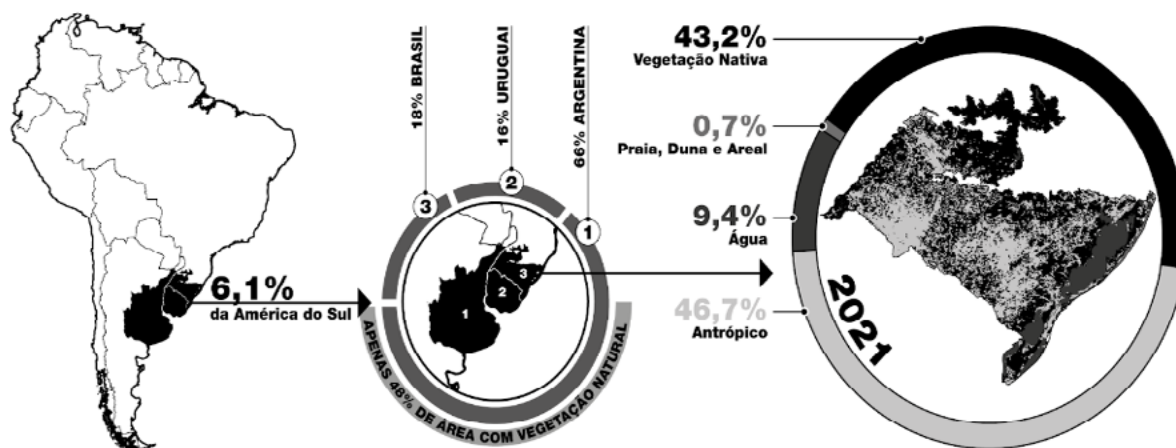
## 1. Introdução

O acelerado desenvolvimento exploratório da nossa espécie encontra fundamentação não apenas na implementação de ações que viabilizem o domínio dos recursos naturais, mas principalmente na inerente necessidade humana de se distinguir do restante da vida terrestre. Entretanto, segundo Vasconcellos (2015, p.17) “em função do avanço desse desenvolvimento, com desmatamento da cobertura vegetal para a abertura das estradas, loteamentos, entre outros, os sistemas naturais vêm sendo fragmentados de tal forma que passam a não funcionar eficazmente”. Desde 1970, temos sobrecarregado os recursos do planeta, consumindo o equivalente a 1,7 Terras por ano, conforme dados da Global Footprint Network (GFN). Nesse cenário, a crise climática se intensifica no Rio Grande do Sul (RS), onde se situa o foco deste trabalho. O estado foi um exemplo notável de uma das maiores crises climáticas do Brasil, ocorrida em 2024, que afetou cerca de 446 das 497 cidades do estado gaúcho, deixando mais de 600 mil pessoas desalojadas. Contudo, este não foi um evento isolado; em 2023, o estado já havia enfrentado dois dos maiores desastres ambientais das últimas quatro décadas, com dois ciclones extratropicais ocorrendo em um intervalo de apenas dois meses<sup>1</sup>.

Além disso, ao analisarmos os dados de desmatamento do bioma Pampa, (**Figura 1**), que se restringe no Brasil a 63% do território do RS, percebemos a segunda maior perda percentual de áreas de vegetação nativa do país, com uma redução alarmante de 24% de seu território (2,8 Mha). Essa redução dos campos nativos do Pampa ocorreu principalmente para fins agrícolas, que aumentaram de 29% para 44% do território entre os anos de 1985 e 2022 (Projeto Mapbiomas, 2023), onde a soja emerge como o principal cultivo propulsor dessa redução, com um crescimento de 188,5% entre os anos de 2000 e 2015, conforme apontado por Capone e Kuplich (2018). Com todos esses fatores em mente, podemos compreender por que a degradação ambiental está presente no bioma, resultando na perda de vários serviços ambientais cruciais (Capone, Kuplich, 2018).

No âmbito desta abordagem, é importante destacar a cidade de Cachoeira do Sul, onde esta pesquisa se concentra. Cachoeira do Sul foi uma das pioneiras a se estabelecer e prosperar na região central do estado, em grande parte devido à agricultura, com destaque especial para o cultivo de arroz, o que lhe conferiu o título de 'Capital do Arroz'. No entanto, apesar de ter sido um dos pilares da economia agrícola gaúcha no século XIX, a partir da década de 70, sua economia entrou em um processo de declínio e estagnação, o qual não foi possível reverter,

<sup>1</sup> Disponível em: <https://tinyurl.com/38hwcpeaa>

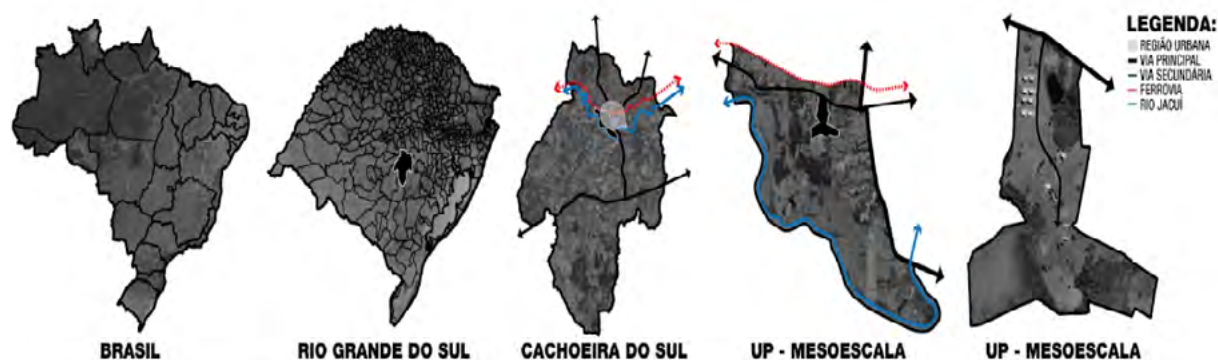


**Figura 1.** Caracterização do bioma Pampa.

Fonte: Os autores (2024).

mesmo com os investimentos realizados por meio do Projeto de Industrialização, ocorridos entre os anos de 2005 e 2008 Thiele, et al., (2013).

Foi em meio a esse cenário econômico que, em 2014, o campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) foi estabelecido em Cachoeira do Sul, localizado no Bairro Passo da Areia,, abrangendo uma área de 84 hectares, como demonstra a (Figura 2.)



**Figura 2.** Localização da área de estudo, tendo como foco neste artigo a Unidade da Paisagem (UP) na qual o campus da universidade está inserido .

Fonte: Os autores (2024).

Posto isso, este trabalho se dedica a compreender a paisagem da Unidade de Paisagem (UP) imediata da UFSM, Campus Cachoeira do Sul. Para estabelecer um projeto coerente para o campus, é fundamental analisar o entorno e obter uma compreensão sistêmica da paisagem, identificando padrões e processos que influenciam o ambiente local. Essa abordagem oferece uma visão integrada dos elementos naturais e antrópicos da região, revelando como a paisagem da UP interage com e afeta o campus. Compreendendo essas dinâmicas em uma escala mais ampla, podemos propor ações na microescala que promovam uma integração ecológica e ambiental mais eficaz no campus.

Dentre as ações humanas, uma que se destaca por tentar analisar e compreender a paisagem, é a arquitetura da paisagem, sendo o seu surgimento fortemente influenciado pelo pensamento sanitário e higienista do século XIX e pelas contribuições de Olmsted, com as quais os parques urbanos adquiriram um novo significado, passando a fazer parte dos elementos essenciais da infraestrutura urbana. Assim, a Arquitetura da Paisagem passou a integrar o planejamento urbano das cidades como resposta aos desafios sociais e ambientais resultantes do crescimento urbano. Seu propósito era criar cidades mais saudáveis e combater epidemias, alinhando-se ao ideal de higiene urbana da época. Isso levou ao surgimento de propostas voltadas para a preservação do meio ambiente, o equilíbrio entre o espaço público e privado, bem como a promoção da urbanidade Sant'anna, (2020).

Percebe-se assim, que tanto na criação de um sistema harmonioso de ruas, praças e parques, quanto na formulação de um zoneamento que promova a integração entre a cidade, a natureza e a cultura, uma constante busca por moldar uma paisagem que transcenda os limites do ambiente urbano. Isso ocorre devido à abordagem transdisciplinar da Arquitetura da Paisagem, que se fundamenta na estrutura verde e azul do território,, dedicando-se à construção de paisagens Sant'anna, (2020).

Nesse contexto, emerge a ecologia da paisagem, um campo interdisciplinar que integra a teoria ecológica à sua aplicação prática. Essa abordagem desempenha um papel fundamental na compreensão e na gestão dos ecossistemas, contribuindo para a harmonia entre a espécie humana e a biosfera através de um pensamento sistêmico (Odum, (2007); Herzog, (2013)).

Em 1939, o termo "ecologia de paisagens" foi utilizado pela primeira vez pelo biogeógrafo alemão Carl Troll (1899/1975), que procurou integrar as disciplinas de Geografia e Ecologia, reconhecendo sua interconexão simbiótica. Assim, a ecologia de paisagens pode ser vista como um subcampo da ecologia moderna que resulta da combinação da ecologia, arquitetura da paisagem, geografia e história, buscando um melhor entendimento da estrutura, função e mudança da paisagem. Somente através desta abordagem sistêmica é que se consegue uma análise abrangente dos complexos sistemas naturais e humanos que compõem a paisagem Thompson e Steiner, (1997).

Diversos autores obtiveram suma importância no desenvolvimento deste subcampo da ecologia moderna, especialmente na criação de métodos para a análise da paisagem, destacando-se o trabalho de Richard Forman, responsável pela consolidação da ecologia da paisagem como um campo de estudo distinto.

O ápice dessa consolidação ocorreu com a publicação do livro "Landscape Ecology" (Ecologia da Paisagem) de Forman e Godron em 1986, que é amplamente reconhecido como a primeira síntese da ecologia da paisagem moderna. Este livro foi pioneiro ao aplicar princípios da biologia para promover uma convivência sustentável entre a humanidade e a natureza, impactando significativamente a forma como compreendemos e abordamos as interações entre organismos e meio ambiente. Ou seja, como os elementos da paisagem afetam a abundância e a distribuição desses organismos nos ecossistemas (**Figura 3**). Além disso, a ecologia da paisagem é uma ciência multidisciplinar que integra questões antes abordadas predominantemente em estudos ecossistêmicos, aplicando-as às paisagens modificadas pelo homem Forman e Godron, (1986); Forman, (1995).

O escopo da ecologia da paisagem nos possibilita compreender como as ações humanas moldam e influenciam as três características fundamentais da paisagem: funcionamento, dinâmica e elementos, (**Figura 3**). O funcionamento se refere à maneira como animais, plantas, água, materiais e energia se movem e fluem dentro de uma estrutura. Já a transformação diz respeito à dinâmica dos padrões espaciais e à alteração na estrutura e/ou função da paisagem em um determinado período de tempo, uma vez que as paisagens não são estáticas. Por fim, o

autor também aborda a última característica da paisagem, os elementos da paisagem ou, como o autor denomina, “landscape mosaic”, que pode ser dividida em quatro tipos: mancha, fronteira, corredor e matriz (**Figura 3**) Forman e Godron, (1986); Forman, (1995); Tardin,( 2018).



**Figura 3.** Ecologia da paisagem e seus principais conceitos para Richard Forman e representação dos elementos da paisagem na matriz.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Penteadó, 2004, p.25.

As manchas, ou "patches", são áreas de superfície que não seguem uma forma linear e apresentam características distintas em relação à área circundante, como aparência, diversidade, forma e/ou tamanho. Forman (1995) destaca que o tamanho e o formato dessas manchas têm um impacto direto nos processos ecológicos, pois influenciam as interações entre organismos e o ambiente natural. A linha de contato entre as manchas, ou fronteira, é um conceito importante nessa dinâmica, pois define os limites entre diferentes manchas da paisagem e afeta significativamente os processos ecológicos.

Os processos que originam as manchas também dão origem aos corredores, que se distinguem por apresentarem um eixo condutor que possibilita a conexão entre diferentes manchas na paisagem, promovendo a proteção da biodiversidade local. Finalmente, o último elemento da paisagem é a matriz, crucial para compreensão e análise da paisagem. Embora muitas vezes definida como o elemento de maior área, a matriz exerce controle sobre a dinâmica ecossistêmica não apenas por sua extensão, mas também por sua conectividade e sua capacidade de influenciar a dinâmica da paisagem Forman e Godron, (1986); Forman, (1995); Tardin, (2018).

À luz dos conceitos discutidos, Forman e Godron (1986) e Forman (1995) apresentam métricas da paisagem que auxiliam na compreensão da paisagem, funcionando como instrumentos metodológicos para a decomposição e análise da paisagem, utilizando métodos de medição e estatísticas para examinar a relação entre configuração e composição da paisagem. Elas são empregadas para compreender elementos essenciais como biodiversidade, fragmentação, conectividade e complexidade dos arranjos espaciais dos habitats.

## **2. Objetivo**

Originado do trabalho de conclusão do curso de Arquitetura e Urbanismo intitulado “Fratura Ecológica: A Criação de uma Universidade Parque como forma de restauração do ecossistema na UFSM, Campus Cachoeira do Sul”, que visa analisar e viabilizar a restauração do ecossistema atualmente fraturado do Campus através da criação de uma Universidade Parque, este artigo é um recorte do trabalho. Tem como objetivo definir e analisar a paisagem da Unidade de Paisagem (UP) imediata à universidade, identificando as alterações dos padrões oriundos das dinâmicas do recorte e o estabelecimento de nós de interesse, juntamente com a proposição de conexões através de corredores, pautados pelos princípios da ecologia da paisagem e de ações de arquitetura da paisagem.

## **3. Material e Métodos**

O trabalho partiu da delimitação da Unidade de Paisagem, na qual a UFSM - Campus Cachoeira do Sul está localizada, para conseqüente análise, relacionando aspectos morfológicos da paisagem definidos pelo bioma, estrutura fundiária e uso e cobertura do solo. A pesquisa foi sustentada pelo aprofundamento teórico-metodológico da ecologia da paisagem através de Forman e Godron (1986) e Forman (1995), considerando a matriz como o elemento dominante da paisagem. Dados quantitativos foram atribuídos a essa matriz por meio de métricas da paisagem (área, porcentagem, área média e número de manchas), e foram analisadas a dinâmica e os processos entre 1985 e 2022. Como síntese, um quadro comparativo que considerou a composição da matriz da paisagem em termos de arranjo de manchas, dinâmicas e processos nos períodos de análise.

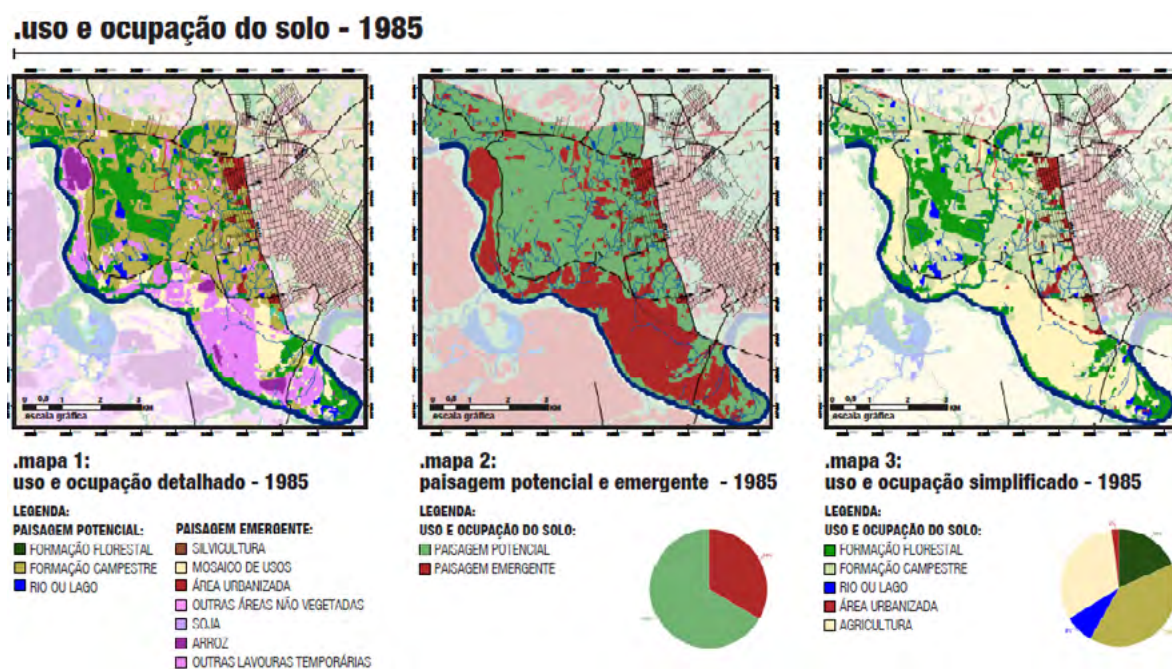
A base de dados teve informações de fontes distintas, como o Portal de Mapas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Coleção 8.0 do MapBiomás, a base de dados da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA), a base de dados do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) e, por fim, o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) para o município de Cachoeira do Sul. Para a confecção dos cruzamentos de dados e informações, bem como a aplicação de técnicas de geoprocessamento, utilizou-se o ArcGIS Pro.

As etapas metodológicas do estudo estão organizadas em cinco fases distintas: (1) Procedimentos para a pesquisa e coleta de dados, através da base de dados supracitados; (2) Elaboração de seis mapas temáticos da UP em análise, com o auxílio de geotecnologias, sendo

três para o ano de 1985 e três para o ano de 2022, analisando e comparando as mesmas categorias para ambos os anos. Com isso, o uso e a ocupação do solo foram analisados de três formas distintas: primeiro, detalhando todos os usos agrícolas de forma mais minuciosa; segundo, categorizando todos os usos agrícolas como "agricultura" para se obter a verdadeira dimensão da agricultura na área de estudo; terceiro, a paisagem foi categorizada como "paisagem potencial" para as áreas naturais e "paisagem emergente" para as áreas antropizadas, auxiliando na futura delimitação dos corredores verdes e na proposição de estratégias de conservação e restauração; (3) Aplicação dos conceitos da ecologia da paisagem na caracterização da UP, onde, por meio dos mapas temáticos e sua análise através das métricas da paisagem — que, neste caso, examinam a composição da paisagem para ambos os anos mencionados, a fim de compreender e analisar as mudanças ocorridas —, são identificados os elementos da paisagem: mancha, matriz e corredor; (4) Análise dos dados quantitativos atribuídos à matriz por meio de métricas da paisagem, com foco na mudança da paisagem entre o ano de 1985 em comparação ao ano de 2022; (5) Identificação dos nós de conexão e proposição dos corredores verde e azul, em que o corredor azul é delimitado pelos recursos hídricos, e o corredor verde corresponde às Áreas de Preservação Permanente (APP) associadas a esses recursos, que devem ser respeitadas, além das áreas onde a formação florestal é expressiva. Dessa forma, integra-se a análise da ecologia da paisagem ao processo de projeto da arquitetura da paisagem, possibilitando estratégias mais fundamentadas para a conservação e restauração do meio natural.

#### 4. Resultados e Discussão

A análise dos resultados para a UP no ano de 1985, conforme ilustrado na (Figura 4) e na (Tabela 1), revela que a maior concentração de paisagens emergentes, as de maior interferência humana, ocorre entre o Rio Jacuí e a via veicular. Essa divisão resulta em duas áreas distintas:



**Figura 4.** Mapas temáticos acerca do uso e ocupação do solo referente a Unidade de Paisagem em análise, para o ano de 1985.

Fonte: Os autores (2024).



ao norte, a paisagem potencial, que se assemelha a um ecossistema natural, e ao sul, a paisagem emergente. Este padrão destaca um impacto significativo na conservação do Rio Jacuí, já que não é respeitada a faixa de 200 metros de Área de Preservação Permanente (APP) exigida pelo Código Florestal. Muitas lavouras se estendem até as margens do rio, ameaçando a integridade do ecossistema aquático, uma vez que a vegetação ripária é crucial para sua preservação.

**Tabela 1.** Métricas da paisagem referente a Unidade de Paisagem em análise, para o ano de 1985.

MÉTRICAS DA PAISAGEM - 1985									
PAISAGEM (tipo de paisagem)	USOS	ÁREA (ha)	USO no total %	USO no tipo de pais. %	quantida de MANCHA S	ÁREA ≥ MANCHA (ha)	ÁREA MÉDIA MANCHAS / USO (ha)	≥ MANCHA no uso %	≥ MANCHA no total %
PAISAGEM POTENCIAL	formação florestal	775,16	18,99%	28,67%	132	320,75	5,87	41,38%	7,86%
	formação campestre	1.594,01	39,04%	58,97%	85	1.385,75	18,75	86,93%	33,94%
	rio ou lago	334,10	8,18%	12,36%	36	276,86	9,28	82,87%	6,78%
<i>Somatório paisagem potencial</i>		<b>2.703,27</b>	<b>66,21%</b>	-	<b>253</b>	-	<b>10,88</b>	-	-
PAISAGEM EMERGENTE	silvicultura	4,51	0,11%	0,33%	9	1,91	0,50	42,35%	0,05%
	mosaico de usos	392,71	9,62%	28,47%	316	0,08	1,24	0,02%	0,00%
	área urbanizada	102,29	2,51%	7,42%	17	70,20	6,02	68,63%	1,72%
	outras áreas não vegetadas	70,33	1,72%	5,10%	59	14,96	1,19	21,27%	0,37%
	soja	9,78	0,24%	0,71%	19	1,47	0,51	15,03%	0,04%
	arroz	113,68	2,78%	8,24%	10	66,30	11,37	58,32%	1,62%
<i>Somatório paisagem emergente</i>		<b>1.379,40</b>	<b>33,79%</b>	-	<b>573</b>	-	<b>2,41</b>	-	-
<i>Somatório totalidade da paisagem</i>		<b>4.082,67</b>	<b>100,00%</b>	-	<b>826</b>	-	<b>4,04</b>	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

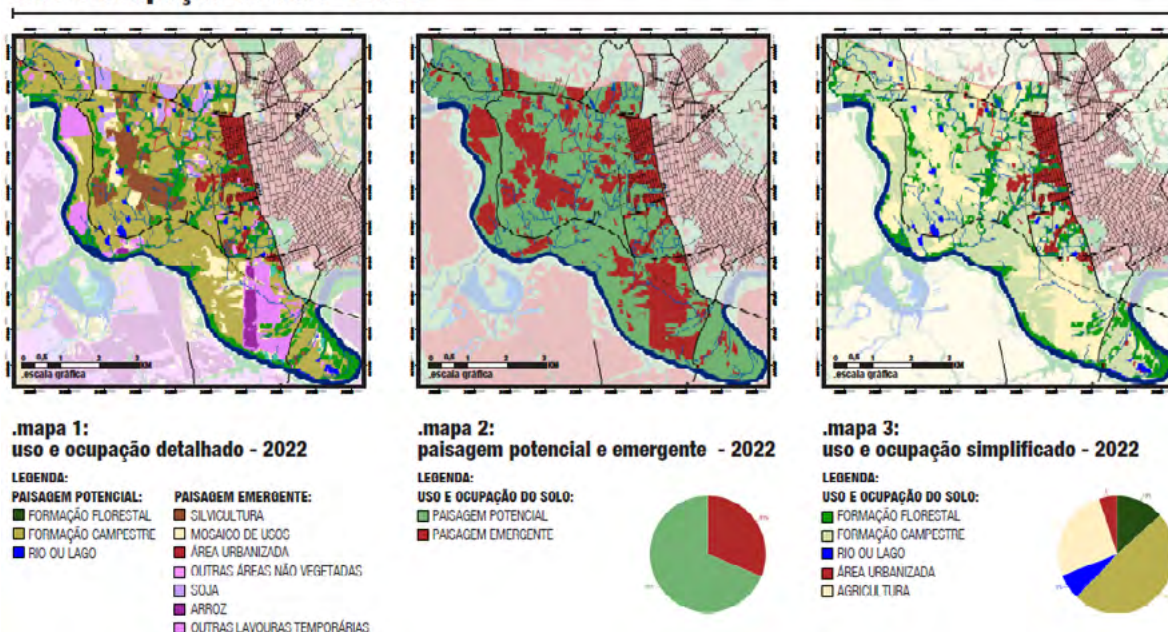
A paisagem de 1985 apresentava também aspectos positivos. Notavelmente, 66% da paisagem é classificada como potencial, destacando-se a Formação Campestre e a Formação Florestal como as duas principais categorias. A Formação Campestre assume o papel de matriz da paisagem, dado que domina a paisagem com 39,04% da composição total, além de apresentar a maior mancha com 1.385,75 hectares. Por sua vez, a Formação Florestal representa 18,99% da paisagem, com a maior mancha atingindo 320,75 hectares. Esses elementos demonstram um potencial significativo para a preservação e promoção da biodiversidade na região, fornecendo uma base sólida para estratégias de conservação e manejo sustentável.

A paisagem de 2022, (Figura 5) e (Tabela 2), é notável pelo aumento na presença da silvicultura, resultando na transformação praticamente integral de uma mancha de Formação Florestal que havia em 1985. Isso torna-se evidente ao considerar que, em 1985, a silvicultura ocupava apenas 0,11%, com a maior mancha abrangendo 1,91 hectares, enquanto em 2022, essa mesma categoria apresenta uma expansão para 259,42 hectares, sendo a maior mancha com 170,34 hectares. Dentro dos usos emergentes da paisagem, a silvicultura emerge como o que mais significativamente aumentou, especialmente nas áreas de maiores declividades. Essa consolidação da silvicultura como uma das principais formas de ocupação reflete não apenas o aumento quantitativo, mas também a adaptabilidade dessa prática em terrenos desafiadores, onde as práticas agrícolas convencionais não são viáveis.

Outro fator negativo é a diminuição expressiva da área de Formação Florestal, que passou de 28,67% em 1985 para 13,85% em 2022. Esse declínio está diretamente associado ao aumento da silvicultura, como mencionado anteriormente, resultando em uma redução da maior mancha de Formação Florestal, que passou de 320,75 hectares em 1985 para 82,18 hectares em 2022, dado que a silvicultura se consolidou justamente na área da maior mancha de Formação Florestal.

Apesar destes aspectos negativos, os mapas em questão ilustram o incremento na cobertura

**.uso e ocupação do solo - 2022**



**Figura 5.** Mapas temáticos acerca do uso do solo referente a Unidade de Paisagem em análise, para o ano de 2022.

Fonte: Os autores (2024).

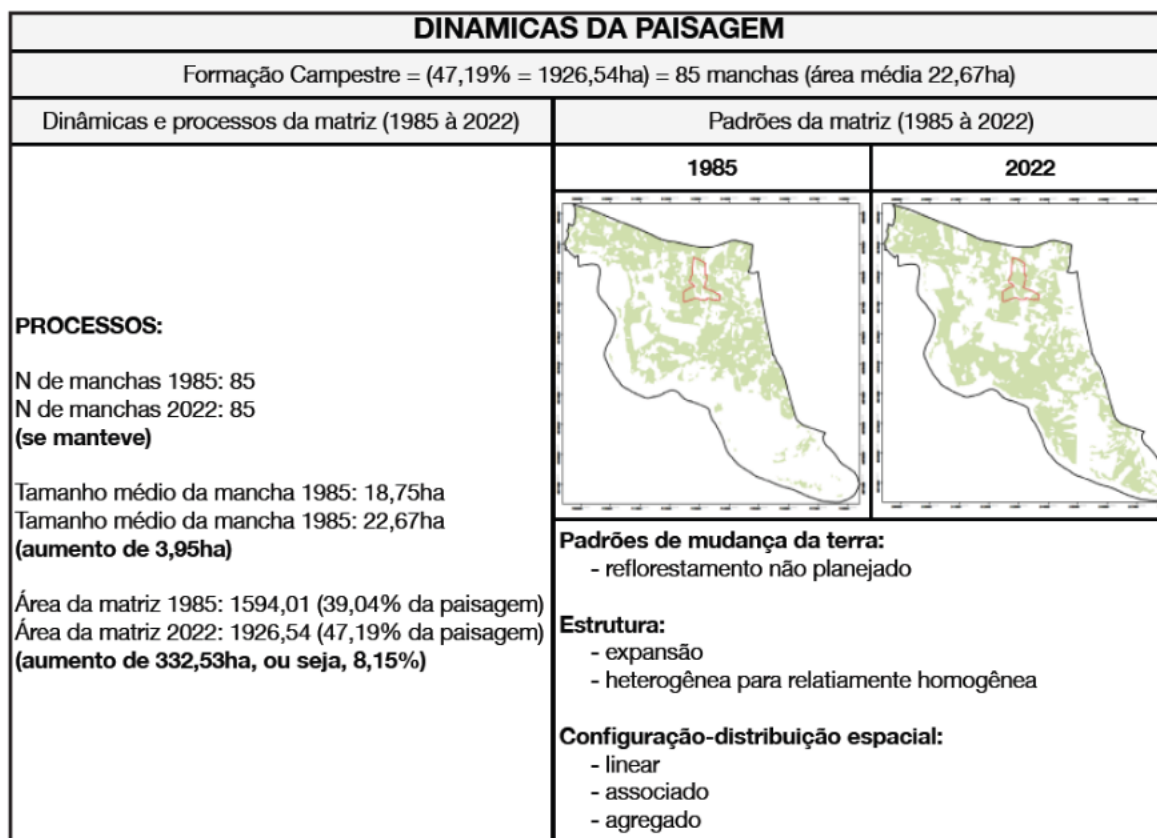
**Tabela 2.** Métricas da paisagem referente a Unidade de Paisagem em análise, para o ano de 2022.

MÉTRICAS DA PAISAGEM - 2022									
PAISAGEM (tipo de paisagem)	USOS	ÁREA (ha)	USO no total %	USO no tipo de pais. %	quantidade de MANCHAS	ÁREA ≥ MANCHA (ha)	ÁREA MÉDIA MANCHAS / USO (ha)	≥ MANCHA no uso %	≥ MANCHA no total %
PAISAGEM POTENCIAL	formação florestal	565,56	13,85%	20,14%	196	82,18	2,89	14,53%	2,01%
	formação campestre	1.926,54	47,19%	68,59%	85	1.495,26	22,67	77,61%	36,62%
	rio ou lago	316,59	7,75%	11,27%	22	273,14	14,39	86,28%	6,69%
<b>somatório paisagem potencial</b>	-	<b>2.808,69</b>	<b>68,80%</b>	-	<b>303</b>	-	<b>9,27</b>	-	-
PAISAGEM EMERGENTE	silvicultura	259,42	6,35%	20,38%	27	170,34	9,61	65,66%	4,17%
	mosaico de usos	248,13	6,08%	19,49%	162	53,03	1,53	21,37%	1,30%
	área urbanizada	219,50	5,38%	17,24%	13	163,39	16,88	74,44%	4,00%
	outras áreas não vegetadas	50,00	1,22%	3,93%	60	4,23	0,83	8,46%	0,10%
	soja	109,20	2,67%	8,58%	28	24,60	3,90	22,53%	0,60%
	arroz	61,72	1,51%	4,85%	6	50,72	10,29	82,18%	1,24%
<b>somatório paisagem emergente</b>	-	<b>1.272,90</b>	<b>31,18%</b>	-	<b>362</b>	-	<b>3,52</b>	-	-
<b>somatório totalidade da paisagem</b>	-	<b>4.082,67</b>	<b>100,00%</b>	-	<b>640</b>	-	<b>9,38</b>	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

da paisagem potencial, de 66% em 1985 para 68% em 2022. Esse acréscimo é impulsionado pelo crescimento da Formação Campestre, com um aumento de 8,15%, enquanto a Formação Florestal apresenta uma diminuição de 5,14%. E embora seja positivo o aumento da Paisagem Potencial, é imperativo propor estratégias efetivas para a preservação dos remanescentes florestais na área, especialmente considerando sua relação com a preservação dos cursos d'água.

Ao analisar a dinâmica da paisagem, (**Figura 6**), observou-se que a matriz da paisagem assume a configuração de Formação Campestre da UP, dado que, ao longo desses 37 anos, permanece como o uso predominante, crescendo de 38,04% em 1985 para 47,19% em 2022 e apresentando um aumento médio de suas manchas, que evoluíram de 18,75 ha para 22,67 ha, representando um incremento de 3,96 ha. Esse aumento tem potencial de contribuir para uma dinâmica mais eficiente dos organismos que habitam esse ecossistema campestre, promovendo a conectividade e diversidade biológica. Entretanto, análises in loco e fotos georreferenciadas revelam que algumas áreas de formação campestre podem não representar a formação campestre nativa do Bioma Pampa, mas sim indicar área de pastagem, destinada à produção de gado nas propriedades rurais presentes nesta UP. Isso reforça a complexidade de analisar a paisagem de um bioma onde predomina a vegetação não florestal, indicando a necessidade de empregar mais ferramentas de análise a fim de promover a conservação deste bioma já tão devastado pela forte presença do agronegócio

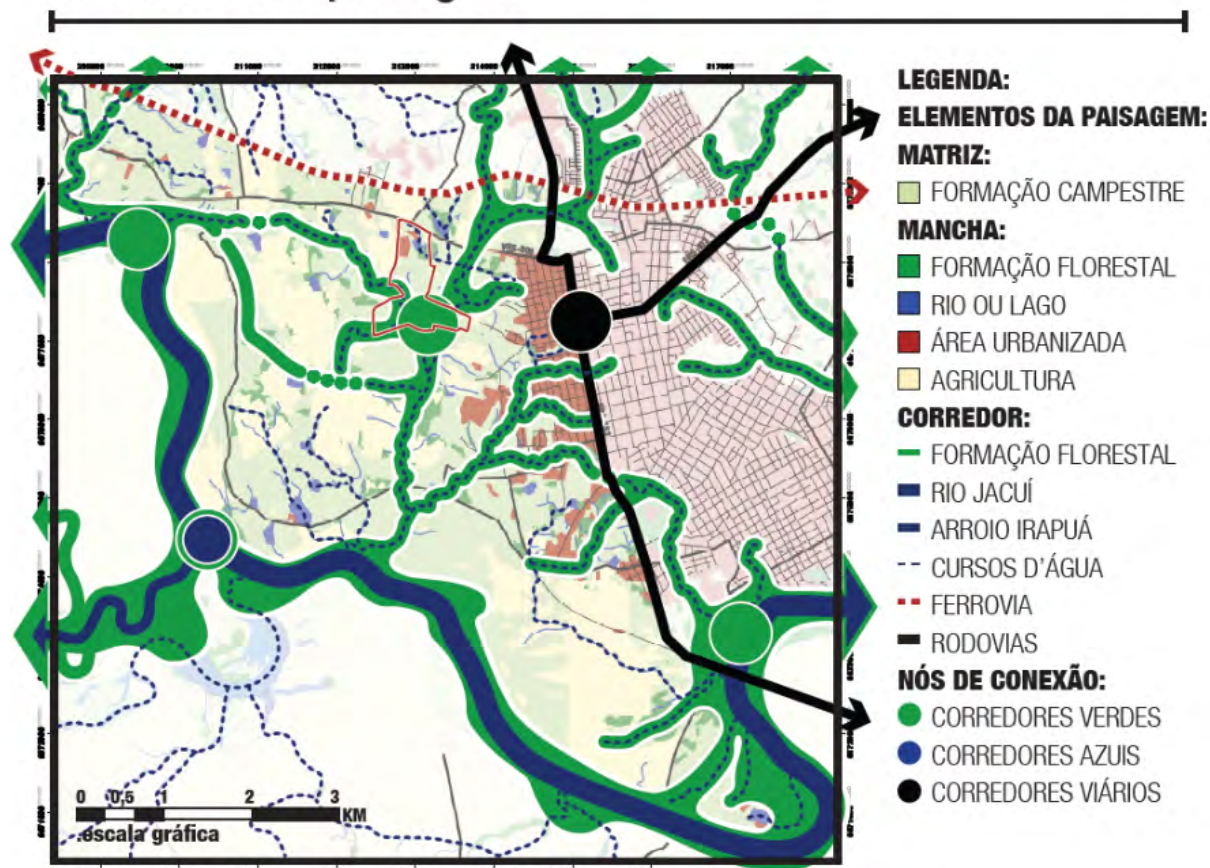


**Figura 6.** Dinâmica da paisagem referente a Unidade de Paisagem em análise, para o ano de 2022.

Fonte: Os autores (2024).

Posto isso, foram identificados os nós de conexão, que se destacam como um elemento crucial para a integridade das dinâmicas ecossistêmicas além dos limites da UP, e proposto todo o sistema interconectado de corredores verdes e azuis para a paisagem, pautados pelos princípios da ecologia da paisagem e de ações de arquitetura da paisagem, (**Figura 7**). Destaca-se que um dos nós de conectividade está localizado no campus de estudo, acentuando a urgência de reavaliar as práticas de manejo da área. O nó não é apenas um ponto estratégico para a preservação da fauna e flora locais, mas também representa a oportunidade para integrar

## elementos da paisagem



**Figura 7.** Elementos da paisagem referente a Unidade de Paisagem em análise.

Fonte: Os autores (2024).

iniciativas de conservação com atividades educacionais e de pesquisa.

## 5. Conclusões

Este artigo, originado do trabalho de conclusão do curso de Arquitetura e Urbanismo intitulado “Fratura Ecológica: A Criação de uma Universidade Parque como Forma de Restauração do Ecossistema na UFSM, Campus Cachoeira do Sul”, visa definir e analisar a paisagem da Unidade de Paisagem (UP) da universidade. O estudo, fundamentado nos princípios da ecologia da paisagem e nas ações de arquitetura da paisagem, identificou alterações nos padrões de uso do solo e determinou nós de interesse ecológico, propondo a criação de corredores verdes e azuis para promover uma restauração ecológica efetiva.

Os resultados evidenciam a importância de aplicar a Ecologia da Paisagem no planejamento para a conservação dos ecossistemas naturais. Embora essa abordagem possa parecer antagônica ao desenvolvimento exploratório atual — predominantemente fundamentado no capitalismo predatório e no liberalismo econômico, que fragmenta os ecossistemas e compromete sua funcionalidade —, a perspectiva da ecologia da paisagem se torna cada vez mais relevante devido à sua visão holística da paisagem. Esta visão é especialmente crucial no contexto das crises ambientais e da extinção da natureza nativa causadas por esse tipo de desenvolvimento. Ou seja, a quantificação e análise das mudanças na paisagem, utilizando métricas da paisagem e SIG, demonstraram-se ferramentas cruciais para entender a estrutura da UP e implementar

estratégias de restauração. Assim, a ecologia da paisagem se estabelece como a base fundamental para a Arquitetura da Paisagem, possibilitando a criação de uma “Universidade Parque” que não apenas mitiga os impactos da urbanização, mas também contribui para a recuperação da paisagem original. Ao integrar corredores ecológicos e respeitar as características do bioma Pampa, esta abordagem promove um modelo de sustentabilidade e biodiversidade, essencial para a conservação e restauração do ecossistema do Campus.

## 7. Referências

Capoane, V.; Kulpich, T. M, 2018. Expansão da agricultura no bioma Pampa. In: **8º Reunião de Estudos Ambientais (REA)**, Porto Alegre (RS), p. 1-9.

Forman, Richard; Godron, Michel. Landscape Ecology. New York: John Wiley and Sons, 1986.

Forman, Richard T. T. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. **Cambridge**: University Press, 1995.

Herzog, Cecilia Palacow. **Cidade para todos** – (re)aprendendo a conviver com a Natureza. Rio de Janeiro : Mauad X : Inverde, 2013.

Odum, E.P; Barret, G.W. **Fundamentos de Ecologia**. 5. ed., Cengage Learning; 2007.

Penteado, Homero Marconi. The river in the urban landscape - landscape ecological principles for the design of riverfronts. A Thesis of Master of Landscape Architecture, The University of Guelph, Canadá, 2004.

Projeto Mapbiomas. Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2022 – Coleção 8., 2023. Acessado em 10/09/2023 através do link: <[https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/FACT\\_port-versao-final.pdf](https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/FACT_port-versao-final.pdf)>

Sant’anna, Camila Gomes. A infraestrutura verde e sua contribuição para o desenho da paisagem da cidade. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

Tardin, Raquel. **Espaços livres**: sistema e projeto territorial. Rio de Janeiro: 7 Letras, 2008.

Thiele, P. P.; Ramos, M. P.; Paiva, C. A. N.. Desenvolvimento Regional e industrialização: análise do caso do desenvolvimento truncado de Cachoeira do Sul sob a ótica da teoria de Douglas North. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais (ANPUR)** , v. 15, p. 25-36, 2013.

Thompson, George; Steiner, Frederick R. **Ecological Design and Planning**. Papers from an Internacional Symposium Entitled: Landscape Architecture: Ecology and Design and Planning, held In Tempe, Ariz., Apr. 1993. Copyright by John Wiley & Sons, Inc., 1997.

Vasconcellos, Andréa Araujo de. Infraestrutura verde aplicada ao planejamento da ocupação urbana. Curitiba - PR: Appris, 2015, 1. ed.

**Desenvolvimento e aplicação do SIGBT como software livre no IBGE, sua aplicação no Censo 2022 e a variação populacional no bioma Pantanal no último período intercensitário**

Nelson Wellausen Dias <sup>1</sup>  
Lucas Halberstadt da Rosa <sup>1</sup>  
Fabiano Saraiva <sup>1</sup>  
Carlos Eduardo Cagna <sup>1</sup>  
Ivan Donisete Lonel <sup>1</sup>  
Fabio Luiz de Oliveira Santos <sup>1</sup>  
Diogo José nunes da Silva <sup>1</sup>  
Roberto Ferreira Tavares <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE  
Diretoria de Geociências – DGC  
Coordenação de Estruturas Territoriais – CETE  
Av. República do Chile, 500 - 4º andar, Centro  
Rio de Janeiro – RJ, Brasil

{nelson.dias; lucas.rosa; fabiano.saraiva; carlos.cagna; ivan.lonel; fabio.o.santos; diogo.silva; roberto.f.tavares}@ibge.gov.br

**Resumo.** Evidências científicas e não científicas vêm demonstrando com clareza o intenso processo de degradação que o bioma Pantanal tem sofrido nos últimos anos. O objetivo desse artigo é apresentar as características do SIGBT, seu processo de desenvolvimento no IBGE e apresentar uma análise preliminar da dinâmica populacional dos municípios que compõem a área do bioma Pantanal entre os Censos 2010 e 2022. Os resultados mostram uma diversidade expressiva entre aumento e redução de população nos municípios analisados, especialmente naqueles localizados majoritariamente dentro do bioma Pantanal. A predominância de um fluxo populacional negativo nos municípios localizados dentro do bioma e a incidência de seca prolongada associada a queimadas sem precedentes nos anos 2019 e 2020, poderiam indicar a existência de uma relação de causa e efeito entre eles. Mas somente a análise mais aprofundada dos resultados mais desagregados do Censo 2022 a serem divulgados futuramente, poderão sustentar essa hipótese.

**Palavras-chave:** dinâmica populacional, geoprocessamento, queimadas.

**Abstract.** Scientific and non-scientific evidence has clearly demonstrated the intense degradation process that the Pantanal biome has undergone in recent years. The objective of this article is to present the characteristics of SIGBT, its development process at IBGE, and to present a preliminary analysis of the population dynamics of the municipalities that make up the Pantanal biome area between the 2010 and 2022 Censuses. The results show a significant diversity between population increase and reduction in the municipalities analyzed, especially in those located mostly within the Pantanal biome. The predominance of a negative population flow in the municipalities located within the biome and the incidence of prolonged drought associated with unprecedented fires in 2019 and 2020 could indicate the existence of a cause-and-effect relationship between them. However, only a more in-depth analysis of the more disaggregated results of the 2022 Census, to be released in the future, will be able to support this hypothesis.

**Key-words:** fires, GIS, population dynamics.

## 1. Introdução

O bioma Pantanal vem sofrendo um intenso processo de degradação nos últimos anos Silva et al., (2011); Lima et al., (2015); Alho et al., (2019). O ambiente ainda bem preservado descrito por Junk e Cunha (2005) já apresenta claras cicatrizes do processo de desenvolvimento econômico antevisto por esses autores há quase vinte anos. A alteração do regime hidrológico e do pulso monomodal de enchentes dentro do bioma, causado por estruturas físicas de infraestrutura, como hidroelétricas, e pela expansão da agropecuária no entorno do bioma e, portanto, nas cabeceiras dos principais tributários responsáveis por manter o Pantanal úmido na maior parte do ano, vem diminuindo a sua resiliência aos impactos das oscilações climáticas observadas nos últimos anos. A fragilidade dos ecossistemas de áreas alagadas intermitentes pode ser medida pelas espécies de plantas e animais que habitam essas áreas. Junk et al. (2006) constataram a baixa presença de espécies endêmicas no bioma Pantanal e a alta presença de um grande número de espécies adaptadas a uma vasta amplitude ecológica. Esses autores afirmaram que “a composição e a diversidade de espécies do Pantanal são resultado da sua história paleoclimática e das condições climáticas e hidrológicas recentes” e que a base ecológica dessa biodiversidade se deve à presença de habitats permanentemente alagados, outros permanentemente secos e outros periodicamente inundados. A ocorrência de um regime de chuvas menos intensas e a predominância de um período mais prolongado de ar seco nos anos de 2019 e 2020 sobre o Pantanal, levando a uma queda expressiva do nível dos rios da região e ao aumento da incidência de queimadas, foi descrito por Marengo et al. (2021). O impacto da degradação nesse ecossistema causado pela incidência sem precedentes de queimadas nesse período, que consumiu 31% do Pantanal em um só ano, pode ser estimado pelo impacto negativo que causou sobre a população de onças nesse bioma, como consequências da fome, desidratação, deslocamento, defesa de território e baixa fertilidade Barros et al., (2022).

Se por um lado existe um conhecimento relativamente amplo sobre os vários aspectos que compõem a complexidade do bioma Pantanal, por outro existe uma carência significativa de conhecimento científico sobre vários aspectos, conforme descrito por Shulz et al. (2019). Segundo esses autores, alguns desses aspectos são estudos quantitativos de caráter social, econômico e cultural, parte dos quais é coberta apenas pelos Censos Demográficos do IBGE. Estes, porém, são coletados apenas a cada 10 anos.

A adoção de soluções baseadas em software livre na esfera pública brasileira é recente. Até os anos 1990 os governos licitavam e contratavam licenças de software proprietário para a maioria das necessidades informacionais, o que limitava muito a capacidade de auditar a qualidade dos sistemas contratados por falta de transparência, aumentava o gasto público com esses serviços e restringia a disseminação das ferramentas computacionais nas instituições Silveira, (2004). Somente após a criação de um amparo legal que abrisse caminho para a

adoção de novas tecnologias baseadas em software livre, é que as estratégias começaram a mudar nas instituições públicas. Destacam-se nesse amparo legal as seguintes leis: Portaria STI/MP nº 46, de 28/09/2016 (alterada pela Portaria SGD/ME nº 3, de 27/06/2019), que dispõe sobre a disponibilização de Software Público Brasileiro e o Art. 16 da Lei nº 14.063, de 23/09/2021 que estabelece que os sistemas de informação e de comunicação desenvolvidos exclusivamente pela administração pública são regidos por licença de código aberto, permitida a sua utilização, cópia, alteração e distribuição sem restrições por todos os órgãos e entidades públicas. As principais vantagens do software livre, segundo Hexsel (2002), são: custo social baixo; liberdade em relação a tecnologias proprietárias; independência de fornecedor único; desembolso inicial próximo de zero; não obsolescência do hardware; robustez e segurança; possibilidade de adequar aplicativos e redistribuir versão alterada; suporte abundante e gratuito; e sistemas e aplicativos geralmente muito configuráveis.

Após vários anos dependendo da contratação de software proprietário para a atualização e manutenção de sua Base Territorial, uma equipe de servidores efetivos do IBGE, lotados nas Diretorias de Informática e de Geociências, decidiu desenvolver uma solução de geoprocessamento baseada em software livre a partir de 2014. Essa solução foi disseminada por toda a rede de 27 Superintendências Estaduais e parte das 564 Agências de Coleta, o que permitiu transferir para os integrantes estaduais dessa rede a tomada de decisão sobre a forma mais correta e pertinente de atualizar a informação geoespacial, invertendo a lógica centralizadora que prevaleceu ao longo de quase setenta anos. Com a descentralização das atividades de mapeamento, as equipes das Agências puderam ser capacitadas para atuar na edição das camadas de geoinformação do Sistema de Mapeamento (SISMAP) e assim contribuir com a atualização da Base Territorial.

A Base Territorial (BT) é formada por uma base gráfica de informações georreferenciadas contendo a representação das estruturas territoriais, dos setores censitários e de outros elementos que fundamentam a organização operacional dos censos, de algumas pesquisas amostrais, divulgação de dados das Estimativas Populacionais e áreas territoriais. Estas estruturas podem ser de caráter legal, tal como a divisão político-administrativa; de caráter analítico, vinculada a padrões territoriais ou grupos populacionais específicos; ou de caráter operacional, destinado a garantir o acesso e a cobertura das unidades recenseáveis. Das estruturas territoriais que compõem a Base Territorial, o setor censitário alicerça a organização operacional das entrevistas. Trata-se de uma unidade territorial de coleta cuja dimensão, número de domicílios e de estabelecimentos permitem ao recenseador cumprir suas atividades em um prazo determinado. Para além das atividades dos censos, as pesquisas amostrais também utilizam as malhas censitárias como referência. Estas malhas não se restringem à delimitação de setores censitários, já que é cada vez mais intensa a demanda por dados para diversos recortes territoriais. O objetivo da Base Territorial é identificar, acompanhar e representar as estruturas territoriais de interesse para o IBGE, garantindo uma melhor representação das mesmas e uma maior eficiência operacional do setor censitário, atividade interna que mantém atualizada a malha de setores censitários e, conseqüentemente, acompanha a evolução dos níveis geográficos acima desses, como bairros, subdistritos, distritos, limites municipais, divisas estaduais e fronteiras internacionais.

Todo esse conjunto de informações e cadastros geoespaciais sofrem ciclos anuais de atualização, prescindindo de dados e insumos cartográficos em resolução de escala e resolução temporal adequados, capazes de retratar a diversidade de identidades, comportamentos, modos de vida e fenômenos ambientais refletidos na organização dos assentamentos. Esse conjunto é denominado Cartografia Especial Censitária, capaz de configurar os quadros urbanos e rurais do Brasil, traduzindo-se na realidade dos arranjos do território, possibilitando aos usuários das informações geográficas e estatísticas uma análise consistente do espaço geográfico brasileiro e garantindo a comparabilidade entre as operações e análises multitemporais da ocupação do



território nacional.

O desenvolvimento do Sistema de Informações Geográficas da Base Territorial (SIGBT) teve início em 2014 a partir da constatação de que as soluções de software proprietário disponíveis naquele momento não atendiam à demanda interna do IBGE de envolver os técnicos das agências no processo de revisão e atualização da Base Territorial. Um dos principais entraves era a diversidade de infraestrutura nas agências, principalmente na qualidade e velocidade de conexão à internet, cenário que exigia o desenvolvimento de uma solução offline que fosse ao mesmo tempo ágil e eficiente. O SIGBT foi amplamente utilizado na preparação da Base Territorial para o Censo Demográfico 2022.

O objetivo desse trabalho é apresentar as características do SIGBT, suas vantagens e os desafios do seu desenvolvimento, além de apresentar uma análise preliminar dos resultados de população municipal do Censo Demográfico 2022 no âmbito do Bioma Pantanal.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1 Características do SIGBT**

Em meados de 2014, o IBGE se preparava para abandonar um modelo de atualização de dados pautado em uma revisão completa realizada às vésperas de uma operação censitária e instaurava um modelo de atualização contínua, mais complexo e que demandaria ferramentas e sistemas mais ágeis para os operadores. Naquele momento, entretanto, os softwares empregados pela BT eram todos comerciais e com processos de atualização e personalização para os objetivos específicos da entidade sempre lentos e difíceis, já que estavam presos aos contratos com o fornecedor, representando uma despesa considerável, e por vezes impeditiva, para os cofres públicos.

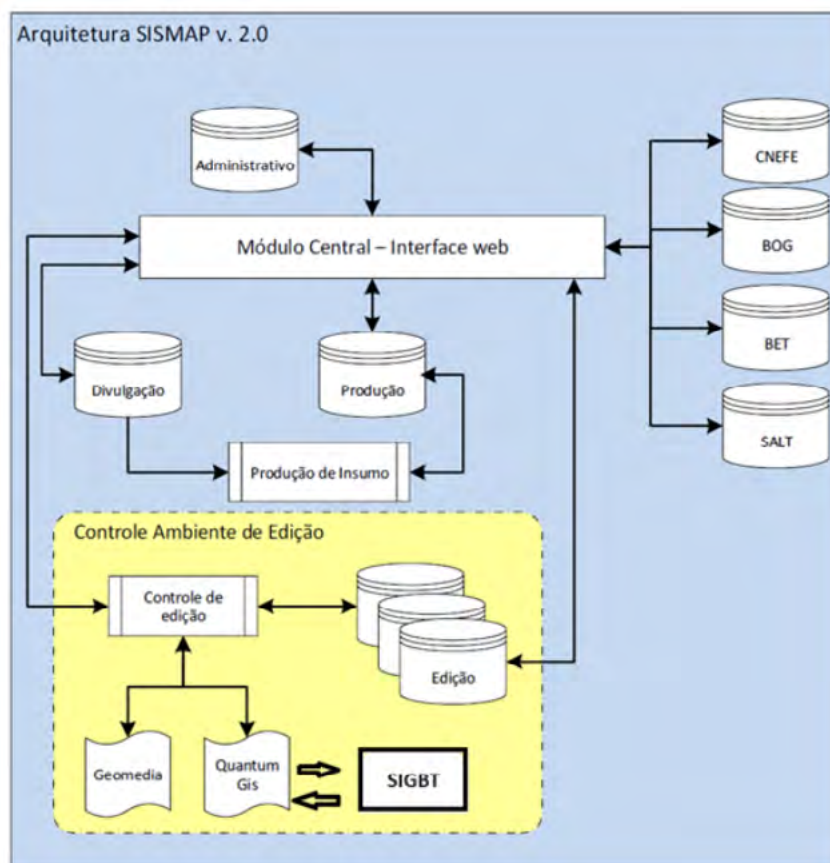
Em paralelo a isso, um quadro de analistas se formara dentro do IBGE, advindos de concursos para cargos técnicos especializados realizados em anos anteriores. Tais servidores detinham duas características interessantes: o conhecimento metodológico das atividades desempenhadas pela instituição; e alguns possuíam capacidades técnicas de desenvolvimento de sistemas.

A partir de um cenário como esse, emergiu como sendo viável a busca interna por uma alternativa mais vantajosa para realização das atividades de atualização da BT. Tal sistema deveria ser pensado para atender às seguintes premissas tecnológicas: (1) estar apoiado em uma plataforma gratuita que não demandasse direcionamento de recursos públicos para licenciamento de softwares e que tivesse, preferencialmente, códigos-fonte abertos para evitar dependências futuras; (2) funcionar com baixas exigências computacionais e de rede, para atender às diferentes realidades dos usuários; e (3) ter total capacidade de customização, de modo a se adaptar conforme as necessidades da BT e do IBGE.

Diante de tais exigências, e tendo em vista o conhecimento técnico e o estágio de evolução das ferramentas de geoprocessamento à época, o sistema foi definido na forma de um plugin externo para QGIS (e sua API pyQGIS) com a interface gráfica modelada a partir do framework Qt (e sua API PyQt).

O Sistema de Informações Geográficas da Base Territorial (SIGBT), portanto, é a solução tecnológica que nasce em 2014 e cujas etapas de concepção, implementação e homologação sempre foram caracterizadas pelo desenvolvimento colaborativo constante, no qual os técnicos da BT e de áreas correlatas do IBGE podem participar e contribuir para sua melhoria, das mais diversas maneiras, desde a sinalização de problemas, passando pela sugestão de melhorias, até a escrita do código. O desenvolvimento do SIGBT foi pensado de forma modular, procurando atender às prioridades metodológicas e conceituais definidas pelo IBGE. Seu código foi escrito,

majoritariamente, em linguagem Python, e os dados manipulados são geridos por um banco SQLite (e sua extensão SpatiaLite), disponibilizados aos usuários internos para download e edição offline, a partir de um repositório Git versionado. Esse repositório tem a função de receber as Ordens de Serviço (OS) do SISMAP para edição offline e depois importar as OS editadas para serem incorporadas pelo SISMAP. A **(Figura 1)** ilustra a arquitetura do SISMAP, seu relacionamento com bancos de dados externos (CNEFE, BOG, BET e SALT) e a edição no QGIS com o complemento SIGBT.

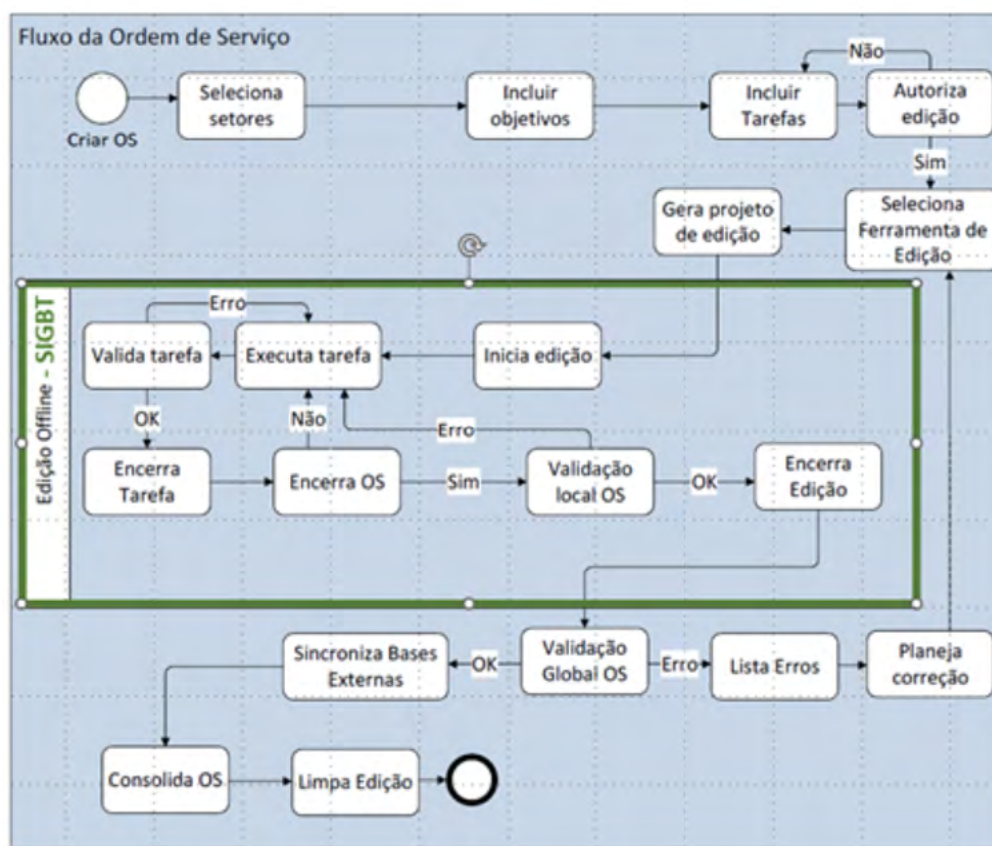


**Figura 1.** Arquitetura do SISMAP e fluxo de edição offline com o SIGBT.

Fonte: Proposta de atualização do SISMAP da Diretoria de Informática (DI/COBAD/GECEO) de 2017 e alterado pelos autores.

A **(Figura 2)** ilustra o fluxo das Ordens de Serviço geradas no SISMAP e as tarefas executadas pelo SIGBT no ambiente offline. Dentre as principais funcionalidades desempenhadas pelo SIGBT destacam-se as operações gráficas realizadas sobre os setores censitários (divisões, agregações, ajustes e garantia da comparabilidade entre as malhas) e sobre as camadas intrassetoriais (localidades, logradouros, quadras e faces), bem como a garantia da consistência topológica e metodológica das edições realizadas. A produção dos mapas empregados nas operações censitárias também é realizada pelo SIGBT.

Desde o advento do SIGBT, três grandes ciclos de atualização de dados, visando a operações censitárias, já foram realizados utilizando o sistema: a Contagem Populacional de 2015 (que acabou sendo cancelada), o Censo Agropecuário de 2016 e o Censo Demográfico de 2022 (que provocou dois ciclos de atualização devido a dois adiamentos enfrentados).



**Figura 2.** Fluxo da Ordem de Serviço e tarefas executadas offline pelo SIGBT.

Fonte: Proposta de atualização do SISMAP da Diretoria de Informática (DI/COBAD/GEGEO) de 2017 e alterado pelos autores.

Atualmente, o SIGBT está em uso na Coordenação de Estruturas Territoriais do IBGE, em todas as 27 Superintendências Estaduais, além de em grande parte das suas mais de 500 agências, sendo composto por cerca de 50 funções específicas, que automatizam processos, facilitam edições e possibilitam a atualização contínua da BT. O sistema também agrega informações de outros bancos de dados de diferentes áreas que interagem com a BT, possibilitando a visualização e a edição integrada de todos os dados, de forma a facilitar a construção de indicadores da ocupação territorial em âmbito nacional.

## 2.2 Dados do Censo 2022 sobre a População Municipal

A divulgação dos resultados do Censo Demográfico 2022 vem sendo feita pelo IBGE desde dezembro de 2022 pelo portal Panorama do Censo 2022 (<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>). Em junho de 2023 foram divulgados os resultados de população e domicílios para cada um dos 5.568 municípios do Brasil. Para a análise realizada neste estudo, foram extraídos dessa divulgação os dados de população para os 20 municípios que possuem a totalidade ou parte do seu território dentro do polígono oficial que descreve o limite do bioma Pantanal.

## 3. Resultados e Discussão

O acompanhamento da dinâmica de ocupação do território brasileiro e suas manifestações sociais, legais e econômicas são o principal desafio das atividades da Base Territorial do IBGE. A atualização da representação geoespacial dessa dinâmica é dividida em dois grandes grupos,

um é a Divisão Territorial Brasileira (DTB) com o acompanhamento dos instrumentos legais elaborados pelos entes federativos ao longo do tempo e o outro é a malha de setores censitários e seus elementos gráficos internos. A malha censitária do Censo 2010 era constituída por 316.574 setores, já a malha censitária usada na coleta do Censo 2022 foi constituída por 452.338 setores. Esse aumento de 42,9 % na quantidade setores censitários se deve a dois aspectos: um à expansão e densificação das áreas urbanizadas e dois ao refinamento metodológico adotado e à aplicação de novos insumos tecnológicos pelo IBGE que permitiram aprimorar a representação dos espaços urbanos e rurais por meio de critérios morfológicos mais refinados.

### 3.1 Análise dos Dados Preliminares da População Municipal dos Censos 2010 e 2022

Os dados preliminares do Censo Demográfico 2022 indicaram um crescimento populacional do Brasil como um todo de 6,47% entre 2010 e 2022. Com variações significativas entre as unidades da federação, mas com variações mais expressivas entre os municípios.

Com o intuito de analisar com maior detalhe a área de abrangência do bioma Pantanal, neste estudo foi feito um recorte dos municípios que estão inseridos total ou parcialmente no perímetro que define o limite territorial do bioma Pantanal. A (**Tabela 1**) apresenta os resultados dessa análise com a respectiva variação percentual da população municipal de um Censo para o outro. A (**Figura 3**) mostra um mapa em que essas variações são mostradas num contexto geográfico e classificadas em seis categorias, quais sejam: aumento populacional abaixo de 5%, entre 5 e 10% e acima de 10% e redução de população nos mesmos intervalos percentuais. Alguns dos limites municipais apresentados na (**Figura 3**) coincidem com os limites das sub-regiões do bioma Pantanal descritas por Silva e Abdon (1998), os quais destacaram que apenas quatro municípios (Corumbá, Poconé, Cáceres e Aquidauana) representam 74% da área do bioma.

De acordo com os resultados apresentados, os municípios que apresentam crescimento populacional acima de 10% são Curvelândia e Nossa Senhora do Livramento, ambos localizados no estado do Mato Grosso e no extremo norte do território do bioma Pantanal. Interessante destacar que esses municípios estão muito próximos, ou são até mesmo vizinhos, de municípios que tiveram redução populacional acima de 10%, como Santo Antônio de Leverger e Lambari D'Oeste. Como esses municípios possuem população inferior a 20 mil habitantes, variações populacionais expressivas, como as observadas nesse intervalo censitário, seja de êxodo ou de atração do fluxo migratório, pode ser causado por empreendimentos de médio porte que se instalam ou que fecham causando aumento ou declínio na oferta de emprego local. No extremo sul do bioma Pantanal se destaca também a redução populacional de Porto Murtinho com -16,3%.

Dentre os quatro municípios que representam mais de 74% da área do bioma Pantanal, acrescentando Barão de Melgaço que possui quase a totalidade de seu território dentro do bioma, Corumbá é o que mais se destaca por apresentar a maior redução populacional e, ao mesmo tempo, possuir a maior população e a maior área territorial dentro do Pantanal. Com uma redução populacional de 7.435 habitantes nesse período intercensitário, esse número de pessoas a menos é maior do que a população total de pelo menos três municípios apresentados na (**Tabela 1**) — Curvelândia, Glória D'Oeste e Lambari D'Oeste — e semelhante à população de Bodoquena e Barão do Melgaço. Este último foi o segundo município que mais perdeu população em termos percentuais (- 4,5%) seguido de Poconé (- 1,8%), dos cinco que compõem a maior parte do território do bioma Pantanal. Por outro lado, os municípios de Aquidauana (+ 2,6%) e Cáceres (+ 2,0 %) apresentaram crescimento populacional no período que somados representam 2.928 habitantes a mais. Ao mesmo tempo, Ladário, que possui uma área territorial

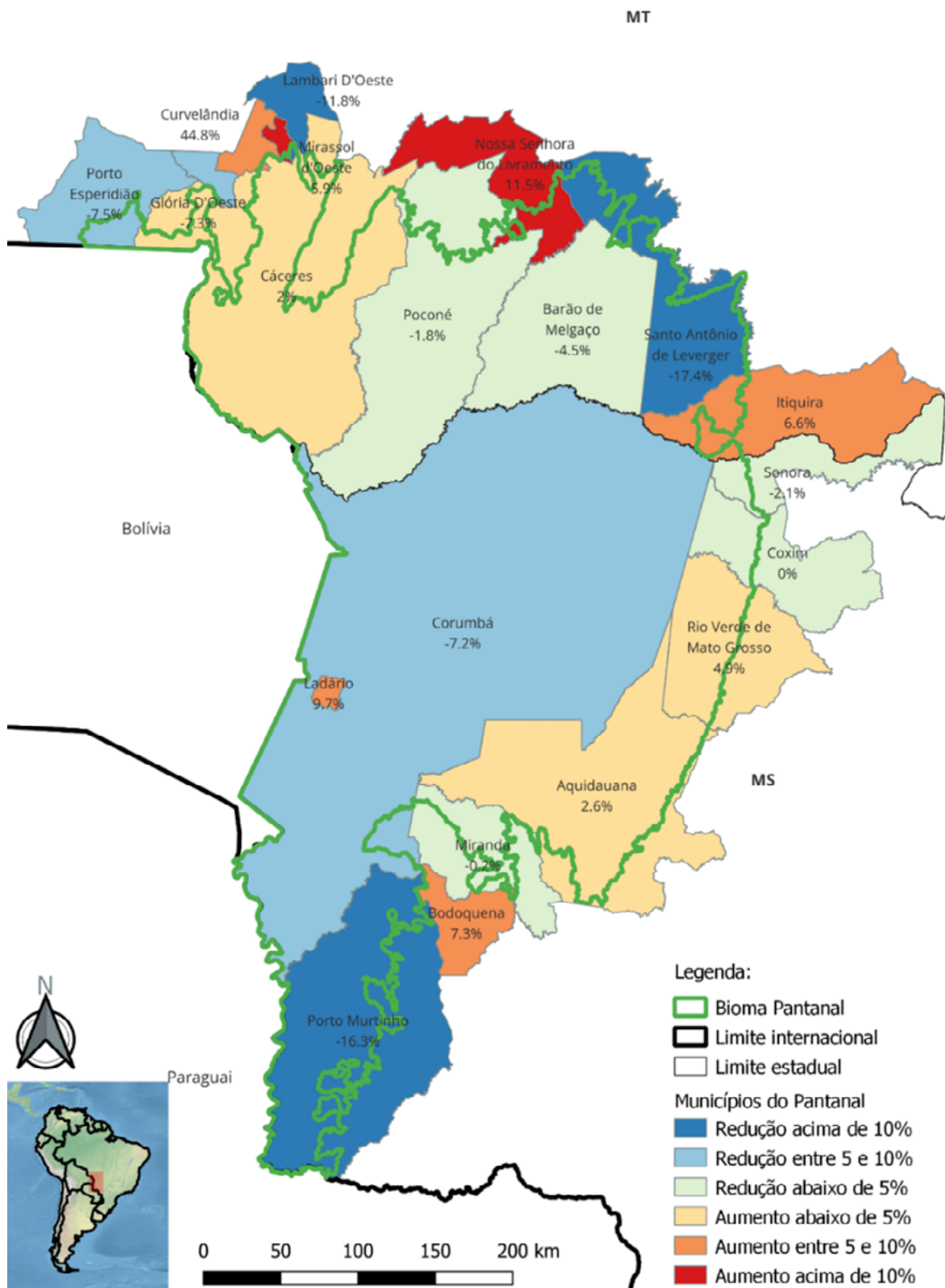


Figura 3. Variação populacional nos municípios do bioma Pantanal.

**Tabela 1.** População nos Censos 2010 e 2022 nos municípios do bioma Pantanal.

UF	Código IBGE	Município	População Censo 2010	População Censo 2022	Variação (%)
MS	5001102	Aquidauana	45614	46803	2.6
MS	5002159	Bodoquena	7985	8567	7.3
MS	5003207	Corumbá	103703	96268	-7.2
MS	5003306	Coxim	32159	32151	0.0
MS	5005202	Ladário	19617	21522	9.7
MS	5005608	Miranda	25595	25536	-0.2
MS	5006903	Porto Murtinho	15372	12859	-16.3
MS	5007406	Rio Verde de Mato Grosso	18890	19818	4.9
MS	5007935	Sonora	14833	14516	-2.1
MT	5101605	Barão de Melgaço	7591	7253	-4.5
MT	5102504	Cáceres	87942	89681	2.0
MT	5103437	Curvelândia	3385	4903	44.8
MT	5103957	Glória D'Oeste	3135	2905	-7.3
MT	5104609	Itiquira	11478	12236	6.6
MT	5105234	Lambari D'Oeste	5431	4790	-11.8
MT	5105622	Mirassol D'Oeste	25299	26785	5.9
MT	5106109	Nossa Senhora do Livramento	11609	12940	11.5
MT	5106505	Poconé	31779	31217	-1.8
MT	5106828	Porto Esperidião	11031	10204	-7.5
MT	5107800	Santo Antônio de Leverger	18463	15246	-17.4

pequena e pouco representativa, apesar de estar totalmente inserido no território do bioma, apresenta um aumento significativo em sua população de 9,7 %, o que representa 1.905 habitantes a mais e contrasta com a dinâmica populacional de Corumbá.

É possível se imaginar que os eventos climáticos extremos que ocorreram dentro do intervalo censitário 2010-2022 descritos por Marengo et al. (2021), possam ter impactado na redução da população dos municípios mais fortemente afetados pelas queimadas sem precedentes na região. Os dados preliminares do Censo Demográfico 2022 não permitem sustentar essa afirmação, mas a redução populacional observada em Porto Murtinho, Corumbá, Poconé e Barão de Melgaço, que juntos somam um declínio populacional de 10.848 habitantes, pode ser parcialmente associada aos impactos causados pela degradação ambiental provocada pelas queimadas, principalmente sobre a sustentabilidade econômica dos habitantes economicamente ativos e sobre as condições de sobrevivência dos habitantes que dependem do meio ambiente para sua subsistência. A resiliência dos moradores do Pantanal é reconhecida por diversos autores, como observado na revisão de literatura publicada por Schulz et al. (2019), mas o caráter excepcional e devastador das queimadas observadas nos últimos anos pode ter gerado impacto negativo mesmo sobre a permanência dessa população no Pantanal.

Para além da análise dos dados populacionais por município apresentados nesse estudo, a divulgação dos resultados mais completos e detalhados do Censo Demográfico 2022, que deverão ser publicados nos próximos meses, permitirá elaborar uma análise mais desagregada e profunda a partir dos dados agregados por setor censitário e pelos resultados do questionário da amostra, que trarão um detalhamento mais profundo sobre aspectos importantes para esse tipo de análise, principalmente emprego e renda.

#### 4. Conclusões

Os resultados apresentados neste estudo mostram uma dinâmica populacional no período entre os Censos Demográficos 2010 e 2022, seja de aumento ou redução da população, nos municípios que compõem total ou parcialmente a área territorial do bioma Pantanal. O declínio populacional dos municípios que somados representam mais de três quartos do território do bioma apresenta-se significativo. As causas de tal declínio não podem ser identificadas com base nos resultados apresentados, mas acredita-se que parte dessas causas esteja associada aos impactos ambientais negativos das queimadas sem precedentes observadas no final do período intercensitário estudado.

Análises mais detalhadas serão possíveis de serem implementadas a partir da divulgação dos resultados completos do Censo 2022, e talvez permitam inferir com mais clareza a relação entre os impactos das queimadas intensas na região e a dinâmica populacional na área do bioma Pantanal.

#### 5. Referências

- Alho, C. J. R.; Reis, R. E. Exposure of Fishery Resources to Environmental and Socioeconomic Threats within the Pantanal Wetland of South America. **International Journal of Aquaculture and Fishery Sciences**, Los Angeles, CA, USA, v. 3, n. 2, p. 022-029. 2017.
- Alho, C. J. R., Mamede, S. B., Benites, M., Andrade, B. S., Sepúlveda, J. J. O. Ameaças à Biodiversidade do Pantanal Brasileiro pelo Uso e Ocupação da Terra. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, 2019.
- Barros, A. E., Morato, R. G., Fleming, C. H., Pardini, R., Oliveira-Santos, L. G. R., Tomas, W. M., Kantek, D. L. Z., Tortato, F. R., Fragoso, C. E., Azevedo, F. C. C., Thompson, J. J., Prado, P. I. Wildfires Disproportionately Affected Jaguars in the Pantanal. **Communications Biology**, 2022. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03937-1>
- Hexsel, R. A. **Software Livre: Propostas de Ações de Governo para Incentivar o Uso de Software Livre**. Relatório Técnico RT-DINF 004/2002, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2002.
- Junk, W. J., Cunha, C. N. Pantanal: A Large South American Wetland at a Crossroads. **Ecological Engineering**, 24, pp. 391-401, 2005.
- Junk, W. J., Cunha, C. N., Wantzen, K. M., Pertermann, P., Strüssmann, K., Marques, M. I. E Adis, J. Biodiversity and its Conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**, 68, pp. 278-309, 2006.
- Lima C. R. N.; Zeilhofer P.; Dores, E.; Fantin-Cruz, I. Variabilidade especial da qualidade de água em escala de bacias - rio Cuiabá e São Lourenço, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 169-178. 2015.
- Marengo, J. A., Cunha, A. P., Cuartas, L. A., Leal, K. R. D., Broedel, E., Seluchi, M. E., Michelin, C. M., Baião, C. F. P., Ângulo, E. C., Almeida, E. K., Kazmierczak, M. L., Mateus, N. P. A., Silva, R. C., Bender, F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. **Frontiers in Water**, v3, 2021. doi: 10.3389/frwa.2021.639204
- Schulz, C., Whitney, B. S., Rossetto, O. C., Neves, M. N., Crabb, L., Oliveira, E. C., Lima, P. L. T., Afzal, M., Laing, A. F., Fernandes, L. C. S., Silva, C. A., Steinke, V. A., Steinke, E. C., Saito, C. H. Physical, Ecological and Human Dimensions of Environmental Change in Brazil's Pantanal Wetland: Synthesis and Research Agenda. **Science of the Total Environment**, 687, pp. 1011-1027, 2019.
- Silva, J. S. V.; Abdon, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1703-1711. 1998. Número Especial.
- Silva, J. S. V.; Abdon, M. M.; Silva, S. M. A.; Moraes, J. A. Evolution of deforestation in the Brazilian Pantanal and surroundings in the timeframe 1976-2008. **Geografia**, Rio Claro, v. 36, p. 35-55. 2011. Número Especial.
- Silveira, S. A. **Software Livre: A Luta pela Liberdade do Conhecimento**. São Paulo : Editora Fundação Perseu Abramo, 2004.

## Mapeamento de série temporal de áreas úmidas para a região brasileira da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (BAP) com imagens Planet

Mariana Dias Ramos <sup>1</sup>  
Eduardo Reis Rosa <sup>1</sup>  
Marcos Reis Rosa <sup>1</sup>  
Helga Correa Wiederhecker <sup>2</sup>

<sup>1</sup>ArcPlan  
Rua Napoleão de Barros, 1025  
04024-003 - São Paulo- SP, Brasil  
{mariana, eduardo, mrosa}@arcplan.com.br

<sup>2</sup> WWF - Brasil  
CLS 114 Bloco D -35, Asa Sul  
70377-540 - Brasília - DF, Brasil  
helgacorrea@wwf.org.br

**Resumo.** O presente estudo investiga a aplicação dos mosaicos mensais da Planet/NICFI para o mapeamento mensal da superfície de água e demais áreas úmidas na região brasileira da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (BAP). Foram utilizados dados para os anos de 2021, 2022, 2023 e para os meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2024. O mapeamento da dinâmica da superfície de água foi realizado por meio de técnicas de classificação de imagens, baseada em aprendizado de máquina e processadas com computação em nuvem. O estudo demonstrou a capacidade dessas imagens em fornecer informações detalhadas sobre a superfície de água na BAP, especialmente na região de planalto, para a identificação de novos corpos d'água. Além disso, o mapeamento de superfície de água foi satisfatório para monitorar a variação mensal do pulso de inundação na planície. No entanto, o estudo identificou limitações espectrais do sensor Planet, resultando em menor sensibilidade para o mapeamento de áreas úmidas para além da superfície de água. Os resultados indicam que os mosaicos mensais da Planet/NICFI são uma ferramenta promissora para o monitoramento da superfície de água na BAP, especialmente como forma de adicionar detalhes em escala local aos mapeamentos existentes com outras fontes de imagens orbitais. A análise temporal dos dados ainda revelou que 2023 foi o ano com maior volume de água no período estudado, enquanto os primeiros meses de 2024 indicam uma forte tendência de seca, mostrando o potencial da ferramenta para detecção precoce de tendências de seca e inundações.

**Palavras-chave:** Pantanal, classificação supervisionada, Google Earth Engine, série temporal, pulso de inundação.



**Abstract.** This study investigates the application of monthly Planet/NICFI mosaics for monthly mapping of water surface and other wetlands in the Brazilian Upper Paraguay River Basin (BAP) region. Data for the years 2021, 2022, 2023, and for the months of January, February, March, and April 2024 were used. Mapping of water surface dynamics was performed using machine learning-based image classification techniques processed with cloud computing. The study demonstrated the capability of these images to provide detailed information about the water surface in the BAP, especially in the plateau region for the identification of new water bodies. Additionally, water surface mapping was satisfactory for monitoring the monthly variation of the flood pulse in the floodplain. However, the study identified spectral limitations of the Planet sensor, resulting in lower sensitivity for mapping wetlands beyond the water surface. The results indicate that monthly Planet/NICFI mosaics are a promising tool for monitoring water surface in the BAP, especially to add local-scale details to existing mappings with other orbital image sources. Temporal analysis of the data also revealed that 2023 was the year with the highest volume of water in the study period, while the first months of 2024 indicate a strong drought trend, demonstrating the potential of the tool for early detection of drought and flood trends.

**Key-words:** Pantanal, supervised classification, Google Earth Engine, time series, flood pulse.

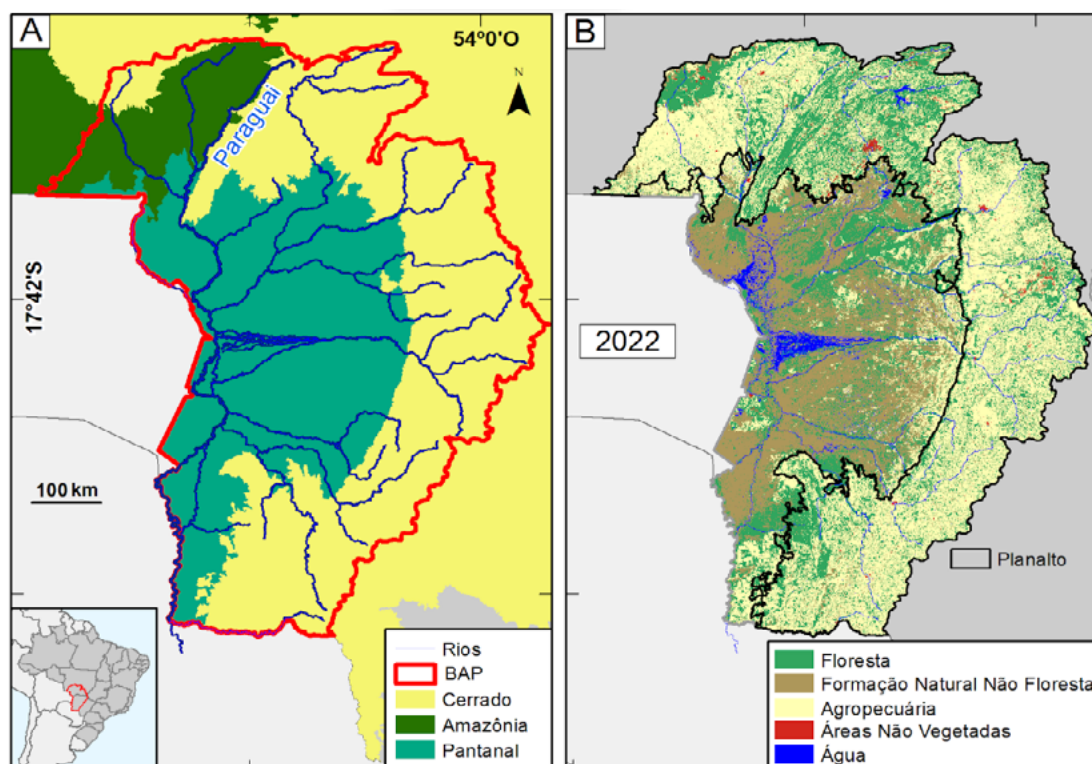
## 1. Introdução

A Região Hidrográfica do Paraguai RH-Paraguai, ou a porção brasileira da Bacia do Alto Paraguai (BAP), uma das doze regiões hidrográficas brasileiras, está localizada nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e ocupa uma área aproximada de 362.000 km<sup>2</sup>. A BAP pode ser generalizada e dividida em duas regiões geomorfológicas: área de Planície, que é equivalente ao bioma Pantanal; e a área de Planalto, composta por partes dos biomas Cerrado (80%) e Amazônia (20%) (**Figura 1A**).

A região da Planície é considerada a maior área úmida continental do planeta (wetlands), reconhecida pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) como Patrimônio Natural da Humanidade e Reserva da Biosfera desde o ano 2000 Unesco, (2000). O Pantanal é considerado um reduto de biodiversidade por ser, proporcionalmente, o bioma brasileiro mais preservado somado ao fato de ser uma zona de convergência biogeográfica entre os domínios da Mata Atlântica, Cerrado, Amazônia e bosque Chiquitano Junk et al., (2006). A planície pantaneira também apresenta uma dinâmica singular de difusão horizontal da enchente, chamada de pulso de inundação, na qual o alagamento sazonal pode atingir uma área de até 70% do bioma e assim resultando em um complexo de paisagens únicas que proporcionam a coexistência de fauna e flora tanto aquáticas quanto terrestres Alho e Sabino, (2012); Brasil, (1979); Resende, (2008).

Já a região do Planalto, que compõe a BAP, apresenta hoje mais de 60% da sua área destinada ao uso agropecuário. Segundo os dados da Coleção 8 do MapBiomas MapBiomas, (2023), a vegetação nativa teve uma redução de mais de 5 milhões de hectares desde 1985, equivalente a cerca de 40% (**Figura 1B**). A vegetação remanescente dessa região é predominantemente savânica e está concentrada em áreas de relevo acidentado, reserva legal e áreas de proteção permanente, porém, ao longo do curso dos rios verifica-se grande parte das ameaças e vetores de degradação da bacia, como a instalação de pequenas centrais hidrelétricas, drenos, atividade de garimpo do ouro e deterioração de nascentes, em especial pelo rebaixamento do lençol freático devido ao uso excessivo da água e pela falta de mata ciliar nas cabeceiras de drenagem Cunha et al., (2023); Oliveira et al.(2019); Roque et al., (2016).

Apesar de distintas paisagens as duas sub-regiões são interdependentes uma vez que todas as nascentes dos rios que estão no Planalto da BAP, desaguam no curso do rio Paraguai ao longo da Planície. Sendo assim, para um entendimento sobre as inundações do Pantanal deve-se compreender também a área das nascentes que estão no Planalto, onde é originado grande parte das águas e dos sedimentos que chegam na Planície.



**Figura 1.** Localização da Bacia do Alto Paraguai (BAP); A) Distribuição dos rios e biomas brasileiros na bacia; B) Subdivisão das regiões de Planície e Planalto; Mapa de Cobertura e Uso da Terra para o ano de 2022 segundo o MapBiomas (2023).

Fonte: Elaborado pelos autores.

O sensoriamento remoto e as ciências de observação da Terra têm experimentado avanços significativos em relação a novas fontes de dados e infraestrutura para o processamento. Um exemplo é a incorporação e o uso de nanossatélites em estudos hídricos. Esses satélites, de dimensões e peso reduzidos, em comparação aos satélites tradicionais, são projetados para orbitar em constelações numerosas, com o objetivo de superar as lacunas de resolução temporal, além de oferecer maior resolução espacial Carvalho Júnior, (2018). A maior constelação de nanossatélites atualmente é a da empresa Planet Labs, com mais de 200 sistemas sensores PlanetScope em órbita Strick et al., (2019). No que se refere ao estudo e monitoramento dos recursos hídricos, as imagens Planet já foram utilizadas em diversas pesquisas, como a quantificação de carga e fluxo de sedimentos Strick et al., (2019), o monitoramento de nível de água Ehret et al., (2021), estudos batimétricos em águas rasas Poursanidis et al., (2019) e o monitoramento da dinâmica de inundação de lagoas Cooley et al., (2019).

Para explorar os dados espaço-temporais provenientes de nanossatélites, alternativas como o processamento de imagens utilizando computação em nuvem e aprendizado de máquina se mostram promissoras Barbosa et al. (2019). A computação em nuvem representa uma inovação para o geoprocessamento, especialmente em trabalhos que exigem a manipulação de grandes volumes de dados ou o uso de imagens orbitais. Essa tecnologia otimiza o tempo e permite a aplicação de diversas escalas de abrangência e estudos ainda não testados Barbosa et al. (2019); Carvalho Júnior, (2018); Gorelick et al., (2017). A BAP abriga uma diversidade de áreas úmidas distribuídas em suas sub-regiões de Planalto e Planície. Considerando a importância de mapear e monitorar esses recursos, a incorporação de novas fontes de dados orbitais e fluxos

de processamento podem representar ganho de informação espacial e temporal dessas áreas Ramos et al., (2023).

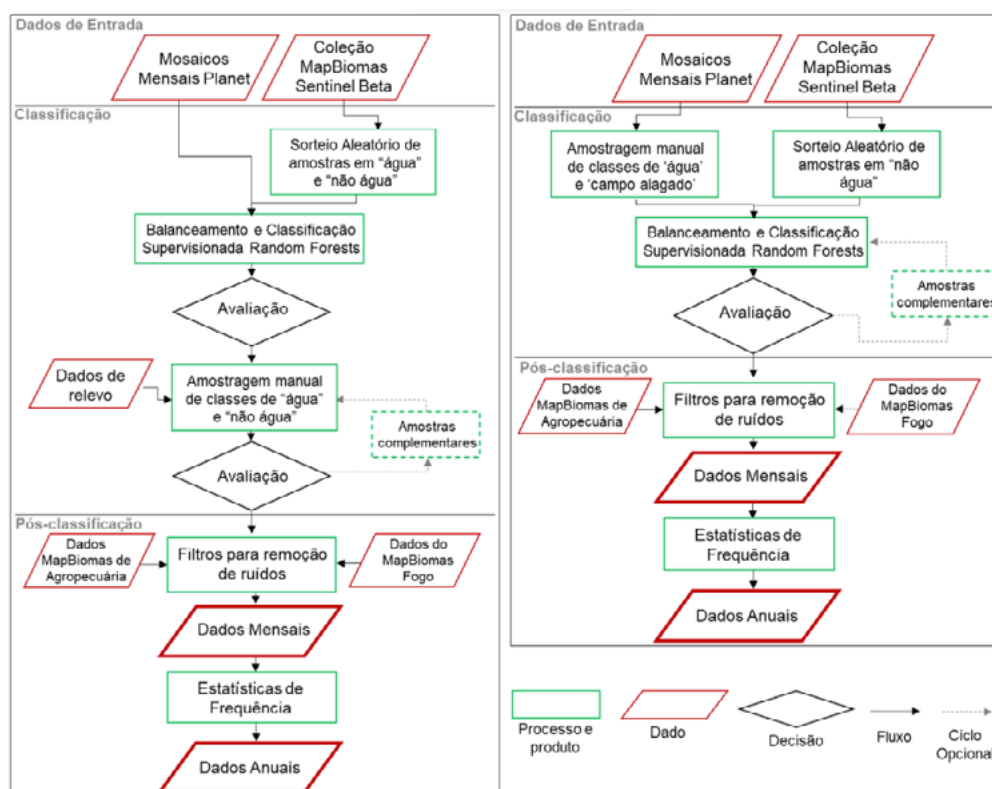
## 2. Objetivo

Este trabalho teve como objetivo investigar uma abordagem de mapeamento de série temporal mensal das áreas úmidas na BAP, baseada nos mosaicos dos satélites Planet/NICFI e processamento na plataforma de computação em nuvem Google Earth Engine (GEE).

## 3. Material e Métodos

O método de mapeamento e processamento dos dados foi orientado por sub-região, considerando que no Planalto a predominância de ocorrência da água está em forma de rios perenes, represas e açudes, enquanto na Planície há a predominância de rios mais largos e intermitentes, além de áreas sazonalmente alagadas. Assim, o foco na Planície foi o mapeamento das áreas alagadas pelo pulso de inundação, seja da vegetação alagada ou da lâmina de superfície de água, enquanto no Planalto o mapeamento foi referente a superfície de água dos rios da bacia, ambos para o período de janeiro de 2021 a abril de 2024.

O processamento envolveu classificação supervisionada baseada no algoritmo de aprendizado de máquina *Random Forest* (RF) Breiman, (2001) dentro da plataforma de computação em nuvem do Google Earth Engine, conforme adaptação dos métodos utilizados em Souza et al. (2020) e sugeridos por Ramos et al. (2023). O fluxo de processamento específico para cada sub-região é ilustrado nos fluxogramas da (Figura 2).



**Figura 2.** Fluxograma dos materiais e métodos utilizados dentro da plataforma do GEE para a Bacia do Alto Paraguai (BAP); A) Fluxograma aplicado na região do Planalto; B) Fluxograma aplicado da região da Planície.

Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3.1. Dados de entrada

Através do programa *Norway's International Climate & Forests Initiative* (NICFI), mosaicos mensais, feitos com imagens diárias Planet estão disponíveis para acesso público desde janeiro de 2021. Esses mosaicos garantem um imageamento livre de nuvens de toda a região tropical, com resolução espacial de 5 metros nas bandas do B – G – R – NIR, podem ser acessados na plataforma do GEE e foram as imagens utilizadas para a base do mapeamento.

Outro dado de entrada no processamento foram os mapas anuais de uso e cobertura da terra do projeto MapBiomass feitos com imagens do satélite Sentinel 2 (Coleção Beta), de resolução espacial de 10 metros. Os pixels estáveis referentes às classes de ‘água’, ‘campo alagado’ e demais classes ‘não água’ foram selecionados e orientaram um sorteio de amostras para o treinamento do classificador.

### 3.2. Classificação

Após a coleta manual de amostras com base nos mosaicos Planet/NICFI, complementada por amostras sorteadas com base nos mapas do MapBiomass, o classificador Random Forest (RF) foi treinado. O RF gera uma série de árvores de decisão construídas por regressões baseadas no comportamento espectral das amostras Breiman, (2001). Em seguida, o classificador foi aplicado a todos os mosaicos mensais, rotulando qualitativamente cada pixel de entrada em relação à sua respectiva classe. No caso do Planalto, dados de relevo SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) também foram inseridos dentro do espaço de características de treinamento do classificador, e as classes de saída dos pixels foram ‘água’ e ‘não água’. Já para a Planície as classes de saída foram ‘não alagado’, ‘água’ e ‘campo alagado’, esta última se refere às áreas alagadas cobertas com vegetação herbácea nas zonas de transição aquática e terrestre Cunha et al., (2023).

Após o primeiro resultado do mapeamento, o dado foi avaliado visualmente e, quando necessário, entrou em um ciclo de aprendizagem por reforço no qual envolve melhoramento de quantidade e qualidade de amostras para o algoritmo diferenciar os alvos e elaborar mapas com menores índices de comissão e omissão Olofsson et al., (2014).

### 3.3. Pós classificação

Depois de finalizado o processamento com o RF, foram aplicados alguns filtros para a remoção de ruídos no processo pós classificação, como o filtro espacial do tipo moda e a aplicação de máscaras com os dados de cicatrizes de queimadas, de cobertura e uso da Terra do MapBiomass (2023). Essas máscaras reduzem a comissão do produto bruto do classificador com cicatrizes de queimada e áreas de solo exposto, respectivamente.

Uma vez gerados os mapas mensais e removidos os ruídos, foram calculadas estatísticas da área mapeada, bem como de frequência de alagamento para gerar mapas e dados anuais, isto é, mapas que representassem áreas com água por pelo menos seis meses em cada ano.

A validação do mapeamento foi feita de forma visual em todas as datas mapeadas. Para a região do Planalto a validação visual considerou, adicionalmente, imagens de alta resolução disponíveis na base de dados do software Google EarthG.

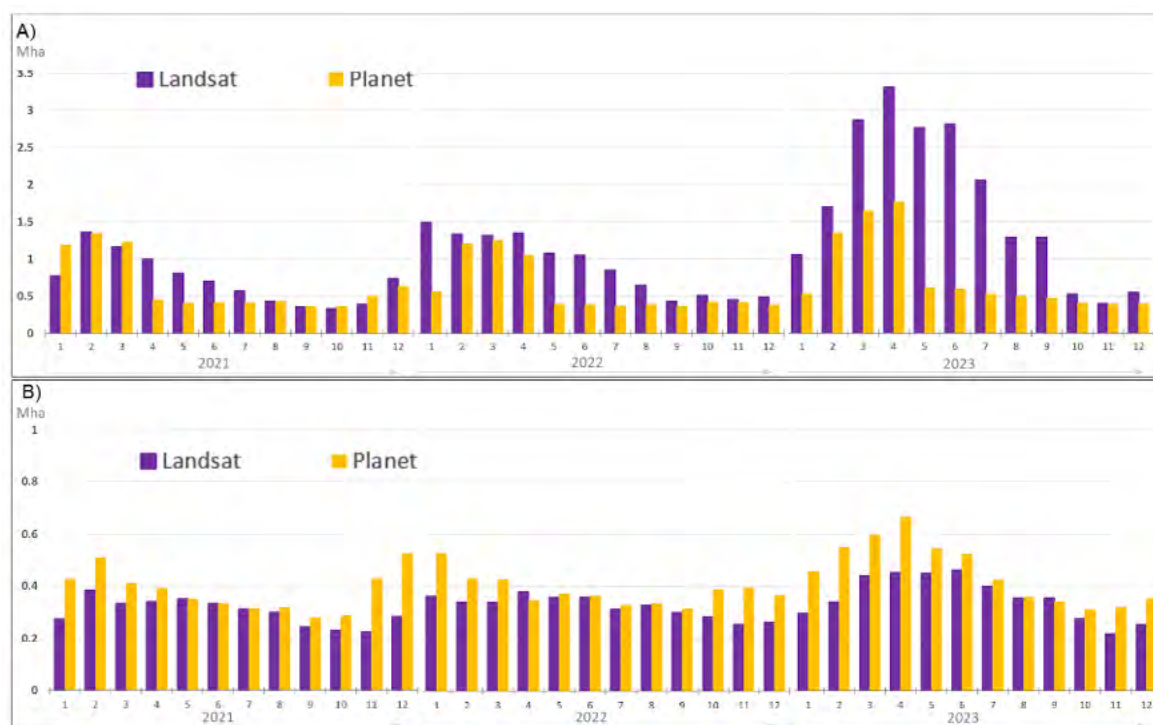
Os mapas e estatísticas gerados também foram analisados em conjunto com dados públicos auxiliares que cobrem a região da BAP, produzidos pelo projeto MapBiomass. Os dados anuais de superfície de água para o Planalto, feitos com imagens Sentinel e Landsat, foram extraídos diretamente da plataforma do projeto. Os dados mensais da Planície, feitos com imagens Landsat, foram disponibilizados pelo MapBiomass (Coleção 9) sob demanda após contato; não há dados mensais baseados em imagens Sentinel para a BAP. Esses dados auxiliares foram

utilizados para comparar visualmente e quantitativamente com os resultados do mapeamento dos mosaicos Planet/NICFI.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Planície

Na Planície, os dados mensais de água e campo alagado são essenciais para mapear o pulso de inundação. Quando comparados os valores de área mapeada dessas duas classes com os dados mensais do MapBiomias, gerados com Landsat (30 metros de resolução espacial), observa-se uma discrepância significativa entre a área total mapeada, e em especial nos meses do primeiro semestre (**Figura 3A**). No entanto, quando individualizado por classe mapeada, observamos que as inconsistências estão relacionadas a classe de campo alagado. Ao observar apenas os valores da classe ‘água’, nota-se alta correlação e alinhamento do pulso de inundação mapeado por ambas as fontes (**Figura 3B**).

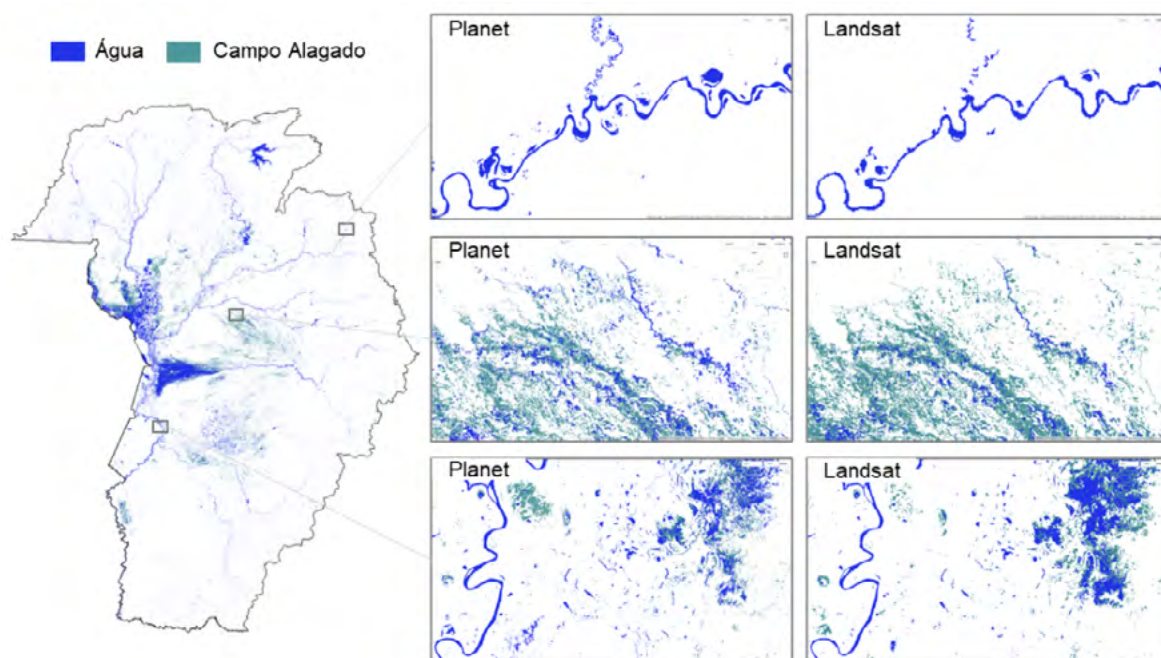


**Figura 3.** Comparação da área das classes mapeadas com produtos Landsat (MapBiomias, 2023) e Planet para a Bacia do Alto Paraguai (BAP); A) Somatória da área considerando as classes ‘água’ e ‘campo alagado’; B) Somatória da área considerando apenas a classe ‘água’.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Essas diferenças de mapeamento entre os dois sensores se deram principalmente devido às características espectrais de cada banda dos satélites Planet e Landsat. Os mosaicos Planet possuem bandas do Red, Blue, Green e NIR enquanto o satélite Landsat consegue capturar o sinal espectral das mesmas bandas Planet e ainda outros sete comprimentos de onda. Dessa forma, a superfície de água fica evidenciada no mosaico Planet/NICFI, enquanto a umidade presente no meio da vegetação, na área chamada de ‘Campo alagado’, não apresenta sinal forte

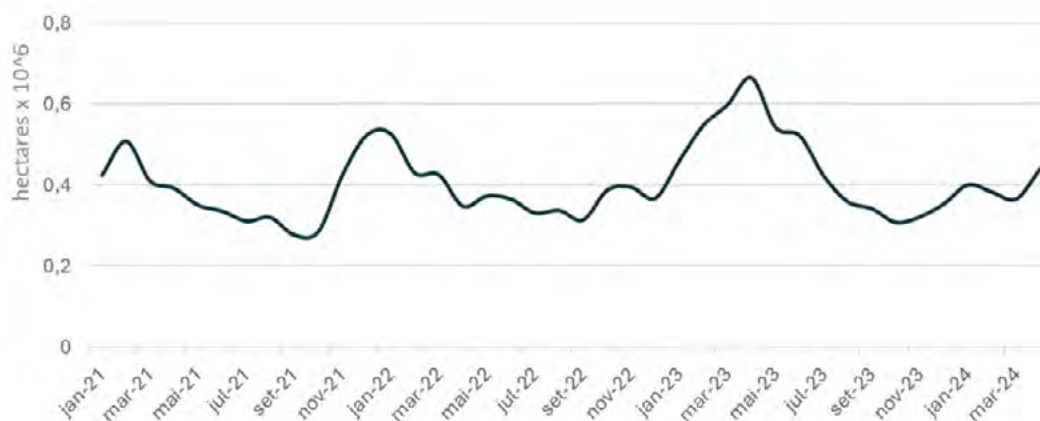
nesse sensor, resultando em omissão de mapeamento (**Figura 4**). Com base nesses resultados observados, indicamos o uso da classificação mensal para a Planície do Pantanal feita com imagens Planet apenas referente às áreas de ‘superfície de água’.



**Figura 4.** Comparação do mapa das classes mapeadas com produtos Landsat (MapBiomas, 2023) e Planet Bacia do Alto Paraguai (BAP).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando os dados de superfície de água para o período de janeiro de 2021 a abril de 2024 observa-se que os picos de cheia e seca aconteceram entre os meses de outubro a abril e maio a setembro, respectivamente. O ano de 2023 teve a maior cheia observada, atingindo seu pico no mês de abril com mais de 660 mil ha de superfície de água mapeados, enquanto abril de 2024 atingiu apenas 430 mil ha de água (**Figura 5**).



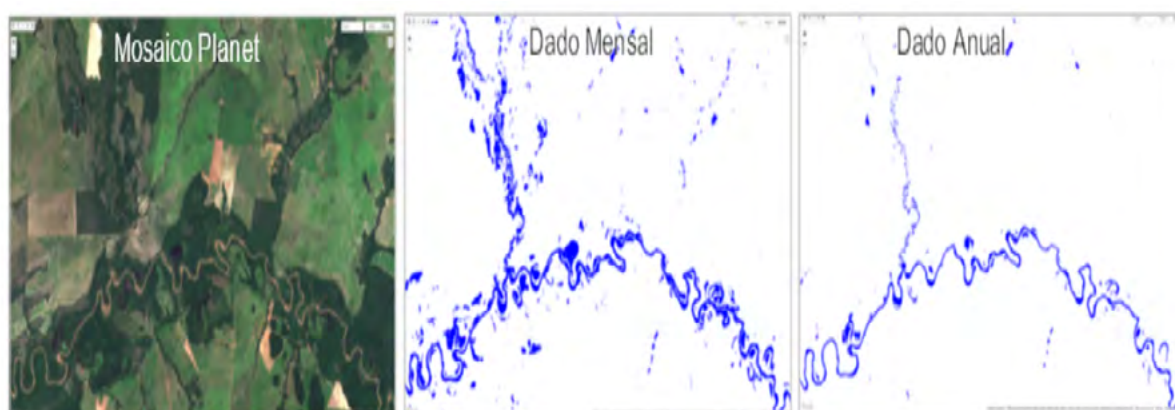
**Figura 5.** Área mensal da superfície de água mapeada na Planície da Bacia do Alto Paraguai (BAP) com mosaicos mensais Planet/NICFI para o período de janeiro de 2021 a abril de 2024. .

Fonte: Elaborado pelos autores.

Apesar da limitação em mapear os campos alagados, o mapeamento derivado dos sensores Planet, mostra grande potencial como ferramenta para alertas precoce sobre a superfície de água. A divulgação dos dados de superfície Dias et al., (2024) gerou repercussão em mais de 327 materiais publicados pela imprensa com repercussão nacional e internacional. Essa repercussão, junto com outras evidências como o nível de água do rio Paraguai registrado pela régua de Ladário (MS), reforçaram a situação de vulnerabilidade da planície pantaneira. Isto evidencia o potencial do mapeamento e divulgação de produtos com resolução temporal mais detalhada para fornecer alertas precoces frente a situações extremas.

#### 4.2. Planalto

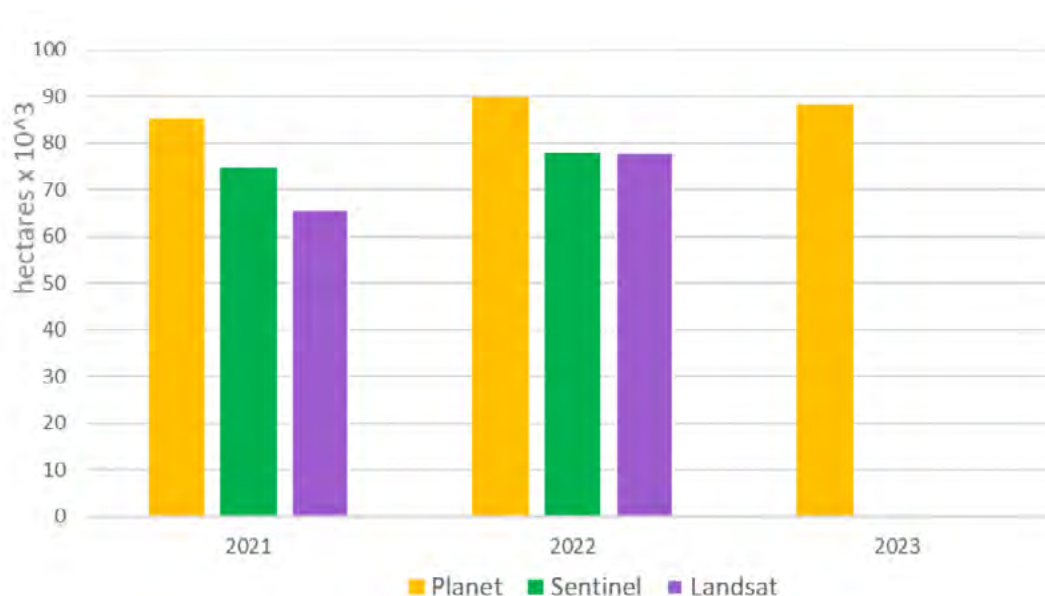
Em relação à área de Planalto é necessário ressaltar que o mapeamento mensal apresentou excesso de ruídos por comissão com áreas de solo exposto em áreas rurais a depender do estado de manejo da terra. Sendo assim, considerando o padrão de corpos hídricos dessa região: rios perenes e encaixados, represas e açudes, o dado anual (com frequência mensal igual ou superior a seis meses) foi considerada a melhor abordagem para mapear e analisar a superfície de água nessa região com mosaicos mensais imagens Planet/NICFI (**Figura 6**).



**Figura 6.** Comparação da classificação mensal e anual para a região de Planalto da Bacia do Alto Paraguai (BAP).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Foi observado um ganho de pelo menos 10 mil hectares de superfície de água mapeada quando comparado em relação a outros mapeamentos anuais de referência feitos com Landsat e Sentinel 2 (ambos do projeto MapBiomias) para a mesma área (**Figura 7**). Os ganhos são principalmente na delimitação do leito dos rios e na delimitação de pequenas represas, lagos e bebedouros naturais em áreas de pastagem devido a resolução espacial do dado Planet do qual possibilita a visualização e inclusão no mapeamento dessas novas áreas de superfície de água.



**Figura 7.** Comparação da área de superfície de água anual mapeada no planalto da Bacia do Alto Paraguai (BAP) com produtos Planet, Sentinel e Landsat.

Fonte: Elaborado pelos autores.

## 5. Conclusões e Sugestões

Uma abordagem que integra a disponibilidade dos mosaicos mensais da Planet/NICFI, junto com a alta capacidade de processamento de dados oferecidos pela plataforma de computação em nuvem do Google Earth Engine, com o uso de classificadores supervisionados baseados em aprendizado de máquina, parece promissora, especialmente para o detalhamento de ambientes altamente sazonais dentro da Planície do Pantanal ou a identificação de rios encravados como no Planalto da bacia.

Dentre os principais desafios na utilização dos mosaicos mensais Planet/NICFI podemos listar a limitação da resolução espectral que pode dificultar a diferenciação de alvos e também a aplicação de índices espectrais, além disso a remoção de ruídos, a necessidade de boas amostras, calibração de limiares para classificação e a dificuldade em estabelecer uma consistência temporal no dado. Isso limita sua utilização para regiões muito extensas, pois exige um trabalho manual de validação e remoção de ruídos. Os dados da região do Planalto são melhor utilizados como indicadores de ocorrência de áreas de superfície de água do que uma abordagem de comparação do comportamento espaço temporal dessa superfície de água. Destacamos as novas áreas, principalmente de pequenas superfícies de água e melhor detalhamento de feições já mapeadas em outras fontes de dados.

Já para a Planície do Pantanal, o mapeamento mensal da inundação se destacou em relação a áreas de superfície de água, porém não apresentou bom desempenho, como os produtos já existentes baseados em Landsat, para a classe de ‘campo alagado’.

Pode-se concluir que a base de mosaicos mensais Planet/NICFI representa uma importante fonte de informação para finalidades em que as resoluções espaciais e temporais sejam importantes. O mapeamento de superfície de água é satisfatório, sendo indicado para o mapeamento mensal da inundação da Planície e na identificação e detalhamento de feições aquáticas no Planalto. Possui um grande potencial de monitoramento contínuo do pulso de inundação e, possivelmente, para todo o limite internacional da Planície do Pantanal, representando uma grande contribuição potencial para apoiar ações de adaptação frente às mudanças climáticas.



## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao WWF - Brasil e WWF-Japão (PROJECT NUMBER: BR201400) pelo apoio financeiro ao estudo.

## 7. Referências

- Alho, C.; Sabino, J. Seasonal Pantanal flood pulse: implications for biodiversity. **Oecologia Australis**, v. 16, n. 4, p. 958-978, dez. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2012.1604.17>.
- Barbosa, C. C. F.; Novo, E. M. L. M.; Martins, V. S. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações**. 1. ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019. 161 p.
- BRASIL. Ministério do Interior. Superintendência do Desenvolvimento da Região Centro-Oeste - SUDECO. **Estudo de desenvolvimento integrado da Bacia do Alto Paraguai - EDIBAP: aproveitamento dos recursos naturais**. Brasília, 1979. 239 p. il. (Volume 3).
- Breiman, L. Random Forests. **Machine Learning**, [S. l.], Springer Science and Business Media LLC. v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001. DOI: 10.1023/a:1010933404324.
- Carvalho Júnior, O. A. 2018. Aplicações E Perspectivas Do Sensoriamento Remoto Para O Mapeamento De Áreas Inundáveis. **Revista de Geografia**, Recife, v. 35, n. 4, p. 412-431, 2018. DOI: 10.51359/2238-6211.2018.238239.
- Cooley, S. W. et al. Arctic-Boreal lake dynamics revealed using CubeSat imagery. **Geophysical Research Letters**, [S. l.], v. 46, n. 4, p. 2111-2120. 2019. DOI: 10.1029/2018GL081584.
- Cunha, C. N. et al. Classificação dos macrohabitats do Pantanal Brasileiro: atualização para políticas públicas e manejo de áreas protegidas. **Biodiversidade Brasileira**, v. 13, n. 1, p. 1-26, 2023. DOI: 10.37002/biobrasil.v13i1.2223.
- Dias, M et al. Alerta precoce para mitigar impactos da seca no Pantanal. **Nota técnica WWF**, 2024. Disponível em: <https://wwfbrnew.awsassets.panda.org/downloads/0107-nota-tecnica---crise-hidrica.pdf>.
- Ehret, T. et al. Automatic Monitoring of Water Level in Small Lakes Using PlanetScope. In: 2021 **IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS**. IEEE, [S. l.], p. 3356-3359, 11-16 jul. 2021. DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9554431.
- Junk, W. et al. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**, [S. l.], v. 68, n. 3, p. 278-309. 2006. DOI: 10.1007/s00027-006-0851-4.
- Gorelick, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote sensing of Environment**, [S. l.], v. 202, p. 18-27, 2017. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
- MapBiomas Project. 2023. Collection 8 of the Annual Land Cover and Land Use Maps of Brazil (1985-2022). **MapBiomas Data**, V1. DOI:10.58053/MapBiomas/VJIJCL.
- Organização Das Nações Unidas Para A Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). **Patrimônio Mundial Natural e Reservas da Biosfera no Brasil**. 2000. Brasília, DF: UNESCO, 2000. Disponível em: <https://www.unesco.org/pt/fieldoffice/brasil/expertise/natural-heritage-biosphere-reserves>. Acesso em: 01 jul. 2023.
- Olofsson, P. et al. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change, **Remote sensing of Environment**, [S. l.], v. 148, p. 42-57, 25 maio 2014. DOI: 10.1016/j.rse.2014.02.015.
- Poursanidis, D. et al. Cubesats allow high spatiotemporal estimates of satellite-derived bathymetry. **Remote Sensing**, [S. l.], v. 11, n. 11, p. 1299, 31 maio 2019. DOI: 10.3390/rs11111299.
- Resende, E. K. **Pulso de inundação: processo ecológico essencial à vida no Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2008 (ISSN 1971 - 7223; 94)
- Oliveira, M. D., Calheiros, D. F.; Hamilton, S. K. Mass balances of major solutes, nutrients and particulate matter as water moves through the floodplains of the Pantanal (Paraguay River, Brazil). (2019). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v24. DOI: [org/10.1590/2318-0331.231820170169](https://doi.org/10.1590/2318-0331.231820170169)
- Ramos, M. D. et al. Avaliação do Uso Integrado de Imagens de Nanossatélites e Classificadores baseados em

Aprendizado de Máquina para Estudos da Dinâmica Hidrológica na Região da Nhecolândia (Pantanal). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 75, 2023. DOI: 10.14393/rbcv75n0a-67656.

Roque, F.O, et al. Upland habitat loss as a threat to Pantanal wetlands. **Conserv Biol**. 2016: 1131-4. DOI: 10.1111/cobi.12713. Epub 2016 May 3. PMID: 26968573.

Souza, C.M., Jr. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, 12, 2735, 2020. DOI: doi.org/10.3390/rs12172735.

Strick, R. J. P. et al. Quantification of bedform dynamics and bedload sediment flux in sandy braided rivers from airborne and satellite imagery. **Earth Surface Processes and Landforms**, [S. l.], v. 44, n. 4, p. 953–972, 2019. DOI: 10.1002/esp.4558.

## **Canais de drenagem e estradas-dique, ameaças ao pulso de inundação no Pantanal: estudo de caso em uma fazenda no município de Itiquira – MT**

Joyce Alves de Souza Ferreira <sup>1</sup>

Nayara Luisa Werner Moreira <sup>2</sup>

Catia Nunes da Cunha <sup>3</sup>

Stela Rosa Amaral Gonçalves<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Ministério Público do Estado de Mato Grosso - MPMT  
Av. Desembargador Milton Figueiredo Ferreira Mender, s/n  
Setor D – Centro Político e Administrativo - Cuiabá - MT, Brasil  
{joyce.souza, nayara.moreira, stela.goncalves}@mpmt.mp.br

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas – INCT-INAU  
Centro de Pesquisa do Pantanal/CPP  
Universidade Federal de Mato Grosso/UFMT. 78060-900  
Cuiabá-MT, Brasil  
biocnc@gmail.com

**Resumo.** As áreas úmidas são ecossistemas sensíveis a mudanças hidrológicas, por isso, intervenções antrópicas como a construção de canais de drenagem e estradas-dique e mudanças climáticas causam a perda dessas áreas. O Pantanal é uma grande área úmida, com uma dinâmica de inundação responsável por garantir sua biodiversidade e as funções ecossistêmicas, entretanto, existem poucos estudos sobre a variação de sua inundação frente às intervenções na dinâmica de inundação. Este estudo de caso teve o objetivo de avaliar a alteração temporal da superfície inundável em virtude da instalação de drenos e estradas-dique em uma fazenda no Pantanal Mato-Grossense. Para isso, foram identificados os tipos de áreas úmidas existentes na fazenda, com base na Classificação Brasileira de Áreas Úmidas, para entender a dinâmica do pulso de inundação. Dados de precipitação foram comparados com a superfície inundável ao longo de 38 anos, bem como nos anos de instalação dos canais de drenagem e estradas-dique na fazenda. O maior recurso hídrico disponível na fazenda, além dos cursos d'água, é uma área pantanosa oriunda do embaciamento do terreno, cuja inundação é proveniente da área do planalto da Bacia do Alto Paraguai, entretanto, a superfície inundável vem diminuindo drasticamente após 2005, com a instalação da grande maioria dos canais de drenagem e estradas-dique.

**Palavras-chave:** áreas úmidas, drenos, pulso de inundação, Mapbiomas, Pantanal.

**Abstract.** Wetlands are ecosystems that are sensitive to hydrological changes. Therefore, human interventions such as the construction of drainage channels and dike roads, in addition to climate change, cause the loss of these areas. The Pantanal is a large wetland, with its flood dynamics responsible for ensuring its biodiversity and ecosystem functions. However, there are few studies on the variation of its flooding in response to interventions in the flood dynamics. This case study aimed to evaluate the temporal change in the floodable surface and its relationship due to the installation of drains and dike roads on a farm in the Pantanal of Mato Grosso. For this purpose, the types of wetlands existing on the farm were identified, based on the Brazilian Classification of Wetlands, to understand the dynamics of the flood pulse. Precipitation data were compared with the floodable surface over 38 years, as well as in the years of installation of drainage channels and dike roads on the farm. The largest water resource available on the farm, in addition to the watercourses, was a marshy area originating from the fogging of the land whose flooding comes from the plateau area of the Upper Paraguay Basin, however the floodable surface has been decreasing drastically since 2005 with the installation of the vast majority of drainage channels and dike roads.

**Key-words:** wetlands, drainage channels, flood pulse, Mapbiomas, Pantanal.

## 1. Introdução

As Áreas Úmidas (AUs) são ecossistemas capazes de proporcionar diversos serviços, dentre eles a purificação e fornecimento de água limpa, entretanto, apesar dos serviços ecossistêmicos prestados, mundialmente, diversos autores salientam que as AUs pertencem aos ecossistemas mais afetados e ameaçados por ação antrópica, com estimativa de 70% de perda dessas áreas Constanza et al., (2014); Finlayson, (2012); Junk et al., (2014); Keddy et al., (2009); Kingsford et al., (2016).

Dentre as ações que afetam direta ou indiretamente as AUs, podemos citar o manejo inadequado das práticas agrícolas (drenagem para irrigação e prática agropecuária) e aterramento para construção civil, devido à falsa ideia de que as AUs seriam áreas inutilizáveis Gopal, (2013); Nunes da Cunha et al., (2017); Wantzen et al., (2006). Os diques dentro das zonas úmidas e as barragens dos rios tributários alteram o pulso de inundação (flood pulse) Junk et al., (1989); Nunes da Cunha et al., (2017), essa alternância de períodos inundados, anuais e plurianuais, no Pantanal é responsável pela vida e para a socioeconômica deste ecossistema Abdon e Silva, (1997), sendo primordial o entendimento dessa dinâmica para as boas práticas de manejo.

Além disso, segundo Lasa (2024), em análise das condições climáticas no Pantanal, após a década de 1990, há tendência de diminuição de umidade do solo Geirinhas et al., (2023), devido ao aumento da temperatura de 1959-1989 para 1990-2022, nesse contexto dá-se a importância de entender e monitorar a mudança da dinâmica hidrológica da inundação do Pantanal, cuja alteração influencia principalmente na disponibilidade de água no bioma.

Desde o ano de 1997, Abdon e Silva ressaltaram a falta de estudos que objetivassem conhecer a variação da inundação; todavia, com o avanço das geotecnologias associado à ciência do sensoriamento remoto, essa dificuldade tem sido cada vez menor. O sensoriamento remoto (SR) possui diferentes definições, contudo a definição mais adequada, sob o ponto de vista do mapeamento de AUs, envolve o uso de sensores óticos que captam a radiação eletromagnética para reconhecimento e aquisição de informações Novo, (2010). Além disso, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) é a principal ferramenta utilizada em inventários de áreas úmidas reconhecido pela Convenção Ramsar, graças ao potencial de exibição e análise em diversas escalas espaciais e temporais Davidson et al., (2007); Ramsar, (2010).

Entre as novas tecnologias SIG lançadas, destaca-se o Google Earth Engine, uma plataforma gratuita que permite a realização de análises espaço-temporais em escala global, cujos dados são processados e armazenados em nuvem Gorelick et al., (2017). A utilização dessa plataforma SIG para o estudo e o monitoramento de áreas úmidas, portanto, se configura como promissora, considerando sua capacidade de realizar o processamento de enorme quantidade de dados de

forma rápida e eficiente. Nesse contexto, existe o Projeto Mapbiomas Água, que mapeia a dinâmica de água superficial e de corpos hídricos nos biomas brasileiros, disponibilizando, de forma gratuita, os dados observados desde o ano de 1985.

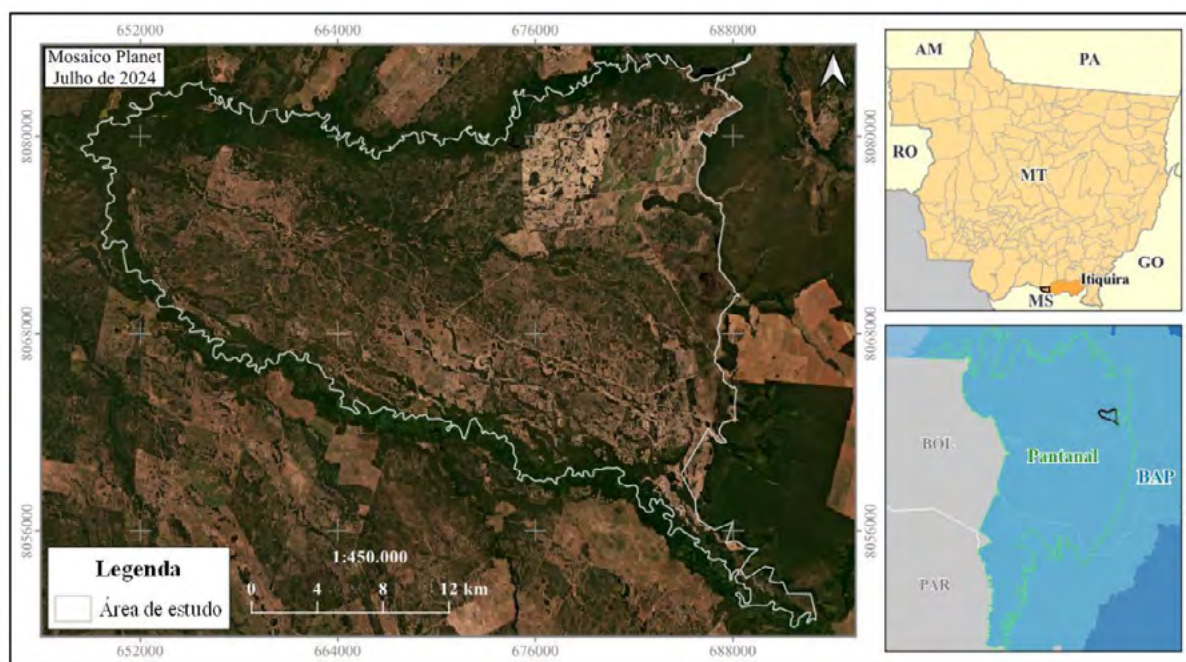
## 2. Objetivo

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a alteração temporal da superfície de água na paisagem e sua relação com a instalação de drenos e estradas-dique em uma fazenda no Pantanal Mato-Grossense.

## 3. Material e Método

### 3.1 Área de estudo

O estudo de caso ocorreu em uma fazenda situada na divisa entre os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, localizada entre as coordenadas de referência latitude  $17^{\circ}26'57.92''S$  e longitude  $55^{\circ}20'26.94''O$ , no município de Itiquira – MT (**Figura 1**). Encontra-se na bacia do alto Rio Paraguai e ocupa uma área de 69.380,5 hectares no Pantanal Mato-Grossense, entre os rios Correntes e Itiquira, contida na depressão do Alto Paraguai com o limite leste vizinho ao planalto, no subsistema de megaleque fluvial do rio São Lourenço Corradini e Assine, (2012).



**Figura 1.** Carta-imagem de localização da área em estudo.

De acordo com a Classificação Koppen (1948), o clima da região é do tipo Aw – tropical com inverno seco, com estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco). As precipitações são superiores a 750 mm anuais, atingindo 1800 mm.

Além disso, deve-se ressaltar que a fazenda possui três tipos de unidades funcionais em termos de áreas úmidas, baseada na classificação brasileira de áreas úmidas Junk et al, (2014),

Nunes da Cunha et al., (2017), as unidades funcionais são definidas por fatores hidrológicos, com subdivisão dependente da disponibilidade e origem de água. Nesse sentido, como pode ser observado na carta-imagem da **Figura 1**, a maior parte da fazenda contém áreas periodicamente terrestres, nas quais foi possível observar a grande matriz de campos, um tipo de fitofisionomia savânica formada por arbustos e árvores típicas do Cerrado, que crescem principalmente em pequenos montes de terra (“murundus” ou “monchões”) distribuídos em um campo graminoso sazonalmente inundável ou encharcado Eiten, (1982); Furley (1986), sendo também denominadas de Parque Cerrado por Ribeiro e Walter (2008). Ademais, foi identificada uma área pantanosa, permanentemente inundada ou encharcada, na porção leste adjacente à região planáltica.

### 3.2 Método

Os dados de superfície de água e precipitação acumulada utilizados no presente trabalho foram consultados e adquiridos por meio do Google Earth Engine (GEE), uma plataforma que armazena conjuntos de dados geoespaciais e, através do serviço computacional fornecido pelos servidores do Google, permite o seu acesso e o processamento em nuvem.

As informações de superfície de água foram extraídas dos produtos das Coleções 1 e 2 do MapBiomias Água, o qual utiliza as cenas do satélite Landsat, com 30 m de resolução espacial, com imagens de 1985 a 2022, para a construção de uma série temporal mensal da dinâmica de cobertura de água nos biomas brasileiros. O método utilizado no mapeamento feito pelo MapBiomias abrange a classificação na escala de sub-*pixel* com modelo espectral de mistura (MEM) e regras de decisão baseadas na lógica *fuzzy*. Após a aquisição dos dados em formato matricial, realizou-se, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), o recorte territorial considerando a área de estudo e a sua vetorização. O detalhamento sobre o método do MapBiomias Água pode ser consultado em [https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/06/ATBD\\_Agua.docx.pdf](https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/06/ATBD_Agua.docx.pdf).

Em relação à precipitação acumulada, utilizou-se o conjunto de dados do TerraClimate, que, através da interpolação da base de alta resolução espacial do WorldClim com os do Climatic Research Unit Time-Series version 4.0 (CRU Ts4.0) e do Japanese 55-year Reanalysis (JRA55), que apresentam uma vasta cobertura temporal, gera dados climatológicos mensais em escala global. No GEE, elaborou-se um código que determina o período desejado entre 1985 e 2022, resultando em 456 imagens, e calcula a soma, por ano, de todos os valores de precipitação acumulada mensalmente, ocorrida na extensão da fazenda em análise.

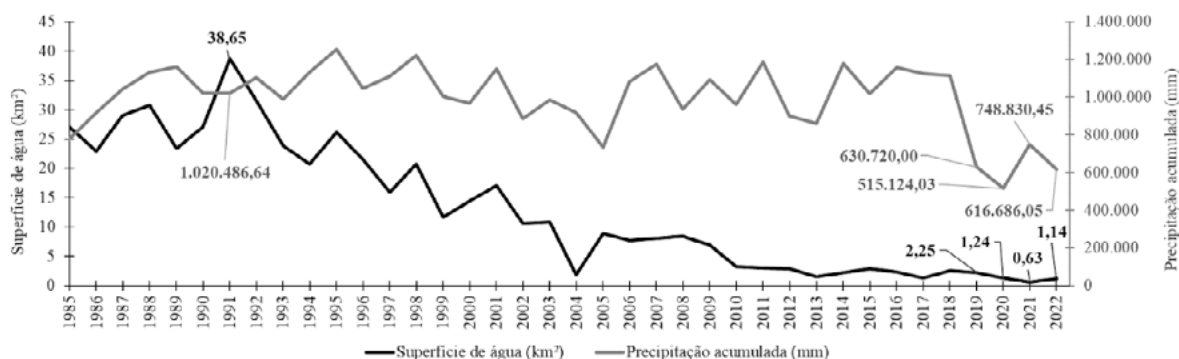
De posse dos dados, foi utilizado um SIG, com Datum Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 SIRGAS (2000) e projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) zona 21S, para a análise integrada com sobreposição das informações, sendo possível a identificação e elaboração do mapa com a maior e menor superfície de água ao longo de 38 anos. Realizou-se, também, o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson entre os dados de superfície de água e a precipitação.

Por interpretação de imagem, foi realizada a vetorização das estradas-dique e dos canais de drenagem de toda a área da fazenda, incluindo o ano de sua instalação. Para isso foram utilizados mosaicos de imagens do satélite SPOT, com resolução espacial de 2,5 metros; mosaicos de imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 7, com resolução espacial de 30 metros, e imagens da constelação de satélites Planet, com 3 metros de resolução espacial, disponibilizados pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SEMA-MT, além de imagens do servidor do Google Earth.

#### 4. Resultados e Discussões

No gráfico da (Figura 2), foi apresentada a série dos dados de superfície de água (linha de cor preta) medidos em área (Km<sup>2</sup>) e os valores de precipitação acumulada (linha de cor cinza) quantificados em milímetros, de desde o ano de 1985 até 2022. O coeficiente de correlação de Person( $\rho$ ), calculado entre os dados de área de superfície de água e a precipitação acumulada anual, foi de 0,33 com os dados absolutos e de 0,44 após a normalização em logaritmo na base dez, sendo considerado fraca correlação segundo Leg. UFPR (2023).

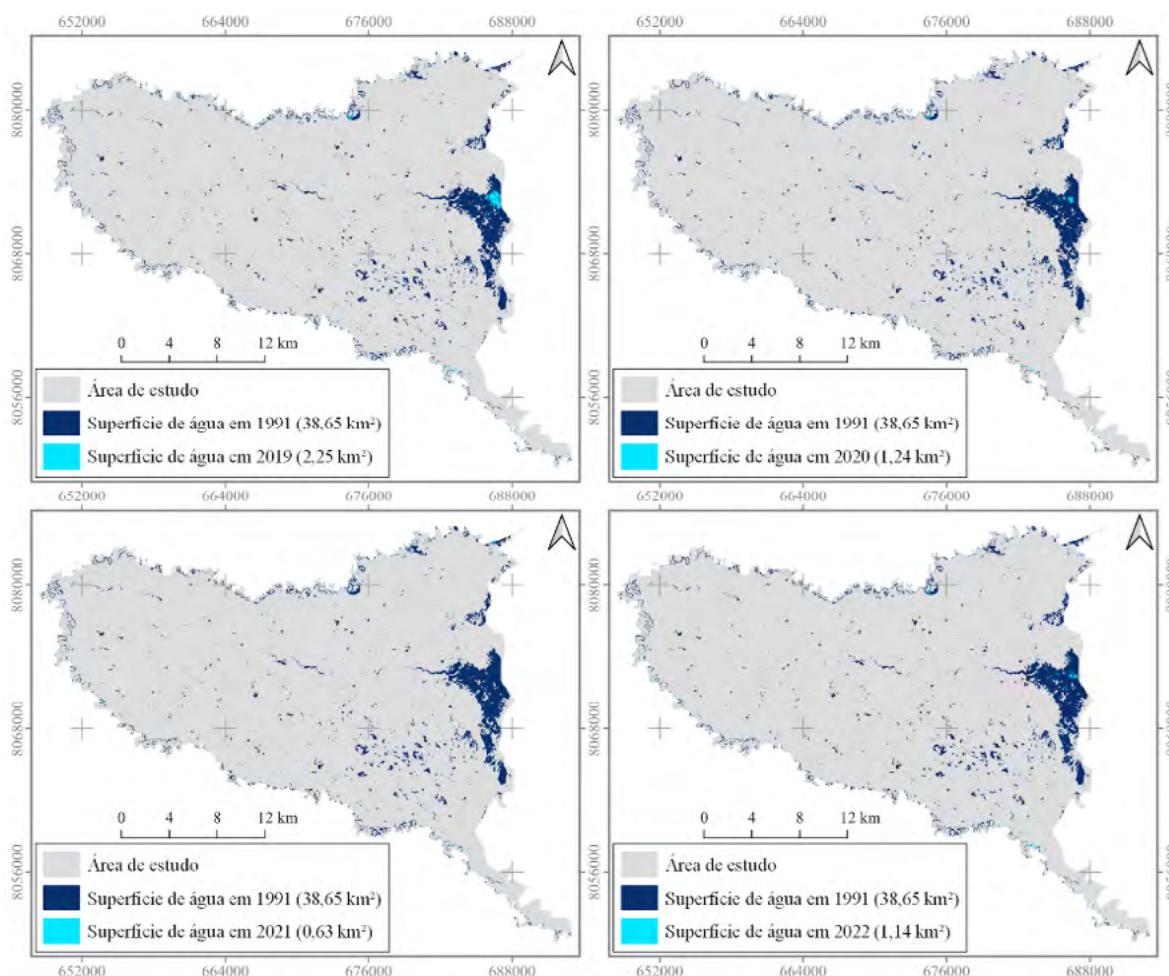
Os valores de precipitação do ano de 1991, por exemplo, não correspondem ao ano com maior registro de superfície de água na fazenda em estudo. Observam-se, também, oscilações ao longo do período, variando entre anos com maior e menor precipitação, porém mantendo uma média de 1.000.000 mm por ano. Tal padrão é quebrado em 2019, atingindo um valor anual de 630.720 mm, e no ano seguinte (2020) é registrado o menor valor da série, aproximadamente 515.124,03 mm, coincidente com o ano de maior seca, com base na umidade do solo, segundo a Nota Técnica do Lasa (2024).



**Figura 2.** Gráfico dos valores de superfície de água com a precipitação acumulada de 1985 a 2022.

Verificou-se que a maior superfície de água observada no interior da fazenda analisada ocorreu no ano de 1991, se estendendo por uma área inundada de aproximadamente 38,65 km<sup>2</sup>; por outro lado, 2021 foi o ano em que se observou a menor superfície de água, com aproximadamente 0,63 km<sup>2</sup>. Nesse contexto, houve a diminuição de cerca de 38,02 km<sup>2</sup> (98,4%) de áreas que, por sua vez, deixaram de ser inundadas no decorrer dos trinta anos (1991 – 2021). Na Figura 3, é possível observar a distribuição das áreas inundadas durante o ano de maior inundação (1991), comparado com a distribuição de áreas inundadas nos anos de 2019 até 2022.

Considerando que a fazenda é delimitada pelo rio Itiquira ao norte e pelo rio Correntes ao sul, foi notável a presença de áreas inundadas localizadas na planície de inundação dos dois rios; além disso, outras áreas menores no interior da fazenda foram notadas, devido a micro-ondulações do relevo em meio à matriz de áreas periodicamente terrestres de campos de murundus. Ademais, ressalta-se uma região de maior inundação ou pantanosa, próxima ao limite leste, considerada como área permanentemente inundada pantanosa. Notou-se, na dinâmica da (Figura 3), que as áreas menores inundadas no interior da propriedade não chegam a inundar ou não são mais inundadas ao nível de detecção de água na superfície pelo satélite; ou seja, caso ainda haja inundação nessas áreas menores, o tamanho da área inundada é menor que a resolução espacial do sensor (30 m). Assim, o maior recurso hídrico contido na fazenda,



**Figura 3.** Dinâmica de superfície de água máxima (ano de 1991) com os anos de 2019, 2020, 2021 e 2022.

além dos rios que a delimitam, é a área pantanosa localizada em seu limite leste, onde ainda foi detectado, na cor ciano da **Figura 3**, o valor de 0,63 km<sup>2</sup> e 1,14 km<sup>2</sup> de área inundada nos anos de 2021 e 2022, apesar da drástica redução da quantidade de áreas inundadas na fazenda.

Essa área pantanosa, na região leste da fazenda, tem sua fonte de água oriunda da região mais alta do relevo adjacente a ela, o planalto da Bacia do Alto Paraguai – BAP. Trata-se de uma área de embaciamento do terreno, demonstrada por meio do perfil de elevação do Google Earth (**Figura 4**).

Portanto, naturalmente, por gravidade, a água da chuva que cai sobre a área de planalto adjacente ao limite leste da fazenda, percola em subsuperfície e aflora na região mais baixa, o que garante a disponibilidade de água durante períodos de maior estiagem. Além da altitude mais baixa, o tipo de solo favorece a inundação, visto que de acordo com a classificação do IBGE, o solo é do tipo Plintossolo, caracterizado, segundo SiBCS (2018), por sua gênese associada a condições de excesso de umidade ou restrição temporária à percolação d'água.

Nesse sentido, a inundação da área pantanosa foi diminuindo ao longo dos anos, em decorrência de fatores climáticos e antrópicos. Em relação aos fatores climáticos, de acordo com a Nota Técnica Libonati (2024), existe uma tendência significativa de diminuição de umidade do solo no Pantanal, devido ao aumento da temperatura, o que ocasiona o ressecamento do solo e





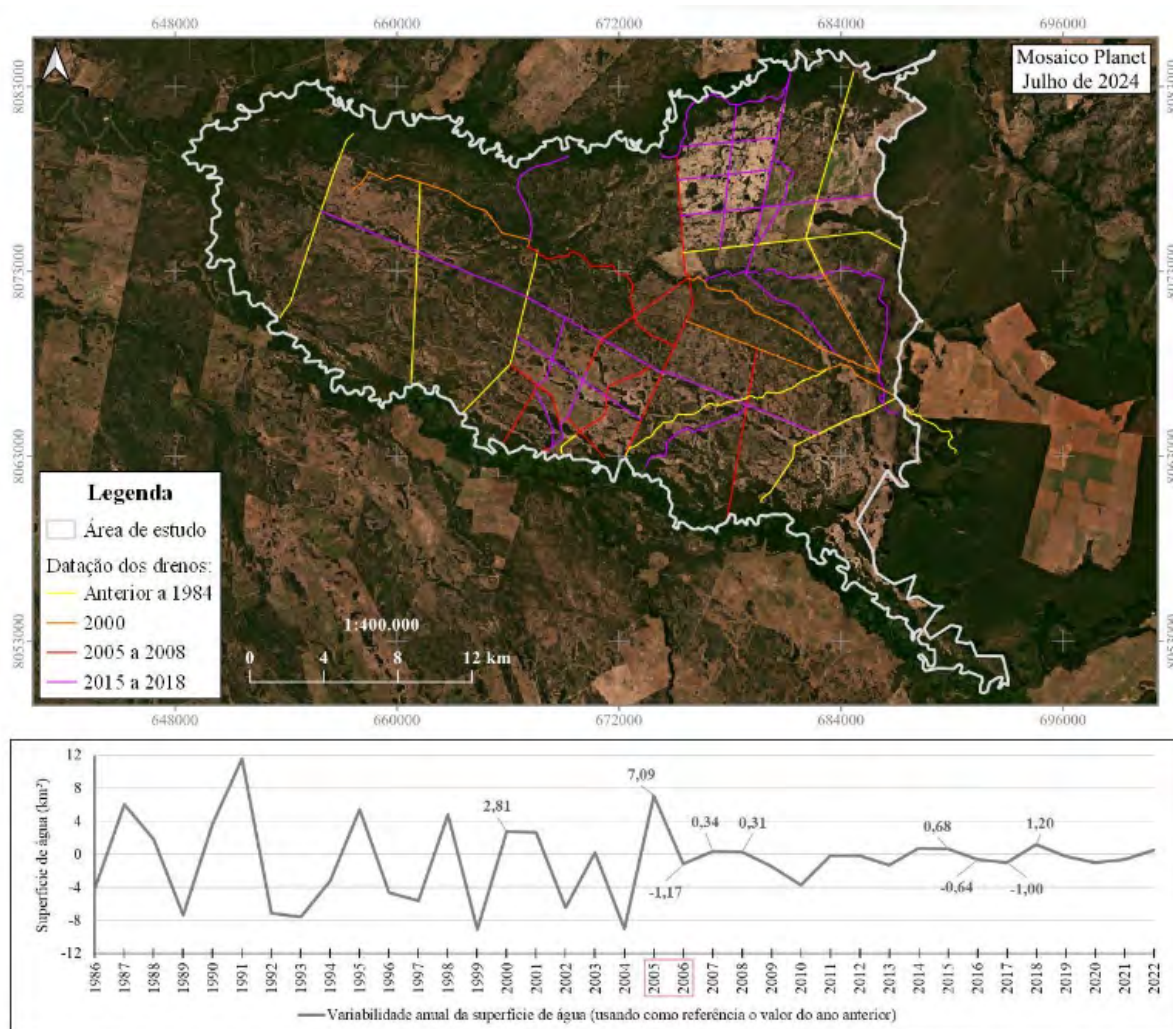
**Figura 4.** Perfil de elevação do terreno da área pantanosa, com a indicação dos canais de drenagem e da estrada-dique.

consequentemente a diminuição da superfície inundável. Porém, além disso, houve intervenção antrópica sobre a hidrologia natural da fazenda, com a instalação dos canais de drenagem e das estradas-dique, que foram mapeados e quantificados em função do seu comprimento total de 339,1 km e os anos de instalação, como pode ser observado no mapa da **Figura 5**. Considerando os anos de instalação, foi calculado o incremento ano a ano da superfície inundada. No mapa da **Figura 5**, foi possível observar a dinâmica temporal de instalação dos drenos e o gráfico com valores da variação da inundações de um ano para o outro em toda a série dos 38 anos.

No mapa da **Figura 5**, observa-se a distribuição dos canais de drenagem e estradas-dique em toda a extensão da fazenda, sendo que a maioria das instalações ocorreram após o ano de 2005. No gráfico abaixo do mapa da **Figura 5**, entre os anos de 2005 e 2006, foi possível observar a mudança no padrão da inundações (superfície de água), diminuindo drasticamente, mantendo-se até o último dia de análise 2022 e comprovando a alteração da quantidade de área inundável na fazenda após a instalação dos drenos e estradas-dique. Ao retirar água das áreas úmidas, desumidifica estas áreas, descaracterizando o ambiente que deixará de desempenhar as funções ecossistêmicas, além de se tornar árido pelo déficit hídrico podendo ocasionar um processo de desertificação a longo prazo Tomasella et al., (2023).

## 5. Conclusões e sugestões

Pode-se concluir que houve diminuição da superfície inundada e que a precipitação não foi a causa da variação da área inundável, portanto, não foi devido à diminuição das chuvas que a área inundada foi reduzida ao longo dos anos e sim devido à instalação dos canais de drenagem e estradas-dique de maneira inadequada, sem preocupação em manter a água na paisagem, o que ocasiona desequilíbrio nos ecossistemas de áreas úmidas, visto que o pulso de inundações



**Figura 5.** Perfil de elevação do terreno da área pantanosa, com a indicação dos canais de drenagem e da estrada-dique .

deve ser mantido para garantir o fornecimento dos serviços ecossistêmicos, principalmente de fornecimento de água limpa.

A longo prazo, tudo leva a crer, se a tendência de diminuição das áreas inundadas permanecer, a própria fazenda passará por escassez hídrica, o que comprometerá a atividade econômica desenvolvida.

Sugere-se o fechamento dos canais de drenagem, com base na comprovação da redução da área suscetível a inundações, o que, por sua vez, impactaria o padrão de inundação que regula a vida no bioma.

## 6. Agradecimentos

Ao Procurador de Justiça Gerson Natalício Barbosa, do Ministério Público do Estado de Mato Grosso – MPMT, pela autorização e apoio à disseminação de conhecimento técnico-científico embasado em experiências práticas vivenciadas em perícias no órgão.

## 7. Referências

- Abdon, M. M.; Silva, J.S.V.; Galdino, S. Extensão da área alagada no período de cheia em parte da sub-região da Nhecolândia, no Pantanal, Brasil. In: **Simpósio Latino Americano de Percepção Remota**. 1997.
- Corradini, F. A.; Assine, M. L. Compartimentação geomorfológica e processos deposicionais no megaleque fluvial do rio São Lourenço, Pantanal mato-grossense. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 42, supl. 1, p. 20-33, dez. 2012. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/rbg/v42s1/03.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2015. <<http://dx.doi.org/10.5327/Z0375-75362012000500003>>.
- Costanza, R., De Groot; R., Sutton, P.; Van der Ploeg, S.; Anderson, S. J.; Kubiszewski, I.; Turner, R. K. Changes in the global value of ecosystem services. **Global environmental change**, 26, 152-158, 2014. DOI 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002.
- Davidson, N. C.; Finlayson, C. M. Earth observation for wetland inventory, assessment and monitoring. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 17, n. 3, p. 219-228, 2007.
- Eiten, G. Brazilian “Savannas”. Pp: 25-47. In: Huntley, B. J.; Walker, B. H. (Ed.). **Ecology of tropical savannas**. Berlin: Springer-Verlag, 1982.
- Finlayson, C. M. A. X. Forty years of wetland conservation and wise use. **Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems**, v. 22, n. 2, p. 139-143, 2012.
- Furley, P. A. Classification and distribution of mounds in the Cerrado of Central Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 13, p. 265-268, 1986.
- Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, [S.l.], v. 202, p. 18-27, dez. 2017. DOI 10.1016/j.rse.2017.06.031 Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jan. 2019.
- Junk, Wolfgang J. et al. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences**, v. 106, n. 1, p. 110-127, 1989.
- Junk, W. J.; Piedade, M. T. F.; Lourival, R.; Wittmann, F.; Kandus, P.; Lacerda, L. D.; Bozelli, R. L.; Esteves, F. A.; Nunes da Cunha, C.; Maltchik, L.; Schongart, J.; Shaeffer-Novelli, Y.; Agostinho, A. A.; Nóbrega, R. L. B.; Camargo, E. Parte I: Definição e Classificação das Áreas Úmidas (AUs) Brasileiras: Base Científica para uma Nova Política de Proteção e Manejo Sustentável. In **Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats**. EdUFMT. Cuiabá - MT: [s. n.], p. 13–63, 2014.
- Keddy, P. A.; Fraser, L. H.; Solomeshch, A. I.; Junk, W. J.; Campbell, R.; Arroyo, M. T. K.; Alho, C. J. R. Wet and wonderful: the world's largest wetlands are conservation priorities. **BioScience**, v. 59, n. 1, p. 39-51, 2009.
- Kingsford, R. T.; Basset, A.; Jackson, L. Wetlands: conservation’s poor cousins. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, vol. 26, no. 5, p. 892–916, 2016. <https://doi.org/10.1002/aqc.2709>.
- Koopen, W. Climatologia, com um estúdio de los clima de la Tierra. **México: FCE**, 1948.
- Leg. UFPR start. (2023, Nov 20). In **Wiki do LEG**. <<http://leg.ufpr.br/doku.php?id=start&rev=1700492229>>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.
- Libonati, R.; Rodrigues, J. A.; Santos, F.L.M.; Belém, L.B.C; Nunes, A.B.; Da Camara, C.C; Sena, C.A.P.; Menezes, L.; Monteiro dos Santos, D.; Peres, L.F. Situação do fogo no Pantanal – junho 2024. 30p, **Nota Técnica** 01/2024, Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais (LASA), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2024.
- Novo, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. Editora Blucher, 2010.
- Nunes da Cunha, C.; Arruda, E. C.; Junk, W.J. **Marcos referenciais para a Lei Federal do Pantanal e gestão de outras áreas úmidas**. Cuiabá - MT: Carlini & Caniato Editorial, EdUFMT, 2017.
- Ramsar, C. S. **Wetland inventory**: A Ramsar framework for wetland inventory and ecological character description. Gland, Switzerland.: [s. n.], 2010.
- Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. Pp. 152-212. In.: Sano, S. M.; Almeida, S. P; Ribeiro, J. F. **Cerrado: Ecologia e flora**. Brasília: EMBRAPA, 2008.

SiBCS. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa, 2018. < <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf> >. Acessado em 01 de agosto de 2024.

Silva, J. S. V.; Abdon, M.M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 33, n. 13, p. 1703-1711, 1998.

Tomasella, J.; Cunha, APA; Marengo, J. A. Nota técnica: elaboração dos mapas de índice de aridez e precipitação total acumulada para o Brasil. Brasília: **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação**, 2023.

Wantzen, K.M.; Siqueira, A., Cunha, C. D., Pereira de Sá, M. D. Stream-valley systems of the Brazilian Cerrado: impact assessment and conservation scheme. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, vol. 16, no, p. 713– 732, 2006. <https://doi.org/10.1002/aqc>.

## **Proposta metodológica de diagnóstico de destinação de efluentes domésticos em áreas rurais**

Ana Laura de Paula <sup>1</sup>  
Marielle Rezende de Andrade <sup>2</sup>  
Mireile Reis dos Santos <sup>3</sup>  
Ana Maria dos Santos Ferreira <sup>2</sup>  
Roosevelt Heldt Júnior <sup>2</sup>  
Arthur Pereira dos Santos <sup>1</sup>  
Darllan Collins da Cunha e Silva <sup>1</sup>  
Roberto Wagner Lourenço <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista, Programa de Ciências Ambientais - UNESP  
Av. Três de Março, 511 - 18087-180, Sorocaba - SP, Brasil  
{al.paula, arthur.p.santos, darllan.collins, roberto.lourenco}@unesp.br

<sup>2</sup> Sistema de Serviços e Assessoria Ambientais - SISAM  
Rua Capitão Soares, 761, piso 2, sala A37.600-000, Cambuí - MG.  
{marielle.amb, ninhaf2158, heldtjrr}@gmail.com

<sup>3</sup> Colégio Pedro II, Campus São Cristóvão II - Departamento de Ciências e Biologia.  
Campo de São Cristóvão, 177 - São Cristóvão, Rio de Janeiro - RJ, 20930-380  
mireilers@yahoo.com

**Resumo.** No Brasil, apesar da garantia constitucional de acesso universal ao saneamento, 79,42% da população rural ainda não tem acesso adequado ao esgotamento sanitário. A disposição inadequada de esgoto contamina água e causa doenças graves. Nesse sentido, aplicou-se uma metodologia no município de Poços de Caldas entre 2019 e 2021, e analisou-se o saneamento rural em 223 propriedades nas zonas Norte e Nordeste da área estudada. Verificou-se que cerca de metade dos entrevistados não possuem tratamento adequado de esgoto, com 54% na região Nordeste e 25% na região Norte utilizando métodos inadequados, como fossas rudimentares. Os resultados destacam a necessidade de políticas públicas para melhorar o saneamento rural e podem servir de modelo para regiões como o Pantanal. Além disso, o mapeamento dessas áreas sem saneamento pode subsidiar a implementação de soluções eficazes para assegurar a saúde pública e a sustentabilidade socioambiental.

**Palavras-chave:** saneamento; tratamento de efluentes, prognóstico.

**Abstract.** In Brazil, despite the constitutional guarantee of universal access to sanitation, 79.42% of the rural population still does not have adequate access to sewage disposal. Inadequate sewage disposal contaminates water and causes serious diseases. In this context, a methodology was applied in the municipality of Poços de Caldas between 2019 and 2021, and rural sanitation was analyzed in 223 properties in the North and Northeast zones of the studied area. It was found that about half of the respondents do not have adequate sewage treatment, with 54% in the Northeast region and 25% in the North region using inadequate methods, such as rudimentary cesspits. The results highlight the need for public policies to improve rural sanitation and can serve as a model for regions like the Pantanal. Furthermore, mapping these areas without sanitation can support the implementation of effective solutions to ensure public health and socio-environmental sustainability.

**Key-words:** sanitation; wastewater treatment; prognosis.

## 1. Introdução

Com o crescimento das cidades e o aumento da população, tornou-se essencial melhorar os sistemas de saneamento básico, incluindo o tratamento de esgoto, coleta de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais para prevenir doenças e promover o bem-estar social Heller, (1997); Andersson et al.(2016).

A Constituição Federal de 1988 garante o acesso universal ao saneamento básico no Brasil, e a Lei 11.445/2007, com alterações pela Lei 14.026/2020, estabelece diretrizes para o Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), integrando serviços sob responsabilidade pública, incluindo o saneamento rural. No entanto, esses locais enfrentam grandes desafios nesse sentido, pois 79,42% dessa população ainda se encontra sem acesso adequado ao esgotamento sanitário, segundo dados do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) de 2019 FUNASA, (2019).

Nesse sentido, a disposição inadequada de esgoto em fossas e corpos hídricos continua a contaminar águas subterrâneas e superficiais, contribuindo para doenças como diarreia e disenteria, responsáveis por 81,5% das mortes relacionadas ao saneamento inadequado IBGE, 2(021). Em nível nacional, mais de 81 mil crianças de até 4 anos foram internadas em detrimento de doenças causadas pela falta de tratamento de esgoto Trata Brasil, (2021).

Nessa perspectiva, é válido destacar um estudo do Instituto Trata Brasil, que revelou que menos de 10% do esgoto na região pantaneira do Mato Grosso é tratado antes do descarte. Além disso, a falta de saneamento básico ocasionou em problemas de saúde pública, uma vez que em 2011, 1.519 pessoas na região foram hospitalizadas por diarreia, sendo 750 crianças menores de 5 anos (49,4% do total). Além disso, menos de 30% da população tinha acesso à coleta de esgoto, e apenas 9% do esgoto coletado era tratado Trata Brasil, (2022).

Além dos impactos na saúde, a disposição inadequada de esgoto também impacta os aquíferos, importantes fontes de água doce, através da eutrofização causada pelos nutrientes dos efluentes não tratados Barreto et al., (2013); Hasan et al., (2021). A falta de infraestrutura e os altos custos são obstáculos para a implementação eficaz de saneamento nas áreas rurais, onde muitos municípios carecem de planos municipais atualizados e eficazes para abordar esses desafios Resende et al., (2018).

Diante do exposto, é válido destacar que a identificação de áreas desprovidas de saneamento é crucial para que os órgãos públicos possam desenvolver políticas eficazes, de forma a garantir saúde pública a todos, portanto, a identificação de áreas carentes e o desenvolvimento de políticas públicas são fundamentais para melhorar o saneamento no Brasil, contribuindo para melhores condições de vida e sustentabilidade ambiental.

## 2. Objetivo

Mapear e diagnosticar o saneamento ambiental rural, com foco na disposição de efluentes, em município do bioma Mata Atlântica, a fim de desenvolver uma proposta que seja replicável para

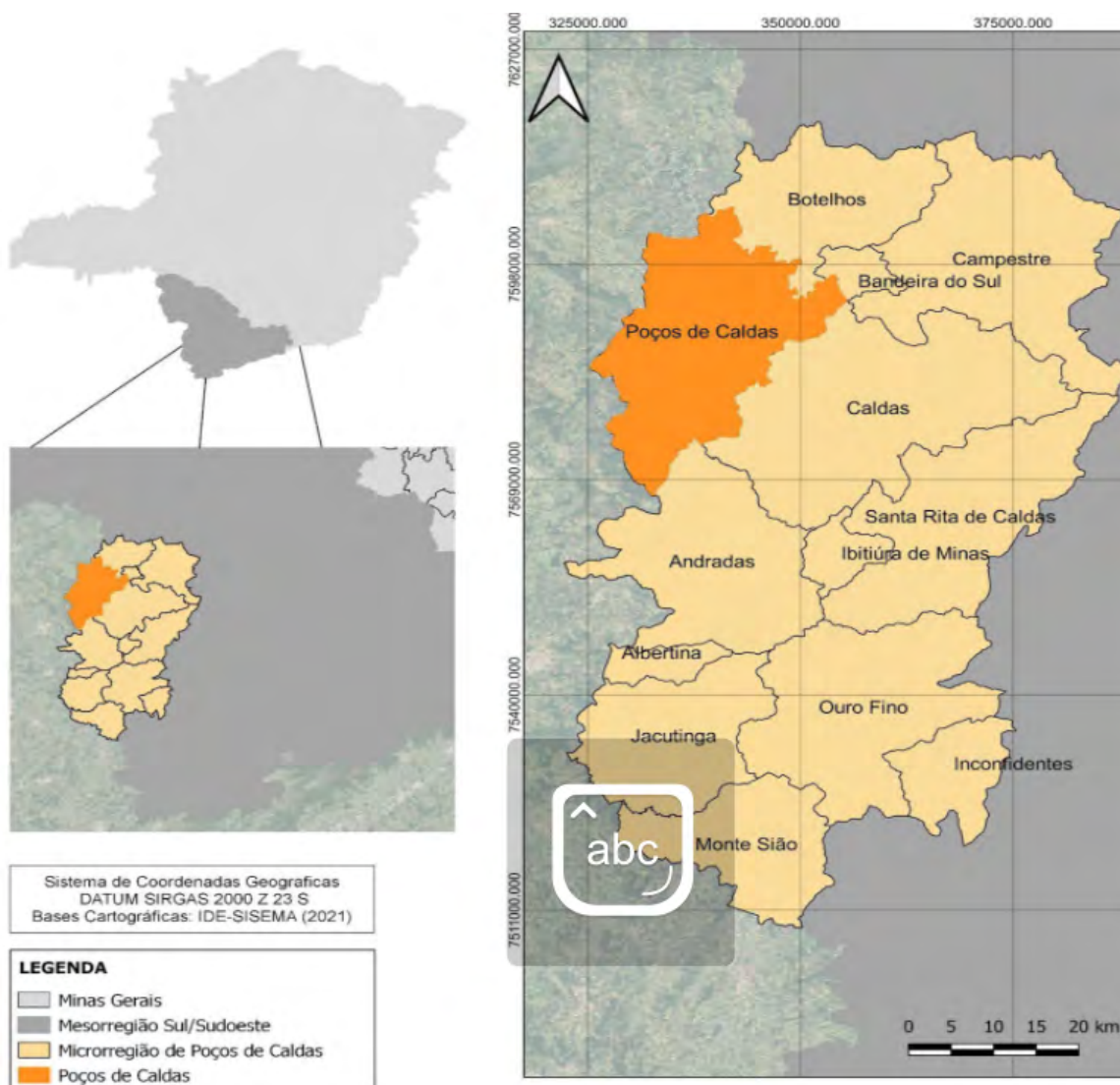
municípios do bioma Pantanal.

### 3. Material e Métodos

#### 3.1 Colaboração governamental e caracterização da área de estudo

Com o apoio da prefeitura de Poços de Caldas, realizou-se um diagnóstico da disposição de efluentes e dos sistemas de tratamento, sendo esse, essencial para identificar áreas necessitadas e fundamentar decisões políticas Roland et al. (2020). Assim, a aplicação desse prognóstico relacionado ao saneamento, especialmente ao esgotamento sanitário, pode ser estendida a outros biomas, como o Pantanal, que necessitam de atenção específica.

A área de aplicação deste estudo (**Figura 1**) está localizado na mesorregião sul e sudoeste de Minas Gerais, na microrregião que compartilha o mesmo nome. Segundo o último censo, a população registrada foi de 163.742 habitantes, com uma densidade populacional de 299,37hab./km<sup>2</sup> IBGE, (2022).



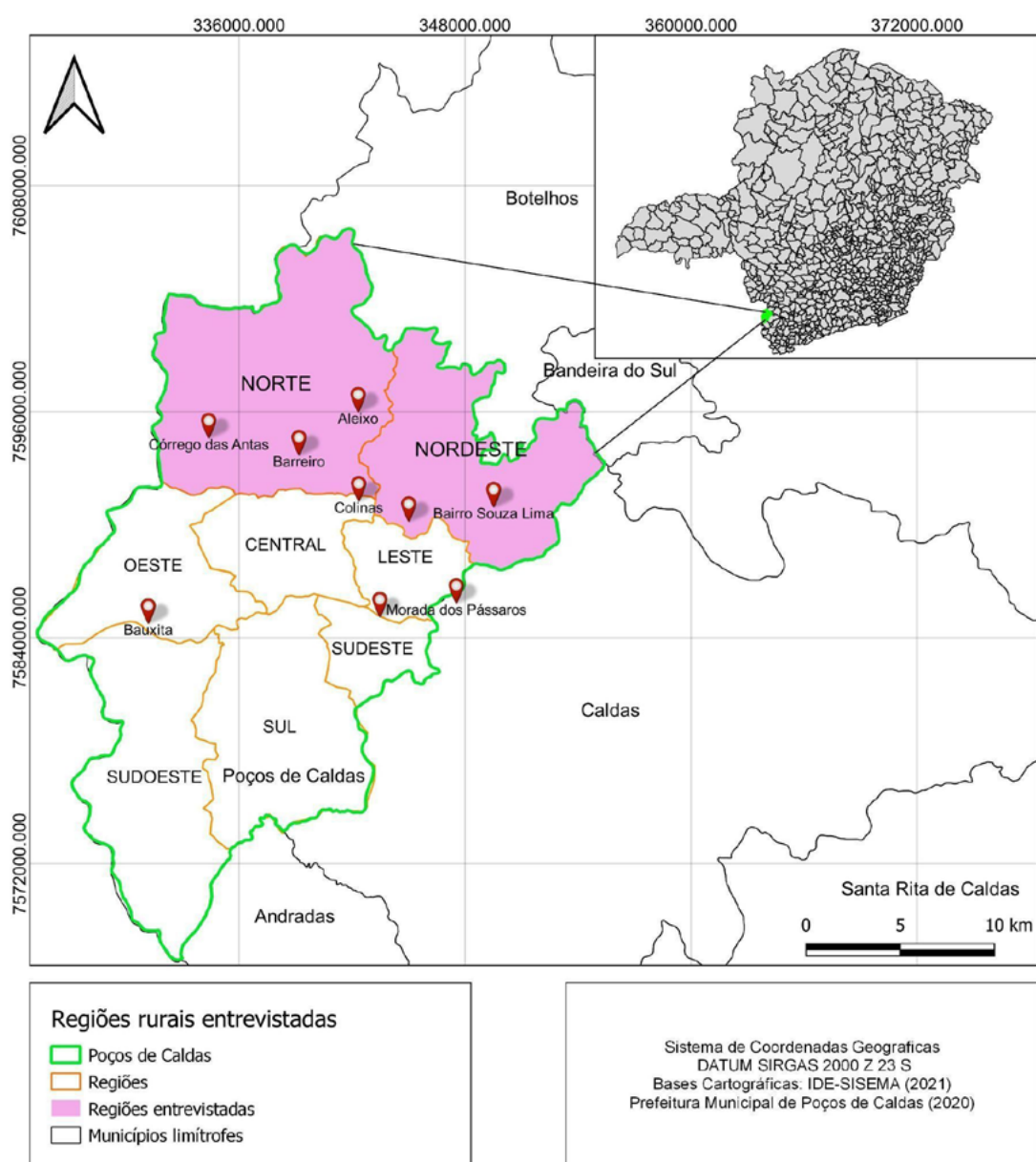
**Figura 1.** Localização área de estudo.

Fonte: Os autores, 2024.

### 3.2 Amostragem e tratamento dos dados

A execução do projeto ocorreu por meio de uma parceria entre o Laboratório de Biodiversidade do Instituto Federal do Sul de Minas, Campus Poços de Caldas, a Prefeitura Municipal de Poços de Caldas, através da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico e Trabalho (SEDET), e o Instituto Fernando Bonillo de Pesquisa e Conservação Ambiental, e foram aplicadas perguntas relativas aos tipos de disposições de efluentes e à adequação do tratamento deles nas regiões visitadas.

As atividades de campo, que contaram com o apoio logístico de um veículo da Prefeitura, tiveram a assistência de um técnico agrícola, e a aplicação dos questionários impressos foi realizada presencialmente entre os anos de 2019 e 2021, abrangendo as propriedades rurais localizadas na zona Norte e Nordeste do município de Poços de Caldas (**Figura 2**).



**Figura 2.** Localização da aplicação das entrevistas.

Fonte: Os autores, 2024.



Elaborou-se perguntas sobre a existência de tratamento de efluentes e os métodos de disposição utilizados para esses efluentes, como descritas abaixo:

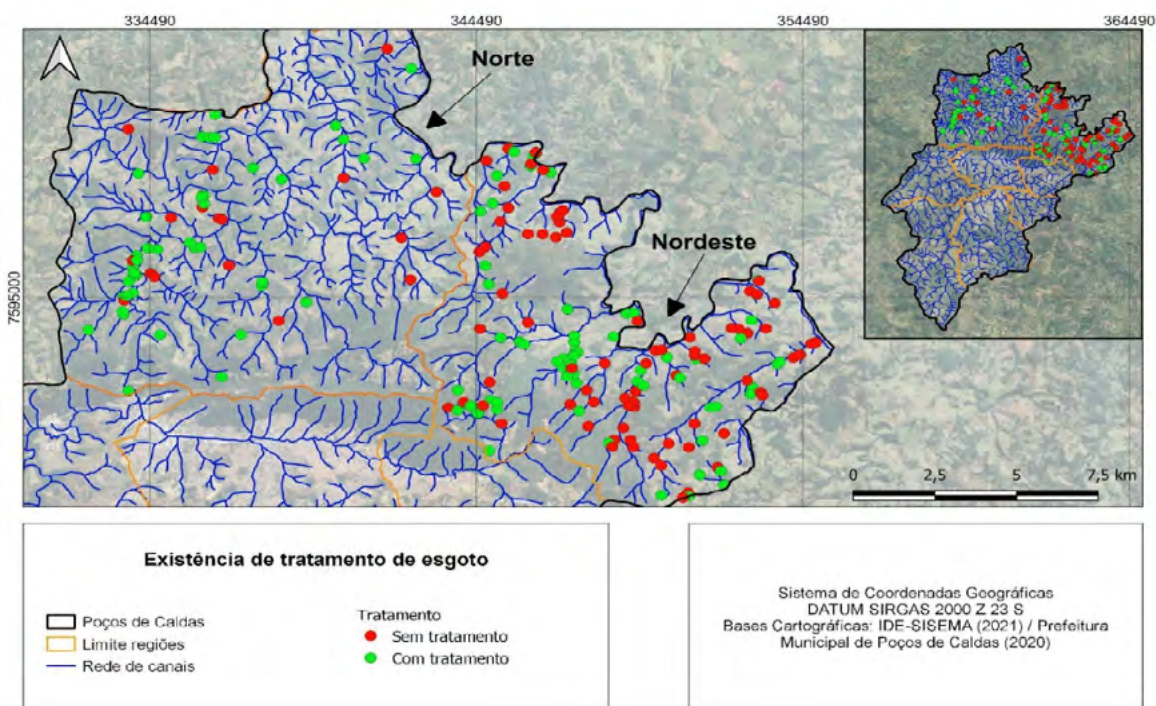
- a) Nome.
- b) Contato.
- c) Bairro e informações de acesso.
- d) Existe algum tipo de tratamento de esgoto na propriedade?  Sim  Não.
- e) Se sim, qual tipo  fossa rudimentar (buraco na terra)  fossa convencional  biodigestor  fossa séptica  biodigestora  banheiro seco  Outro (citar).
- f) Se não, para onde vai o esgoto?  Para o rio/córrego  Para o solo  Outro (citar).
- g) Coletar coordenadas geográficas.

Todas as residências visitadas foram georreferenciadas, e as informações pessoais foram analisadas de forma a proteger a privacidade dos entrevistados, conforme a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) nº 13.709/2018, com a aprovação do comitê de ética, licença nº 5.277.908.

Após as entrevistas em campo, as respostas foram tabuladas e organizadas em tabelas dinâmicas utilizando o editor de planilhas Excel. Os dados georreferenciados foram interpolados, e aplicou-se a estatística de Densidade de Kernel para prever áreas/regiões com maiores probabilidades de ocorrência de despejo inadequado de efluentes nas regiões amostradas.

#### 4. Resultados e Discussão

Mediante à etapa de aplicação dos questionários, entrevistou-se 223 pessoas, sendo moradores ou trabalhadores das respectivas propriedades, localizadas nas regiões Norte e Nordeste do município, o que representa 6% da população rural do município (**Figura 3**).



**Figura 3.** Geospacialização das propriedades entrevistadas.

Fonte: Os autores, 2024.

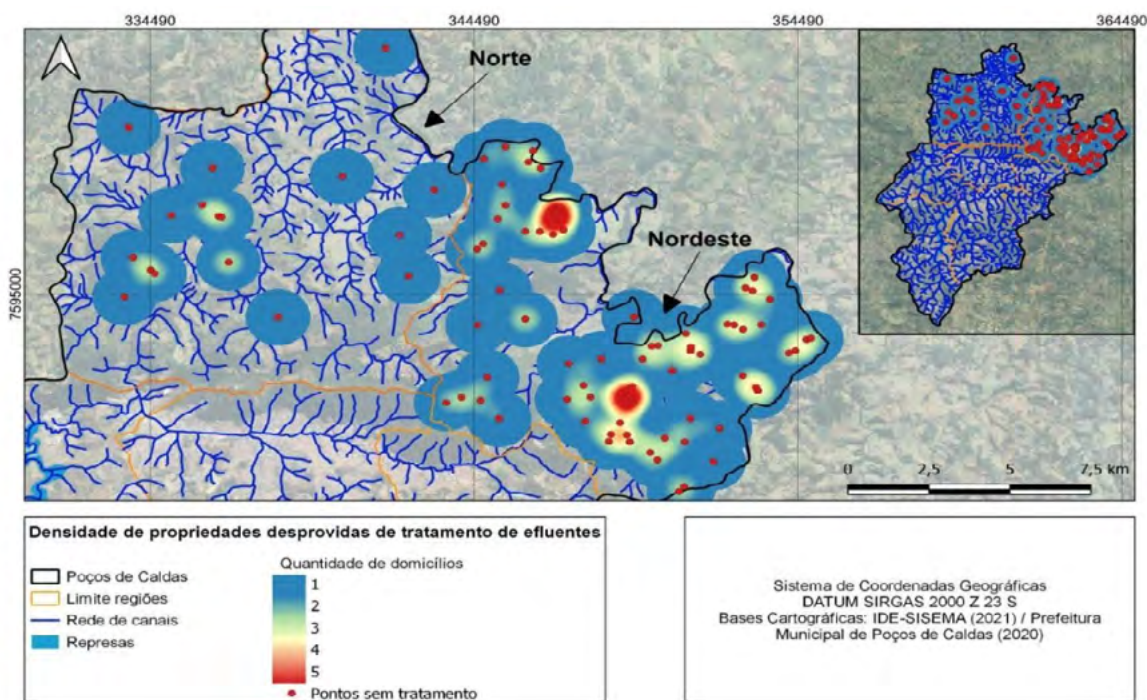
Os resultados do levantamento revelaram que 160 indivíduos da região Nordeste e 63 da região Norte participaram da pesquisa. Em relação ao tratamento de efluentes, observou-se que quase metade (46%) dos moradores rurais nessas áreas não dispõem de sistemas adequados. Assim, 54% das propriedades possuem uma forma de tratamento considerada aceitável.

É importante notar que os métodos inadequados incluem fossa rudimentar, disposição no solo (esgoto a céu aberto) e disposição em corpos hídricos. Por outro lado, os métodos considerados adequados ou ideais são fossa convencional, fossa séptica biodigestora, banheiro seco e outras modalidades mencionadas pelos entrevistados.

Ao analisar por região, dos 160 entrevistados na região Nordeste, 74 (46,2%) afirmaram possuir tratamento de esgoto em suas propriedades, enquanto 86 (53,8%) relataram a ausência de tratamento adequado. Na região Norte, dos 63 entrevistados, 47 (74,6%) têm tratamento de efluentes, enquanto 16 (25,4%) não possuem.

Esses dados indicam que as regiões estudadas apresentam índices melhores em comparação com o panorama geral do saneamento rural brasileiro, onde apenas 20% da população rural tem acesso a serviços ideais de esgotamento sanitário, como fossa séptica e rede geral, conforme o PNSR de 2019.

A (Figura 4) apresenta a distribuição dos sistemas de tratamento nas propriedades que possuem ou não uma destinação adequada para o esgoto sanitário. Os círculos vermelhos de maior diâmetro indicam uma concentração maior de domicílios que descartam seus efluentes de forma inadequada na região e nos arredores.

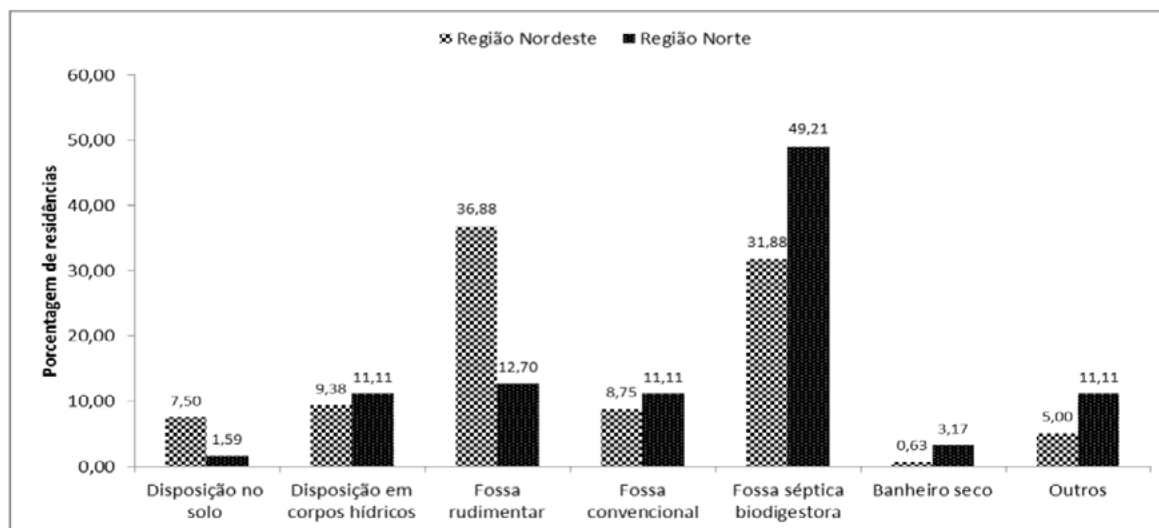


**Figura 4.** Mapa de calor com a concentração de propriedades sem tratamento de efluentes.

Fonte: Os autores, 2024.

É válido ressaltar que esses resultados podem subsidiar a formulação de políticas públicas direcionadas para a melhoria dos sistemas de tratamento de efluentes no futuro. Além disso, a pesquisa revelou que na região Nordeste, os métodos considerados inadequados foram mais recorrentes: fossa rudimentar, disposição no solo (esgoto a céu aberto) e disposição em corpos.

Todavia, na região Norte, há uma predominância de métodos mais eficientes de tratamento (fossa convencional, fossa séptica biodigestora, banheiro seco e outros) (**Figura 5**).



**Figura 5.** Proporcionalidade dos sistemas de tratamento de efluentes.

Fonte: Os autores, 2024.

Outro ponto a ser destacado é que, durante as entrevistas sobre a destinação de esgoto, muitos moradores demonstraram falta de conhecimento sobre o tratamento dos efluentes em suas residências, necessitando de investigações adicionais para verificar os métodos utilizados e frequência de limpeza.

Pelo fato de as fossas rudimentares, ou fossas absorventes, serem buracos não impermeabilizados usados para descarte de efluentes, apresentando riscos de explosões, odores desagradáveis, propagação de vetores e contaminação do solo e lençóis freáticos Tonetti et al., (2018), tais fatos tornam-se ainda mais agravante quando ocorridas em outros biomas, como no Pantanal, uma vez que os incêndios são bem comuns, devido a prática de queimar terras durante períodos secos Silgueiro et al., (2021). Ademais, essa alternativa é a mais adotada nas áreas rurais e na região Centro-oeste do Brasil UNICEF, (2017); Brasil, (2013). Além disso, a contaminação de nascentes por efluentes dessas fossas é prejudicial aos moradores que dependem dessas fontes de água Faria et al., (2023).

A disposição direta no solo também representa sérios riscos à saúde, especialmente para idosos e crianças Vanderlei, (2003), enquanto o lançamento de efluentes em corpos hídricos pode causar sérias alterações químicas, físicas e biológicas na água, resultando em degradação ambiental Melo, (2018). Como é o caso do estudo do Rio Aquidauana, localizado no Sul Mato Grossense, no qual é um habitat para várias espécies aquáticas, incluindo peixes ameaçados de extinção, bem como utilidade para abastecimento público em áreas urbanas e comunidades ribeirinhas Joia et al., (2018).

Nesse sentido, a presença e o acúmulo poluentes químicos nos corpos d'água do bioma Pantanal representam sérios riscos para todos os animais silvestres que dependem do consumo de peixes para sobreviver, além dos perigos associados ao consumo de água contaminada Viana et al., (2023).

Em oposição a isso, fossas convencionais construídas com alvenaria ou cimento, fossas sépticas e biodigestoras são métodos mais aceitáveis, haja vista que as fossas sépticas

biodigestoras, por exemplo, utilizam a biodigestão anaeróbica dos resíduos orgânicos para produzir biofertilizante, sendo uma solução eficaz ProSAB, (2009). O banheiro seco, que armazena fezes sem água e utiliza serragem para compostagem orgânica, também é uma alternativa sustentável Tonetti et al., (2018).

As tipologias alternativas como biodigestores, fossas sépticas biodigestoras de pneu e fibra, e sistemas de tratamento de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) são menos comuns, especialmente na região Nordeste em comparação com a região Norte, refletindo possíveis disparidades socioeconômicas e prioridades em saneamento Neto et al., (2010). A manutenção regular e o cumprimento das orientações dos fabricantes são essenciais para garantir a eficácia desses sistemas Abuhasel, (2021).

Alguns domicílios são atendidos pela coleta municipal de esgoto, operada pelo serviço local de água e esgoto DMAE, (2020), enquanto outros recebem tratamento por meio de ETEs de frigoríficos locais. Apesar dessas variações, os resultados revelam que quase metade das áreas estudadas não possui tratamento adequado de esgoto, contrastando com o panorama nacional onde a maioria das áreas rurais enfrenta desafios semelhantes (PNSR, (2019).

A questão socioeconômica dos entrevistados também é um fator significativo, refletindo desigualdades no acesso ao saneamento básico, conforme demonstrado em estudos correlatos Fiocruz, (2015). A ausência de políticas públicas específicas para o saneamento rural em Poços de Caldas também é um aspecto crítico a ser considerado para futuras intervenções e melhorias.

Essa situação é um problema nacional, uma vez que desafios semelhantes são enfrentados por outras regiões e biomas onde práticas inadequadas de disposição de esgoto são comuns Medeiros e Rodrigues, (2018). Além do mais, traçando um paralelo com a realidade de outros biomas, podendo destacar o Pantanal brasileiro, há uma ineficiência de sistemas de esgotamento adequado, como é o caso da área urbana de Corumbá, por exemplo, onde se situa no rio Paraguai Sposito et al., (2019).

A (**Tabela 1**) apresenta uma visão geral dos métodos de disposição de esgoto nos estados que abrangem o Pantanal, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, indicando que as áreas rurais possuem taxas mais altas de disposição inadequada de esgoto em comparação com as áreas urbanas, principalmente devido às dificuldades logísticas Deng e Wheatley, (2016). No entanto, as áreas urbanas nesses estados ainda apresentam níveis significativos de disposição inadequada de esgoto, destacando a necessidade urgente de mapear e implementar políticas públicas corretivas.

Segundo o Censo Demográfico de 2022, no estado do Mato Grosso do Sul, 27,3% da população tem os efluentes de seus domicílios dispostos incorretamente, enquanto no Mato Grosso 42,3% dispõem incorretamente. Entre as tipologias de disposição inadequadas estão as fossas rudimentares entre as mais comuns, as valas, disposição em corpos hídricos e ausência de banheiros e qualquer tipo de disposição.

Outro fator a ser destacado é que o Pantanal necessita de tratamento de esgoto adequado, uma vez que a intensa atividade agrícola e a ausência de tratamento adequado de esgoto nas cidades ribeirinhas podem levar ao influxo de poluentes nos rios, impactando negativamente a biota aquática Message et al. (2016). Desse modo, apesar de sua relevância ecológica para a manutenção da biodiversidade e prestação de serviços ambientais, esse bioma não está protegido da destruição de habitats e da contaminação de corpos d'água Faria et al., (2021).

Nesse sentido, a aplicabilidade de censos municipais, como o diagnóstico apresentado pelo trabalho no município de Poços de Caldas, desempenha um papel crucial no diagnóstico das condições de saneamento e infraestrutura nos municípios do Pantanal, fornecendo dados essenciais para a identificação de problemas e a elaboração de soluções. Esses levantamentos, que podem ser financiados pelas prefeituras, oferecem subsídios para prognósticos eficazes,

**Tabela 1.** Situação residencial por tipologia de esgotamento sanitário.

Unidade da Federação	Tipo de esgotamento sanitário	Situação do domicílio (%)	
		Urbana	Rural
Mato Grosso do Sul	Rede coletora	42,5	2,6
	Fossa séptica	10,7	11,5
	Fossa rudimentar	46,6	82,3
	Vala	-	2,6
	Não tinham	0,2	0,9
Mato Grosso	Rede coletora	25,5	0,9
	Fossa séptica	35,1	31,9
	Fossa rudimentar	38,8	64
	Vala	0,2	0,1
	Direto para rio, lago ou mar	0,1	0,2
	Não tinham	0,3	2,9

Fonte: Adaptado de IBGE, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, 2015.

como a implementação de fossas sépticas adequadas às particularidades do território.

A necessidade de melhorias no tratamento de esgoto é evidenciada pela ineficiência apontada pelo IBGE, que destaca a urgência de ações corretivas para minimizar impactos ambientais e melhorar a saúde pública na região.

Por fim, vale ressaltar que a universalização do saneamento é um objetivo crucial das políticas públicas, beneficiando a saúde, o ecossistema, a sociedade e a economia Galvão Júnior, (2009). No entanto, o saneamento básico no Brasil ainda é amplamente negligenciado, resultando em condições insalubres para muitas pessoas Rezende e Heller, (2002). Portanto, acredita-se que para resolver essa questão, é essencial a utilização de estudos que, como esse, consigam mapear as áreas com disposição inadequada de efluentes, de forma a garantir a justiça socioambiental em todas as regiões e biomas.

## 5. Conclusões

Os resultados apresentados revelam que aproximadamente metade das propriedades analisadas não possui tratamento adequado de esgoto, evidenciando uma disparidade significativa entre as regiões estudadas e frisando a necessidade de políticas públicas voltadas para a melhoria do saneamento, especialmente em áreas rurais.

Os métodos de avaliação e solução apresentados demonstraram ser aplicáveis em biomas com situação crítica de saneamento no país, como o Pantanal. Essas abordagens visam garantir a saúde pública e a proteção ambiental, prevenindo a contaminação das fontes de água e promovendo um ambiente saudável.

## 6. Referências

- Abuhasel, K. et al. Oily Wastewater Treatment: Overview of Conventional and Modern Methods, Challenges, and Future Opportunities. **Water**, v. 13, n. 7, p. 980, 2 abr. 2021.
- Andersson, K.; Dickin, S.; Rosemarin, A. Towards “Sustainable” Sanitation: Challenges and Opportunities in Urban Areas. **Sustainability**, v. 8, n. 12, p. 1289. 2016.
- Barreto, L. V. et al. Estado trófico em uma seção do rio Catolé Grande sob diferentes níveis de vazão. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 9, n. 2, 26 jun. 2014.
- Deng, Y.; Wheatley, A. Wastewater Treatment in Chinese Rural Areas. **Asian Journal of Water, Environment and Pollution**, v. 13, n. 4, p. 1–11, 13 out. 2016.
- Faria, É. et al. Microplastics pollution in the South American Pantanal. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 3, p. 100088, 2021.
- Fiocruz. O futuro da saúde no Brasil: reflexo das desigualdades. Revista **Radis**, 2015. Disponível em: <https://saudeamanha.fiocruz.br/reflexo-das-desigualdades/#.Y4UtwZbMLrd>. Acesso em 30 out. 2022.
- Fundação Nacional de Saúde (Brasil) - Funasa. **Programa Nacional de Saneamento Rural**. Brasília: Funasa, 2019c. 260 p. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/\\_asset\\_publisher/ZM23z1KP6s6q/content/programa-nacional-de-saneamento-rural-pnsr-?inheritRedirect=false](http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/_asset_publisher/ZM23z1KP6s6q/content/programa-nacional-de-saneamento-rural-pnsr-?inheritRedirect=false). Acesso em: 10 fev. 2024.
- Galvão Junior, A. C. Desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil. **Revista Pan-americana de Saúde Pública**, Washington, v. 25, n. 6, p. 548-556, jun. 2009. ISSN eletrônico: 1680-5348.
- Hasan, M. N. et al. Recent technologies for nutrient removal and recovery from wastewaters: A review. **Chemosphere**, v. 277, p. 130328, 2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521007980>
- Heller, L. et al (coord.) **Saneamento e Saúde em Países em Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: CC&P Editores Ltda, 1997.
- Instituto de Pesquisas e Estatísticas Aplicada. IPEA. 2020. **Gestão comunitária da água: soluções e dificuldades do saneamento rural no Brasil**. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10287>.
- Joia, P. R.; Anunciação, V. S. DA; Paixão, A. A. DA. Implicações do uso e ocupação do solo para o planejamento e gestão ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Aquidauana, Mato Grosso do Sul. **Interações (Campo Grande)**, p. 343–358, 26 fev. 2018.
- Medeiros, V.; Rodrigues, C. T. Políticas públicas municipais, universalização e eficiência no setor de saneamento básico: uma análise para os municípios mineiros. **Revista Planejamento e Políticas Públicas**. Brasília, n. 53, p. 183 - 210, 2019.
- Melo, Aline Grei dos Santos. Impactos da contaminação ambiental do rio Imbassai por lançamento de esgotos domésticos. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. **Medianeira**, p. 49, 2018.
- Message, HJ; Santos, DA; Baumgartner, MT; Affonso, IP. Planícies de inundação a Biodiversidade do rio Paraná ameaçada. **Ciência Hoje**, v. 334, p. 36–39, 2016.
- Neto, Ely Dias Duarte et al. **Implementação e avaliação de um biodigestor de produção descontínua**. e-xacta, v. 3, n. 2, 2010. Disponível em: <https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/296/158>.
- Organização Mundial da Saúde (OMS); Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF). **Progresso em água potável, saneamento e higiene: atualização de 2017 e linhas de base dos ODS**. OMS; UNICEF, 2017. 110 p.
- ONU - Organização das Nações Unidas. **Mais de 4,2 bilhões de pessoas vivem sem acesso a saneamento básico**. 2022. Disponível em: [basico#:~:text=Mais%20da%20metade%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o,de%20saneamento%20m%C3%A1gua%20contaminada](https://www.un.org/pt-br/news/story/2022/06/01/pt-br-42-bilhoes-de-pessoas-vivem-sem-acesso-a-saneamento-basico). Acesso em: 2 jun. 2024.
- Prosab. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. **Lodo de fossa séptica: caracterização, tecnologias de**

tratamento, gerenciamento e destino final.

Resende, R. G., Ferreira, S., & Fernandes, L. F. R. (2018). O saneamento rural no contexto brasileiro. **Revista Agrogeoambiental**, 10(1). <https://doi.org/10.18406/2316-1817v10n120181027>.

Rezende, S. C.; Heller, L. **O Saneamento no Brasil: políticas e interfaces**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002. 310 p.

Silgueiro, V. F.; et al. Dimensions of the 2020 wildfire catastrophe in the Pantanal wetland: the case of the municipality of Poconé, Mato Grosso, Brazil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i15.22619>.

Sposito, J. et al. Influence of Land Use and Cover on Toxicogenetic Potential of Surface Water from Central-West Brazilian Rivers. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 76, n. 3, p. 483–495, 15 jun. 2024.

Trata Brasil. 2021. **Em 2019, mais de 81 mil crianças de 0 a 4 anos foram internadas devido às doenças de veiculação hídrica**. - Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/em-2019-mais-de-81-mil-criancas-de-0-a-4-anos-foram-internadas-devido-as-doencas-de-veiculacao-hidrica/>>.

Trata Brasil. 2022. **Cabeceiras do Pantanal** - Trata Brasil. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/cabeceiras-do-pantanal/>>. Acesso em: 18 jul. 2024.

Tonetti, Adriano Luiz et al. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas**: referencial para a escolha de soluções. Biblioteca/Unicamp. Campinas, São Paulo, v. 153, 2018.

Tonon, Kesse et al. **Modelagem da qualidade da água utilizando os modelos Streeter-Phelps e QUAL-UFMG na Bacia do Rio Lambari-Poços de Caldas (MG)**. 2014. Disponível em: <http://bdtd.unifal-mg.edu.br:8080/handle/tede/618>.

Vanderlei, L. C. M; Silva, G. A. P; Braga, J. U. Fatores de risco para internamento por diarreia aguda em menores de dois anos: estudo de caso-controle. **Cadernos de saúde pública**, v. 19, p. 455-463, 2003. Disponível em: [https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource\\_ssm\\_path=/media/assets/csp/v19n2/15411.pdf](https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/csp/v19n2/15411.pdf)

Viana et al. Occurrence of contaminants of emerging concern and their risks to the Pantanal Sul-Mato-Grossense aquatic biota, Brazil. **Chemosphere**, v. 337, p. 139429–139429, 1 jul. 2024.

## **Avaliação da cristalinidade de caulinitas em solos ao redor de lagoas salino-alcálicas do Pantanal da Nhecolândia, MS, Brasil**

Ingred Nóbrega Teixeira<sup>1</sup>  
André Renan Costa e Silva<sup>2</sup>  
Débora Ayumi Ishida<sup>3</sup>  
Adolpho José Melfi<sup>3</sup>  
Celia Regina Montes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociências (IGc/USP)  
Rua do Lago, 562 - Butantã  
05508-080 - São Paulo - SP, Brasil  
ingrednobrega@usp.br

<sup>2</sup>Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP)  
Av. Centenário, 303 - São Dimas  
13400-970 - Caixa Postal 96 - Piracicaba, SP, Brasil.  
andrerenan00@usp.br

<sup>3</sup>Instituto de Energia e Ambiente (IEE/USP)  
Av. Professor Luciano Gualberto, 1289 - Butantã  
05508-900 - São Paulo - SP, Brasil  
{deboraisida; ajmelfi; crmlauar}@usp.br

**Resumo.** O estudo da estrutura cristalina de caulinitas revela uma complexidade devido ao elevado número de defeitos estruturais, como os de empilhamento, que podem influenciar na sua formação e suas propriedades. Com o objetivo de avaliar o grau de ordem-desordem estrutural (“cristalinidade”) para contribuir com os estudos pedogenéticos em desenvolvimento na sub-região da Nhecolândia, foram analisadas caulinitas dos solos nos entornos de lagoas com águas salino-alcálicas. O grau ordem-desordem estrutural foi avaliado por meio do índice de cristalinidade (ICDIR) obtido a partir da espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). A aplicação do ICDIR permitiu separar dois conjuntos de caulinitas: a montante das topossequências as caulinitas são mais ordenadas (média de ICDIR = 0,99) que aquelas mais próximas às lagoas (média de ICDIR = 0,94). Estes resultados são diretamente ligados aos menores e maiores teores de ferro, respectivamente, observados nestes locais. Os resultados indicam que os processos pedogenéticos atuantes ao longo das vertentes têm influência na ordem-desordem estrutural das caulinitas.

**Palavras-chave:** estrutura cristalina, caulinita, goethita, hematita, FTIR, Pantanal.



**Abstract.** The study of the crystalline structure of kaolinites reveals complexity due to the high number of structural defects, such as stacking defects, which can influence its formation and properties. With the aim of evaluating the degree of structural order-disorder (“crystallinity”) to contribute to pedogenetic studies being developed in the Nhecolândia sub-region, kaolinites were analyzed from soils surrounding lakes with saline-alkaline waters. The degree of structural order-disorder was evaluated using the crystallinity index (ICDIR) obtained from spectroscopy in the Fourier transform infrared region (FTIR). The application of ICDIR made it possible to separate two sets of kaolinites: upstream of the toposequences, where the kaolinites are more ordered (average ICDIR = 0.99) than those closer to the lakes (average ICDIR = 0.94). These results are directly linked to the lower and higher iron contents, respectively, observed in these locations. The results indicate that the pedogenetic processes acting along the slopes have an influence on the structural order-disorder of kaolinites.

**Key-words:** crystalline structure, kaolinite, goethite, hematite, FTIR, Pantanal.

## 1. Introdução

A presença de impurezas na estrutura cristalina de caulinitas ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), argilomineral comum na fração argila de solos e sedimentos, pode alterar suas propriedades. Na estrutura cristalina da caulinita, filossilicato em camadas 1:1, podem ocorrer substituições isomórficas de  $\text{Al}^{+3}$  por  $\text{Fe}^{+3}$  na folha octaédrica. Tais camadas são contínuas nos eixos cristalográficos a e b e estão empilhadas ao longo do eixo c formando uma estrutura cristalográfica triclinica, Klein & Dutrow (2009). Em geral, o teor de ferro, quando presente na estrutura de caulinitas, não ultrapassa 1% de sua composição, Biswas et al. (2023), contudo, existe a probabilidade de que quanto mais ferro disponível no meio maior a probabilidade de ocorrerem substituições parciais de Al pelo Fe, aumentando os defeitos estruturais. Trabalhos que procuram estabelecer índices para avaliar a ordem-desordem estrutural (“cristalinidade”) de caulinitas utilizam resultados de padrões de difratometria de raios-X, Ishida et al. (2018) e referências citadas, ou espectros obtidos por espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), Clozel et al. (1994); Allard, (1994); Johnston et al. (2008). Neste trabalho a avaliação da ordem-desordem estrutural de caulinitas utilizou o índice DIR (ICDIR) a partir dos espectros de FTIR.

Solos no entorno de lagoas salino-alcálicas do Pantanal da Nhecolândia se desenvolvem em condições físico-químicas distintas capazes de influenciar os processos pedogenéticos mesmo em áreas restritas de poucas centenas de quilômetros. Cerca de 7,25% das lagoas que compõem o sistema flúvio-lacustre regional são classificadas como salino-alcálicas (Pereira et al, 2020) e subdivididas entre ambientes oligotróficos (túrbidos ou vegetados) e eutróficos, Pellegrinetti et al. (2022) e estão localizadas a pequenas distâncias umas das outras. A mineralogia desses solos é composta por quartzo, feldspatos, micas, caulinita, esmectita e ilita, além de calcita e óxidos e oxi-hidróxidos de ferro (goethita e hematita), sendo as caulinitas encontradas na grande maioria dos horizontes de solos do entorno de lagoas salino-alcálicas (Costa-Silva et al. 2024 e referências citadas). Defeitos estruturais em caulinitas podem estar associados, como mencionado, às condições físico-químicas e, de maneira geral, aos processos pedogenéticos responsáveis pelas características observadas dos solos. Ishida et al. (2018), mostraram como os processos pedogenéticos podem influenciar na ordem estrutural de caulinitas assinalando, por exemplo, o papel do pH e do carbono orgânico dissolvido como agentes importantes no processo.

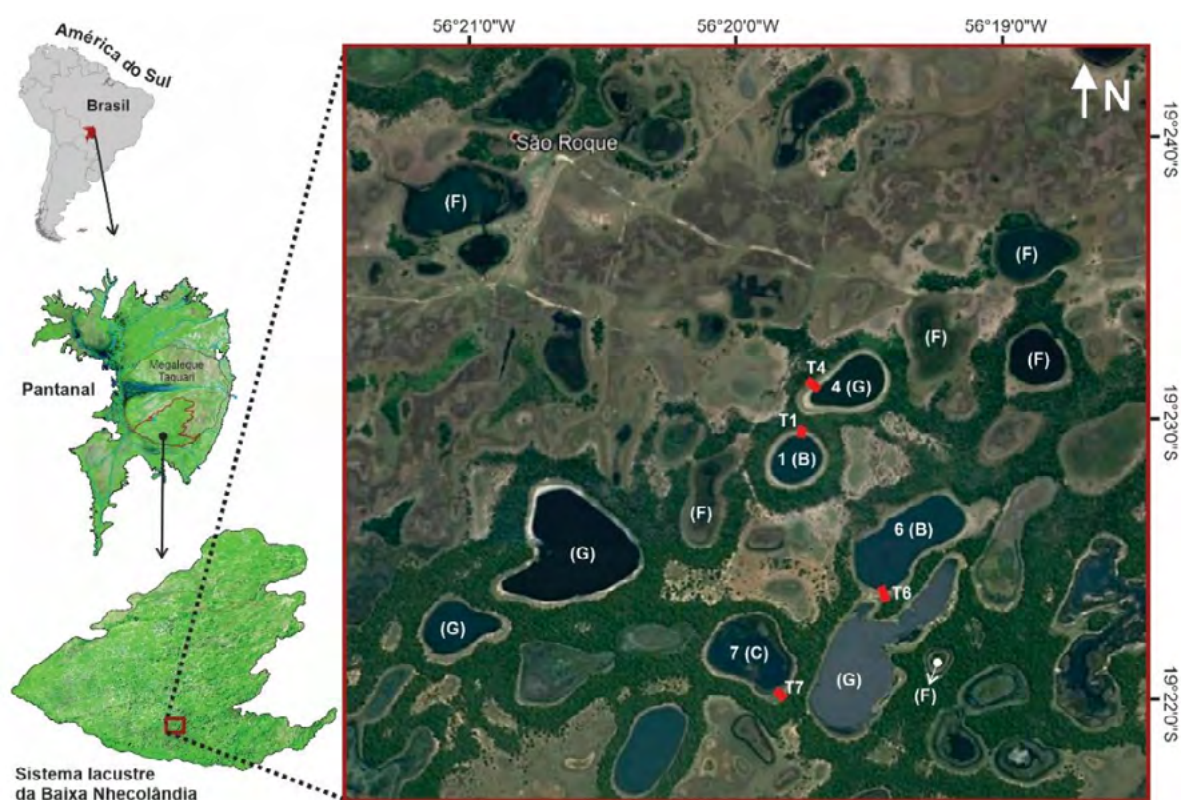
A disponibilidade de ferro em ambiente de formação de caulinitas pode permitir sua entrada na estrutura cristalina destes minerais. Nos solos no entorno das lagoas salino-alcálicas aqui estudados, goethita ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ) e hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) são observadas ao longo das toposequências T1, T4, T6 e T7 e o valor médio de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é 1,75% (Costa-Silva et al., 2024). Goethita e hematita ocorrem associadas ao processo de intemperismo de silicatos contendo ferro. A presença dessas fases minerais nos solos estudados reflete a solubilidade do ferro, as condições ambientais

predominantes, a disponibilidade e a influência de cátions em solução e suas misturas.

Modelos termodinâmicos incluem processos pedogenéticos envolvendo óxidos e oxihidróxidos de ferro como responsáveis pela manutenção da acidificação de horizontes do solo, mostrando a participação deles entre fases minerais e espécies solúveis (Merdy et al., 2022).

## 2. Objetivo

A avaliação da ordem-desordem estrutural de caulinitas (“cristalinidade”) pode fornecer informações sobre as condições físico-químicas e processos pedogenéticos atuantes durante sua de cristalização. Assim, foi o objetivo do trabalho avaliar o grau de ordem-desordem estrutural de caulinitas, por meio da FTIR, dos solos do entorno de lagoas salino-alcálinas da sub-região da Nhecolândia (**Figura 1**), contribuindo com os estudos pedogenéticos em desenvolvimento na área.



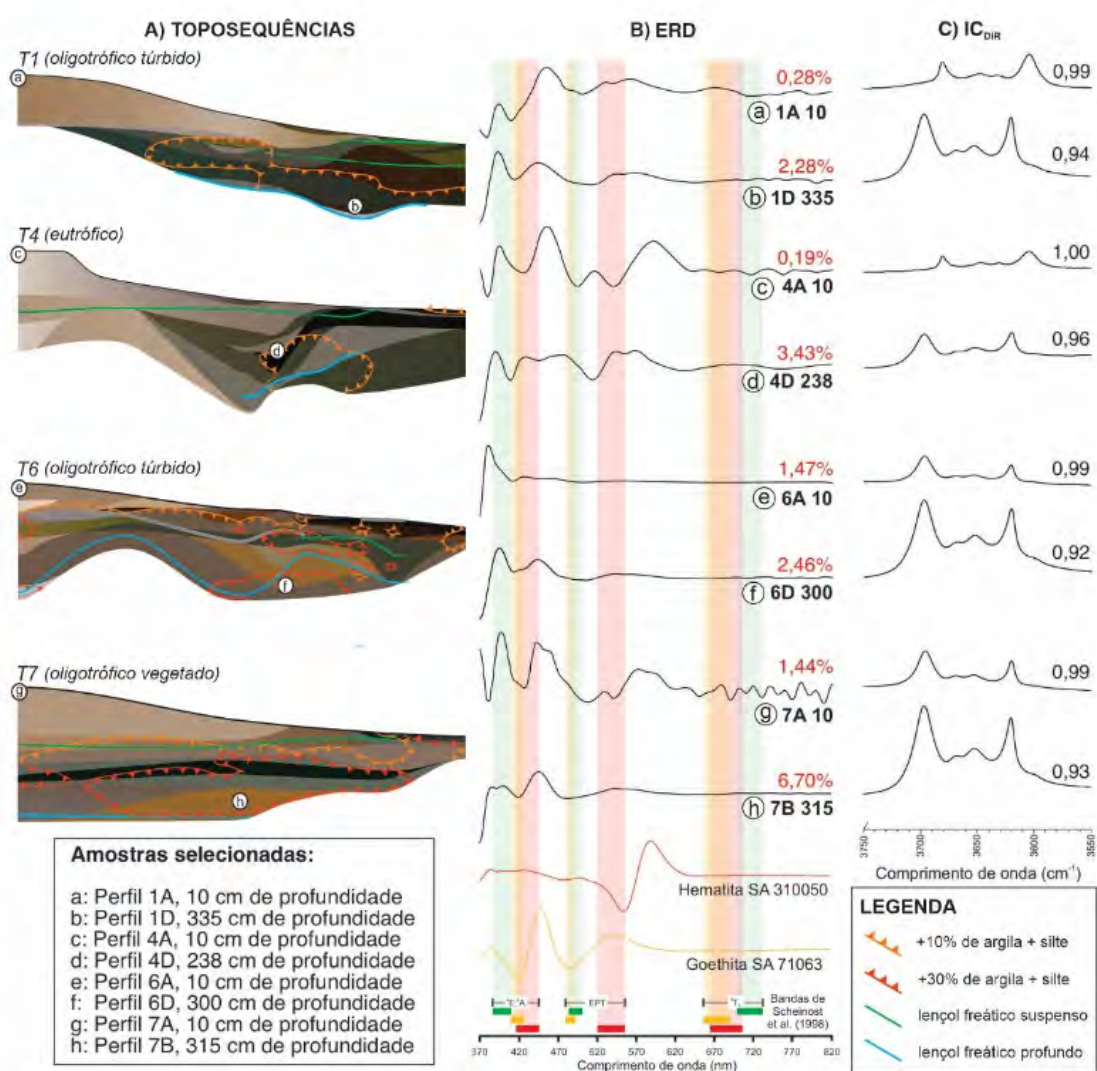
**Figura 1.** Local de estudo – Lagoas salino-alcálinas da Nhecolândia, Pantanal, Brasil (1 e 6 - água preta - oligotróficas túrbidas; 4 – água verde - eutrófica; 7 – água cristalina -oligotrófica vegetada), com as respectivas localizações das topossequências em vermelho (T1, T4, T6 e T7).  
Fonte: : Costa-Silva et al. (2024).

## 3. Material e Métodos

Amostras selecionadas são derivadas das quatro topossequências (T1, T4, T6 e T7) estudadas por Costa-Silva et al. (2024), situadas na Fazenda São Roque (Aquidauana, MS), priorizando o contraste entre regiões a montante, onde teores de ferro total são menores, e regiões na meia vertente com maior teor de ferro (**Figura 2A e B**). Para as análises por FTIR foram confeccionadas pastilhas com mistura de brometo de potássio (KBr) e amostra da fração argila dos solos sem matéria orgânica, e as medidas realizadas em espectrofotômetro Shimadzu IR

Prestige-21 à radiação de 400 a 4600  $\text{cm}^{-1}$ . Os espectros foram obtidos no modo de absorbância. O ICDIR é definido como a razão entre absorbâncias aparentes nos números de onda 3649 e 3669  $\text{cm}^{-1}$ , característicos de caulinitas, cujos valores próximos de 1 indicam caulinitas com alta ordem estrutural Clozel et al.,(1994); Allard et al., (1994).

Goethita de hematita foram caracterizadas por espectroscopia de reflectância difusa (ERD) em amostras de terra fina seca em estufa (TFSE) moída, em triplicata, entre 350 e 840nm no espectrofotômetro Varian Cary 5 com esfera integradora coberta com Halon (Labsphere) e comparadas com bandas características destes minerais Scheinost et al., (1998). Teores de ferro total, apresentados na **Figura 2** foram quantificados no laboratório Actlabs (Canadá) pela técnica de espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS).



**Figura 2.** A) Localização das amostras selecionadas (a, b, c, d, e, f, g e h) no perfil de solo e profundidade de coleta. Os horizontes dos solos são diferenciados por cores e texturas: marrom claro arenoso, marrom amarelado argiloso, marrom oliva escuro arenoso, cinza esverdeado claro argiloso, cinza escuro arenoso, cinza esverdeado escuro argiloso, cinza arenoso endurecido e cinza claro arenoso B) Espectros gerados por ERD com marcação de bandas de absorção características ( ${}^4E$ ;  ${}^4A$ , EPT e  ${}^4T_2$ ) de Scheinost et al. (1998) e espectros de padrões comerciais Sigma-Aldrich de hematita (310050) e goethita (71063). Os percentuais em vermelho equivalem ao ferro total obtidos por ICP-MS. C) Bandas de vibração de estiramento de OH<sup>-</sup> da caulinita, obtidas por FTIR, em preto está o ICDIR (Clozel et al., 1994; Allard et al., 1994), com valores em preto.

#### 4. Resultados e Discussão

Os valores de ICDIR foram entre 0,92 e 1, indicando, de maneira geral, caulinitas bem ordenadas (**Figura 2C**). Valores de ICDIR mais próximos de 1, melhor ordem estrutural, estão associados aos menores teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (**Figura 2B**). Independentemente do tipo de ambiente (**Figura 2A**), amostras a montante das topossequências, logo, mais distantes das lagoas, apresentam maiores valores de ICDIR (valor médio de 0,99), enquanto amostras mais próximas às lagoas e com maiores teores em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  apresentam os menores valores de ICDIR (valor médio de 0,94).

Hematita e goethita foram observadas em todas as amostras (**Figura 2B**). Em algumas amostras foram observadas bandas características de ferrihidrita Scheinost et al., (1998). Não foi possível quantificar goethita e hematita. Entretanto, é possível sugerir que nas amostras de maior profundidade nos perfis, que apresentam maiores teores das frações granulométricas mais finas (silte e argila) (**Figura 2A**), estão as maiores concentrações destes minerais, uma vez que, em geral, em condições de superfície, estes minerais formam pequenos cristais. Os resultados observados, considerando os valores de ICDIR e os teores de ferro, indicam que este elemento pode ser o responsável por defeitos estruturais das caulinitas. Em estudos publicados sobre sistemas semelhantes aos solos aqui estudados citados em Costa-Silva et al. (2024) e referências citadas, os autores assinalam a presença de Fe-caulinita como um dos minerais secundários esperados, o que está de acordo com nossos resultados.

#### 5. Conclusão

A aplicação do ICDIR permitiu separar dois conjuntos de caulinitas de acordo com sua ordem-desordem estrutural. Nas amostras de montante das topossequências as caulinitas são mais ordenadas ( $\text{IC}_{\text{DIR}} = 0,99$ ) que aquelas mais próximas às lagoas ( $\text{IC}_{\text{DIR}} = 0,94$ ). Estes resultados são diretamente ligados aos menores e maiores teores de ferro, respectivamente, nestes locais. As características físicas (granulometria) e físico-químicas dos solos a montante e daqueles mais próximo as lagoas salino-alcálicas são distintas, indicando que os processos pedogenéticos atuantes têm influência na ordem-desordem estrutural das caulinitas.

#### 6. Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP pelo financiamento da pesquisa (Projetos FAPESP 16/14227-5) e ao CNPq (Projeto 2023/1813) pela bolsa de estudos (I.N. Teixeira).

#### 6. Referências

- Allard, Thierry et al. Radiation-induced paramagnetic defects in natural kaolinites: Alpha dosimetry with ion beam irradiation. **Physics and Chemistry of Minerals**, v. 21, n. 1, p. 85-96, 1994.
- Biswas, Bhabananda et al. Understanding iron impurities in Australian kaolin and their effect on acid and heat activation processes of clay. **ACS omega**, v. 8, n. 6, p. 5533-5544, 2023.
- Clozel, Blandine; Allard, Thierry; Muller, Jean-Pierre. Nature and stability of radiation-induced defects in natural kaolinites: new results and a reappraisal of published works. **Clays and Clay Minerals**, v. 42, n. 6, p. 657-666, 1994.
- Costa-Silva, André Renan et al. Soils surrounding saline-alkaline lakes of Nhecolândia, Pantanal, Brazil: Toposequences, mineralogy and chemistry. **Geoderma Regional**, v.36, p. e00746, 2024.
- Ishida, Débora Ayumi et al. Influence of pedogenetic processes on the validity of kaolinite crystallinity indices: a case study of an Amazonian Ferralsol-Podzol soil system with white kaolin. **Applied Clay Science**, v. 162, p. 435-442, 2018.

Johnston, Cliff T. et al. Low-temperature FTIR study of kaolin-group minerals. **Clays and Clay Minerals**, v. 56, n. 4, p. 470-485, 2008.

Klein, Cornelis; Duntrow, Barbara. **Manual de ciência dos minerais**. Bookman Editora, 2009.

Merdy, Patricia et al. Processes and rates of formation defined by modelling in alkaline to acidic soil systems in Brazilian Pantanal wetland. **Catena**, v. 210, p. 105876, 2022.

Pellegrinetti, T.A., Cotta, S.R., Sarmiento, H., Costa, J.S., Delbaje, E., Montes, C.R., Camargo, P.B., Barbiero, L., Rezende-Filho, A.T., Fiore, M.F. Bacterial communities along environmental gradients in tropical soda lakes. **Microbial Ecology**. 2022.

Pereira, Osvaldo JR et al. Estimating water pH using cloud-based landsat images for a new classification of the Nhecolândia Lakes (Brazilian Pantanal). **Remote Sensing**, v. 12, n. 7, p. 1090, 2020.

Scheinost, C.; Chavernas, A.; Barron, V.; Torrent, J. Use and limitations of second-derivative diffuse reflectance spectroscopy in the visible to near-infrared range to identify and quantify Fe oxide minerals in soils. **Clays and Clay Minerals**, v. 46, n. 5, p. 528-536, 1998.

## **Análise comparativa de soluções metodológicas para detecção de água no Pantanal**

Jonas Ramos Pimentel <sup>1</sup>  
Carla Bernadete Madureira Cruz <sup>2</sup>  
Felipe Gonçalves Amaral <sup>3</sup>

<sup>1 2 3</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Departamento de Geografia – IGEO/CCMN/UFRJ  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274  
Prédio do CCMN, Bloco G, Sala 25  
21941-916 Cidade Universitária  
Rio de Janeiro – RJ – Brasil  
{Jonaspimentel97; carlamad; f.g.amaral19}@gmail.com

**Resumo.** Recentemente, o Pantanal brasileiro vem enfrentando problemas de escassez hídrica e grandes incêndios, em parte relacionados ao aumento das atividades antrópicas na região, como o avanço do agronegócio e da pecuária extensiva. Com a crescente disponibilidade de dados espaciais, está sendo possível monitorar e quantificar os problemas que afetam o bioma, na busca de padrões espaço-temporais. Diversas iniciativas gratuitas, em termos de dados e softwares, estão viabilizando pesquisas na região, permitindo compreender e mitigar esses impactos. Este trabalho tem como objetivo analisar materiais e métodos que visem identificar a presença de água superficial no Pantanal através dos sensores dos satélites MODIS, Landsat 8 e Sentinel 2 para o ano de 2020 na plataforma *Google Earth Engine*, aplicando os índices NDVI, MNDWI e NDWI. O estudo busca determinar a melhor alternativa para a identificação da água no Pantanal brasileiro. Os resultados indicam que o MNDWI é o índice mais eficaz para a identificação da água, devido à sua capacidade de se adaptar a áreas alagadas e com maior umidade, diferentemente dos outros índices. O sensor MODIS identificou mais áreas de água utilizando o MNDWI, possivelmente por causa de sua resolução espacial, que normalmente amplia sua mistura espectral. No entanto, os sensores do Landsat 8 e Sentinel 2 proporcionam um delineamento mais preciso dos corpos d'água, graças às suas maiores resoluções espaciais. Essas conclusões ressaltam a importância de escolher o índice e o sensor adequados para o monitoramento da água no Pantanal, contribuindo para a gestão e conservação deste bioma crucial

**Palavras-chave:** Pantanal, sensoriamento remoto, Google Earth Engine, índices espectrais.

**Abstract.** Comparative analysis of methodological solutions for water detection in the Pantanal. Recently, the Brazilian Pantanal has been facing water scarcity issues and large fires, partly related to the increase in human activities in the region, such as the expansion of agribusiness and extensive cattle ranching. With the growing availability of spatial data, it has become possible to monitor and quantify the problems affecting the biome, seeking spatio-temporal patterns. Various free initiatives in terms of data and software are enabling research in the region, allowing for the understanding and mitigation of these impacts. This study aims to analyze materials and methods that seek to identify the presence of surface water in the Pantanal using MODIS, Landsat 8, and Sentinel 2 satellite sensors for the year 2020 through the Google Earth Engine platform, applying the NDVI, MNDWI, and NDWI indices. The study seeks to determine the best alternative for identifying water in the Brazilian Pantanal. The results indicate that the MNDWI is the most effective index for water identification due to its ability to adapt to flooded areas and higher humidity, unlike the other indices. The MODIS sensor identified more water areas using the MNDWI, possibly because of its spatial resolution, which typically enhances its spectral mixing. However, the Landsat 8 and Sentinel 2 sensors provide a more precise delineation of water bodies due to their higher spatial resolutions. These conclusions highlight the importance of choosing the appropriate index and sensor for water monitoring in the Pantanal, contributing to the management and conservation of this crucial biome.

**Key-words:** Pantanal, remote sensing, image processing, wetlands.

## 1. Introdução

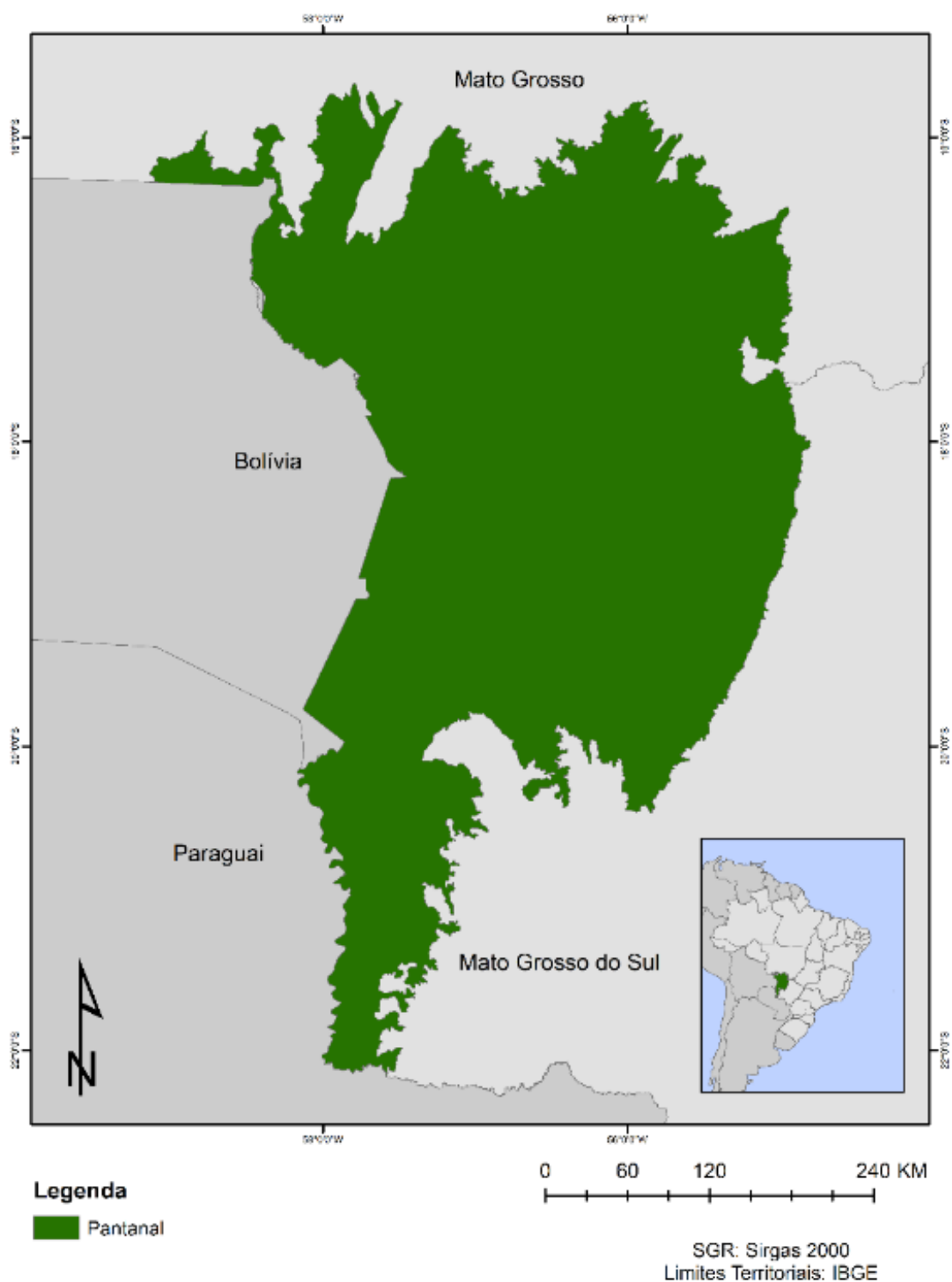
O Pantanal Brasileiro (**Figura 1**) representa uma das maiores extensões de área alagável do planeta, com aproximadamente 150 mil km<sup>2</sup>, distribuídos entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul no território brasileiro, abrange ainda parte do Paraguai e da Bolívia, região conhecida como Chaco IBGE, (2024). Segundo Galvanin et al. (2014), o período seco no Pantanal ocorre entre os meses de maio e outubro, com julho sendo o mês menos chuvoso, já o período com maiores índices pluviométricos vai de novembro a abril, com janeiro sendo o mês mais chuvoso.

Nos últimos anos, o Pantanal vem sofrendo com grandes mudanças que impactaram severamente seu ecossistema, principalmente relacionadas aos incêndios. Dados de Cobertura e Uso da Terra, de queimadas e de recursos hídricos produzidos pelo MapBiomias (2024), apontam que o Pantanal foi o bioma mais afetado pelo processo de perda hídrica entre os anos de 1985 a 2023, o que agrava de forma extremamente preocupante o controle de incêndios na região. Sua natureza transfronteiriça amplifica sua importância para além das fronteiras nacionais, destacando a necessidade crescente de preservação de sua biodiversidade Fernandes E Compello, (2023).

Abdo et al. (2024) e Brigante e Lopes (2021) comentam que a chegada do agronegócio no bioma do Pantanal resultou em profundas mudanças na agricultura da região. A introdução de novas tecnologias ocasionou um aumento significativo do desmatamento, principalmente associado às queimadas e aos métodos de aceleração do plantio. Os incêndios provocados pelas atividades do agronegócio criaram perturbações rápidas e inesperadas no ecossistema, deixando um rastro de devastação na paisagem da região Abdo et al., (2024); Brigante e Lopes, (2021).

As atividades humanas relacionadas ao agronegócio e a expansão das áreas destinadas à pastagem, especialmente em períodos de baixa pluviosidade, diminuem a capacidade do bioma em se manter estável. Com isso, pode-se concluir que a interferência humana vem representando grandes ameaças ao ecossistema do Pantanal Reis et al., (2023), principalmente no contexto das mudanças climáticas.

É importante salientar que as queimadas em larga escala para a agricultura e a expansão das áreas de pastagem provocam perturbações com maior magnitude e com maiores prejuízos ambientais, do que aquelas feitas pelos povos tradicionais da região Brigante e Lopes (2021). Fernandes e Campello (2023) complementam ao dizer que o aumento na frequência, intensidade e escala dessas queimadas ilegais, ultrapassam a capacidade do bioma de suportar e gerenciar



**Figura 1.** Localização do Pantanal Brasileiro.

Fonte: Os autores, 2024.

perturbações provocadas em seus limites.

No Brasil, comenta Pádua (2022), as consequências da intensificação das atividades humanas no meio ambiente resultaram em graves casos de injustiça ambiental, que afetaram negativamente populações tradicionais e camponesas que vivem nesses locais de grande aceleração das atividades industriais. Essa situação foi em grande parte provocada pela expansão



das indústrias poluentes e de grandes projetos relacionados ao agronegócio e mineração Pádua, (2022).

Práticas de exploração dos recursos naturais sem o devido controle estão colocando o meio terrestre em uma situação de tragédia iminente, o que eventualmente levará a uma perda inestimável dos ecossistemas terrestres Abdo et al., (2024).

Com o avanço do sensoriamento remoto e o desenvolvimento de plataformas de análise espacial, novas técnicas para a produção de mapeamentos dos diversos usos e coberturas da superfície terrestre foram desenvolvidas. Esses mapeamentos têm viabilizado o monitoramento das mudanças que ocorrem na superfície terrestre de forma gratuita, além de possibilitar a identificação dos agentes responsáveis por essas alterações, sejam eles de origem natural ou antrópica.

Diante do atual contexto, é de extrema importância desenvolver métodos eficazes para a identificação e o monitoramento dos corpos d'água, áreas alagadas e áreas úmidas no Pantanal Brasileiro. As práticas de exploração dos recursos naturais sem o devido controle estão colocando o meio terrestre em uma situação de tragédia iminente, o que eventualmente levará a uma perda inestimável dos ecossistemas terrestres Abdo et al., (2024).

## 2. Objetivos

O presente estudo tem como objetivo principal analisar a resposta dos índices NDWI (*Normalized Difference Water Index*), MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*) e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) na detecção de água no Pantanal brasileiro em diferentes resoluções espaciais, por meio de imagens dos satélites MODIS, Landsat 8 e Sentinel 2. A escolha desses satélites se deve ao fato de serem gratuitos e de oferecerem facilidade de acesso às imagens por meio da plataforma *Google Earth Engine*.

Inicialmente, a pesquisa buscará identificar qual dos índices listados é mais eficaz na detecção de corpos d'água e áreas alagadas no Pantanal. Posteriormente, será realizada uma comparação entre os diferentes sensores empregados, com o objetivo de compreender como as distintas características destes sensores podem influenciar a capacidade de detecção de água superficial no bioma.

## 3. Materiais e Métodos

A fim de identificar as áreas com água no Pantanal, foram construídos dois mosaicos de imagens utilizando imagens *Surface Reflectance* dos satélites Landsat 8 (LANDSAT/LC08/C02/T1\_L2), Sentinel 2 (COPERNICUS/S2\_SR\_HARMONIZED) e MODIS (MODIS/061/MOD09A1), referentes aos períodos seco e período úmido de 2020. A escolha do ano de 2020 foi motivada pelo fato de que se trata de um ano com menor influência de fatores climáticos que poderiam interferir nos resultados. Posteriormente, foram aplicados os índices espectrais NDWI, MNDWI e NDVI. Embora esses índices possuam aplicabilidades específicas, foram destacados os intervalos em que a água pode ser identificada e mapeada.

Os índices espectrais são o resultado de operações matemáticas aplicadas aos valores físicos, numéricos, dos pixels nas diferentes bandas de uma imagem de satélite, a fim de ressaltar alguma propriedade que ajude na distinção de determinados objetos nas imagens Shiratsuchi et al., (2014).

O NDWI é um índice desenvolvido por McFeeters (1996) com o objetivo de realçar corpos d'água abertos. Para isso, o autor propõe a utilização das bandas do verde (GREEN) e do infravermelho próximo (NIR - *Near Infrared*) na seguinte fórmula:

$$\text{NDWI} = \frac{(\text{NIR} + \text{SWIR})}{(\text{NIR} - \text{SWIR})}$$

Uma das variações que surgiram do NDWI de McFeeters (1996) foi o MNDWI de Xu (2006). Este índice propõe uma melhoria na identificação de corpos d'água, substituindo a banda do infravermelho próximo pelo Verde (Green), como pode ser observado na fórmula abaixo:

$$\text{MNDWI} = \frac{(\text{GREEN} + \text{SWIR})}{(\text{GREEN} - \text{SWIR})}$$

O último índice a ser avaliado é o NDVI, desenvolvido por Rouse et al. (1973). Este índice é amplamente utilizado em todo o mundo para avaliar e monitorar a vegetação, através das bandas do infravermelho próximo e do vermelho (RED). Embora o NDVI não tenha sido originalmente criado para identificar corpos d'água, é possível delimitar essas feições em parte dos valores negativos do índice. O NDVI é representado pela seguinte fórmula:

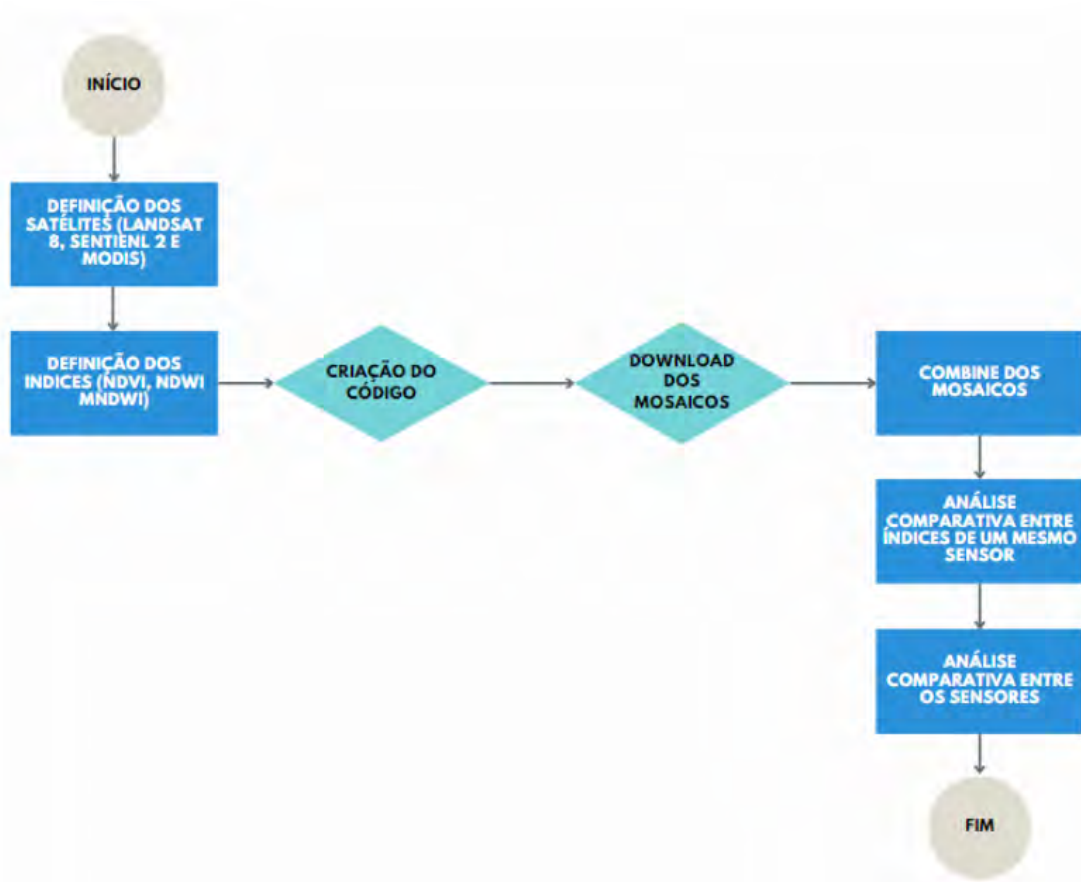
$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} + \text{RED})}{(\text{NIR} - \text{RED})}$$

Para a presente pesquisa, foram considerados como indicativos de presença de corpos d'água os valores positivos do NDWI e do MNDWI (intervalo de 1 a 0) e os valores negativos do NDVI (intervalo de 0 a -1), devido a alguns testes feitos nos mosaicos das imagens. As bandas correspondentes são: verde, infravermelho próximo, infravermelho médio e vermelho, representadas respectivamente pelas bandas 2, 4, 5 e 1 do MODIS; 5, 3, 6 e 4 do Landsat 8; e 8, 3, 11 e 4 do Sentinel 2.

Os mosaicos e os índices espectrais foram gerados e calculados no *CodeEditor* da plataforma do *Google Earth Engine*, uma plataforma gratuita de análise espacial que opera por meio de uma API, geralmente *JavaScript* ou *Python*. Uma das principais vantagens de se utilizar esta plataforma é a possibilidade de processar imagens Landsat, Sentinel 2 ou MODIS de forma rápida e sem a necessidade de um hardware potente. Além disso, a plataforma fornece uma grande variedade de algoritmos que auxiliam no tratamento das imagens, como os filtros de remoção de nuvens.

Foi utilizada a coleção de imagens do MODIS com resolução de 500 m devido à necessidade de utilizar bandas com resolução maior que 250 m. Por outro lado, foi possível manter a resolução de 10 m do Sentinel 2 por meio do algoritmo de criação dos mosaicos na plataforma do *Google Earth Engine*, mesmo com a inclusão da banda do infravermelho médio, que possui 20 m de resolução. Não houve alteração na resolução do mosaico do Landsat 8, que manteve a resolução dos pixels em 30 m.

Depois das classificações de água e não água para cada sensor e índice espectral, foram feitas análises comparativas utilizando a ferramenta "*Combine*" no ArcGIS Pro. Esta ferramenta permitiu a comparação dos valores de cada pixel nos mosaicos, baseando-se nos índices avaliados e no período em que as composições de imagens foram criadas. A (**Figura 2**) apresenta o fluxograma com as etapas metodológicas.



**Figura 2.** Fluxograma Metodológico da elaboração dos índices e dos mosaicos do Pantanal.

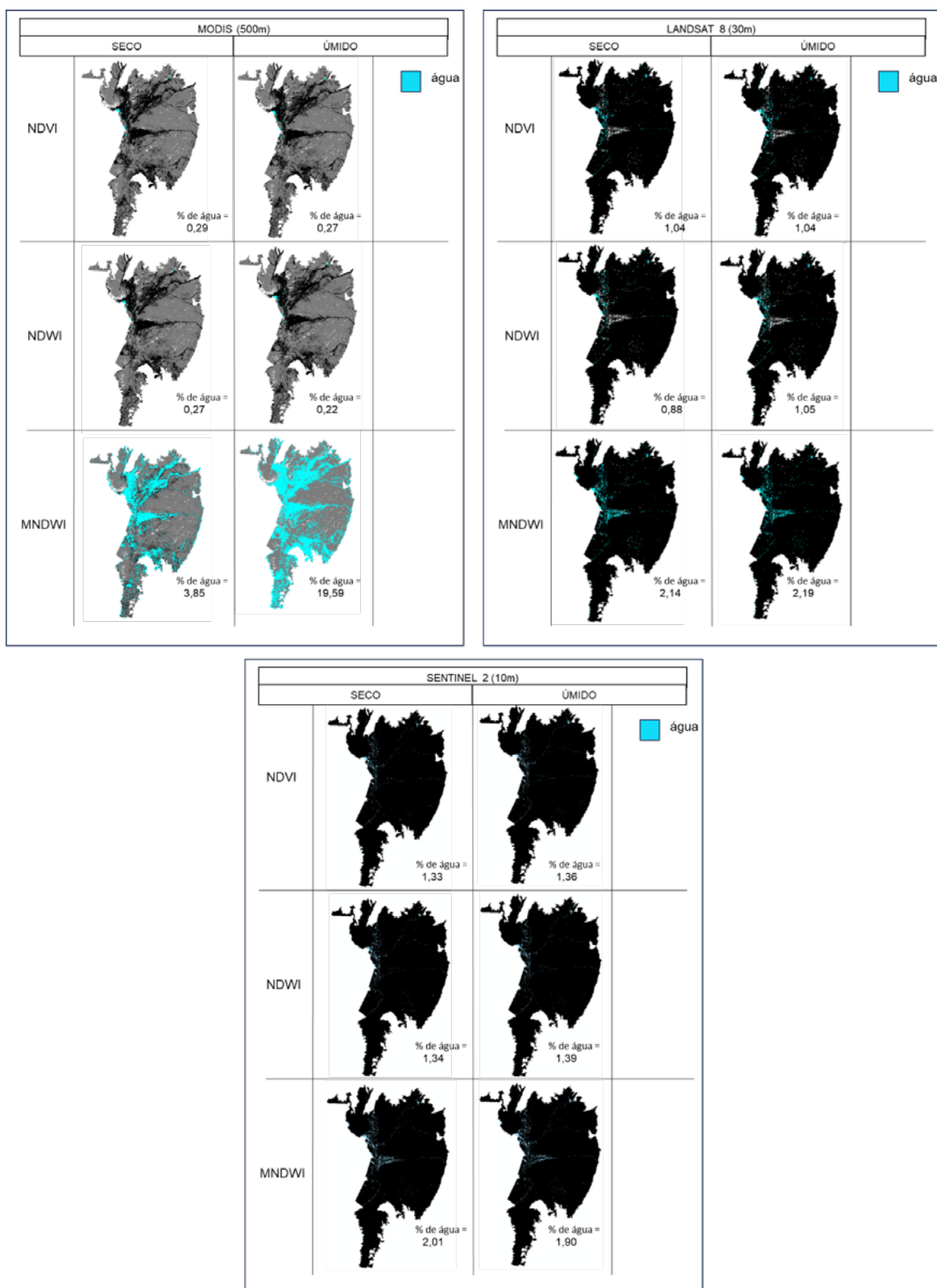
Fonte: Os autores, 2024.

#### 4. Resultados e Discussão

Os primeiros resultados gerados foram os mosaicos com os valores dos índices para cada sensor. Conforme mencionado anteriormente, considerou-se como água os valores de 1 a 0 para o NDWI e o MNDWI, e de -1 a 0 para o NDVI. A figura a seguir (**Figura 3**) indica a quantidade de água identificada por cada índice para cada um dos satélites, tanto no período seco quanto no período úmido.

Por meio da (**Figura 3**) é possível constatar que o MNDWI é o índice que efetivamente indica uma maior presença de água em todos os sensores. Além disso, é o índice que apresenta as maiores variações entre os períodos seco e úmido, com variações de 15,74%, 0,17% e 0,11% para o MODIS, Landsat 8 e Sentinel 2, respectivamente. Este fato pode ser explicado pela capacidade do MNDWI de identificar com maior precisão áreas de alagamento e áreas úmidas, onde a água se encontra misturada com a vegetação. É importante destacar que os valores do MNDWI para o MODIS apresentaram uma variação significativa em comparação com outros sensores, o que pode ser atribuído à sua resolução espacial, que frequentemente amplia a mistura espectral.

O NDVI e o NDWI, por outro lado, foram os índices que apresentaram menor eficácia na identificação de corpos d'água nas composições analisadas. Ambos os índices demonstraram percentuais de detecção de água muito próximos entre si. A capacidade desses índices de identificar corpos d'água foi bastante limitada, restringindo-se principalmente a feições de água mais bem definidas. No entanto, áreas com características de água menos definidas, como



**Figura 3.** Água Identificada por cada índice e satélite no Pantanal.

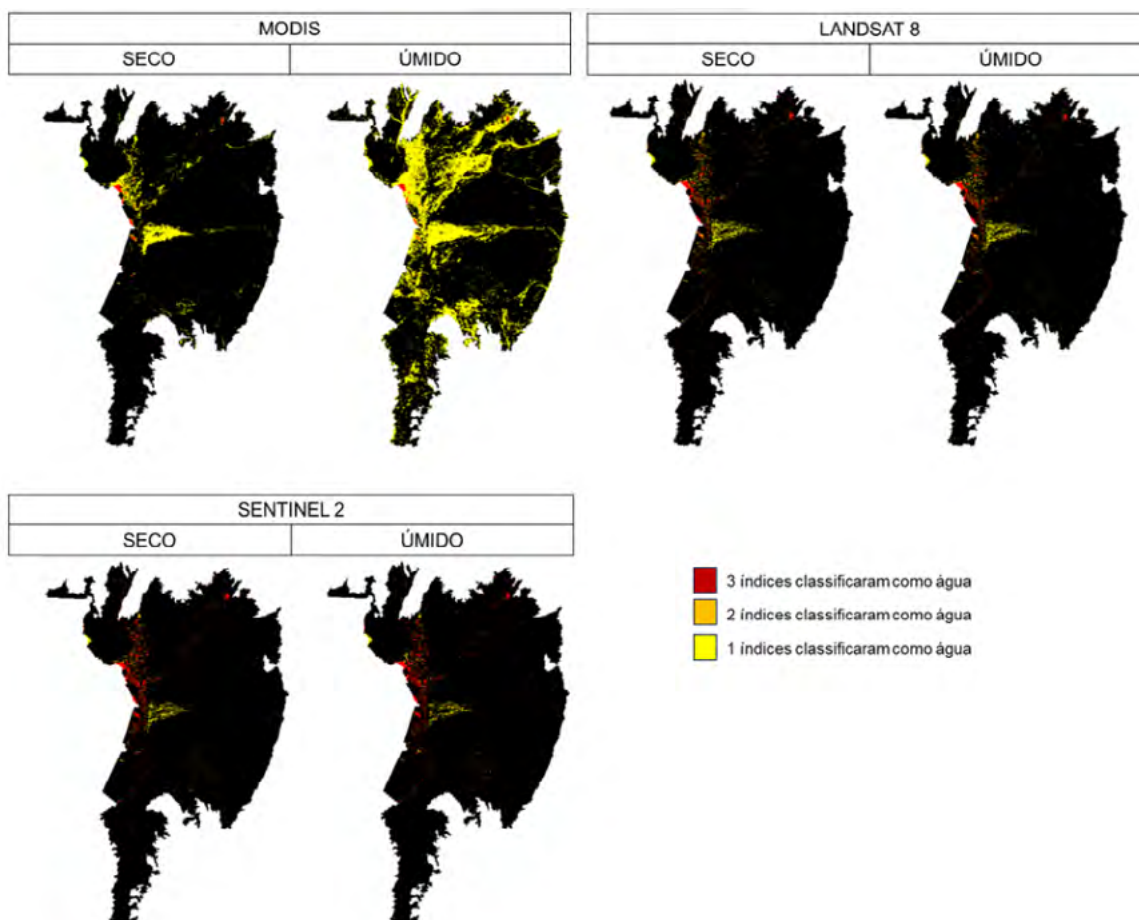
Fonte: Os autores, 2024.

zonas úmidas temporárias e pequenos corpos d'água dispersos, apresentaram baixa detecção, evidenciando as limitações do NDVI e do NDWI na detecção de água em contextos mais complexos.

Para fins de comparação, o MapBiomias (2024) identificou, para o Pantanal no ano de 2020, um total de 456.200 ha de superfícies de água, o que corresponde a aproximadamente 3,04% do território total do bioma. Esse valor está mais próximo ao encontrado pelo MNDWI no período seco do MODIS, mas difere consideravelmente dos demais. Algumas das possíveis causas para essa discrepância incluem os métodos de tratamento de imagens utilizados pela instituição, bem como a utilização de um mosaico anual, o que pode resultar em algumas variações nos dados.

A etapa de análise seguinte consistiu na criação de um “combine” juntando os três índices de sensor para os dois períodos, com a finalidade de identificar o total de água encontrada pelos satélites. A (Figura 4), apresentada a seguir, ilustra as áreas de água identificadas por cada um dos três sensores utilizando os índices NDVI, NDWI e MNDWI. As áreas destacadas em vermelho representam a concordância mútua entre todos os índices na identificação de água. As áreas em laranja indicam a concordância entre dois índices, enquanto as áreas em amarelo representam a identificação de água por apenas um índice.

A análise visual da (Figura 4) permite concluir que o MODIS foi o satélite que mais identificou a cobertura de água no período seco e no período úmido. A maior parte da água identificada por este sensor foi classificada pelo índice MNDWI durante o período úmido.



**Figura 4.** Áreas com concordância na identificação de água por um ou mais índices no Pantanal.

Fonte: Os autores, 2024.

A (**Tabela 1**) fornece maior detalhamento sobre o percentual de concordância de cada índice para cada satélite, permitindo uma análise comparativa mais aprofundada.

A (**Tabela 1**) demonstra que a maior parte da quantidade de água registrada por todos os satélites foi atribuída a apenas um índice. As regiões onde a água foi identificada por todos os satélites correspondem à segunda maior taxa de concordância. Apenas essas avaliações não garantem a presença de água na região, no entanto, pode-se afirmar que essas áreas possuem uma alta probabilidade de conter água superficial, uma vez que todos os índices foram capazes de detectar a presença de água nessas localidades.

**Tabela 1.** Percentual de concordância na identificação de água por cada índice e satélite no Pantanal.

	Modis		
	1 índice	2 índices	3 índices
Seco	3,57%	0,03%	0,26%
Úmido	19,33%	0,06%	0,21%
	Landsat 8		
	1 índice	2 índices	3 índices
Seco	1,06%	0,39%	0,75%
Úmido	1,08%	0,12%	0,98%
	Sentinel 2		
	1 índice	2 índices	3 índices
Seco	0,74%	0,23%	1,17%
Úmido	0,60%	0,16%	1,23%

Fonte: Os autores, 2024.

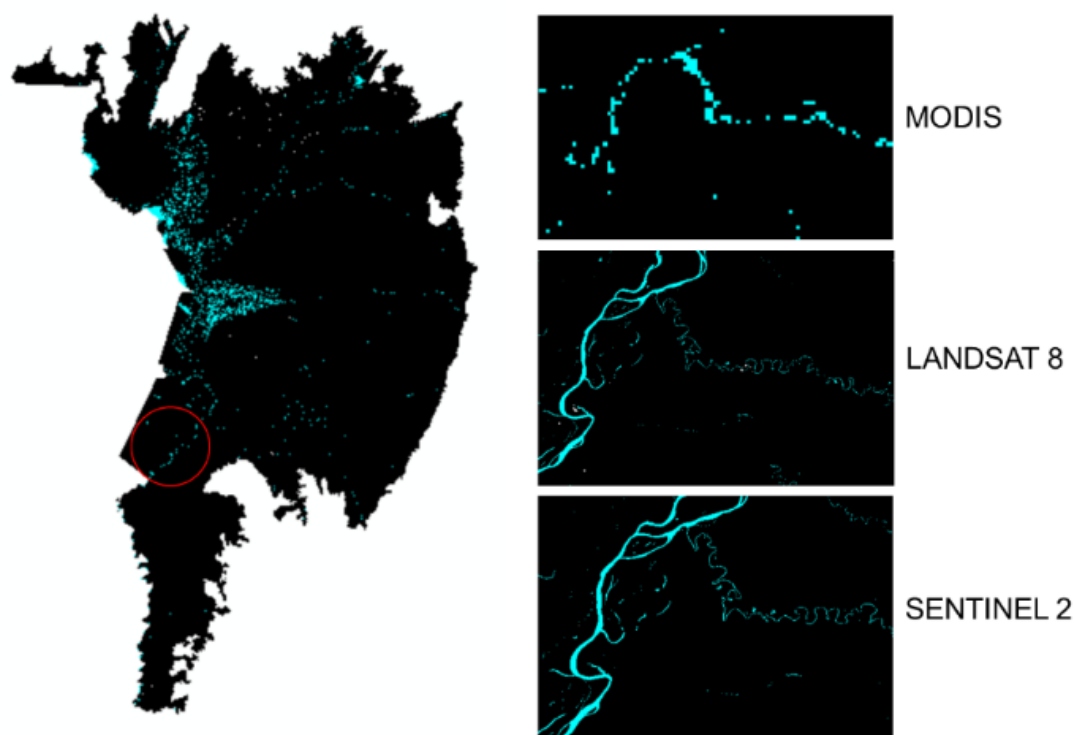
Por fim, em relação à resolução espacial dos sensores, é importante ressaltar que o tamanho dos pixels do MODIS dificulta a construção de um mosaico de imagens sem interferências de nuvens. Além disso, o satélite não é a melhor escolha para estudos locais que exigem maior detalhamento de feições específicas de água. Essa limitação pode ser observada na (**Figura 5**), que ilustra a dificuldade em capturar detalhes finos em determinadas áreas utilizando o sensor MODIS.

## 5. Conclusão

Diante do que foi avaliado, é possível concluir que o MNDWI é o índice que melhor consegue identificar água no Pantanal quando comparado ao NDWI e ao NDVI, para todos os sensores do MODIS, LANDSAT 8 e SENTINEL 2. Isso pode ser em decorrência a sua maior capacidade de identificar alagadas e com maior mistura de água e vegetação.

O MODIS foi o sensor que mais conseguiu encontrar água no presente estudo no MNDWI. No entanto, possivelmente por resolução espacial de 500m dificultar a identificação de corpos d'água menores em escala Pantanal, foi o que menos conseguiu identificar a água nos índices do NDWI e do NDVI.

Cada um desses sensores apresenta características específicas que influenciam diretamente na precisão e a abrangência dos dados coletados. Com isso, a combinação e comparação de múltiplos sensores junto a outros dados proporcionam uma visão ampla e mais completa das dinâmicas presentes na superfície terrestre.



**Figura 5.** Diferença da resolução espacial de cada satélite no Pantanal.

Fonte: Os autores, 2024.

Este trabalho visa contribuir com os estudos de análise de padrões espaciais e temporais, propondo apresentar qual o comportamento de diferentes índices espectrais e de sensores na identificação da água. A análise detalhada desses padrões é fundamental para se compreender as variações espaciais ao longo do tempo e suas consequências para o meio ambiente.

O presente estudo é de caráter inicial e tem como próximos passos o aperfeiçoamento do método de identificação de corpos d'água e a integração de dados secundários. Os objetivos envolvem principalmente a compreensão da trajetória histórica do Pantanal e projetar possíveis cenários futuros para o bioma.

## 6. Referências

Abdo, J. P., et al. A ameaça das queimadas no Pantanal: a supressão progressiva do bioma e a amnésia coletiva. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, v. 17, n. 3, p. e5749-e5749, 2024.

Brigante, G. G.; Lopes, T. L. As fumaças no antropoceno: entre incêndios e céus cadentes. *Aurora. Revista de Arte, Mídia e Política*, v. 14, n. 41, p. 75-96, 2021.

Biblioteca IBGE: Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/biomas/#/home>> Acesso em: 09 de jul. de 2024.

Fernandes, T. F. N. U.; Campello, L. G. B. A proteção jurídica do Pantanal, na época do antropoceno, e a garantia do direito humano ao meio ambiente equilibrado. *Revista Argumentum - Argumentum Journal of Law*, v. 24, n. 3, p. 477-500, 2024.

Galvanin, E. A. D. S.; Neves, S. M. A. D. S.; Cruz, C. B. M.; Neves, R. J.; Jesus, P. H. H. D.; Kreitlow, J. P. Avaliação dos índices de vegetação NDVI, SR e TVI na discriminação de fitofisionomias dos ambientes do Pantanal de Cáceres/MT. *Ciência Florestal*, v. 24, n. 3, p. 707-715, 2014.

MapBiomias. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/2022/11/11/2021-e-o-ano-mais-seco-no-pantanal->

desde-1985-com-area-umida-de-16-milhao-de-hectares/> Acesso em: 09 de jul. de 2024.

McFeeters, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.

Pádua, J. A. Localizando a história do antropoceno: o caso do Brasil. In: Danowski, D.; Viveiros de Castro, E.; Saldanha, R. (Eds.). **Os Mil Nomes de Gaia: do Antropoceno à Idade da Terra**, Vol. 1. Rio de Janeiro: Machado, 2022.

Reis, J. B. C., et al. Diagnóstico das áreas queimadas no Pantanal entre 2001 e 2020. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 20., 2023, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2023/05.07.19.22/doc/155980.pdf>.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS**. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., 1973, Washington, DC. Technical Presentations. Washington, DC: NASA, 1973. p. 309-317. (NASA SP-351).

Shiratsuchi, L. S.; Brandão, Z. N.; Vicente, L. E.; Victoria, D. D. C.; Ducati, J. R.; Oliveira, R. P. de; Vilela, M. D. F. **Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão**. In: Bernardi, A. C. C.; Naime, J. M.; Resende, A. V.; Bassoi, L. H. (Eds.), 2014. p. 58-73.

Xu, H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006.



## Identificação de índices de vegetação e bandas multiespectrais para estimativa de clorofila total por imagens de VANT

Marley Lamounier Machado<sup>1</sup>  
Kamila Fernanda de Souza<sup>1</sup>  
Margarete Lordelo Volpato<sup>2</sup>  
Vanessa Castro Figueiredo<sup>2</sup>  
Sthéfany Airane dos Santos<sup>2</sup>  
Vania Aparecida Silva<sup>2</sup>  
Maria Helena Ramos <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG  
Av. José Cândido da Silveira 1647, Belo Horizonte, MG, 31170-495  
kamilafs@ufmg.br; marley@epamig.br

<sup>2</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG Sul  
Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 37200-000  
{margarete; vcfigueiredo; vania.silva}@epamig.br;  
sthefany.santos<sup>1</sup>@estudante.ufla.br;

Embrapa Café  
Campus da Universidade Federal Lavras - UFLA.  
Rodovia Lavras/Ijaci Km <sup>02</sup>, Lavras, MG  
helena.alves@embrapa.br

**Resumo.** O presente estudo objetivou a identificação de índices de vegetação e de bandas multiespectrais que melhor estimam a clorofila total por imagens de VANT, com base em estatística multivariada. Embora o estudo tenha sido realizado em áreas cafeeiras de Minas Gerais, a metodologia proposta pode ser utilizada em outras culturas e em diferentes locais, como áreas agrícolas pantaneiras. Os experimentos foram realizados em uma área de 1,2 hectares cultivada com *Coffea arabica* L, em Três Pontas, Minas Gerais. A pesquisa ocorreu em três épocas de pouca precipitação (agosto de 2020, 2021 e 2022). Foram amostrados 30 pontos, georreferenciados utilizando GNSS RTK Trimble R8, no qual mediu-se o teor de clorofila total foliar nas seções médio, inferior e superior das plantas, utilizando o medidor Clorofilog. As imagens aéreas foram capturadas com o VANT EBBE-SQ Sensefly, equipada com um sensor multiespectral compreendendo as bandas Red, Nir, Green e Red Edge. As imagens foram processadas e mosaicadas utilizando o software Pix4D Mapper. Com base nas imagens mosaicadas, foram calculados 34 índices de vegetação - IV's. Para determinar quais IV's e/ou bandas multiespectrais que melhor explicam a variabilidade observada, foi aplicada a técnica de Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS). Houve explicação de quase 92% da variabilidade dos dados com 3 componentes principais. O coeficiente de correlação (r) foi superior a 0,8. A análise da variância demonstrou que o modelo foi significativo. Os IV's RDVI, SAVI e MCARI2, foram os que melhor representam a clorofila total.

**Palavras-chave:** UAV, Drone, sensoriamento remoto, processamento de imagens, geoprocessamento, multivariada.

**Abstract.** The aim of this study was to identify vegetation indices and multispectral bands that best estimate total chlorophyll using UAV images, based on multivariate statistics. Although the study was carried out in coffee-growing areas of Minas Gerais, the proposed methodology can be used for other crops and in different locations, such as agricultural areas in the Pantanal. The experiments were carried out in an area of 1.2 hectares cultivated with *Coffea arabica* L, in Três Pontas, Minas Gerais. The research took place during three periods of low rainfall (August 2020, 2021 and 2022). 30 points were sampled, georeferenced using GNSS RTK Trimble R8, in which the total leaf chlorophyll content was measured in the middle, lower and upper sections of the plants, using the Chlorophyll meter. The aerial images were captured using the EBBE-SQ Sensefly UAV, equipped with a multispectral sensor comprising the Red, Nir, Green and Red Edge bands. The images were processed and mosaicked using Pix4D Mapper software. Based on the mosaicked images, 34 vegetation indices (VIs) were calculated. To determine which IVs and/or multispectral bands best explained the observed variability, the Partial Least Squares (PLS) regression technique was applied. Almost 92% of the variability in the data was explained by 3 main components. The correlation coefficient ( $r$ ) was over 0.8. The analysis of variance showed that the model was significant. The RDVI, SAVI and MCARI2 IVs best represented total chlorophyll.

**Key-words:** UAV, Drone, Remote Sensing, Image Processing, Geoprocessing, Multivariate.

## 1. Introdução

A integração de tecnologias na agricultura tem revolucionado a forma como as culturas são monitoradas e gerenciadas. Nesta perspectiva, destaca-se o uso de VANTs ao longo de todo o processo agrícola, seja no controle de pragas, na pulverização, irrigação ou no mapeamento e identificação de falhas e estresse no plantio. Rodrigues e Barros (2019) ressaltam que o uso de VANTs tem se tornado a alternativa mais sustentável e eficaz no mercado, uma vez que permitem rapidez na identificação de processos que comprometem a produtividade da cultura e, conseqüentemente, possibilitam maior eficiência na correção.

A agricultura de precisão exige a análise de diversas variáveis que influenciam o desenvolvimento das plantas, como a estrutura foliar, a capacidade de absorção de água e nutrientes. Entre esses fatores está o teor de clorofila, que pode ser utilizado para estimar o potencial fotossintético de uma planta, dada a sua relação com a absorção e transferência de energia luminosa e ao crescimento em diferentes ambientes Dias et al., (2016). Além disso, devido à grande presença de N nas moléculas de clorofila, as medidas de clorofila também permitem a identificação de deficiência de nitrogênio na cultura. A deficiência de nitrogênio (N) compromete a produção de clorofila, essencial para a fotossíntese, ocasionando em folhas menores, redução da biomassa e, por conseqüência, à formação de grãos de menor qualidade Prasertsak; Fukai, (1997). Diversos são os métodos utilizados para quantificar este teor, sendo os mais tradicionais a maceração por acetona seguida de leitura no espectrofotômetro, o que são destrutivos e demorados Amarante et al., (2009). Logo, novas alternativas tornam-se interessantes na quantificação dos teores de clorofila. O uso de VANTs equipados de sensores espectrais se destaca entre essas novas alternativas por, além de permitir uma estimativa não destrutiva, possibilitar a utilização em grandes áreas com maior rapidez e exatidão em comparação aos métodos por caminhamento terrestre. Com isso, objetivou-se neste trabalho aplicar o uso de VANTs equipados com sensores multiespectrais para a quantificação do teor de clorofila em uma lavoura de café, bem como a determinação dos índices de vegetação e/ou de bandas multiespectrais que melhor expliquem a clorofila total. E assim, demonstrar a eficácia dessa metodologia na estimativa in situ do pigmento e contribuir para o avanço das técnicas de monitoramento e manejo de diferentes culturas. Embora o estudo tenha sido realizado em áreas cafeeiras, a metodologia proposta pode ser utilizada em outras culturas e em diferentes locais, tais como as áreas agrícolas do perímetro do Pantanal mato-grossense.

## 2. Objetivo

Identificação os índices de vegetação e bandas multiespectrais que melhor estima a clorofila total por imagens de VANT com base em estatística multivariada.

## 3. Material e Métodos

Este estudo foi realizado em uma área de 1,2 hectares cultivada com *Coffea arabica* L., cultivar Topázio MG 1190, localizada no Campo Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), no município de Três Pontas, Minas Gerais, com coordenadas centrais de 21°20'27.69"S e 45°29'11.95"O. A pesquisa ocorreu em períodos secos, nos meses de agosto de 2020, agosto de 2021 e agosto de 2022.

Na área de estudo foram amostrados 30 pontos e que foram georreferenciados utilizando um sistema GNSS RTK Trimble R8. Em cada ponto, foram realizadas medições do teor de clorofila total foliar nas seções médio, inferior e superior das plantas, utilizando o medidor Clorofilog (Falker Automação Agrícola). Este medidor avalia o Índice de Clorofila Falker (ICF) por meio da medição da radiação transmitida através das folhas em três comprimentos de onda distintos — dois na faixa do vermelho e um no infravermelho próximo.

As imagens aéreas foram capturadas com o VANT EBEE-SQ Sensefly, equipada com um sensor multiespectral Parrot Sequoia, para as bandas Red (630-690 nm), Nir (790-860 nm), Green (520-590 nm) e Red Edge (730-750 nm), com uma resolução de 7 cm por pixel. O voo para coleta das imagens foi realizado entre 11:00 e 13:00 horas para minimizar a influência da geometria da iluminação solar. As imagens foram capturadas com uma sobreposição de 70% e, posteriormente, processadas e mosaicadas utilizando o software Pix4D Mapper, resultando em uma imagem de reflectância para cada banda espectral. O georreferenciamento dos mosaicos foi ajustado no Pix4D usando pontos de controle obtidos também pelo GNSS RTK da Trimble (R8).

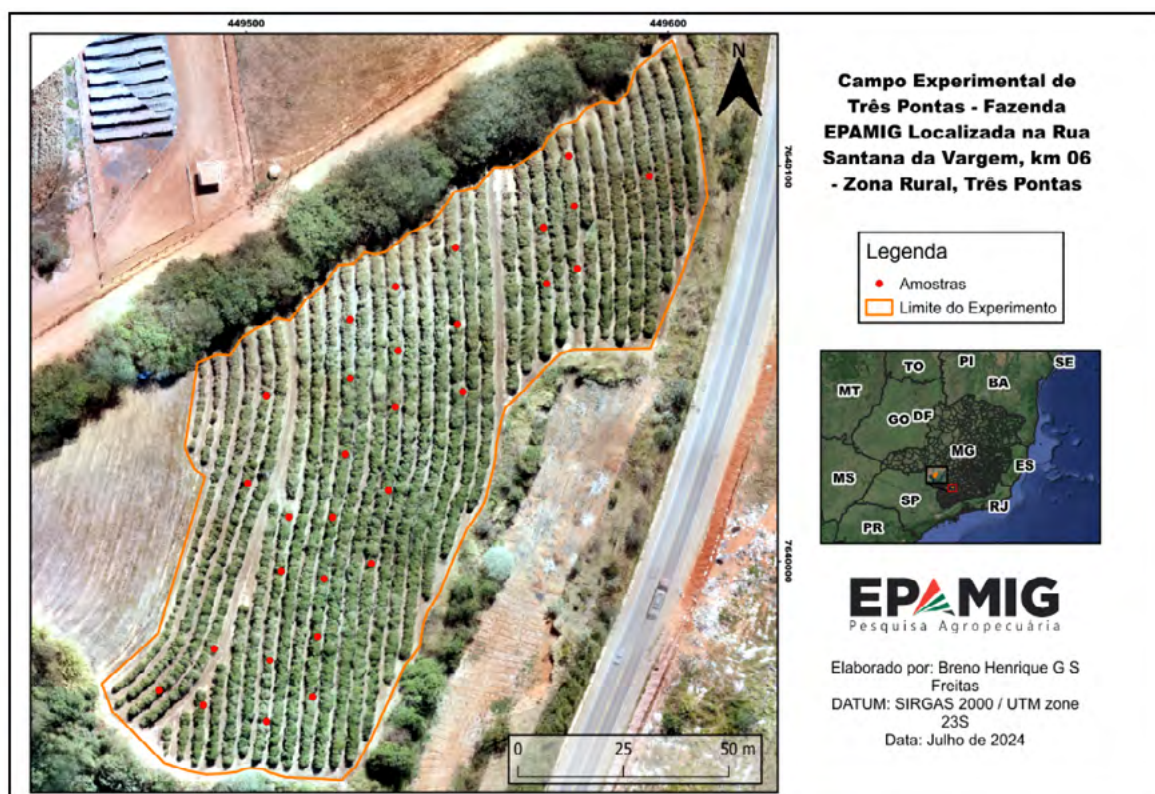
Com base nas imagens mosaicadas, foram calculados 34 IV's: Normalized Difference Water Index – NDWI Mcfeeters, (1996), Modified Soil-adjusted Vegetation Index - MSAVI 1 e 2 Goel et al., (1994), Green Optimized SAVI – OSAVIGRE Rondeaux et al., (1996), Green Ratio Vegetation Index – GRVI Buschmann e Nagel, (1993), Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index 2 - MCARI 2 Haboudane et al., (2004), Renormalized Difference Vegetation Index - RDVI Tucker, (1979), Global Environmental Monitoring Index – GEMI Pinty e Verstraete, (1992), Transformed Normalized Vegetation Index – TNDVI Rouse et al., (1973), Optimized SAVI – OSAVI Rondeaux et al., (1996), Green Soil-Adjusted Vegetation Index – SAVIGRE (Huete, 1988), SoilAdjusted Vegetation Index – SAVI Huete, (1988), Red-Edge Optimized SAVI – OSAVIREG Rondeaux et al., (1996), Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index – MCARI Daughtry et al., (2000), Normalized Difference Vegetation Index – NDVI (Rouse et al., 1973), Ratio Vegetation Index – RVI Birth, (1968), Chlorophyll Index Green – Cigreen (Gitelson, 2003), Difference Vegetation Index – DVI Tucker, (1979), Transformed Chlorophyll Absorption Ratio – TCARI Haboudane et al., (2002), Red-Edge Renormalized Difference Vegetation Index – RDVIREG Kim et al., (1994), Normalized Difference Red-Edge – NDRE Gitelson e Merzlyak, (1997), Green Normalized Difference Vegetation Index – GNDVI Gitelson,(1996), MERIS Terrestrial Chlorophyll Index - MTCI Dash e Curran, (2004), Modified Simple Ratio – MSR Chen, (1996), Rededge Chlorophyll Index – Clredege Gitelson, (2003), Green Optimal Soil Adjusted Vegetation Index (L=0) - GOSAVIL0 Roundeaux, (1996), Green Optimal Soil Adjusted Vegetation Index (L=1) - GOSAVIL1 Roundeaux, (1996), Green Soil Adjusted Vegetation Index (L=0) - GSAVIL0 Sripada et al., (2006), Green Soil Adjusted Vegetation Index (L=1) - GASAVIL1 Sripada et al., (2006), Difference Vegetation

Index Green - DVIGRE Tucker, (1979), Difference Vegetation Index Red – DVIRED He et al., (2015), Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance – MCPOS Zarco-Tejada et al., (2004), Chlorophyll Index Red-Edge – Clredege Gitelson, (2003), Modified Simple Ratio Red-Edge – MSRRE Chen, (1996), Transformed Chlorophyll Absorption in Reflectance Index – TCPOS Haboudane et al., (2002). Esses índices foram analisados para avaliar a relação com a variabilidade do teor de clorofila. Além disso, foram utilizadas as quatro bandas: Green, NIR (Near Infrared), Red e Rededge.

Para determinar quais IV's que melhor explicam a variabilidade observada, foi aplicada a técnica de Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS). A PLS é eficaz para lidar com um grande número de variáveis correlacionadas e pequenos conjuntos de dados, permitindo modelar a relação entre um conjunto de variáveis preditoras (IV) e uma variável resposta (teor de clorofila) em situações em que o número de preditores é maior que o número de observações e existe alta correlação entre as variáveis. A construção dos modelos PLS baseou-se na Análise de Componentes Principais (CP), que decompõe os dados em matrizes de scores e loadings. Os scores representam as coordenadas dos objetos ao longo dos eixos principais, enquanto os loadings indicam a contribuição de cada variável para esses eixos. Dessa forma, ao selecionar os componentes principais que explicam a maior parte da variância dos dados e analisar os loadings associados a esses componentes, foi possível identificar os IV's que mais contribuem para a explicação da variabilidade do teor de clorofila.

#### 4. Resultados e Discussão

A (Figura 1) apresenta o mosaico na área em estudo, incluindo a localização dos locais de amostras.



**Figura 1.** Área cafeeira e locais de amostras, município de Três Pontas, Minas Gerais.

A (**Tabela 1**) apresenta os valores de contribuição (variância) e o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) dos CP's pela regressão PLS entre bandas multiespectrais e IV's. Observa-se que a partir do terceiro componente houve explicação de quase 92% da variabilidade dos dados, permitindo assim a redução da dimensionalidade dos dados originais. Com o valor do coeficiente de correlação (r) superior a 0,81 no segundo e terceiros coeficiente, entende-se que há uma forte correlação positiva entre a clorofila total e os três primeiros componentes principal. Análise da variância para Clorofila Total utilizando a regressão PLS demonstrou que o modelo foi altamente significativo (p=0,000).

**Tabela 1.** Variância, coeficiente de determinação e de correlação das componentes principais.

Componente	Variância do Componente	Variância	R <sup>2</sup>	r
1	0,5836	0,5836	0,3386	0,5819
2	0,1909	0,7745	0,6605	0,8126
3	0,1450	0,9195	0,6860	0,8283

A (**Tabela 2**) apresenta os valores de carga componente principal da primeira, segunda e terceira componente principal. Foram destacados em cada banda e IV as contribuições de cada CP cujos valores são superiores à sua respectiva mediana absoluta, no caso, 0,1962 (CP1), 0,1617 (CP2) e 0,0908 (CP3).

**Tabela 2.** Valores de “carga” dos Componentes Principais dos Índices de Vegetação.

IV	CP1	CP2	CP3	IV	CP1	CP2	CP3
RDVI	0,2083	-0,1995	0,0842	CLgreen	0,1804	-0,0395	-0,2853
SAVI	0,2027	-0,2103	0,0920	NIR	0,1301	-0,2897	0,1569
MCARI2	0,2218	-0,1673	0,0710	MCPOS	0,1758	-0,1998	0,0896
SAVIGRE	0,1922	-0,2028	-0,1399	TCPOS	-0,2437	0,0296	0,0372
DVI	0,1788	-0,2465	0,1195	GSAVIL0	0,1699	-0,0461	-0,3050
OSAVI	0,2215	-0,1626	0,0578	TCARI	-0,2387	0,0223	0,0418
MSAVI2	0,1848	-0,1454	-0,2186	NDVI	0,2342	-0,0596	-0,0023
GOSAVIL1	0,1708	-0,2525	0,1318	TNDVI	0,2321	-0,0621	0,0022
OSAVIREG	0,1976	-0,2100	0,0718	RVI	0,2236	-0,0806	-0,0017
GEMI	0,1687	-0,2583	0,1239	GSAVIL1	0,0940	-0,1958	0,3293
GOSAVIL0	0,2268	-0,0966	0,0893	MSRREG	-0,0846	-0,2568	-0,2537
RVIGRE	0,2439	-0,0689	-0,0511	DVIGRE	-0,1116	-0,2260	0,1727
DVIRED	0,2190	-0,1632	0,0234	REDEDGE	0,1218	0,0690	0,3370
GNDVI	0,2361	-0,0875	-0,0483	MTCI	0,1239	0,1610	-0,2072
NDWI	-0,2361	0,0875	0,0483	CLrededge	-0,0333	0,0027	0,4003
RED	-0,1431	-0,2664	-0,1762	<b>Legenda:</b>			
OSAVIGRE	0,1494	-0,2713	0,1421	Maior CP1, CP2 e CP3			
NDRE	0,2100	0,0814	-0,1433	abs. mediana >=0,1962			
MSAVI	0,2360	-0,0983	0,0104	abs. mediana >=0,1617			
RDVIREG	0,2329	-0,0818	-0,0414	abs. mediana >=0,0908			
MCARI	0,1947	-0,1740	0,0688				
GREEN	-0,1433	-0,2063	0,2310				
MSR	0,2470	-0,0401	-0,0187				

Observa-se que o RDVI, SAVI e MCARI2, são os que representam a maior contribuição da variabilidade entre os IV's analisados. O RDVI e o SAVI se caracterizam pelo uso da relação entre as bandas do infravermelho e vermelho. Já o MCARI2 utiliza, além das bandas vermelho e infravermelho, a banda do verde. No entanto, estes dois últimos utilizam fatores que ajustam a influência do solo. Rodrigues (2015) ressaltou que o MCARI2 e o RDVI apresentaram um desempenho consistente em sua pesquisa sobre a estimativa da produtividade de grãos de trigo. Da mesma forma, Demarchi et al. (2011) identificaram o SAVI como um índice eficiente para análises temporais do uso do solo, demonstrando sua utilidade na monitorização da vegetação.

Em relação à aplicabilidade, O SAVI, ao minimizar os efeitos da resposta espectral do solo, tem sido amplamente utilizado para estimar parâmetros biofísicos de diferentes culturas, especialmente a estimativa do índice de área foliar (Vicari, 2015). Já o MCARI2 tem seu uso voltado para a medição de clorofila, se destacando entre outros IV's por possuir um fator de ajuste para a resposta do fundo do solo, semelhante ao que ocorre no SAVI Vicari, (2015). O RDVI também é bastante utilizado em trabalhos para medições de clorofila e para o monitoramento de mudanças na vegetação ao longo do tempo, sendo uma renormalização do NDVI com objetivo de reduzir a sensibilidade aos efeitos de background do solo, assim como os demais.

## 5. Conclusões

A dimensionalidade reduzida do conjunto de IV's, obtidos por meio da regressão PLS, permitiu inferir sobre os níveis de clorofila total na cultura quando se utiliza imagens oriundas de VANT. Nessa plataforma, os IV's RDVI, SAVI e MCARI2, foram os que melhor representam a clorofila total.

## 6. Agradecimentos

Consórcio Pesquisa Café, Capes, INCT-Café, CNPq, FAPEMIG, EPAMIG.

## 7. Referências

- Amarante, C. V. T. et al. Quantificação da área e do teor de clorofilas em folhas de plantas jovens de videira 'Cabernet Sauvignon' mediante métodos não destrutivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 31, n. 3, p. 680-686, set. 2009.
- Birth, Gerald S.; MCVEY, George R. Measuring the color of growing turf with a reflectance spectrophotometer 1. **Agronomy Journal**, v. 60, n. 6, p. 640-643, 1968.
- Buschmann, C.; Nagel, E. In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 4, p. 711-722, 1993.
- Chen, J. M. Evaluation of vegetation indices and a modified simple ratio for boreal applications. **Can. J. Remote Sens.** 22, 229-242. 1996.
- Dash, Jadunandan; CURRAN, P. J. **The Meris terrestrial chlorophyll index**. 2004.
- Daughtry, Craig ST et al. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote sensing of Environment**, v. 74, n. 2, p. 229-239, 2000.
- Demarchi, J. C. et al. Análise Temporal do Uso Do Solo e Comparação Entre os Índices de Vegetação NDVI e SAVI no Município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens Landsat-5. **RA'E GA: o Espaço Geográfico em Análise**, p. 234- 271, 2011.
- Dias, L. W. et al. Teor de clorofila e carotenóides de sementes de alface com e sem priming revestidas com diferentes colorações. **Enciclopédia Biosfera**, 2016. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2016b/agrarias/teor%20de%20clorofila.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2024.
- Gitelson, Anatoly A.; Gritz, Yuri; Merzlyak, Mark N. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. **Journal of plant**

**physiology**, v. 160, n. 3, p. 271-282, 2003.

Gitelson, Anatoly A.; Kaufman Y, Merzlyak M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing Environ**, 1996. (He et al., 2015)

Gitelson, Anatoly A.; Merzlyak, Mark N. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. **International journal of remote sensing**, v. 18, n. 12, p. 2691-2697, 1997.

Goel, N. S., Qin, W. H., 1994. Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation indices and LAI and FPAR: a computer simulation. **Remote Sensing Reviews**, 10(4), pp. 309-347. 1994.

Haboudane, D., Miller, J.R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P.J., Dextraze, L. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. **Remote Sens. Environ**. 81 (2-3), 416-426. 2002.

Haboudane, Driss et al. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. **Remote sensing of environment**, v. 90, n. 3, p. 337-352, 2004.

HE, Yong et al. Critical review of fast detection of crop nutrient and physiological information with spectral and imaging technology. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 31, n. 3, p. 174-189, 2015.

HUETE, Alfredo R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

Kim, Moon S. et al. The use of high spectral resolution bands for estimating absorbed photosynthetically active radiation (A par). In: CNES, proceedings of 6th international symposium on physical measurements and signatures in remote sensing. 1994. MCFEETERS, Stuart K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International journal of remote sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.

Pinty, B.; Verstraete, M. M. Gemi: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites. **Vegetatio**, v. 101, p. 15-20, 1992.

Prasertsak, A.; Fukai, S. Nitrogen availability and water stress interaction on rice growth and yield. **Field Crops Research**, v. 52, n. 3, p. 249-260, jun. 1997.

Rodrigues, F. A. High resolution remote and proximal sensing to assess low and high yield areas in a wheat field. **Precision Agriculture**, p. 38-50. 2015.

Rodrigues, S. S.; Barros, M. M.O Uso do VANT e do Sensoriamento Remoto como ferramenta de melhoria das Técnicas de Agricultura de Precisão. **Revisa Digital Simonsen**, nº10, mai. 2019.

Rondeaux, Geneviève; STEVEN, Michael; BARET, Frédéric. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. **Remote sensing of environment**, v. 55, n. 2, p. 95-107, 1996.

Rouse Jr, John W. et al. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. 1973.

Sripada, Ravi P. et al. Aerial color infrared photography for determining early in-season nitrogen requirements in corn. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 4, p. 968-977, 2006.

Tucker, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment** 8 (2), 127-150. 1979.

Vicari, M. B. **Estimativas de variáveis biofísicas da canola com dados espectrais multisensor**. Porto Alegre, 2015.

Zarco-Tejada, P.; Miller, J.; Morales, A.; Berjon. **Remote Sensing Of Environment**, 90, 476. 2004.

## **Detecção de áreas de queimada no Pantanal com o uso de imagens do satélite meteorológico GOES-16**

Renata Ribeiro do Valle Gonçalves <sup>1</sup>  
João Victor Gomes Carneiro <sup>1</sup>  
Felipe de Lorenzi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura  
Cepagri/Unicamp  
Av. André Toselo, 209  
13083-886 - Campinas - SP, Brasil  
renata@cpa.unicamp.br  
j239738@dac.unicamp.br  
florenci@unicamp.br

**Resumo.** Nos últimos anos o Pantanal, maior planície tropical inundada do mundo, vem sofrendo secas severas e está cada vez mais suscetível a ocorrência de queimadas da superfície vegetada. O objetivo do trabalho foi detectar possíveis focos de incêndio e avaliar as áreas de queimadas no Pantanal por meio de índice de vegetação (NDVI), em julho de 2020 e julho de 2024, utilizando imagens de satélite meteorológico GOES-16. Para a detecção e monitoramento dos focos de incêndio em tempo real, utilizou-se produtos de caracterização de focos de incêndio (FCDC) por meio de bandas espectrais do visível e do infravermelho. Para o monitoramento do estado da vegetação foi utilizado o NDVI. Em julho de 2020 foram detectados 1619 focos de incêndio, sendo que em junho e julho de 2024 esse número foi de 2463 focos de incêndio. Com as imagens de NDVI foi possível perceber como a seca no Pantanal foi mais acentuada em 2024. Os produtos provenientes do satélite GOES-16 utilizados nesse trabalho, como FDCF e NDVI, são capazes de monitorar a progressão e a propagação do incêndio da vegetação, auxiliando a orientar as tomadas de decisões para a implantação de sistemas de alertas, fornecendo informações sobre a localização exata dos focos e a propagação de um incêndio.

**Palavras-chave:** séries temporais, focos de incêndio, NDVI, GOES-16.



**Abstract.** The Pantanal, the world's largest tropical floodplain, has recently suffered from severe droughts and is increasingly susceptible to fires on the vegetated surface. The objective of this study was to detect possible fire hot spots and assess the areas of fires in the Pantanal using the vegetation index (NDVI) in July 2020 and July 2024, using images from the GOES-16 meteorological satellite. Fire hot spot characterization products (FCDC) were used to detect and monitor fire hot spots using visible and infrared spectral bands in real time. NDVI was used to monitor the state of the vegetation. In July 2020, 1,619 fire hot spots were detected; in June and July 2024, this number was 2,463 fire hot spots. With the NDVI images, it was possible to see how the drought in the Pantanal was more pronounced in 2024. The products from the GOES-16 satellite used in this work, such as FDCF and NDVI, are capable of monitoring the progression and spread of vegetation fires, helping to guide decision-making for the implementation of alert systems, providing information on the exact location of the fire hot spot and the spread of a fire.

**Key-words:** time series, fire hot spot, NDVI, GOES-16.

## 1. Introdução

O Pantanal é a maior área úmida tropical do mundo, localizado na porção central da América do Sul e com mais de 84% do seu território atualmente preservado (Libonati et al., 2020). Desde 2019, esse bioma vem sofrendo um evento de seca prolongada que foi exacerbado em 2020. Eventos de seca severa e prolongada estão se tornando mais frequentes no Pantanal e nas áreas vizinhas, como o Cerrado e a Amazônia, levando à intensificação do risco de incêndio e à extensão das áreas propensas a incêndios do Pantanal para áreas historicamente inundadas Thielen et al., (2020) e Thielen et al., (2021).

Em 2020, os incêndios no Pantanal chamaram a atenção mundial pelo seu impacto e degradação ambiental, com milhões de animais selvagens mortos e uma vasta área afetada. Aproximadamente quatro milhões de hectares de floresta e savana foram queimados Libonati et al., (2020), Tomas, (2021) e da Silva Junior et al., (2020). Em 2024, a área queimada no primeiro semestre aumentou 529% em relação à média dos anos anteriores. Junho concentrou 79% dessa área, sendo a maior já observada no bioma no período MapBiomias, (2024).

Incêndios, sejam eles naturais ou provocados pelo homem, têm impactos substanciais sobre a sociedade. Incêndios florestais podem destruir vastas extensões de terra, liberando toneladas de aerossóis e gases na atmosfera, enquanto destrói casas, habitats de vida selvagem e valiosos recursos. Além dos fatores sociais e ambientais que contribuíram para os eventos de incêndio no Pantanal, as recentes mudanças no clima também estão sendo discutidas sobre a intensificação desses eventos. De acordo com Marengo et al. (2021), o transporte reduzido de ar quente e úmido de verão da Amazônia desde 2019 resultou em uma seca prolongada e severa no Pantanal, consequentemente favorecendo uma extensa ocorrência de incêndios em tal região. Além disso, Libonati et al. (2022) mostraram que as interações terra-atmosfera, caracterizadas por forte aquecimento atmosférico e grande evaporação, elevaram a temperatura média acima das condições normais e aumentaram o risco de incêndio.

Registrar e monitorar incêndios a partir de observações terrestres é um processo trabalhoso e caro. Os incêndios produzem uma assinatura de calor que é detectável por satélites, mesmo quando os incêndios representam uma pequena fração do pixel do satélite. Os satélites permitem detectar e monitorar os incêndios, fornecendo informações sobre a localização, duração, tamanho, temperatura e potência radiativa desses incêndios, com baixo custo. O satélite meteorológico GOES-16, da série GOES-R, usa essas informações para rastrear incêndios em tempo real, fornecendo dados para modelagem da qualidade do ar e para ajudar a separar o impacto dos incêndios de outras fontes de poluição Schmidt et al., (2013).

O sensor Advanced Baseline Imager (ABI), a bordo do satélite GOES-16, é capaz de detectar assinaturas de calor com resolução de tempo e espaço aprimorada, incluindo incêndios

menores, em comparação com o imageador GOES anterior. O ABI mede energia em diferentes comprimentos de onda, refletida (visível e infravermelho próximo) ou emitida (infravermelho) da superfície terrestre. O ABI representa um passo à frente na capacidade das comunidades de monitoramento de riscos e qualidade do ar de detectar incêndios e suas propriedades. As propriedades do incêndio podem ser medidas de três maneiras: tamanho (área queimada), temperatura e potência radiativa Schmidt et al., (2013).

Um estudo desenvolvido por Satelis et al. (2023) mostra que com o uso de séries de imagens do satélite GOES-16 foi possível detectar o momento em que houve queimada nas áreas de vegetação do Pantanal Sul Mato-Grossense utilizando os índices de vegetação e de queimada (NDVI e NBR, respectivamente) a cada hora para o bioma do Pantanal inteiro, podendo monitorar a queima da vegetação diariamente. Os benefícios dos satélites da série GOES-R não são vistos apenas durante um incêndio, mas também são importantes no monitoramento de cicatrizes de queimaduras e na previsão de eventos de inundações repentinas a partir de eventos de chuva após um incêndio. Os satélites fornecem dados críticos para todo o ciclo de vida de um desastre de incêndio – da seca ao incêndio, inundações e deslizamentos de terra Schmidt et al., (2013).

## 2. Objetivo

Detectar possíveis focos de incêndio e avaliar as áreas de queimadas no Pantanal por meio de índice de vegetação (NDVI), em julho de 2020 e em junho e julho de 2024, utilizando imagens de satélite meteorológico GOES-16.

## 3. Material e Métodos

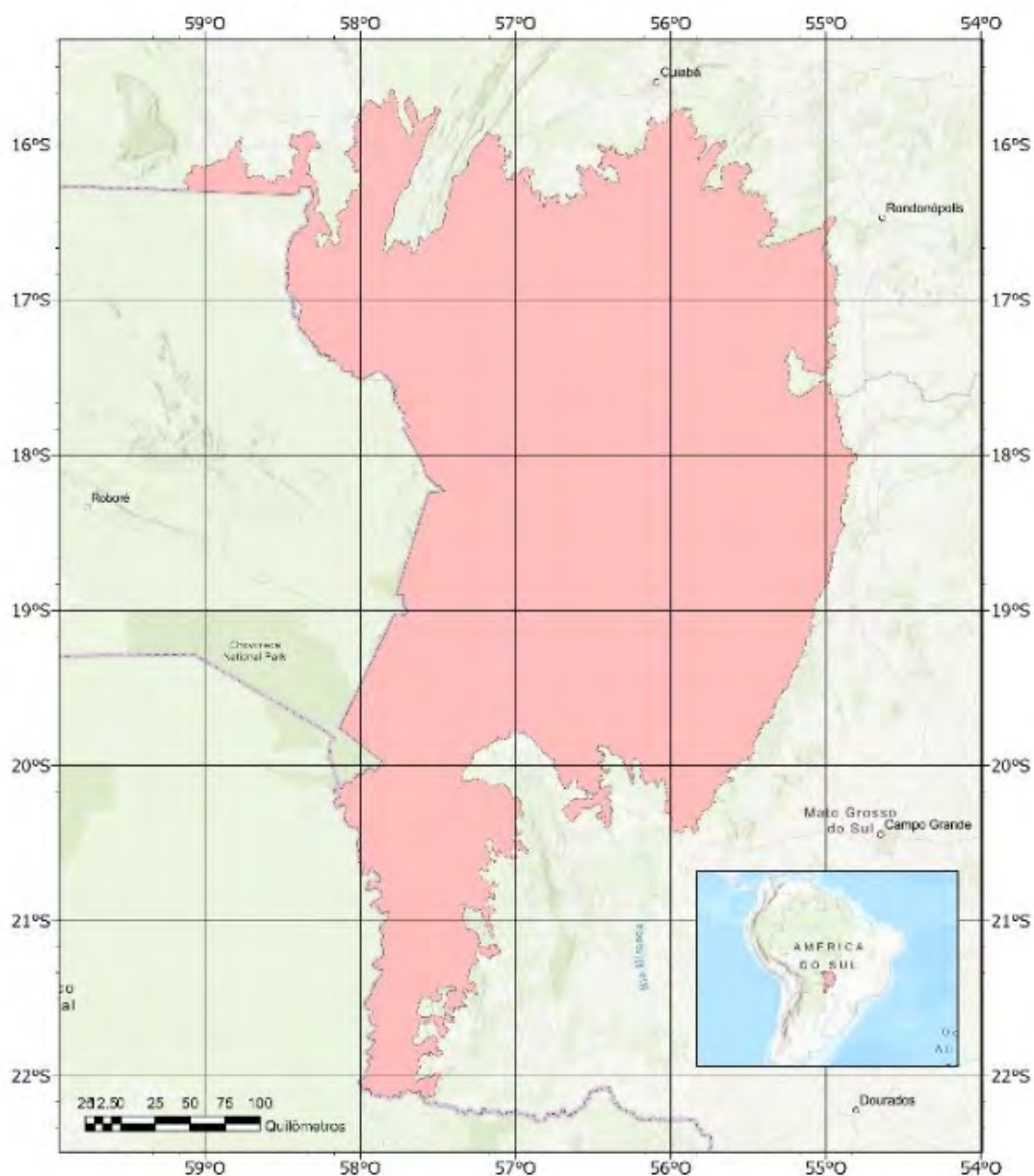
A área de estudo do trabalho foi o Pantanal (**Figura 1**). Foram selecionados os meses de julho de 2020 e junho e julho de 2024 para fazer o monitoramento das áreas queimadas, pois foram meses em que ocorreram muitos incêndios no Bioma nos últimos anos.

As imagens utilizadas neste trabalho foram do satélite meteorológico GOES-16, disponíveis no banco de dados do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (Cepagri) da Unicamp. O sensor ABI a bordo desse satélite é composto por 16 bandas espectrais diferentes, incluindo dois canais visíveis, quatro canais de infravermelho próximo e dez canais de infravermelho. Esses diferentes canais (comprimentos de onda) são usados por modelos e ferramentas para indicar vários elementos na superfície da Terra ou na atmosfera, como, água, nuvens, umidade, fumaça, entre outros. A resolução espacial varia de 0,5 km para o canal do visível a 1km e 2km para os canais do Infravermelho próximo e Infravermelho ( $>2\mu\text{m}$ ), respectivamente.

O satélite GOES-16 fornece um produto de caracterização de incêndio que usa bandas espectrais do visível e do infravermelho para localizar incêndios e recuperar características de incêndio, esse produto é o Fire Hot Spot Characterization (FDCF), que fornece informações a cada uma hora da localização de focos de incêndios, da área de fogo e do poder radiativo de fogo, com uma resolução espacial de 2 km pela composição das bandas 2, 7, 13, 14 e 15.

O FDCF é obtido por um algoritmo, descrito por Schmidt et al. (2013), contextual dinâmico, multiespectral e de limiar que usa a onda curta de 0,64  $\mu\text{m}$  (Canal 2 do ABI, quando disponível durante o dia) e as bandas de 3,9  $\mu\text{m}$  e 11,2  $\mu\text{m}$  (Canais 7 e 14 do ABI) para localizar incêndios e recuperar características de incêndio de subpixel. O Canal 13 (10,3  $\mu\text{m}$ ) é usado junto com o Canal 14 quando a temperatura do plano focal do ABI excede um limite definido. O canal 15 (12,3  $\mu\text{m}$ ) é usado junto com as bandas mencionadas anteriormente para ajudar a identificar nuvens opacas, mas não é necessário para a execução do algoritmo.

## Pantanal - Brasil



**Figura 1.** Área de estudo.

Apenas os canais 7 e 14 são necessários para o algoritmo de incêndios em condições normais. O código usa uma abordagem de duas etapas para identificar e caracterizar incêndios de subpixel. A primeira etapa percorre todos os pixels e identifica pixels de incêndio em potencial, bem como zonas de bloqueio devido à reflexão solar e seleciona tipos de superfície. Esta passagem inicial também caracteriza possíveis pixels de incêndio quando eles atendem a certos critérios. Para cada pixel quente, o algoritmo incorpora dados auxiliares para rastrear alarmes falsos, corrigir a atenuação do vapor de água, emissividade da superfície, refletividade solar e nuvens semitransparentes.

O algoritmo utiliza a técnica Dozier para calcular estimativas de subpixel de tamanho e temperatura de incêndios instantâneos Dozier, (1981); Matson e Dozier, (1981). Os incêndios

são tratados como uma única entidade de subpixel de um determinado tamanho, temperatura e potência radiativa, uma aproximação que deve ser feita dadas as limitações fundamentais de recuperação de propriedades de subpixel. A segunda etapa faz um loop sobre todos os pixels de incêndio possíveis identificados na primeira etapa, limites adicionais são aplicados e detecções de incêndio anteriores são usadas para filtrar alarmes falsos.

Após a detecção dos focos de incêndio utilizando o FDCF, foram selecionadas quatro regiões de maior ocorrência de queimada para os meses de julho de 2020 e junho e julho de 2024. O monitoramento do estado da vegetação desses focos de incêndio foi feito utilizando os valores médios do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) desses focos das quatro regiões selecionadas. O NDVI, definido por Rouse et al. (1974) e calculado por:

$$NDVI = (\rho_{III} - \rho_{II}) / (\rho_{III} + \rho_{II})$$

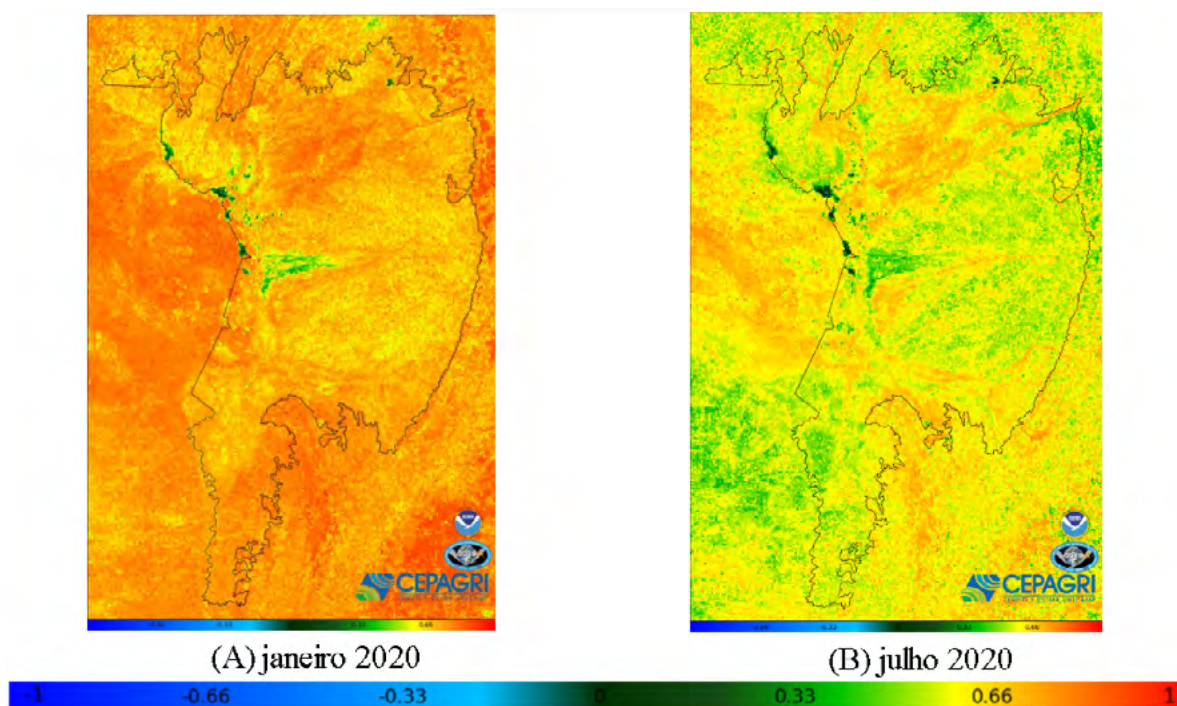
em que  $\rho_{III}$  corresponde a banda 3 (0, 86 $\mu$ m), é o fator de refletância no infravermelho próximo, e  $\rho_{II}$  corresponde a banda 2 (0, 64 $\mu$ m), é o fator de refletância no vermelho. Os valores no NDVI variam entre -1,0 e 1,0, sendo maior quanto maior for a diferença entre o fator de refletância no infravermelho próximo e no vermelho. Valores próximos e abaixo de zero correspondem a superfícies sem vegetação.

Este trabalho gerou ferramentas de processamento de imagens que fomentarão outros projetos de pesquisa no Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI/UNICAMP, onde foi desenvolvido. Os códigos implementados estão disponíveis em <https://github.com/JCARNEIROX/GOES-16-NDVI.git> e são guardados pela Licença Pública Geral GNU, podendo ser alterados e redistribuídos.

#### 4. Resultados e Discussão

A seca no Pantanal está ocorrendo desde 2018, e foi o bioma que mais secou ao longo da série histórica do MapBiomias Água (2024), que cobre o período entre 1985 e 2023. A superfície de água anual (pelo menos 6 meses com água) em 2023 foi de 382 mil hectares – 61% abaixo da média histórica. Somente 2,6% do bioma estava coberto por água e foi 50% mais seco que 2018, que foi a última grande cheia no bioma. Houve redução da área alagada e do tempo de permanência da água. Nas imagens de NDVI do GOES-16 (**Figura 2**) é possível perceber essa variação da seca ao longo dos meses de janeiro e julho de 2020. Observa-se a queda no valor do índice com base na alteração da tonalidade das imagens (valores mais altos de NDVI, mais avermelhada na imagem A, para valores mais baixos, mais amarelada com tons de verde na imagem B), ressaltando a degradação da vegetação e vegetação mais seca em julho em relação a janeiro de 2020. Sendo que valores acima de 0,6 e próximos a 1, correspondem a superfícies como vegetação densa, valores entre 0,4 e 0,6 correspondem a vegetação rasteira, e valores abaixo de 0,3, próximos e abaixo de zero correspondem a superfícies sem vegetação.

A (**Figura 3**) mostra o NDVI acumulado para os meses de julho de 2020 e junho e julho de 2024. Nessas imagens de NDVI foi possível perceber como a seca no Pantanal foi mais acentuada em 2024 (NDVI aparece com tons de verde, valores mais baixos) em relação a 2020 (NDVI aparece em tons de amarelo e laranja, valores médios de NDVI). Destaca-se o município de Corumbá, que de acordo com o MapBiomias Água (2024), foi o município do Pantanal que mais perdeu superfície de água em 2023 em relação à média da série histórica. Na (**Figura 3C**) nota-se que a área de Corumbá aparece em tons de verde escuro, e nas (**Figuras 4B e 6**), destaque para a região 2 delimitada, que corresponde a Corumbá, apresenta quantidades maiores focos de incêndio.

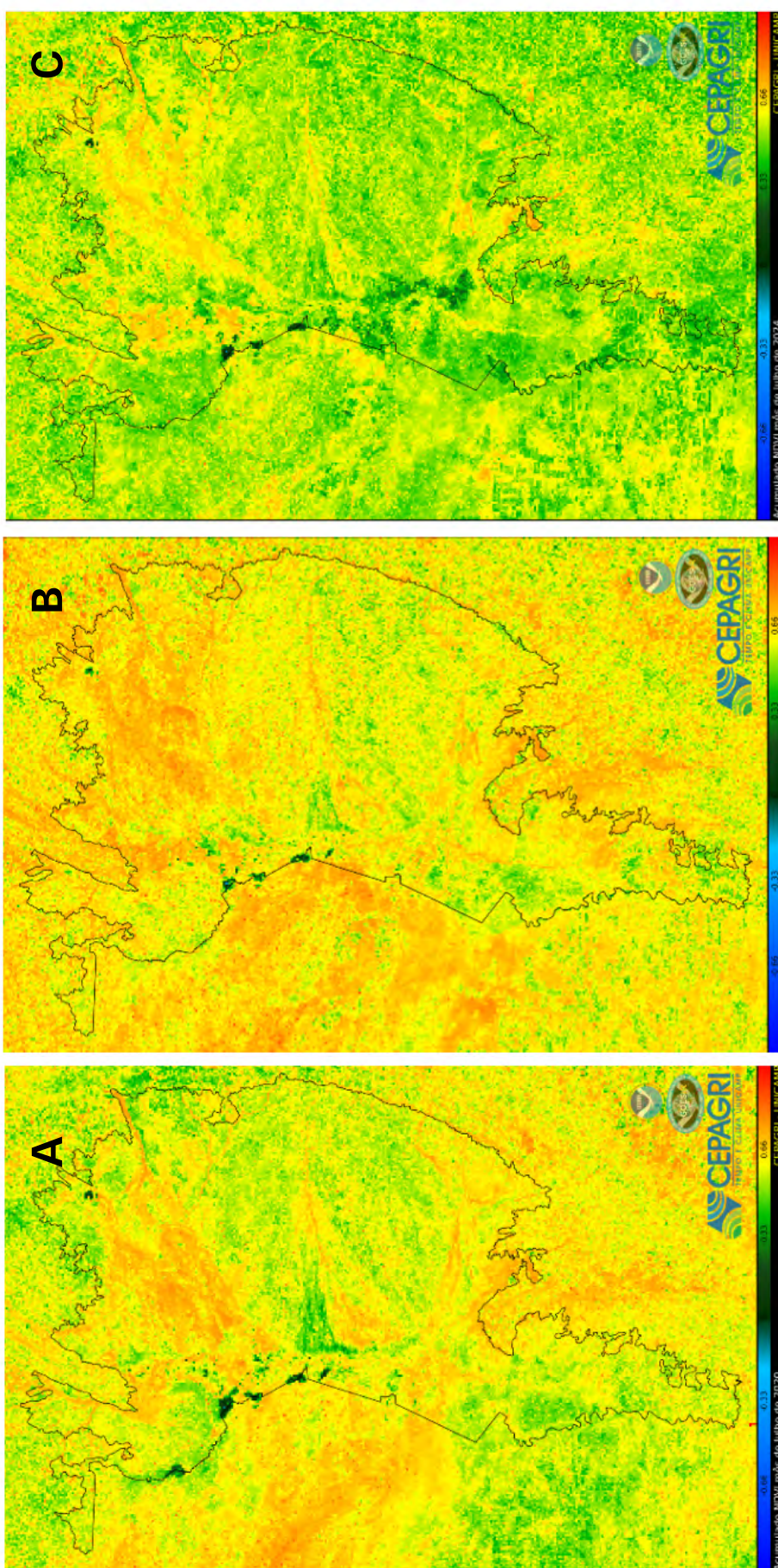


**Figura 2.** (A) imagem de NDVI acumulado para o mês de janeiro de 2020 e (B) imagem de NDVI acumulado para o mês de julho de 2020.

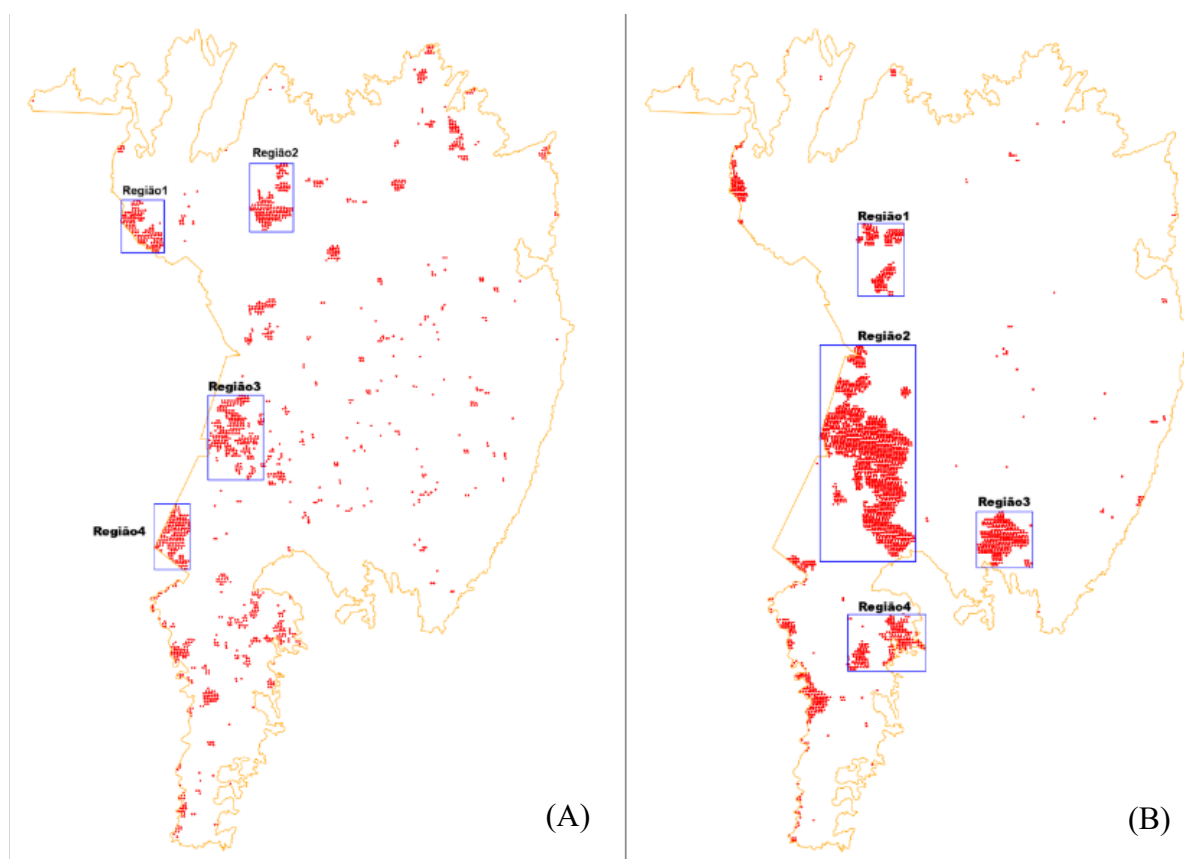
As (**Figuras 4 a 7**) mostram os focos de incêndio obtidos pelo produto FDCF do GOES-16. Foram utilizadas bandas espectrais do visível e infravermelho (IR) para localizar, detectar os focos de incêndios e recuperar características do incêndio. Os incêndios produzem um sinal mais forte em bandas de infravermelho de onda média (cerca de 4  $\mu\text{m}$ ) do que em bandas de infravermelho de onda longa (como 11  $\mu\text{m}$ ). A banda 7 (3,9  $\mu\text{m}$ ) foi particularmente útil para detecção de incêndio. Seu comprimento de onda mais curto é sensível à parte mais quente de um pixel de incêndio.

A (**Figura 4**) e a (**Tabela 1**) mostram os focos de incêndios acumulados em todo o Bioma Pantanal e nas quatro regiões selecionadas de maior ocorrência de queimada para os meses de julho de 2020 e junho e julho de 2024. Em julho de 2020 foram detectados 1619 focos de incêndio, sendo que em junho e julho de 2024 esse número foi de 2463 focos de incêndio. As (**Figuras 4B e 4A**) mostram essa diferença do número de focos de incêndio acumulado entre 2020 e 2024, anos em que foram registradas grandes áreas queimadas, inclusive em formações florestais, comprometendo a recuperação dos ecossistemas, e deixando-os mais vulneráveis a novos incêndios MapBiomas, (2024).

Os valores de NDVI para as quatro regiões selecionadas, com maior ocorrência de queimadas, estão representados nos gráficos das (**Figuras 8 e 9**). Observa-se que os valores de NDVI tem uma tendência de queda após a queimada, pois esse índice mede as condições da vegetação, a queda do índice representa que não existe mais vegetação ou a vegetação entrou em estado de senescência. As áreas queimadas em julho de 2020 (**Figura 5**) estão separadas por semana, o que permite o acompanhamento do estado da vegetação nessas regiões. Nas duas primeiras semanas de julho de 2020 (**Figuras 5A e B**), há ocorrência de alguns focos de incêndio, ocorrendo uma queda nos valores de NDVI. Nas duas últimas semanas (**Figuras 5C e D**) há um grande aumento no número de focos de incêndio, o que fez os valores de NDVI diminuírem.



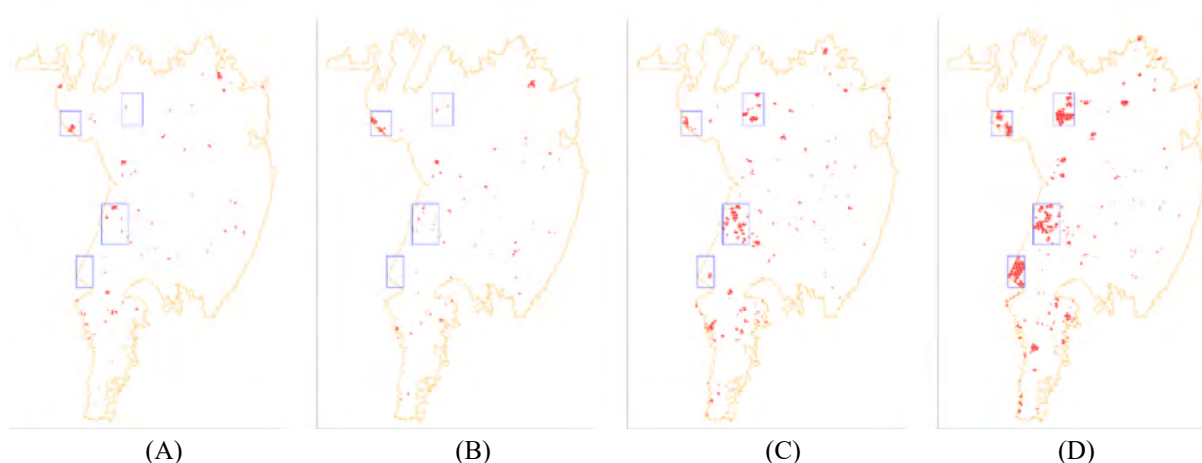
**Figura 3.** (A) imagem de NDVI acumulado para o mês de julho de 2020, (B) imagem de NDVI acumulado para o mês de junho de 2024, (C) imagem de NDVI acumulado para o mês de julho de 2024.



**Figura 4.** (A) focos de incêndio acumulados para o mês de julho de 2020, com quatro regiões de maiores ocorrências selecionadas, (B) focos de incêndio acumulados para os meses de junho e julho de 2024, com as quatro regiões de maiores ocorrências selecionadas.

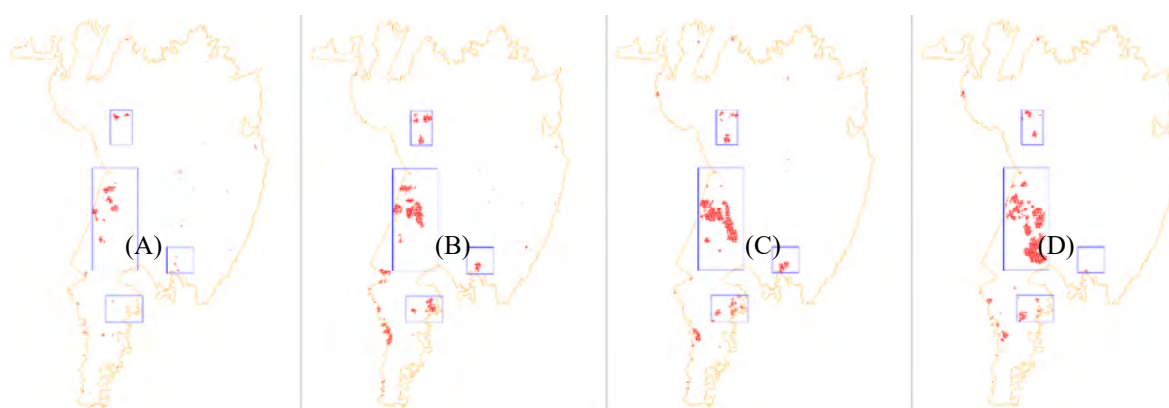
**Tabela 1.** Número de focos de incêndio para o Pantanal (total) e para as quatro regiões selecionadas com maior ocorrência de queimada no Pantanal.

Focos de incêndio			
	Julho 2020	Junho 2024	Julho 2024
Pantanal (total)	1619	1555	908
Região 1	141	122	51
Região 2	172	977	422
Região 3	261	49	212
Região 4	167	146	74



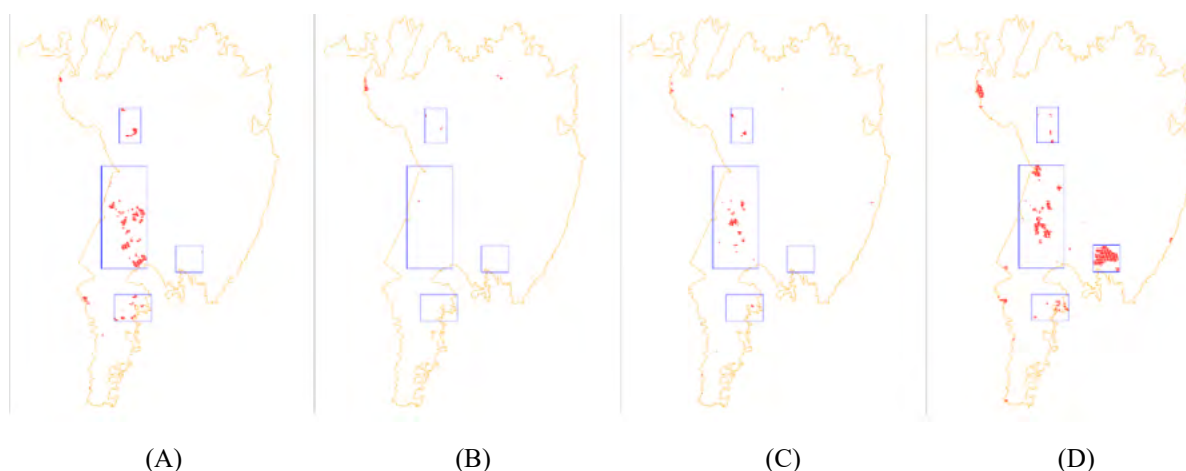
**Figura 5.** (A) focos de incêndio acumulados para a semana de 01 a 07 de julho de 2020, com quatro regiões de maiores ocorrências selecionadas, (B) focos de incêndio acumulados para a semana de 08 a 14 de julho de 2020, com quatro regiões de maiores ocorrências selecionadas, (C) focos de incêndio acumulados para a semana de 15 a 21 de julho de 2020, com quatro regiões de maiores ocorrências selecionadas, (D) focos de incêndio acumulados para a semana de 22 a 31 de julho de 2020, com quatro regiões de maiores ocorrências selecionadas.

As áreas queimadas em junho e julho de 2024 (**Figuras 6 e 7**) estão separadas por semana, o que permite o acompanhamento do estado da vegetação nessas regiões. Em junho, principalmente na região 2 (Corumbá), no mês todo foram detectados focos de incêndio, totalizando 977 focos (**Figuras 6A-D**), o que continuou na primeira semana de julho (**Figura 7A**).



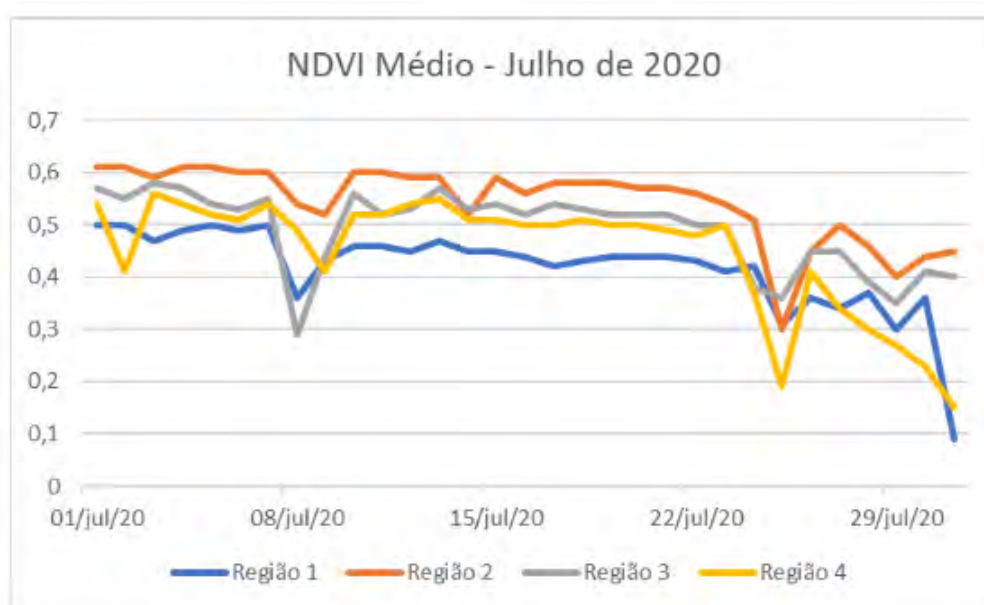
**Figura 6.** (A) focos de incêndio acumulados para a semana de 01 a 07 de junho de 2024, com quatro regiões de maiores ocorrências selecionadas, (B) focos de incêndio acumulados para a semana de 08 a 14 de junho de 2024, com quatro regiões de maiores ocorrências selecionadas, (C) focos de incêndio acumulados para a semana de 15 a 21 de junho de 2024, com quatro regiões de maiores ocorrências selecionadas, (D) focos de incêndio acumulados para a semana de 22 a 30 de junho de 2024, com quatro regiões de maiores ocorrências selecionadas.



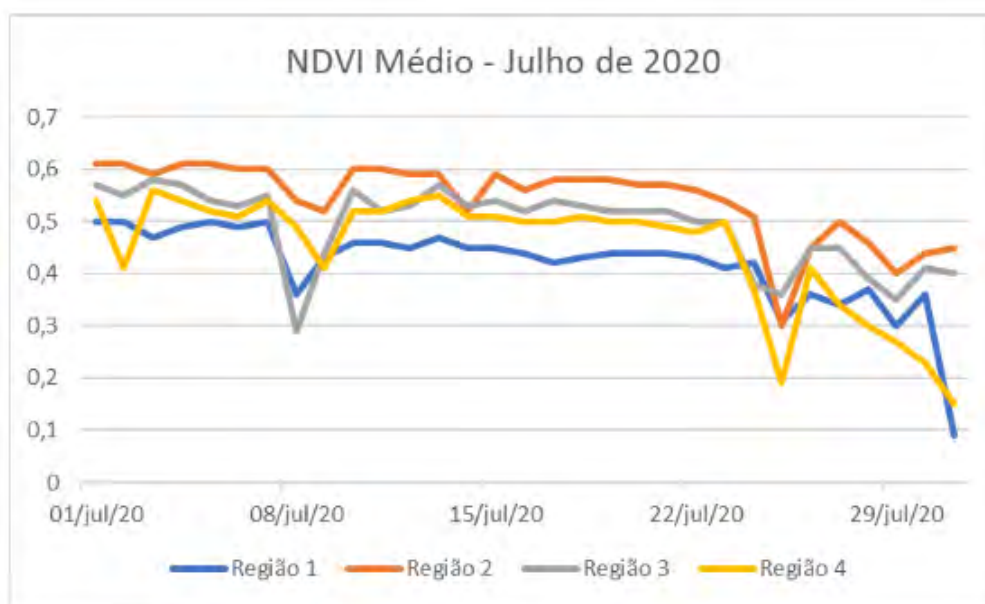


**Figura 7.** (A) focos de incêndio acumulados para a semana de 01 a 07 de julho de 2024, com quatro regiões de maiores ocorrências selecionadas, (B) focos de incêndio acumulados para a semana de 08 a 14 de julho de 2024, com quatro regiões de maiores ocorrências selecionadas, (C) focos de incêndio acumulados para a semana de 15 a 21 de julho de 2024, com quatro regiões de maiores ocorrências selecionadas, (D) focos de incêndio acumulados para a semana de 22 a 31 de julho de 2024, com quatro regiões de maiores ocorrências selecionadas.

Após os focos de incêndio foram aparecer com mais intensidade na última semana de julho (**Figura 7D**). Os valores de NDVI (**FiguraS 8 e 9**) apresentaram quedas maiores a partir da terceira semana de junho e meados de julho o que comprova que a superfície ficou sem cobertura vegetal após as queimadas.



**Figura 8.** Gráfico dos valores de NDVI médio das quatro regiões de maiores ocorrências de focos de incêndio de julho de 2020.



**Figura 9.** Gráfico dos valores de NDVI médio das quatro regiões de maiores ocorrências de focos de incêndio de junho e julho de 2024.

## 5. Conclusões

O monitoramento de incêndios da vegetação e a detecção de mudanças rápidas de incêndios são de extrema importância para tomada de decisão e implementação de políticas públicas. Os produtos provenientes do satélite GOES-16 utilizados nesse trabalho, como FDCF e NDVI, fornecem informações aos tomadores de decisão com uma visão muito mais detalhada das condições de incêndio, detecção mais rápida de pontos quentes e a capacidade de rastrear a progressão e a propagação do incêndio em tempo real para detectar mudanças no comportamento de um incêndio e prever seu movimento. Essas informações podem ajudar a orientar as decisões para a implantação de sistemas de alertas, fornecendo informações sobre a localização exata dos focos e a propagação um incêndio.

## 6. Agradecimentos

Pelo apoio fornecido ao longo deste trabalho, agradeço ao Brazilian Institute of Data Science (BIOS).

## 7. Referências

Dozier, J. A method for satellite identification of surface temperature fields in subpixel resolution. **Remote Sensing of Environment**, v. 11, p. 221-229, 1981.

da Silva Junior, C.A.; Teodoro, P.E.; Delgado, R.C.; et al. Persistent fire foci in all biomes undermine the Paris Agreement in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, 16246, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72571-w>

Libonati, R.; DaCamara, C. C.; Peres, L. F.; Sander de Carvalho, L. A.; Garcia, L. C. Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. **Nature**, n. 588, p. 217-219, 2020.

Libonati, R.; Geirinhas, J. L.; Silva, P. S.; Trigo, R. M.; et al. Assessing the role of compound drought and heatwave events on unprecedented 2020 wildfires in the Pantanal. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 1, 2022. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac462e>

MapBiomias, Nota Técnica: Contexto Hídrico no Pantanal e Impactos nos Incêndios de 2024. 2024

MapBiomias Águas, Coleção 3: Panorama da Superfície de Água do Brasil 1985 – 2023. 2024

Marengo, J. A.; Cunha, A.P.; Cuartas, L.A.; Deusdará Leal, K.R.; Broedeli, E.; Seluchi, M. E. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, 2021. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.639204>

Matson, M.; Dozier, J. Identification of subresolution high temperature sources using the thermal IR, **Photogrammetric Engineer. and Remote Sens.**, v. 47, p. 1311-1318, 1981.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A, Deering. Monitoring vegetation systems in the great plains with erts. **NASA special publication**, p. 351-309, 1974.

Satelis, W. R. S.; Gonçalves, R. R. V.; Zullo Junior, J.; Ludwig, G. V. N. Uso de Séries Temporais de Imagens do Satélite Goes-16 para Detecção de Queimadas no Pantanal Sul Mato-Grossense. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 20., 2023, Florianópolis. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2023. p. 2655- 2658. Disponível na biblioteca digital URLib: < <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2023/05.18.11.09/doc/156266.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2024

Schmidt, C. C.; Hoffman, J.; Prins, E.; Lindstrom, S. GOES-R Advanced Baseline Imager (ABI) Algorithm Theoretical Basis Document for Fire / Hot Spot Characterization. NOAA NESDIS **Center for Satellite Applications and Research**, 2013. 107p.

Thielen, D.; Schuchmann, K.L.; Ramoni-Perazzi, P.; Marquez, M.; Rojas,W.; Quintero, J.I.; Marques, M.I. Quo vadis Pantanal? Expected precipitation extremes and drought dynamics from changing sea surface temperature. **PLoS ONE**, v. 15, e0227437, 2020.

Thielen, D.; Ramoni-Perazzi, P.; Puche, M.L.; Márquez, M.; Quintero, J.I.; Rojas,W.; Soto-Werschitz, A.; Thielen, K.; Nunes, A.; Libonati, R. The Pantanal under Siege—On the Origin, Dynamics and Forecast of the Megadrought Severely Affecting the Largest Wetland in the World. **Water** v. 13, p. 3034, 2021.

Tomas, W.M.; Berlinck, C.N.; Chiaravalloti, R.M.; et al. Distance sampling surveys reveal 17 million vertebrates directly killed by the 2020's wildfires in the Pantanal, Brazil. **Scientific Reports**, v. 11, 23547, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02844-5>

## Comparação de VANT's para monitoramento de cultivos de feijão

Breno Henrique Gomes dos Santos Freitas<sup>1</sup>

Marley Lamounier Machado<sup>1</sup>

Aurinelza Batista Teixeira Conde<sup>2</sup>

João Roberto de Mello Rodrigues<sup>2</sup>

Wallisson Geraldo de Souza Cardoso<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG  
Av. José Cândido da Silveira 1647, Belo Horizonte, MG, 31170-495  
breno-henrique0607@ufmg.br; marley@epamig.br

<sup>2</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG Sul  
Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 37200-000  
aurinelza@epamig.br; jrmello@epamig.br;

<sup>3</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG Centro Oeste  
Rodovia MG 424 km 64, Prudente de Moraes, MG, 35701-970  
wallisson@epamig.br

**Resumo.** Este estudo objetivou a comparação entre dois tipos de Veículos Aéreos Não Tripulados - VANT's (Ebee SQ SenseFly e DJI Mavic 3M RTK) para informar sobre a precisão de dados georreferenciados e sobre a detecção de estresse em lavouras de feijão. Para esta comparação foram estabelecidos os mosaicos com e sem GCP e com a utilização do sistema RTK, e também utilizados dois índices de vegetação, o NDVI e o MCARI. A precisão de dados georreferenciados foi analisada quanto ao erro médio quadrático (EMQ). O Ebee SQ possui uma maior precisão com GCPs, mas o Mavic 3M com RTK demonstrou resultados equivalentes sem a necessidade de GCPs, oferecendo vantagem na facilidade de uso. A análise de variância (ANOVA) revelou que, no estágio R5, não houve diferença significativa entre áreas com e sem estresse para ambos os VANTs. No estágio R7, observou-se diferença significativa, indicando que ambos os VANTs conseguiram distinguir áreas com e sem estresse. Tanto o Mavic 3M quanto o Ebee SQ são eficazes na distinção entre áreas de cultivo com e sem estresse, embora apresentem respostas diferentes nas imagens.

**Palavras-chave:** agricultura de precisão, geoprocessamento, monitoramento de lavoura, sensoriamento remoto, drone.

**Abstract.** The aim of this study was to compare two types of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) (Ebee SQ SenseFly and DJI Mavic 3M RTK) in terms of the accuracy of georeferenced data and the detection of stress in the bean crop. The UAVs were used to capture images that were analyzed for mean square error (MSLE) and the NDVI and MCARI indices. The Ebee SQ has greater accuracy with GCPs, but the Mavic 3M with RTK showed equivalent results without the need for GCPs, offering an advantage in ease of use. The analysis of variance (ANOVA) revealed that, in the R5 phase, there was no significant difference between the areas with and without stress for both UAVs. In phase R7, a significant difference was observed, indicating that both UAVs were able to distinguish between areas with and without stress when stress was perceptible. In conclusion, both the Mavic 3M and the Ebee SQ are effective at distinguishing between areas of crops with and without stress, although they show different responses in the images. The choice between UAVs may depend on the level of severity of the stress and the specific characteristics of agricultural management. Future studies should consider stress levels to improve the accuracy of the analysis.

**Key-words:** Precision Agriculture. Geoprocessing. Crop monitoring. Remote Sensing, drone.

## 1. Introdução

Em 2022, o Estado do Mato Grosso do Sul contribuiu com 6% da produção agrícola nacional Pam, (2022); sendo que o cultivo de feijão ocupa a 9ª posição em valor de produção no Estado, onde 36% dessa produção provêm dos municípios localizados na região pantaneira. Nos últimos anos, esta região tem tido um aumento considerável na atividade agrícola, onde a área dedicada ao cultivo expandiu em 14 mil hectares entre 1985 e 2021 (MapBiomass, 2021). Nesse cenário, a necessidade de soluções tecnológicas para promover um manejo agrícola mais eficiente na região torna-se cada vez mais evidente.

Assim, a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's) pode ser vista como uma ferramenta estratégica e promissora para otimizar o manejo dos cultivos de feijão nessa região, potencializando os esforços para melhorar a eficiência e a produtividade agrícola.

Em termos de agricultura de precisão, o uso de VANT's tem ganhado destaque nos últimos tempos devido à sua capacidade inovadora de otimizar e acelerar processos que anteriormente demandavam trabalho manual intensivo. Dessa maneira, a utilização desses equipamentos portando câmeras multiespectrais se torna cada vez mais útil para o monitoramento de cultivos de grãos. Isso não apenas facilita a gestão agrícola, mas também visa aprimorar significativamente o rendimento das colheitas (Tripicchio et al., (2015).

Nesse contexto, há no mercado diferentes tipos de equipamentos que envolvem características como precisão métrica para georreferenciamento, tecnologias embarcadas, capacidade dos sensores na identificação das características fisiológicas das culturas, facilidades na manobra, decolagem e aterrissagem, custo de aquisição, etc. Com isso, este estudo visou comparar dois tipos de VANT's para informar sobre a precisão métrica de dados georreferenciados e sobre a capacidade de detecção de estresse em lavouras de feijão.

## 2. Objetivo

Comparar dois tipos de VANTs para avaliar a precisão métrica dos dados georreferenciados; e, avaliar a capacidade de cada VANT em identificar áreas com e sem estresse vegetativo; e também, comparar os VANT's nas áreas com estresse e nas áreas sem estresse; utilizando para isso Índices de Vegetação (IV) em imagens obtidas em lavouras de feijão nos estádios fenológicos R5 e R7.

## 3. Materiais

Os VANT's utilizados foram o Ebee SQ da SenseFly / Parrot Company e o Mavic 3 Multispectral (3M) RTK da SZ DJI Technology Co. Ltd. As características destes VANT's são apresentadas na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características dos VANT's.

VANT	Ebee SQ	Mavic 3M
Resolução Espectral	Green-G (520-590 nm), Red-R (630-690 nm), RedEdge-RE (730-750 nm), NIR (790-860 nm)	Green-G (544-576 nm), Red-R (634-666 nm), RedEdge-RE (714-746 nm), NIR (834 - 886 nm)
Resolução Típica (RGB)	16 megapixels (ou 4608x3456 px)	20 megapixels (ou 5280x1944 px)
Resolução Típica (Multi)	1,2 megapixel (ou 1280x960 px)	5 megapixel (ou 2592x1944 px)
Tempo de Bateria	Aproximadamente 55 minutos	Aproximadamente 45 minutos
Alcance	3 a 5 Km	Até 32 km
Tecnologia RTK	Não possui	Possui
Tecnologia Sensor Sunshine	Possui	Não possui
Armazenamento Interno	64 Gb	8 a 32 Gb

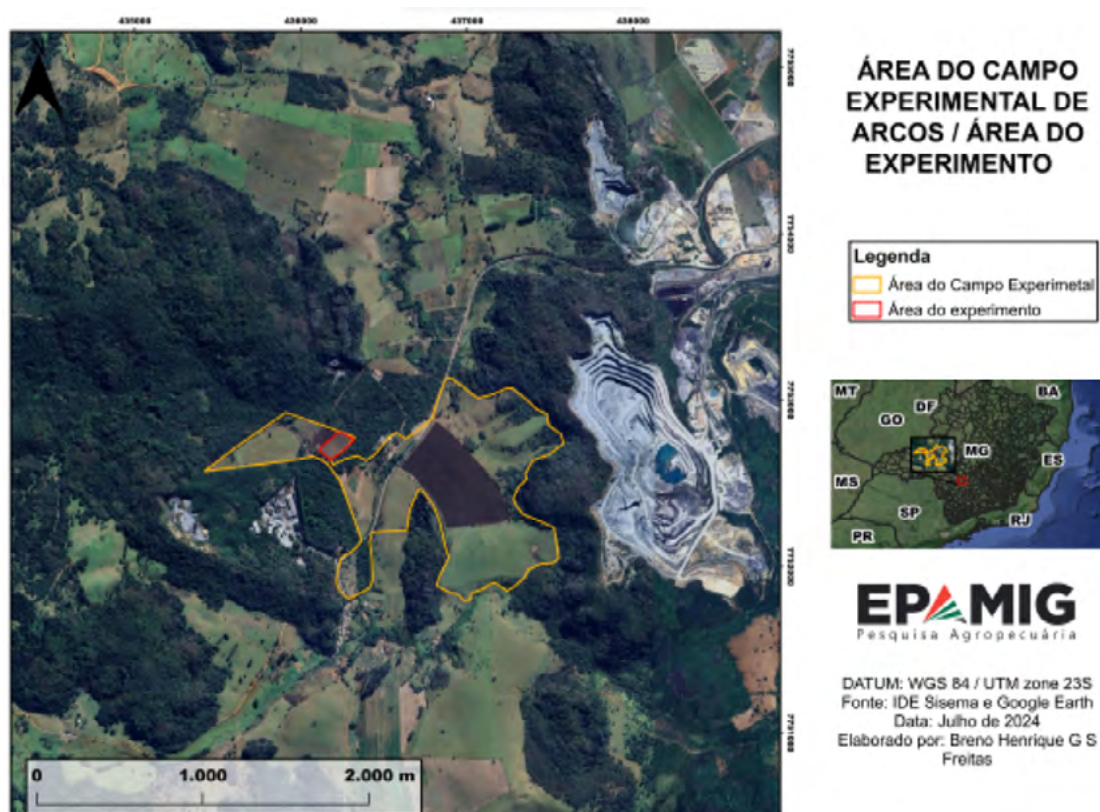
O Ebee SQ possui ainda características de: a) mapear até 120 hectares por voo a uma altura de 120 metros; b) a câmera pode ser calibrada com uso de placa de referência; c) possui sensor para medir a intensidade da luz solar incidente durante o voo e corrigir as variações de luminosidade, assegurando que as imagens registradas independam das condições de iluminação; d) o Ebee SQ possui eficácia na construção de IV's Per-Ola Olsson et al., (2021), no entanto, sendo um VANT de estilo asa fixa, apresenta limitações em termos de locais onde pode ser utilizado devido à necessidade de um espaço maior e limpo para pousos seguros; e) o Ebee SQ requer softwares específicos para operação e não permite muitas customizações e integração; f) nesse caso, tem limitações em utilizar mais de um sensor, dado o peso de carga e acomodação dos equipamentos.

Por outro lado, o VANT Mavic 3M tem por característica: a) possui tecnologia RTK (Real Time Kinematic); b) tem a capacidade de decolar e aterrissar em espaços pequenos, por ser do tipo multirrotor; c) possibilita a utilização de ferramentas SDK (Software Development Kit), bem difundidas no mercado, para desenvolvedores criarem aplicações personalizadas e integrações para VANT's da fabricante, permitindo que os desenvolvedores programem e automatizem missões, colem e analisem dados, e integrem os drones com outras soluções de software.

O experimento foi conduzido em uma área de lavoura de feijão com aproximadamente 2 hectares no Campo Experimental de Arcos / Epamig, localizado no município de Arcos - MG, com coordenadas centrais de 20°19'20.76"S e 45°36'39.67"O, conforme apresentado na **Figura 1**. A cultivar utilizada foi o BRSMG Marte.

#### 4. Procedimentos Metodológicos

Após a captura das imagens, foram criados mosaicos utilizando o software Pix4Dmapper da empresa Pix4D SA. Foi produzido um mosaico para o VANT Mavic 3M e dois para o VANT Ebee SQ. Neste caso, um mosaico utilizando Pontos de Controle de Solo (GCPs) e outro sem a utilização dos GCPs. As coordenadas dos GCPs foram obtidas sobre seis alvos topográficos



**Figura 1.** Mapa de localização do experimento.

colocados nos vértices das áreas utilizando o GNSS RTK TRIMBLE R8. Em seguida, utilizou-se o software QGIS 3.34.8 para determinar as coordenadas centrais dos alvos presentes no mosaico. Com base nesses valores foi calculado o Erro Médio Quadrático (EMQ). O EMQ é uma métrica que quantifica a média dos quadrados das diferenças entre as coordenadas reais e as coordenadas previstas.

Para a comparação entre os IV's, foram induzidas condições de estresse em 32 pontos selecionados aleatoriamente dentro da lavoura, cada um com um raio aproximado de 0,7 metros. Nessas áreas foram aplicadas doses específicas de soluções de ureia a 10% no estágio V4, correspondente à terceira folha trifoliada/pré-floração; e de glifosato a 5% no estágio R6, correspondente à floração. Adicionalmente, foram coletadas 32 amostras aleatórias em áreas sem estresse, utilizando a ferramenta de grade aleatória do software QGIS 3.34.8, com o mesmo raio de 0,7 metros.

As imagens foram obtidas 10 dias após a aplicação das doses de ureia (estádio fenológico R5) e 10 dias após a aplicação das doses de glifosato (estádio fenológico R7). O voo foi realizado a uma altura média de 60 metros para ambos os VANT's no horário entre 11:00 e 13:00 horas, visando minimizar a ocorrência de sombras nas imagens.

Após estabelecer os mosaicos, calculou-se os IV's utilizando o software QGIS 3.34.8. Foram utilizados o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Absorção de Clorofila Modificado na Reflectância (MCARI), **Equação 1 e 2**, respectivamente. Em cada imagem de IV foi calculado a média de pixel para os locais de amostra utilizando a ferramenta de cálculo de estatística zonal do software QGIS 3.34.8. Esses Índices foram utilizados em função da ampla utilização na pesquisa agrônômica e por sua coerência nos dados se comparados com outras ferramentas Jiang HL et al., (2015); e também, pela possibilidade de se utilizar todas as

bandas dos sensores multiespectrais dos VANTs, no caso, o MCARI .

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

Equação 1

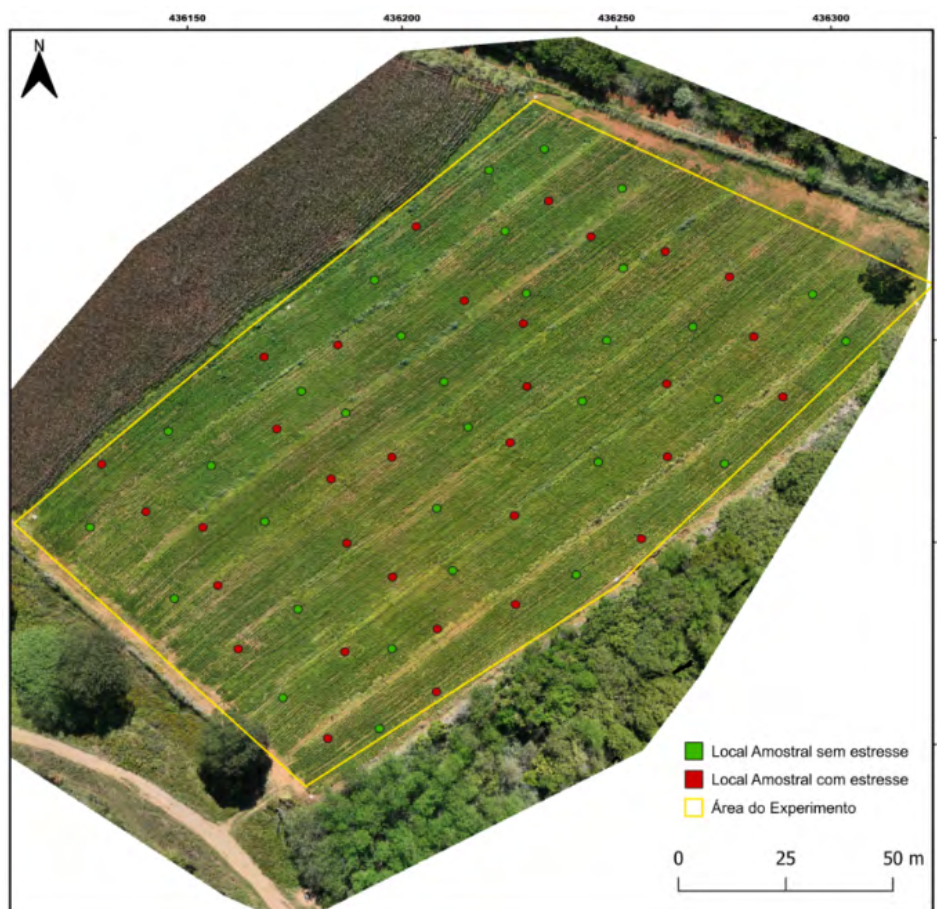
$$MCARI = ((RE - R) - (0.2) \cdot (RE - G)) \cdot \left(\frac{RE}{R}\right)$$

Equação 2.

Posteriormente foi executada a Análise de Variância (ANOVA) utilizando o software MINITAB 14. Para esta análise foi adotado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), onde a variável resposta foi os valores médios dos pixels das imagens dos IVs. A ANOVA teve como objetivo comparar a diferença entre as áreas estressadas e não estressadas, levando em consideração os diferentes IV's e os VANT's. Primeiramente, as análises foram realizadas para a comparação entre áreas estressadas e não estressadas, em cada IV e para cada VANT individualmente. Posteriormente, foram testadas as diferenças entre os dois VANTs, tanto para as áreas com estresse quanto para as sem estresse (realizada de forma separada para cada condição, no caso, com e sem estresse).

## 5. Resultados e Discussão

A (Figura 2) apresenta o mosaico RGB da área e os locais de amostras para as condições com e sem estresse.



**Figura 2.** Local de áreas com e sem estresse na lavoura de feijão.



A (**Tabela 2**) apresenta os valores do EMQ para as condições de Ebee sem GCP, Ebee com GCP e Mavic 3M com RTK, para os estádios R5 e R7. No método Ebee sem GCP observa-se um EMQ de valores próximos a 5 e 8 m para os estádios R5 e R7, respectivamente, demonstrando a imprecisão do georeferenciamento sem RTK. Por outro lado, observa-se que tanto o georeferenciamento utilizando o Ebee com GCP como o Mavic 3M com RTK possuem medidas abaixo de 10 cm de erro. Com isso, entende-se que os dois métodos de georeferenciamento se equivalem, sendo ambos precisos. No entanto, o uso do método Mavic 3M com RTK teria a vantagem da não obrigatoriedade de obtenção de GCPs em campo. Valores similares foram obtidos por Lacerda et al. (2023) com e sem RTK, mas utilizando um só VANT. No caso, este autor encontrou valores de erro próximo a 4 cm utilizando RTK e valores de erro próximo a 3m sem RTK.

Na (**Tabela 3**) é apresentado a ANOVA para a comparação entre as áreas com e sem estresse, em função dos IV's e dos VANT's.

**Tabela 2.** Erro Médio Quadrático (em metros).

Estádio	Ebee sem GCP	Ebee com GCP	Mavic 3M com RTK
R5	4.911	0.063	0.074
R7	8,136	0.085	0,056

**Tabela 3.** Estatística ANOVA entre as médias de pixel das áreas com estresse e sem estresse.

IV	Estádio	VANT	Sem Estresse	Com Estresse	P value
NDVI	R5	Ebee	0,3160	0,2971	0,522 <sup>ns</sup>
		Mavic	0,2445	0,2238	0,470 <sup>ns</sup>
	R7	Ebee	0,3888	0,2066	0,000 <sup>**</sup>
		Mavic	0,2555	0,0650	0,000 <sup>**</sup>
MCARI	R5	Ebee	35959	34908	0,822 <sup>ns</sup>
		Mavic	21985	21573	0,870 <sup>ns</sup>
	R7	Ebee	36847	10009	0,000 <sup>**</sup>
		Mavic	22177	7877	0,000 <sup>**</sup>

Nas observações da (**Tabela 3**) feitas no estádio R5, não houve diferença estatística entre áreas com e sem estresse para os dois VANTs a 5% de probabilidade, considerando medidas feitas com os IV's MCARI e NDVI. Isso pode ser justificado pelo tipo de insumo e quantidade de doses aplicadas para provocar o estresse na planta, sendo insuficiente para gerar efeitos de estresse representativos. Já para as observações feitas no estádio R7, houve diferença estatística entre as áreas com e sem estresse para os dois VANTs a 5% de probabilidade, considerando medidas feitas com os IV's MCARI e NDVI. Os resultados indicam que a dosagem do insumo utilizado foi eficaz em provocar estresse nas plantas. Além disso, os dados indicam que tanto o Mavic 3M quanto o Ebee SQ possuem a capacidade de distinguir entre áreas com e sem estresse.

Lipovac et al. (2022) menciona R2 de 0,65 e 0,70 para NDVI e MCARI, respectivamente, na avaliação de previsão de rendimento do feijão cultivado com déficit de irrigação com 60% da Evapotranspiração da cultura.

A (Tabela 4) apresenta a ANOVA para comparação entre VANT's, considerando o tipo de IV e a condição com e sem estresse. Para áreas sem estresse, todos os estádios e IV's analisados apresentaram diferenças significativas a 5% de probabilidade. Já nas áreas com estresse, somente o índice MCARI no estágio R7 não demonstrou diferenças significativas entre os VANTs. Nesse caso, há um indicativo que a depender do estágio fenológico ou do nível de estresse da cultura, o MCARI poderia ser utilizado para os dois VANT'S. Por outro lado, os VANT's tendem a medir informações de IV de forma diferente quando as imagens são obtidas em áreas homogêneas, no caso, áreas de predominância com ou sem estresse. Esse fato estaria ligado à presença do sensor Sunshine no Ebee SQ que faz a calibração das imagens, corrigindo variações causadas por diferentes condições de luminosidade durante o voo, como sombra, nuvens ou hora do dia.

**Tabela 4.** Estatística ANOVA entre os VANT's.

Estádio	Condição	IV	Media		P value
			Mavic 3M	Ebee SQ	
R5	Com Estresse	MCARI	21573	34908	0,000 **
		NDVI	0,2238	0,2971	0,028*
	Sem Estresse	MCARI	21985	35959	0,001**
		NDVI	0,2444	0,3160	0,005**
R7	Com Estresse	MCARI	7877	10009	0,163 <sup>ns</sup>
		NDVI	0,0648	0,2066	0,000**
	Sem Estresse	MCARI	22177	36847	0,000**
		NDVI	0,2554	0,3887	0,000**

## 5. Conclusão

As informações georreferenciadas utilizando o Mavic 3M com RTK e o Ebee SQ com GCP se equivalem, sendo ambos precisos, tomando por referência os levantamentos por GNSS.

Os VANT's Mavic 3M RTK e o Ebee SQ com GCP, utilizando imagens multiespectrais, conseguem distinguir áreas de cultivo de feijão com e sem estresse, utilizando índice de vegetação NDVI, desde que a severidade do estresse esteja perceptível. No entanto, há que determinar em qual nível de severidade do estresse da cultura para que os sensores consigam distinguir. Os VANT's apresentam respostas diferentes nas imagens produzidas. Contudo, foram eficazes na distinção de áreas com e sem estresse.

Há que se considerar os níveis de estresse nos próximos trabalhos.

## 6. Agradecimentos

À EPAMIG e a FAPEMIG, pelos recursos disponibilizados.

## 7. Referências

- Castro, Lucas Eduardo Vieira De. Uso De Imagens Multiespectrais Obtidas Com Rpas Na Predição De Parâmetros Biofísicos Da Cultura Do Feijoeiro. [Trabalho de Conclusão de Curso] - Instituto Federal Goiano, 2022. Disponível em <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/3221>. Acesso em: 31 jul. 2024.
- Jiang Hl, Yang H, Chen XP, et al. [Pesquisa sobre Precisão e Estabilidade do Conteúdo de Clorofila da Vegetação Inversa pelo Método do Índice Espectral]. *Guang pu xue yu Guang pu fen xi = Guang pu*. Abril de 2015; 35(4):975-981. PMID: 26197586.
- Lacerda, Marielcio Gonçalves et al. Verificação da Precisão Geométrica de um Ortofotomosaico gerado a partir de ARPs de Pequeno Porte utilizando RTK. 2023.
- Lipovac, A.; Bezdán, A.; Moravčević, D.; Djurović, N.; Čosić, M.; Benka, P.; Stričević, R. Correlation between Ground Measurements and UAV Sensed Vegetation Indices for Yield Prediction of Common Bean Grown under Different Irrigation Treatments and Sowing Periods. *Water* 2022, 14, 3786. <https://doi.org/10.3390/w14223786>
- Mapbiomas. **Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Pantanal** - Coleção 7. 2021. Disponível em: [https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/10/FactSheet-Pantanal\\_2022.pdf](https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/10/FactSheet-Pantanal_2022.pdf). Acesso em: 25 jul. 2024.
- Oliveira, A.; Oliveira, A.; Oliveira, D.; Djurović, N.; Carvalho, M.; Benka, P.; Stričević, R. Correlação entre Medições de Solo e Índices de Vegetação Sensorizados por VANT para Predição de Produtividade de Feijão Cultivado sob Diferentes Tratamentos de Irrigação e Épocas de Sementeira. **Água** 2022, 14, 3786. <https://doi.org/10.3390/w14223786>IBGE.
- Olsson, P. et al. Radiometric correction of multispectral uas images: Evaluating the accuracy of the parrot sequoia camera and sunshine sensor. *Remote Sensing*, v. 13, n. 4, p. 577, 2021.
- Panorama Agropecuário Municipal. **Informativo Estatístico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam\\_2022\\_v49\\_br\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2022_v49_br_informativo.pdf). Acesso em: 24 jul. 2024.
- Tripicchio, P.; Satler, M.; Dabisias, G.; Ruffaldi, E.; Avizzano, C. A. Towards Smart Farming and Sustainable Agriculture with Drones. *International Conference On Intelligent Environments*. **Ieee Computer Society**. P. 140-143, 2015.

## **Análise sazonal do uso e cobertura da terra no Pantanal de Cáceres MT**

Mateus Cruz Rocha <sup>1</sup>  
Edineia Aparecida dos Santos Galvanin <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação, Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Av. Renato da Costa Lima, 451 - Ville de France  
Ourinhos/SP - 19903-302 Ourinhos - SP, Brazil  
{mateus.c.rocha; edineia.galvanin}@unesp.br

**Resumo.** Este trabalho apresenta uma análise sazonal do Pantanal de Cáceres, Mato Grosso, a partir da classificação orientada a objeto. O estudo utilizou imagens do satélite Landsat 8 com resolução espacial de 30 metros para os períodos chuvoso e seco de 2020. A classificação foi realizada com o software eCognition Developer 8.7 e os resultados e mapas temáticos foram processados no QGIS 3.34. As classes de uso da terra foram definidas conforme o manual técnico do IBGE, incluindo Vegetação, Água e Pastagem. Durante o período chuvoso, as áreas de pastagem cobriam 48,85% e vegetação 41,58% da área total enquanto os corpos d'água representavam 9,56% dos 1.239.654 hectares classificados. No período seco, as áreas de pastagem aumentaram para 54,20%, a vegetação reduziu para 38,41% e os corpos d'água diminuíram para 7,42%. Este estudo permite entender como as variações sazonais afetam a cobertura da terra e a dinâmica ambiental no Pantanal. Os resultados podem fornecer subsídios para a gestão e conservação da região, considerando as mudanças sazonais e suas implicações para o uso da terra.

**Palavras-chave:** geotecnologia, uso da terra, área úmida.

**Abstract.** This work presents a seasonal analysis of the Pantanal of Cáceres, Mato Grosso, through object-oriented classification. The study utilized Landsat 8 satellite images with a spatial resolution of 30 meters for the rainy and dry periods of 2020. The classification was performed using the eCognition Developer 8.7 software, and the results and thematic maps were processed in QGIS 3.34. The land use classes were defined according to the technical manual of IBGE, including Vegetation, Water, and Pasture. During the rainy season, pasture areas covered 48.85% and vegetation 41.58% of the total area, while water bodies represented 9.56% of the classified 1,239,654 hectares. In the dry season, pasture areas increased to 54.20%, vegetation decreased to 38.41%, and water bodies diminished to 7.42%. This study enables a better understanding of how seasonal variations affect land cover and environmental dynamics in the Pantanal. The results may provide support for the management and conservation of the region, considering seasonal changes and their implications for land use.

**Key-words:** Geotechnology, land use, wetland.

## 1. Introdução

O Pantanal, um dos maiores ecossistemas úmidos do mundo, é reconhecido por sua rica biodiversidade e pelos serviços ecossistêmicos que fornece. Esta vasta planície de inundação, situada no centro-sul do Brasil e que se estende até o nordeste do Paraguai e sudeste da Bolívia. Apenas 4,6% do bioma está oficialmente protegido sob a forma de unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável, sejam federais, estaduais e reservas particulares Ministério Do Meio Ambiente, (2014).

Em relação à participação das sub-áreas na formação do Pantanal, Cáceres se estende por aproximadamente 9,01% do território pantaneiro, agregando os municípios de Cáceres e Lambari D'Oeste em Mato Grosso Silva e Abdon, (1998).

As alterações na cobertura da terra, pode trazer implicações ambientais consideráveis, comprometendo a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos desta região. O conhecimento das informações espaciais sobre uso e cobertura da terra (Land Use and Land Cover - LULC) é essencial para o planejamento, gestão e monitoramento dos recursos naturais Zhu, (1997). Além disso, qualquer estudo sobre riscos naturais e antropogênicos, como os realizados por Gupta et al. (1999) e Saha et al. (2002), depende de informações precisas e atualizadas.

Os avanços no processamento digital de imagens de LULC são desafiadores e envolvem diversos métodos. Por exemplo, Galvanin et al. (2019) propuseram a modelagem de efeitos mistos para analisar mudanças de LULC no Pantanal de Cáceres, no estado de Mato Grosso. Enquanto isso, Silva et al. (2022) estudaram a dinâmica de LULC na área da Bacia do Alto Paraguai.

Esta pesquisa propõe realizar a classificação orientada a objetos das mudanças de LULC no Pantanal de Cáceres, proporcionando uma análise sobre o uso e a cobertura da terra. O software eCognition® se destaca como uma ferramenta poderosa para esse processo, pois oferece um conjunto de funcionalidades para analisar dados obtidos por sensores remotos. Utilizando diferentes algoritmos de processamento de imagens e técnicas de aprendizado de máquina ou inteligência artificial, é possível identificar os componentes base que possuem alta similaridade Valverde et al, (2021).

Este trabalho visa contribuir para que as pesquisas nesse âmbito possam ir ao encontro dos objetivos da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável ONU, (2015), cujo propósito é agir em conjunto para superar os múltiplos e complexos desafios enfrentados pelo mundo no século XXI.

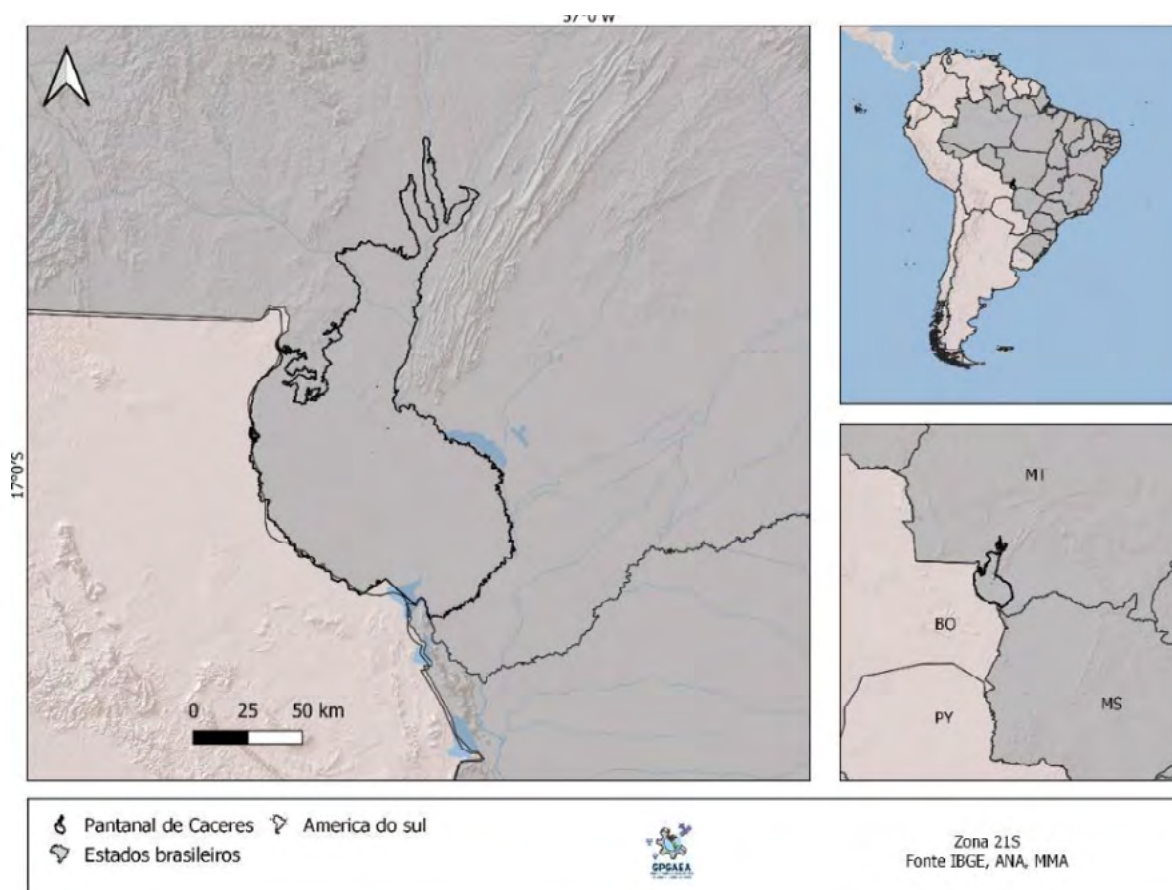
## 2. Objetivo

Comparar as mudanças sazonais do uso e cobertura da terra no Pantanal de Cáceres nos períodos de seca e chuvoso de 2020, utilizando a classificação orientada à objeto.

### 3. Material e Métodos

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo está situada no Pantanal de Cáceres, Mato Grosso, abrangendo uma área total de 12.412,56 km<sup>2</sup>, dos quais mais de 99% pertencem ao município de Cáceres (**Figura 1**). Localiza-se na Bacia do Alto Paraguai (BAP), entre o rio Paraguai e o município de Corumbá, Mato Grosso do Sul, fazendo fronteira com a República da Bolívia e o Pantanal de Poconé Neves, (2006).



**Figura 1.** Localização do Pantanal de Cáceres-MT.

O clima da área de estudo é do tipo Aw, quente e chuvoso no verão e ameno e seco no inverno. A precipitação anual se encontra na ordem de 1000 a 1400 mm, concentrada entre os meses de dezembro a março. Os solos majoritariamente são hidromórficos, com textura arenosa, com o predomínio de Areias Quartzosas Amaral Filho, (1984).

A vegetação do Pantanal é heterogênea e influenciada principalmente pelo Cerrado, mas apresenta também elementos de Floresta Amazônica, Chaco e Floresta Atlântica. Esta característica aliada aos diferentes tipos de solo e os regimes de inundação é responsável pela grande variedade de formações vegetais e pela heterogeneidade da paisagem, que abriga rica biota aquática e terrestre Pott e Adámoli, (1999). O principal fator ecológico na determinação de padrões e processos no Pantanal são os pulsos de inundação Junk et al., (2013) com grandes amplitudes e duração de três a seis meses.

### 3.2. Procedimentos metodológicos

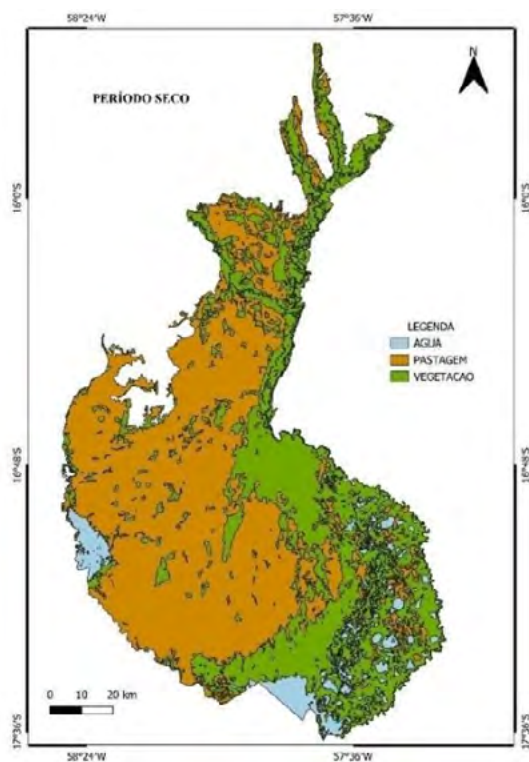
Foram selecionadas quatro cenas que cobrem a área de estudo, obtidas pelo satélite Landsat 8 da coleção Landsat Collection 2 Level-1. As imagens para o período chuvoso, que ocorre entre dezembro e março, foram capturadas entre 17 de fevereiro e 28 de março. Para o período seco, que vai de abril a novembro, os dados utilizados correspondem aos meses entre 8 de junho e 24 de julho. Isso está de acordo com as observações de Neves (2011, p.64), que identificou duas estações bem definidas em Cáceres, um período chuvoso de quatro meses, de dezembro a março, e um período seco de oito meses, de abril a novembro. Os dados multiespectrais, com resolução de 30 metros, foram obtidos no site da United States Geological Survey (USGS).

Utilizou-se a classificação do IBGE no nível 2 de detalhamento, que inclui, Áreas Antrópicas Agrícolas, destinadas à produção alimentar com ênfase na pastagem, Áreas de Vegetação Natural e de Água (rios, áreas úmidas ou alagadas) IBGE, (2013). Para a classificação orientada a objeto, empregou-se o software eCognition, conhecido por sua variedade de ferramentas que aplicam algoritmos de processamento de imagens e técnicas de aprendizado de máquina. O software segmenta camadas raster para identificar

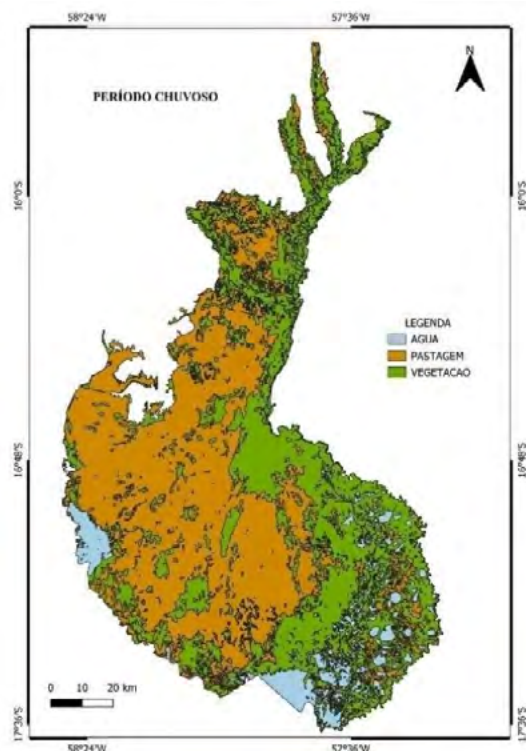
elementos distintos nas imagens, permitindo a atribuição de critérios para a classificação Valverde et al, (2021). Os mapas temáticos foram gerados utilizando o software QGIS (Versão 3.34.1). Para o cálculo das áreas de cada classe, utilizou-se hectares como unidade de medida.

### 4. Resultados e Discussão

Durante o período chuvoso de 2020, o uso da terra na área de estudo foi caracterizado por distribuições entre diferentes categorias. A pastagem ocupou uma parte substancial da paisagem, enquanto a vegetação cobriu uma área considerável. No período seco de 2020, uma mudança nos padrões de uso da terra foi observada, a área dedicada à pastagem aumentou (**Figuras 2 e 3**)



**Figura 2.** Classificação período seco.



**Figura 3.** Classificação período chuvoso.

Ao longo de 2020, as mudanças nas áreas de pastagem, vegetação e corpos d'água entre os períodos chuvoso e seco revelaram uma dinâmica no uso e cobertura da terra. No período chuvoso, a pastagem ocupava aproximadamente 48,85% da área total. Com a transição para o período seco, essa área aumentou para cerca de 54,20% da área.

As áreas alagadas apresentaram uma diminuição, durante o período chuvoso, os corpos d'água representavam cerca de 9,56% da área total, mas no período seco essa extensão reduziu-se para 7,42%. Cabe ressaltar que as alterações no regime de precipitação e inundação causam variações na cobertura vegetal, impactando diretamente todo o bioma Pott, (2000).

## 5. Conclusões

Os resultados deste estudo revelam mudanças no uso e cobertura da terra no Pantanal de Cáceres entre os períodos chuvoso e seco de 2020, evidenciando a dinâmica sazonal da região. Durante o período chuvoso, observou-se uma diminuição significativa nas áreas de pastagem, enquanto a vegetação e os corpos d'água aumentaram consideravelmente no período chuvoso.

A classificação orientada a objeto é eficaz na detecção de mudanças sazonais na cobertura da terra, uma vez que considera não apenas as características espectrais das imagens, mas também a forma, tamanho e contexto dos objetos. Isso é fundamental no Pantanal, onde as variações entre a estação seca e a estação chuvosa alteram a paisagem. Esse trabalho reforça a importância do monitoramento contínuo do uso e cobertura da terra, especialmente em ecossistemas sensíveis como o Pantanal, onde a dinâmica hídrica é essencial para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.



## 6. Referências

- Amaral Filho, Z. P. Solos do Pantanal Mato-Grossense. In: **Anais** do 10º Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal. Embrapa-CPAP-UFMS, 1984. 265 p. (Embrapa-CPAP, Documentos, 5).
- Galvanin, E.; Menezes, R.; Pereira, M. H. X.; Neves, S. M. Mixed-effects modeling for analyzing land-use change in the Brazilian Pantanal subregion of Cáceres. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 13, p. 408–414, 2019.
- Gupta, R. P.; Saha, A. K.; Arora, M. K.; Kumar, A. Landslide Hazard Zonation in a part of the Bhagirathi Valley, Garhwal Himalayas, using integrated remote sensing -GIS. **Himalayan Geology**, v. 20, n. 2, p. 71-85, 1999.
- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística (IBGE). Manual Técnico de Uso da Terra. 3ª ed. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2013.
- Junk, W. J.; Bayley, P. B.; Sparks, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, v. 106, p. 110-127, 2013.
- Ministério Do Meio Ambiente (MMA). Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Pantanal. Brasília: **MMA**, 2014.
- Nações Unidas No Brasil (ONU BR). A Agenda 2030. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 07 jul. 2024.
- Neves, S. M. A. S. Modelagem de um banco de dados geográficos do Pantanal de Cáceres/MT: estudo aplicado ao turismo. 2006. 284 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de pósgraduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- Neves, S. M. A. S.; Nunes, M. C. M.; Neves, R. J. Caracterização das condições climáticas de Cáceres/MT - Brasil, no período de 1971 a 2009: subsídio às atividades Agropecuárias e turísticas municipais. B. goiano. geogr. v.31, n. 2, p. 55-68, jul./dez., 2011.
- Pott, A. Dinâmica da vegetação do Pantanal. In: Cavalcanti, T.C., Walter, B.M.T. (org.) Tópicos atuais em Botânica. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia/**Sociedade Botânica do Brasil**, 2000. p.1.
- Pott, A.; Adámoli, J. Flora e fitossociologia do Pantanal. In: **Anais** do Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal, EMBRAPA, p. 195-232, 1999.
- Saha, A. K.; Gupta, R. P.; Arora, M. K. GIS-based Landslide Hazard Zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 2, p. 357-369, 2002.
- Silva, D.; Galvanin, E. A. S.; Menezes, R. Spatio-temporal analysis of land use/land cover change dynamics in Paraguai/Jauquara Basin, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, p. 1-20, 2022.
- Silva, J. S. V.; Abdon, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, 1998. p. 1703-1711.
- Valverde, S. A. et al. Clasificación y detección automática con eCognition para el análisis de coberturas en ortomapas y modelos de elevación digital. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), **Turrialba**, Costa Rica, 2021.
- Zhu, A. X. Measuring uncertainty in class assignment for natural resource maps under fuzzy logic.

## Precipitação e Índice de Seca no Pantanal Brasileiro, de 1994 a 2023

Moisés Damasceno Souza<sup>1</sup>  
Rivanildo Dallacort<sup>2</sup>  
Vanessa Rakel de Moraes Dias<sup>2</sup>  
Sandra Mara Alves da Silva Neves<sup>3</sup>  
Dionei José da Silva<sup>3</sup>  
Gabriela Custodio Oliveira<sup>4</sup>  
Eduardo Nunes Viana<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT  
Pós-Graduando em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola  
Av. Inácio Bittencourt Cardoso, n. 6967 E, Jardim Aeroporto - Tangará da Serra-MT, 78301-532  
moises.damasceno@unemat.br

<sup>2</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT  
Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - CETEGEO-SR  
Av. Inácio Bittencourt Cardoso, n. 6967 E, Jardim Aeroporto  
Tangará da Serra-MT, 78301-532  
{vanessadias; rivanildo}@unemat.br

<sup>3</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Laboratório de Geotecnologias UNEMAT (LabGeo, UNEMAT)  
Av. Santos Dumont, s/n – Cidade Universitária. Bairro: Lobo  
78211-298 Cáceres/MT, Brasil  
ssneves@unemat.br; dioneijs@gmail.com

<sup>4</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT  
Graduandos em Agronomia  
Av. Inácio Bittencourt Cardoso, n. 6967 E, Jardim Aeroporto  
Tangará da Serra-MT, 78301-532  
{eduardo.viana; gabriela.custodio}@unemat.br

**Resumo.** O Pantanal Brasileiro abriga rica biodiversidade, atuando na regulação do ciclo hidrológico e fornecendo insumos para a economia local. A variação espacial e temporal da precipitação influencia a dinâmica ecológica do bioma, e a seca, agravada pela diminuição das chuvas, impacta os recursos hídricos e os pulos de inundação. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é analisar a distribuição espacial e temporal da precipitação pluviométrica e da seca no Pantanal Brasileiro, entre os anos de 1994 e 2023. A variabilidade da precipitação e a incidência de secas hidrológicas no Pantanal foram estimadas usando dados do ERA5-Land de 1994 a 2023, com cobertura global e resolução de 9 km. Esses dados são contínuos e sem lacunas, fornecendo uma série completa global para análise. O índice padronizado de precipitação (SPI) foi empregado para monitorar secas, com valores negativos indicando insuficiência hídrica e positivos, excedente hídrico. O SPI-12 (acumulado de 12 meses consecutivos) foi utilizado para monitorar secas hidrológicas, proporcionando uma análise sem lacunas espaço-temporais. A precipitação anual no Pantanal variou entre menos de 1000 mm e mais de 2500 mm, com maiores acumulados nos anos antes da virada do século XX e uma redução no século XXI, especialmente nos últimos cinco anos. O período de 1994 a 2001 teve chuvas uniformes de 1500 a 2500 mm, enquanto anos subsequentes, como 2002 e 2004, tiveram variações maiores. O SPI-12 revelou períodos alternados de seca e umidade nos últimos 30 anos, com um aumento na frequência de eventos secos nos últimos anos, indicando uma tendência de redução.

**Palavras-chave:** chuva, SPI, eventos extremos, geotecnologias, bioma.

**Abstract.** The Brazilian Pantanal is vital for biodiversity, regulation of the hydrological cycle and local economy. Spatial and temporal variation in precipitation influences the ecological dynamics of the region, and drought, aggravated by decreased rainfall, impacts water resources and biodiversity. In this context, the objective of this work was to analyze the spatial and temporal distribution of rainfall and drought in the Brazilian Pantanal between 1994 and 2023. Precipitation variability and the incidence of hydrological droughts in the Pantanal were estimated using ERA5-Land data from 1994 to 2023, with global coverage and 9 km resolution. These data are continuous and without gaps, providing a complete global series for analysis. The Standardized Precipitation Index (SPI) was used to monitor droughts, with negative values indicating water shortage and positive values indicating water surplus. The SPI-12 was used to monitor hydrological droughts, providing an analysis without spatiotemporal gaps. Annual precipitation in the Pantanal has varied between less than 1000 mm and more than 2500 mm, with higher accumulations in the years before the turn of the 20th century and a reduction in the 21st century, especially in the last five years. The period from 1994 to 2001 had uniform rainfall of 1500 to 2500 mm, while subsequent years, such as 2002 and 2004, had greater variations. SPI-12 revealed alternating periods of drought and wetness in the last 30 years, with an increase in the frequency of dry events in recent years, indicating a decreasing trend.

**Key-words:** rain, SPI, Extreme events.

## 1. Introdução

O Pantanal Brasileiro, reconhecido como uma das maiores áreas úmidas do mundo, desempenha um papel crucial na manutenção da biodiversidade, no ciclo de nutrientes, na captura de carbono, na regulação do ciclo hidrológico da região, fornece água doce e apoia muitas economias locais e regionais Ivory et al., (2019).

As chuvas, sendo um dos principais fatores climáticos que influenciam a dinâmica ecológica do Pantanal, apresentam uma variação espacial e temporal. Compreender essa variabilidade é essencial para a gestão sustentável dos componentes naturais e para a mitigação de eventos extremos, como secas e inundações. As secas, reconhecidas como o principal desastre natural resultante de variações climáticas em escala global, provocam impactos diretos na agricultura, na geração de energia, no abastecimento de água e na ocorrência de incêndios florestais Forootan et al., (2019); Wu et al., (2021). Tais eventos são determinados pela diminuição dos índices de precipitação em uma determinada área.

Pesquisas têm destacado a importância da precipitação na manutenção dos ecossistemas pantaneiros, como o de Dias et al. (2017) que investigaram a distribuição espaço-temporal das chuvas no estado de Mato Grosso, incluindo o Pantanal Norte, enquanto Ivory et al. (2019) analisaram a influência da variabilidade anual da precipitação na distribuição espacial da vegetação nas áreas alagadas, Marengo et al. (2021) identificaram que eventos de seca prolongada tem resultado em incêndios que devastaram centenas de milhares de hectares do Pantanal. No entanto, ainda há necessidade de pesquisas que se concentrem na relação entre precipitação e índices de seca, como o Índice Padronizado de Precipitação (SPI).

Os índices meteorológicos são as principais ferramentas para identificação de secas em diferentes escalas de tempo. O SPI McKee et al. (1995), foi desenvolvido com intuito de quantificar, por meio de valores, a severidade e magnitude das secas, viabilizando a determinação e interpretação de um evento ou característica de seca Gonçalves et al., (2021).

A compreensão detalhada da distribuição espacial das chuvas e da seca no Pantanal no Brasil é fundamental para a gestão sustentável dos cursos hídricos e para a conservação da biodiversidade. Além disso, este estudo pode fornecer subsídios para a formulação de políticas públicas e estratégias de adaptação às mudanças climáticas.

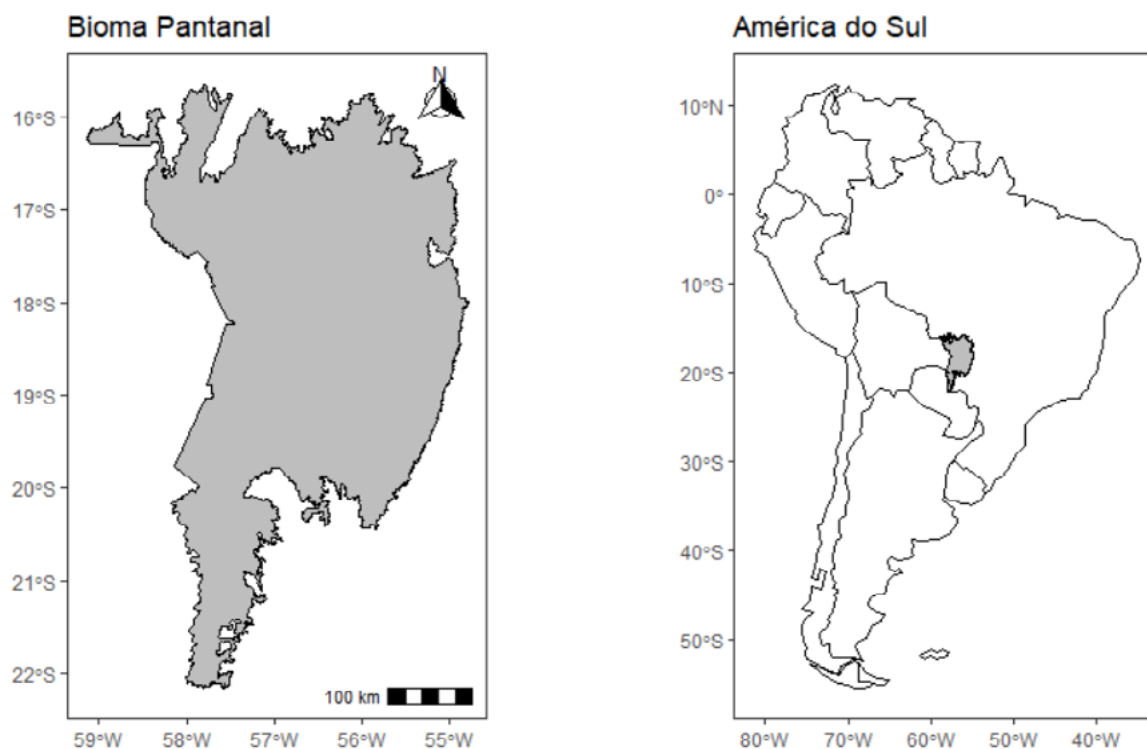
## 2. Objetivo

Este estudo tem como objetivo analisar a distribuição espacial e temporal da precipitação pluviométrica no Pantanal Brasileiro, entre os anos de 1994 e 2023, bem como a distribuição

do índice de seca estimado pelo SPI, para identificação de padrões de precipitação e seca, contribuindo para o entendimento das dinâmicas climáticas.

### 3. Material e Métodos

A pesquisa foi realizada no Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (CETEGEO-SR) da Universidade do Estado de Mato Grosso, campus de Tangará da Serra. A distribuição espaço-temporal da precipitação pluviométrica e incidência de secas hidrológicas foram estimadas para o bioma Pantanal no território brasileiro (**Figura 1**).



**Figura 1.** Pantanal Brasileiro, nos contextos sul-americano e brasileiro.

Fonte: IBGE (2022), elaborado pelos autores (2024).

Neste estudo, foi utilizado a variável precipitação (mm) referente ao período de 1994 a 2023, presentes no conjunto de dados do ERA5-Land, com grades regulares de  $0,10^\circ \times 0,10^\circ$  e resolução horizontal de 9 km Copernicus, (2024), obtidos por meio da execução de um script no Code Editor do Google Earth Engine Google, (2024). Esses bancos de dados são conhecidos por não apresentarem lacunas espaço-temporais nos registros, proporcionando uma série completa global para cada região Lavers et al., (2022).

O SPI é utilizado para monitoramento das secas em várias escalas, esse índice é calculado com base na normalização da precipitação mensal em uma função de distribuição de probabilidade, em que os valores negativos expressam insuficiência hídrica na região, e valores positivos representam excedente hídrico Liu et al., (2021); Fernandes et al., 2021; Lorenzo et al., (2024). As escalas temporais utilizadas no cálculo do SPI correspondem ao acúmulo da precipitação em 1, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 meses consecutivos (SPI-1, SPI-3, SPI-6, SPI-9, SPI-12, SPI-18 e SPI-24, respectivamente).

A descrição detalhada para formulação do cálculo do SPI consta em Pei et al. (2020) e

Danandeh Mehr e Vaheddoost (2019). A caracterização dos eventos de seca é realizada seguindo a (Tabela 1).

**Tabela 1.** Classificação das secas segundo o Índice Padronizado de Precipitação (SPI).

<b>Categorias de umidade climática</b>	<b>SPI</b>
Excepcionalmente úmido	$\geq 2,0$
Severamente Muito	1,60 a 1,99
Muito Úmido	1,30 a 1,59
Moderadamente Úmido	0,80 a 1,29
Próximo à normal	0,79 a - 0,79
Moderadamente Seco	- 0,80 a - 1,29
Muito Seco	- 1,0 a - 1,49
Severamente Seco	- 1,60 a - 1,99
Excepcionalmente Seco	$\leq - 2,0$

Fonte: INPE, (2014).

A análise geral dos dados, cálculo de SPI e formulação das figuras foram realizadas no software R (R Core Team, 2023).

#### 4. Resultados e Discussão

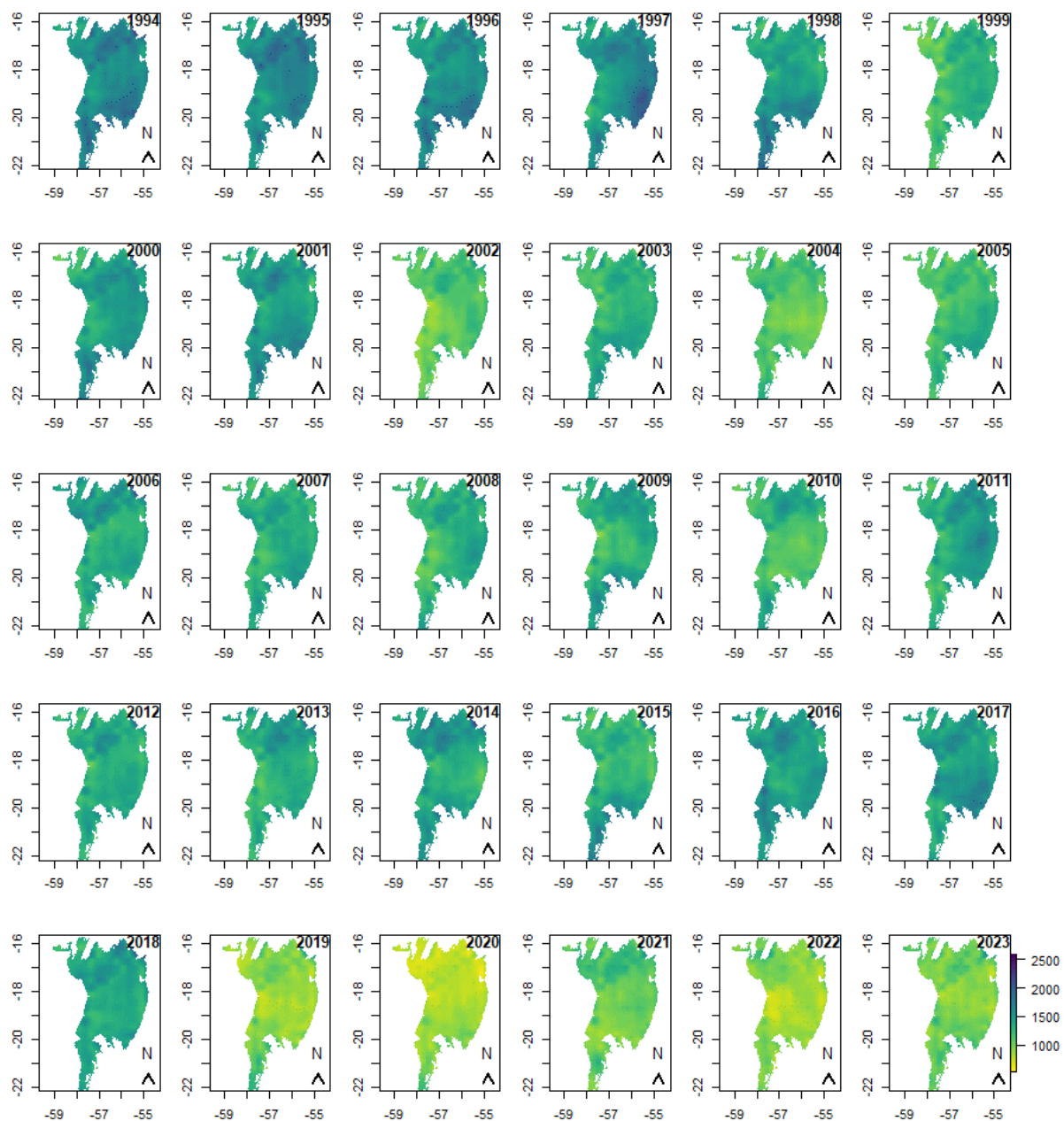
A distribuição anual de precipitação para o bioma Pantanal (**Figura 2**) é caracterizada pela flutuação dos acumulados anuais, com valores inferiores à 1.000 mm até superiores a 2.500 mm, com maior concentração pluviométrica nos anos antes da virada do século. No século XXI, é observada uma redução dos acumulados anuais, principalmente nos últimos 5 anos de estudo, quando comparados às décadas passadas.

Nessa distribuição o maior índice acumulado ocorreu em 1996, sendo superior a 2.400 mm, enquanto o menor acumulado mensal foi em 2020, com médias inferiores a 1.000 mm anuais em várias porções do bioma. Vale salientar que houve um regime pluviométrico uniforme dentre 1994 a 2001, com índices oscilando de 1.500 mm a 2.500 mm, fato não observado em alguns anos subsequentes, como 2002, 2004 e com maior incidência de secas a partir de 2019, com precipitação anual acumulada inferior a 1.000 mm.

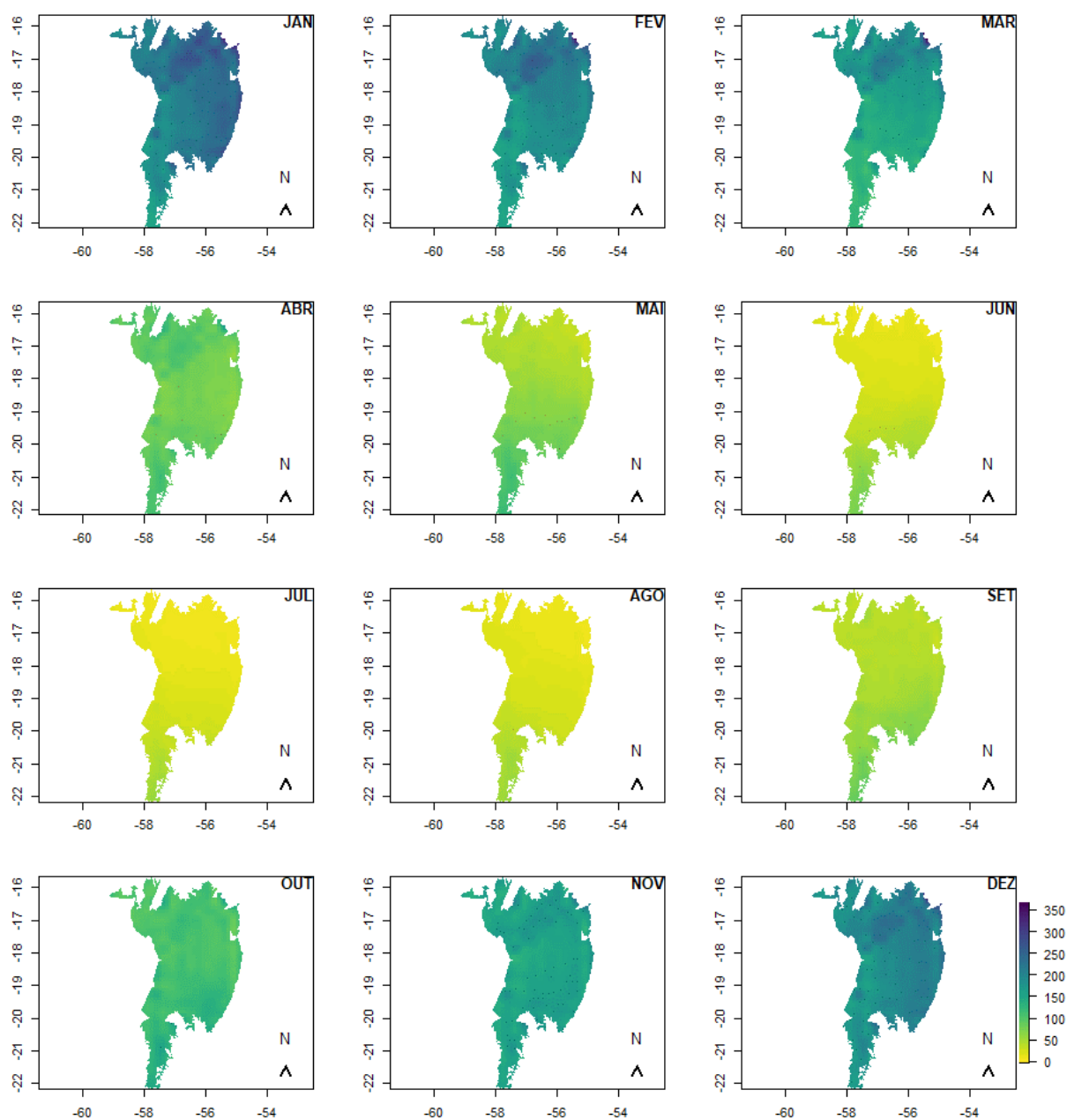
A distribuição mensal indicou duas estações bem definidas, uma seca, com redução da precipitação acumulada mensal de junho a agosto, com índices inferiores a 100 mm, e nos meses subsequentes ocorreu o aumento do regime pluviométrico, com maior registro de dezembro a fevereiro, com acumulados superiores a 250 mm (**Figura 3**).

Resultados semelhantes foram observados por Marengo et al. (2016), que identificaram uma média anual de 1.400 mm, com variação de 800 a 1.600 mm, com propensão a alcançar 2.000 mm anuais. No mesmo estudo os autores caracterizam o regime mensal com chuvas de novembro a março e o período seco de junho a agosto.

Na perspectiva anual, como mencionado, ocorreu uma redução acentuada do regime pluviométrico de 2019 a 2023. Marcuzzo et al. (2020), estudando tendências das chuvas na região do Pantanal, identificaram em 12 estações meteorológicas uma diminuição da precipitação, que, na visão dos autores, podem mudar a dinâmica de inundação. Tais alterações também foram



**Figura 2.** Distribuição média anual da precipitação pluviométrica no Pantanal Brasileiro, entre os anos de 1994 e 2023.



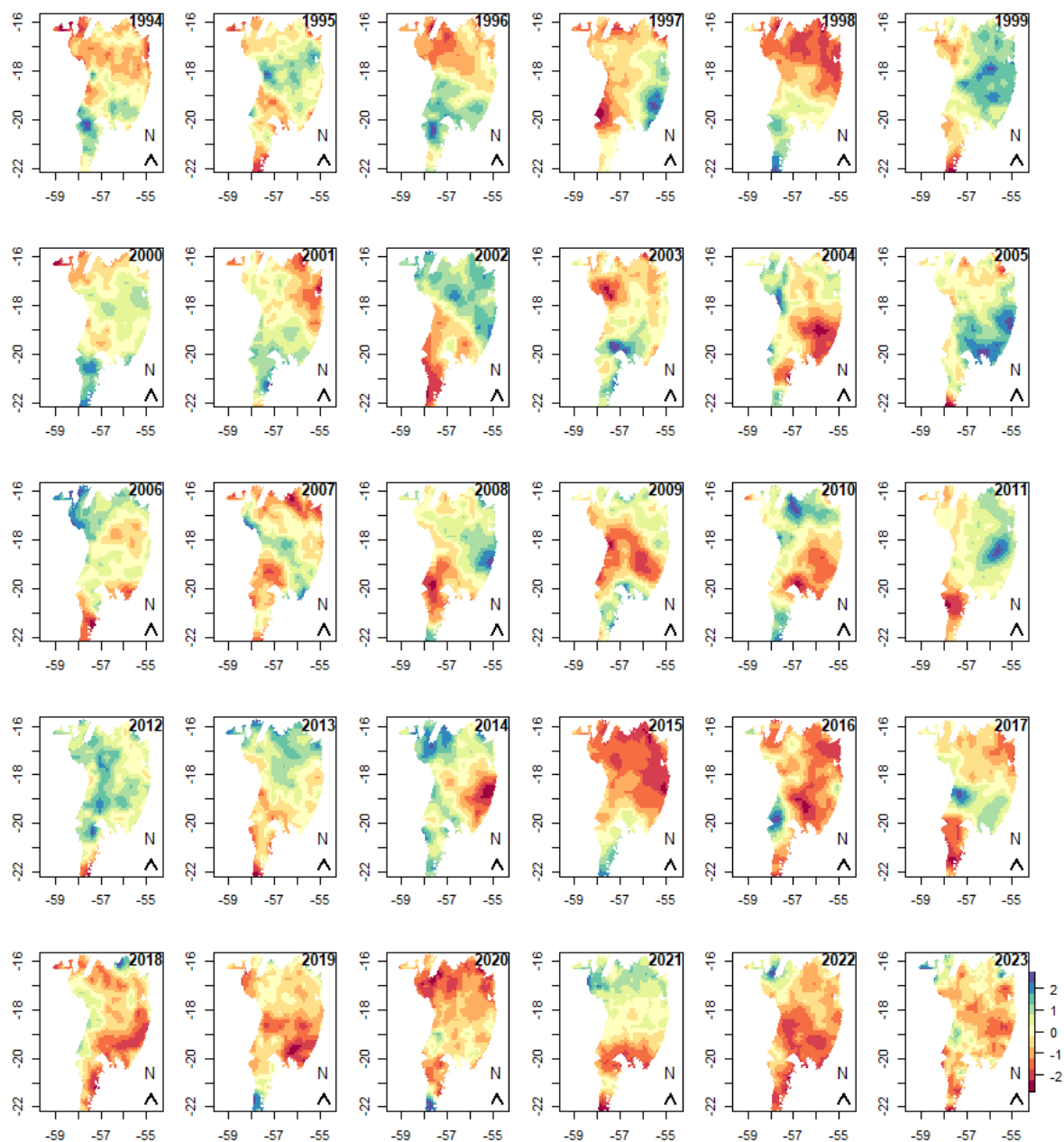
**Figura 3.** Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica para o Pantanal Brasileiro, entre os anos de 1994 a 2023.

apontadas por Lázaro et al. (2020), que identificaram o aumento de dias sem precipitação, assim como a redução da massa de água.

O SPI-12 indicou diferentes regimes dentro dos 30 anos avaliados (Figura 4), com caracterização de excepcionalmente úmido em alguns locais no Pantanal, com índices fluando em torno de 2,00.

Esse comportamento foi observado em vários anos, no entanto, períodos secos, classificados como severamente e excepcionalmente secos, também estão distribuídos em regiões diferentes no bioma.

Avaliando períodos separadamente, de 1994 a 2014 ocorreu uma oscilação de períodos secos e úmidos, com algumas regiões apresentando neutralidade. No intervalo de 2015 a 2023,



**Figura 4.** Distribuição média anual do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) para o Pantanal Brasileiro, entre os anos de 1994 e 2023.

ocorreu uma maior concentração de períodos secos, corroborando com a distribuição anual de precipitação, onde foi diagnosticado uma redução do regime para os últimos anos. Esses resultados indicam uma maior predominância de eventos secos nos últimos 10 anos, fato que pode estar associado ao regime pluviométrico regional, causando uma instabilidade e maior ocorrência desses episódios.

Eventos semelhantes foram observados por Marengo et al. (2021), que estudaram a seca extrema no Pantanal de 2019 a 2020, caracterizando eventos semelhantes aos observados no presente estudo. Os mesmos, considerando o período de 1900 a 2020, determinaram uma flutuação entre períodos úmidos e secos por meio do SPI-12, no entanto, observaram eventos concentrados de secas principalmente entre 1962 a 1973 e de 2016 a 2020, todos esses eventos,



na visão dos autores coincidem com as mudanças nos padrões da precipitação, responsáveis pela alteração do regime hídrico.

## 5. Conclusões

A distribuição anual de precipitação no bioma Pantanal, entre 1994 a 2023, variou de menos de 1.000 mm a mais de 2.500 mm, com uma redução a partir do século XXI, especialmente nos últimos 5 anos. Em 1996, os acumulados foram superiores a 2400 mm, enquanto em 2020 foram inferiores a 1000 mm. O período de 1994 a 2001 teve um regime pluviométrico mais uniforme, com índices entre 1.500 mm e 2.500 mm, com variações mais acentuadas a partir de 2002, e uma maior ocorrência de precipitação abaixo de 1.000 mm desde 2019.

O SPI-12, referente ao acumulado da incidência de secas em 12 meses consecutivos, indicou períodos secos e úmidos alternados ao longo dos 30 anos, com alguns extremamente úmidos e outros excepcionalmente secos, porém entre 2015 a 2023 observou-se uma frequência maior de períodos secos, refletindo a redução na precipitação anual e indicando uma maior predominância de eventos secos.

## 6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) com a concessão da bolsa de mestrado; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) com as bolsas de iniciação científica.

## 7. Referências

- Copernicus. **Copernicus Climate Change Service (C3S)**. ERA5-Land monthly averaged data from 1950 to present. 2024. Disponível em: <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/10.24381/cds.68d2bb30?tab=overview>>. Acesso em: 20 jul. 2024.
- Danandeh Mehr, A.; Vaheddoost, B. Identification of the trends associated with the SPI and SPEI indices across Ankara, Turkey. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 139, n. 3, p. 1531-1542, 2020.
- Dias, V. R. M.; da Silva Sallo, F., Sanches, L., Dallacort, R. Geostatistical modeling of the ten-day rainfall in Mato Grosso State. **Geografia**, v. 42, n. 3, p. 99-112, 2017.
- Fernandes, V. R.; Cunha, A. P. M. A.; Pineda, L. A. C.; Leal, K. R. D.; Costa, L. C. O.; Broedel, E.; França, D. A.; Alvalá, R. C. S.; Seluchi, M. E.; Marengo, J. Secas e os impactos na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 561-584, 2021.
- Footan, E.; Khaki, M.; Schumacher, M.; Wulfmeyer, V.; Mehrnegar, N.; Dijk, A. I. J. M. V.; Brocca, L.; Farzaneh, S.; Akinluyi, F.; Ramillien, G.; Shum, C. K.; Awange, J.; Mostafaie, A. Understanding the global hydrological droughts of 2003–2016 and their relationships with teleconnections. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 2587-2604, 2019.
- Gonçalves, S. T. N.; Junior, F. C. C.; Sakamoto, M. S.; Silveira, C. S.; Martins, E. S. P. R. índices e metodologias de monitoramento de secas: uma revisão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 495-511, 2021.
- Google. Google Earth Engine. Disponível em: <<https://earthengine.google.com/>>. Acesso em: 20 jul. 2024.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Informações sobre Produtos de Monitoramento Climático Mensal e Sazonal das Chuvas no Brasil. 2014. Disponível em: <[https://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento\\_produto\\_indice.pdf](https://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Documento_produto_indice.pdf)> Acesso em: jul. 2024.
- Ivory, S. J.; McGlue, M. M.; Spera, S., Silva, A.; Bergier, I. Vegetation, rainfall, and pulsing hydrology in the Pantanal, the world's largest tropical wetland. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 12, p. 124017, 2019.
- Lavers, D. A.; Simmons, A.; Vamborg, F.; Rodwell, M. J. An evaluation of ERA5 precipitation for climate monitoring. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 148, n. 748, p. 3152-3165, 2022.

- Lázaro, W. L.; Oliveira-Júnior, E. S.; da Silva, C. J.; Castrillon, S. K. I.; Muniz, C. C. Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: an overview of the Northern Pantanal water regime. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 32, p. e104, 2020.
- Liu, C. Yang, C. Yang, Q. Wang, J. Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province, China. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 1280, 2021.
- Lorenzo, M. N. Pereira, H. Alvarez. I. Dias, J. M. Standardized Precipitation Index (SPI) evolution over the Iberian Peninsula during the 21st century. **Atmospheric Research**, v. 297, p. 107132, 2023.
- Marcuzzo, F. F. N.; Faria, T. G.; Cardoso, M. R. D.; Melo, D. C. R. Chuvas no Pantanal brasileiro: análise histórica e tendência futura. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 3., 2010, Cáceres. **Anais [...]**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2010. p. 170-180.
- Marengo, J. A.; Alves, L. M.; Torres, R. R. Regional climate change scenarios in the Brazilian Pantanal watershed. **Climate Research**, v. 68, n. 2-3, p. 201-213, 2016.
- Marengo, J. A.; Cunha, A. P.; Cuartas, L. A.; Deusdará Leal, K. R.; Broedel, E.; Seluchi, M. E.; ... Bender, F. Extreme drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: characterization, causes, and impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 639204, 2021.
- MCKEE, Thomas B. et al. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: **Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology**, 1993. p. 179-183.
- Pei, Z.; Fang, S.; Wang, L.; Yang, W. Comparative analysis of drought indicated by the SPI and SPEI at various timescales in inner Mongolia, China. **Water**, v. 12, n. 7, p. 1925, 2020.
- R Core Team (2023). R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>> Acesso em: 20 jul. 2024.
- Wu, J.; Chen, X.; Yuan, X.; Yao, H.; Zhao, Y.; Aghakouchak, A. The interactions between hydrological drought evolution and precipitation-streamflow relationship. **Journal of Hydrology**, v. 597, n. ?, p. 126210, 2021.

## **Armazenamento total de água utilizando dados GRACE na Região Hidrográfica do Paraguai - bacia do Rio Paraguai**

Mayara Cristina Santos Marques<sup>1</sup>  
Daniel Andrés Rodríguez<sup>2</sup>  
Caroline Melo Ribeiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso,  
campus Pontes e Lacerda - IFMT  
Rodovia MT-473- s/n  
78250-000 – Pontes e Lacerda – MT, Brasil  
mayara.marques@ifmt.edu.br

<sup>2</sup> Programa de Engenharia Civil  
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - Coppe  
Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Caixa Postal 68506  
21941-909 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
daniel.andres@coc.ufrj.br

<sup>3</sup> Programa de Engenharia Civil  
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - Coppe  
Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Caixa Postal 68506  
21941-909 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
caroline.ribeiro@coc.ufrj.br

**Resumo.** O Pantanal é abastecido, em grande parte, pelas águas que advém do planalto adjacente. Porém, as terras altas estão fortemente antropizadas, em especial, pelo desenvolvimento da pecuária e agricultura em detrimento da vegetação natural. As alterações no uso e cobertura da terra podem vir a causar mudanças na hidrologia da região, por exemplo, períodos de estiagem mais severos. Dessa maneira, este estudo busca verificar, através dos dados de armazenamento total de água, fornecidos pelo GRACE, a variação na quantidade de água. Para isso, além dos dados do GRACE, também foram utilizados dados de vazão de uma estação fluviométrica, no exutório da área de estudo, e dados de um poço de monitoramento de águas subterrâneas próximo da região. Como resultados, os dados de armazenamento total de água e de vazão apresentaram correlação forte, demonstrando a importância da componente água superficial no armazenamento total de água na região. Porém, foram observados que todas as séries temporais, a partir de 2015, apresentaram uma diminuição de seus valores, indicando que a região está com um menor armazenamento de água, o que pode ser um reflexo do armazenamento subterrâneo. Uma diminuição no armazenamento de água na região traria como consequências, por exemplo, um menor aporte de água para o Pantanal a jusante, podendo comprometer toda a dinâmica e a biodiversidade do bioma.

**Palavras-chave:** monitoramento, imagens de satélite, água superficial, água subterrânea, Pantanal.

**Abstract.** Pantanal is supplied mainly by the waters that come from the adjacent plateau. However, the highlands are heavily anthropized, especially by the development of livestock and agriculture to the detriment of natural vegetation. Changes in land use and cover can cause changes in the region's hydrology, for example, more severe dry periods. Therefore, this study seeks to verify, through total water storage data, provided by GRACE, the variation in the amount of water. For this, in addition to the GRACE data, flow data from a fluviometric station in the outflow of the study area were also used, as well as data from a groundwater monitoring. As a result, data on total water storage and flow were presented strongly, demonstrating the importance of the surface water component in the total water storage in the region. However, it was observed that all the time series, from 2015, registered a reduction in their values, indicating that the region has less water storage, which may be a consequence of the groundwater recharge. A decrease in water storage in the region would have the consequences, for example, of less water transport to the Pantanal downstream, which could compromise the entire dynamics and biodiversity of the biome.

**Key-words:** monitoring, satellite images, surface water, underground water, Pantanal.

## 1. Introdução

A Região Hidrográfica do Paraguai (RH - Paraguai) possui, dentro de seus limites, o bioma Pantanal, altamente dependente do regime de águas. Os rios e a planície do Pantanal são abastecidos, em grande parte, pelas chuvas provenientes das terras altas Hamilton, (2002); Valeriano et al., (2012); Bergier, (2013). Porém, essa região de planalto, circundante ao Pantanal, vem sendo fortemente antropizada com predominância dos usos da terra, pecuária e agricultura Roque et al., (2016).

Estudos de Marques e Rodriguez et al. (2022), na Região Hidrográfica do Paraguai, mais especificamente na bacia do rio Paraguai, demonstraram que, no período da seca, as vazões dos rios vêm apresentando uma tendência negativa. Nesse mesmo trabalho, os autores relacionam essa tendência negativa às atividades antrópicas, em especial, relacionadas ao uso e ocupação da terra.

Uma das hipóteses para essa diminuição de vazões no período de estiagem seria à diminuição do fluxo de base, este que é o responsável, em sua maior parte, pelo abastecimento dos rios no período em que há poucas ou nenhuma ocorrência de chuvas. Essa diminuição seria consequência do uso da terra verificado na região estudada, com a substituição da vegetação natural, que poderia afetar a recarga da água presente no subsolo.

Além do uso e ocupação do solo, devido à expansão da agricultura na bacia do rio Paraguai, em especial a partir dos anos 2000 Marques e Rodriguez,(2022), outra preocupação é o uso da água. Entre 2006 e 2017, a irrigação aumentou quatro vezes na bacia do rio Paraguai, onde a atividade agrícola irrigada consumiu 2,18 m<sup>3</sup>/s na média anual e 4,89 m<sup>3</sup>/s considerando somente o período seco, correspondendo ao maior uso da água IBGE, (2017); Ana, (2018). Além da água superficial, também há o uso de poços subterrâneos. O sistema aquífero Parecis, por exemplo, que faz parte da região, também é compartilhado por uma área adjacente com uma forte presença de agricultura e, segundo Pascotto et al. (2022), a região específica já apresenta uma tendência de diminuição da disponibilidade hídrica superficial, que está impulsionando a migração dos usuários para a água subterrânea, como suprimento para irrigação de monoculturas, com a presença de poços localizados no sistema aquífero Parecis.

Diante desses cenários, em uma gestão integrada de águas, além dos regimes de vazão e de chuvas, torna-se indispensável a avaliação do armazenamento total, esta que inclui a água subterrânea, ao longo dos anos. No contexto dos estudos desenvolvidos para a RH Paraguai, foi verificado que há, ainda, apenas uma proposta de rede de monitoramento de águas subterrâneas, envolvendo os aspectos de qualidade e nível da água Ana, (2017). Assim, a disponibilidade de dados de água subterrânea na região é limitada a poucas áreas e com períodos de monitoramento variáveis. Nesse sentido, a utilização de dados de satélite apresenta-se como uma alternativa

viável à realização desses estudos.

A missão espacial GRACE, por exemplo, tem como um dos seus produtos, a estimativa da quantidade de água armazenada, que é composta pela componente de água subterrânea, somada à água superficial e à umidade do solo Famiglietti et al., (2011); Famiglietti e Rodell, (2013); Rodell et al., (2018), onde cada componentes terá sua predominância dependendo da hidrologia da região. Diante disso, vários estudos vêm utilizando seus dados para a estimativa da quantidade de água armazenada Munier et al., (2012); Getirana, (2016); Sun et al., (2016).

Assim, o presente trabalho busca verificar a possibilidade de uso dos dados obtidos pelo GRACE para o monitoramento ambiental na bacia do rio Paraguai, RH - Paraguai, em especial, buscando identificar, a variação no armazenamento total de água. Esse estudo é importante visto que a área de estudo é uma das regiões que derivam água para o Pantanal, onde, por exemplo, alterações quantitativas de água podem afetar todo seu ecossistema.

## 2. Objetivo

Este estudo busca realizar uma análise exploratória da série temporal de dados de armazenamento total de água, fornecida pela missão GRACE, a fim de identificar a sua variação, assim como relacionando com as componentes água superficial e água subterrânea, na região da bacia do rio Paraguai – RH - Paraguai.

## 3. Material e Métodos

### 3.1. Área de Estudo

A área de estudo da pesquisa, aqui denominada de bacia do rio Paraguai, inclui três unidades de planejamento e gestão (UPG) da RH - Paraguai: P1 – Jauru; P2 – Alto Paraguai Médio e P3 – Alto Paraguai Superior, (Ana, 2018) (**Figura 1**), totalizando aproximadamente 50000 km<sup>2</sup>.

Conforme (**Figura 1**), a maior parte da área de estudo pertence ao planalto, e é deste que deriva grande parte das águas que abastece a rede fluvial da UPRB, incluindo o Pantanal, onde os principais fenômenos atmosféricos formadores de precipitação atuantes são o efeito orográfico e a Zona de Convergências do Atlântico Sul Valeriano et al., (2012). Além disso, uma das características do Pantanal é o seu pulso de inundação, que se propaga de norte a sul, devido à influência do regime de chuvas da Amazônia no norte do rio Paraguai Bergier et al., (2018); Hamilton et al., (2002). Dessa maneira, a ecohidrologia do Pantanal está ligada à cobertura vegetal do planalto Bergier, (2013).

A área de estudo, pertencente à Amazônia Legal, encontra-se na transição de três biomas: Amazônia, Cerrado e Pantanal. Cerca de 80% da vegetação nativa do Pantanal permanece, porém, mais de 60% do planalto foi convertido em pastagens e áreas de cultivo, destacando o rápido índice de desmatamento nos últimos 30 anos Roque et al., (2016).

A região de estudo está situada em sua maior parte em uma área hidrogeológica cuja produtividade da caracterização hidráulica das unidades hidroestratigráfica são classificadas em geralmente baixa, com fornecimento de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado, ou muito baixa, quando fornecimentos contínuos dificilmente são garantidos. Já a região norte da área de estudo está situada em uma região com produtividade muito alta (**Figura 2**), onde está localizada a maioria das nascentes dos principais rios. Nessa área, é onde está localizado o Sistema Aquífero Parecis, um dos principais sistemas aquíferos do Brasil.

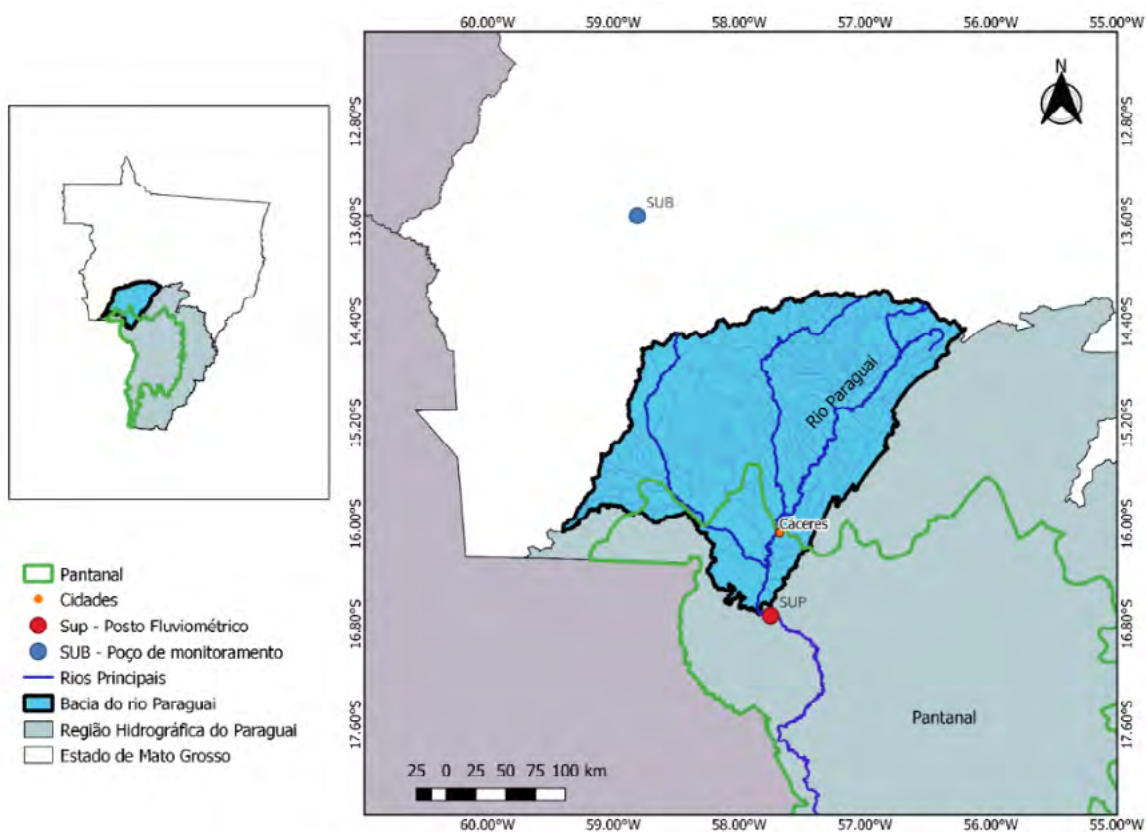


Figura 1. Mapa de localização da bacia do rio Paraguai, Mato Grosso, Brasil.

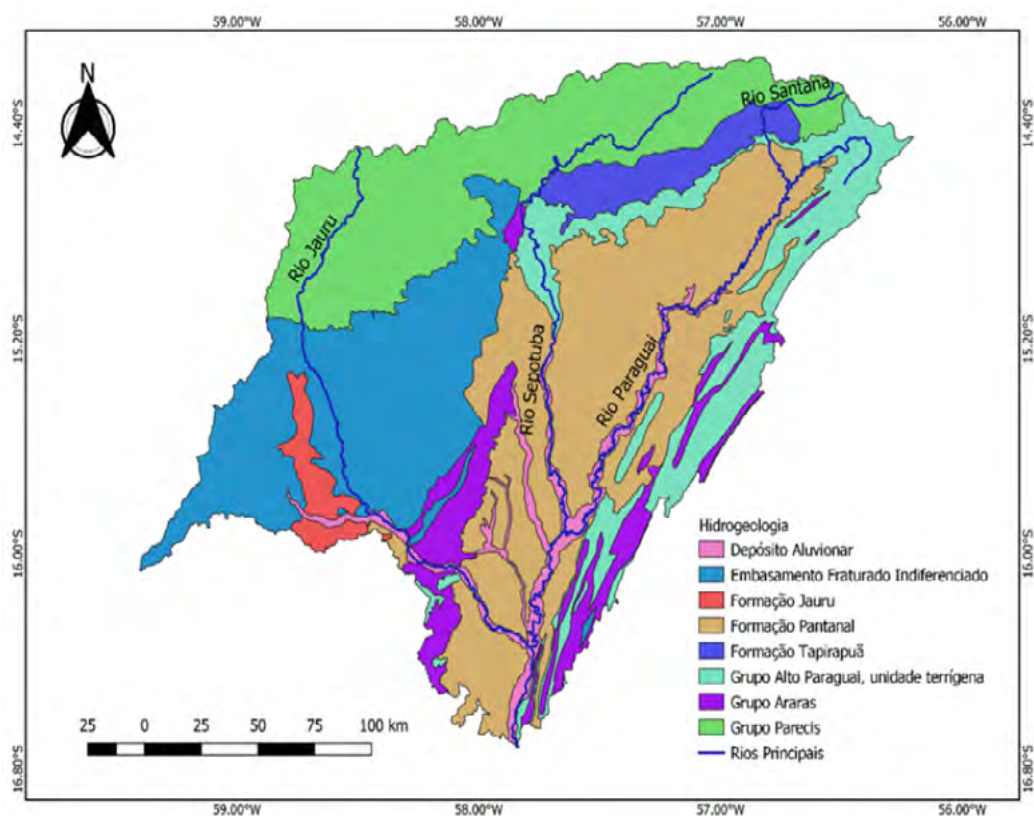


Figura 2. Hidrogeologia da bacia do rio Paraguai, Mato Grosso, Brasil.

## 3.2. Dados

### 3.2.1. Grace (*Gravity Recovery and Climate Experiment*)

Foram utilizados dados da missão Grace (*Gravity Recovery and Climate Experiment*). Os dados GRACE são disponibilizados no site da Universidade do Texas, Austin, Center for Space Research, no formato NetCDF, como o produto CSR GRACE RL06 Mascon Solutions CSR, (2018). Esses dados podem ser utilizados para investigação da variação no armazenamento de água de regiões continentais através da análise do armazenamento total de água, ou total *water storage* (TWS) Tapley et al., (2004); Wahr et al., (2004).

O TWS é expresso na variável de “equivalente de espessura de água” (em inglês, *liquid water thickness - LWE*). O LWE é medido em centímetros e considera a altura de uma massa uniforme de água Save et al., (2016).

Neste trabalho foram utilizados dados mensais de 2002 de 2020, com a finalidade de verificar o armazenamento total de água na região. Para a análise da série de armazenamento total de água, foi calculada a média espacial na área da bacia do rio Paraguai, utilizando-se o software QGIS.

### 2.2.2. Águas Subterrâneas

São realizadas medições dos níveis dos aquíferos pela Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS). Assim, foram utilizados dados do poço de monitoramento 5200006102, localizado no Aquífero Parecis, ao norte da área de estudo (**Figura 1**). Este foi o poço de monitoramento com dados disponíveis mais próximo encontrado e, embora esteja localizado fora da área de estudo, o aquífero a qual pertence é um dos mais importantes para a RH - Paraguai. Foram utilizados dados mensais de 2010 a 2020.

### 2.2.3. Dados Fluviométricos

Os dados fluviométricos foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA). Foram utilizados os dados de vazão da Estação Descalvados, código hidroweb 66090000, que se configura como exutório da bacia (**Figura 1**). A estação possui uma área de drenagem de 47.100 km<sup>2</sup>, compreendendo os biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal. Foram utilizados dados mensais vazão, entre os anos 2002 e 2020.

## 3.3. Metodologia

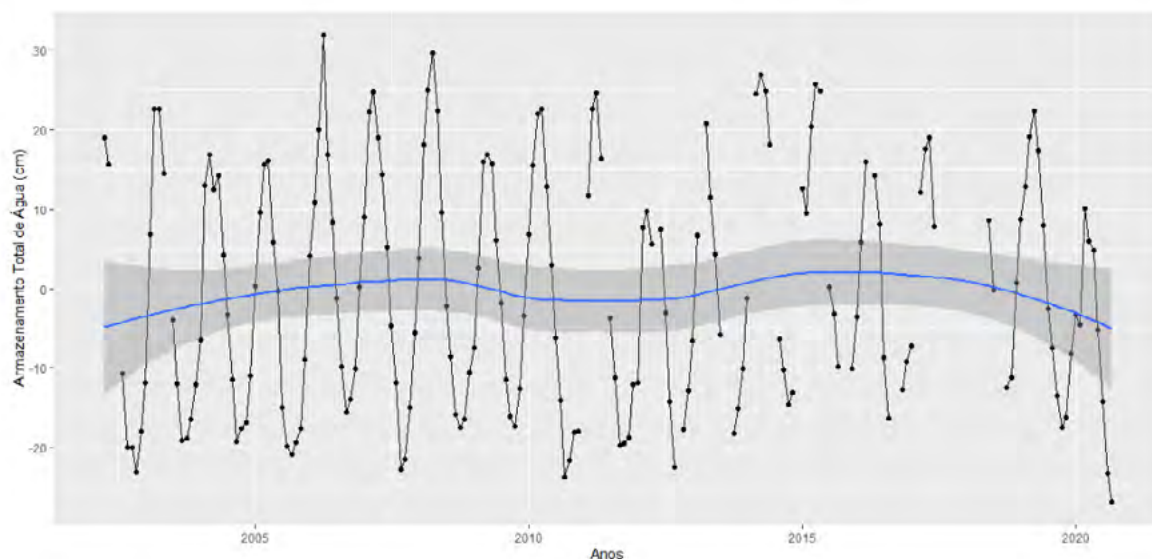
Foi verificada a análise exploratória dos dados de armazenamento total de água - TWS fornecidos pelo GRACE, considerando a bacia do rio Paraguai, na RH - Paraguai. Esses dados foram comparados com os dados fluviométricos da estação Descalvados, da ANA, e com o nível d' água subterrâneo, fornecido pelo poço da rede RIMAS.

Foi realizada também a correlação de Pearson ao nível de 5% de significância, a fim de verificar a relação entre as variações e oscilações de TWS identificadas por meio do satélite GRACE, com a vazão de água superficial e o nível de água subterrâneo.

Todas as séries temporais foram analisadas graficamente, ao nível mensal.

## 4. Resultados e Discussões

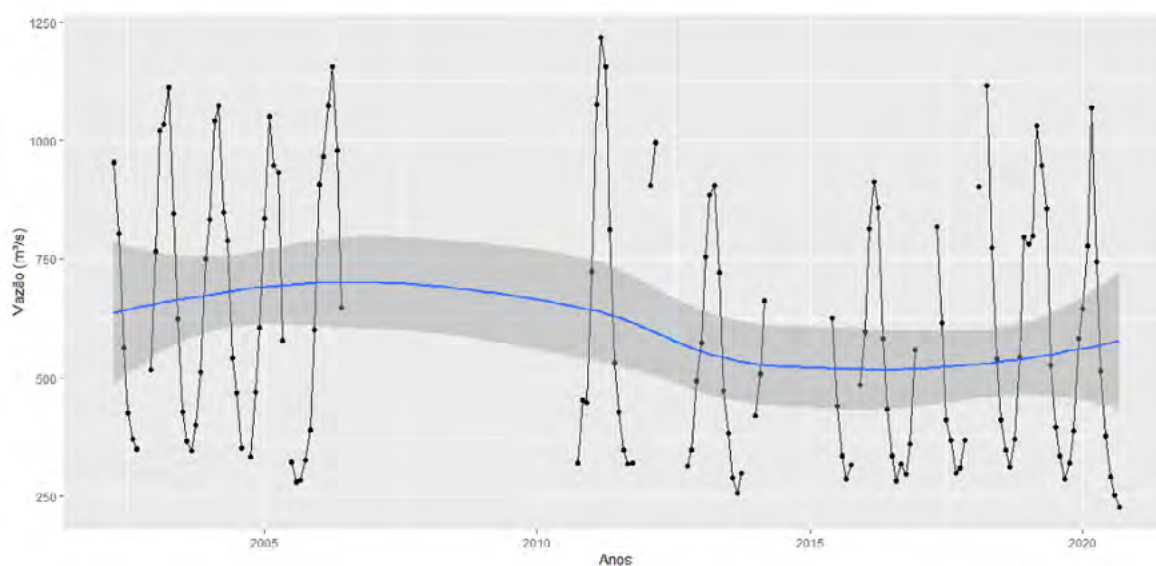
É apresentada a variação do armazenamento total de água (TWS) na bacia do rio Paraguai na (**Figura 3**), onde pode ser verificado que, em meados dos anos 2000, os dados apresentam um aumento nos seus valores, estes que diminuem a partir de 2007 e voltam a subir em 2014.



**Figura 3.** Armazenamento total médio de água, segundo TWS, de 2002 a 2020, na bacia do rio Paraguai, Região Hidrográfica do Paraguai.

Porém, a partir de 2015, os níveis de armazenamento total de água apresentaram novamente uma diminuição.

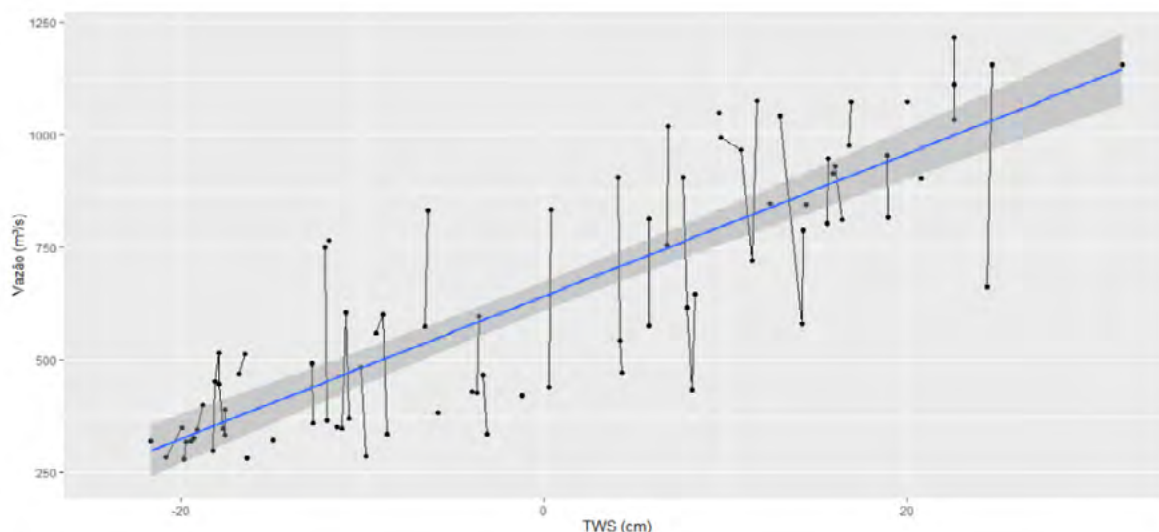
Em relação à vazão, (**Figura 4**), é possível verificar que após o ano 2010, houve um decréscimo nos valores de volume de água, quando comparados com os valores antes de 2005. Marques & Rodriguez (2022) encontraram uma diminuição nas vazões nos meses mais secos, resultados semelhantes foram relatados por Araújo et al. (2018). Lázaro et al. (2020), ao estudar o Pantanal, também relatam uma perda de massa de água na paisagem, mais especificamente, durante a estação seca. O que pode estar relacionada à diminuição nos valores da série de TWS (**Figura 3**), a partir de 2015. Em relação à correlação, Pereira et al. (2019) mostraram duas zonas distintas na RH - Paraguai com correlações altas e mudanças de fase baixas no norte,



**Figura 4.** Vazão média no Rio Paraguai, estação Descalvados, de 2002 a 2020, na bacia do rio Paraguai, Região Hidrográfica do Paraguai.



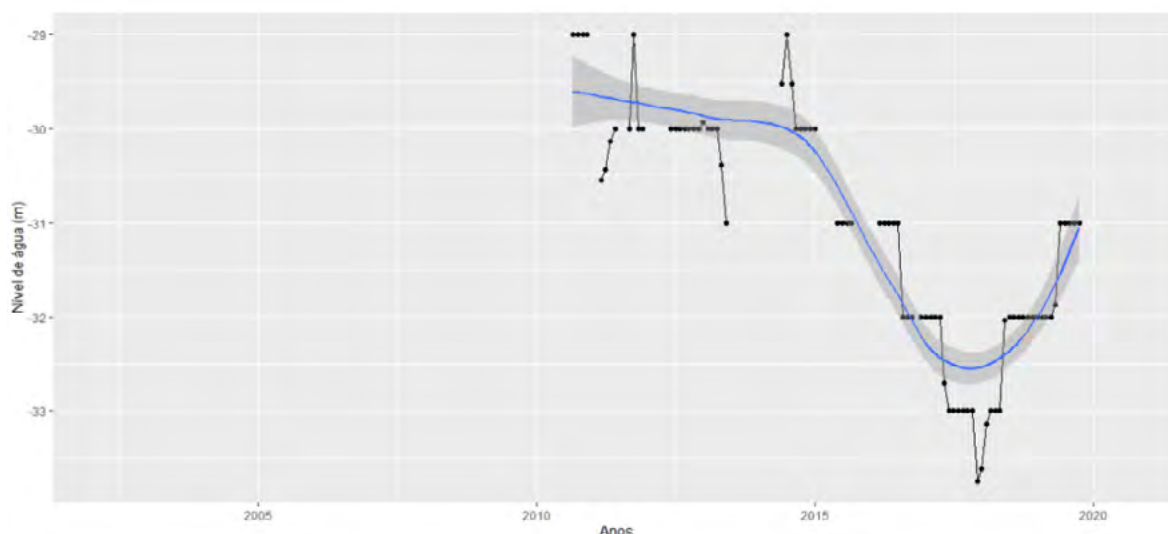
considerando os dados de TWS e vazão. Esse resultado também foi observado, considerando a vazão e os resultados de TWS ( $r = 0.84$ ,  $p\text{-value} < 2.2e-16$ ), (**Figura 5**).



**Figura 5.** Vazão versus TWS, na bacia do rio Paraguai, Região Hidrográfica do Paraguai.

Na (**Figura 6**), pode ser observado o nível de água subterrânea, este com valores disponíveis a partir de 2010. O comportamento do poço de monitoramento, localizado no Aquífero Parecis, apresenta uma queda em seus valores próximo ao ano de 2015, atingindo seus menores valores na série no ano de 2018. A partir deste ano, o nível de água subterrânea começa a aumentar, porém, sem atingir os valores iniciais da série. A diminuição, a partir de 2015, nos valores do nível de água subterrânea coincide com o TWS, fornecido pelo GRACE. A diminuição nos valores de vazão, a partir de 2015, também corroboram os dados de nível de água subterrânea obtidos (**Figura 6**). Em relação à correlação, também foi verificada uma correlação estatisticamente significativa ( $r = 0.42$ ;  $p\text{-value} = 0.00113$ ), porém, fraca e inversamente proporcional. Segundo Camacho et al., (2022), as regiões norte e os pântanos do Pantanal brasileiros apresentam maior quantidade de grandes massas de água superficiais no TWS. Os autores explicam que a variabilidade do sinal GRACE está relacionada aos processos hidrológicos de cada região, bem como aos tipos, cobertura e uso do solo. Assim, para essas regiões, podem ser aplicadas metodologias como a decomposição do sinal TWS Camacho et al., (2023) e mudanças no armazenamento de água subterrânea Satizábal-Alarcón et al., (2024) para estimar as variações no armazenamento de água subterrânea, para correlacionar com dados medidos *in situ*, e obter resultados mais representativos.

Segundo Collischoon & Tucci (2002), estudando a bacia do rio Taquari, também na RH – Paraguai, ao final do período chuvoso, a vazão superficial se reduz a zero, e toda a vazão do rio é oriunda do escoamento subterrâneo, apresentando uma recessão bastante regular e previsível. Os mesmos autores afirmam ainda que a vazão subterrânea reage lentamente, atingindo o valor máximo anual ao final do período chuvoso, e o valor mínimo anual entre novembro e dezembro, porém, vários anos de chuvas inferiores ou superiores à média podem mudar completamente o comportamento da bacia, e o principal tipo de escoamento afetado é o subterrâneo. Porém, segundo Marques & Rodriguez (2020), não foram observadas alterações significativas na precipitação da área estudada.



**Figura 6.** Nível de água subterrânea, segundo RIMAS, de 2010 a 2020, no Aquífero Parecis.

Assim, a diminuição nos valores, após 2015, no armazenamento total de água, aliado à tendência de diminuições de vazões nos meses mais secos, relatados por Marques & Rodriguez (2022), que não foram relacionadas à precipitação na região, enfatizam a hipótese de possíveis alterações no nível de água subterrâneo, que apresentaram diminuição em seus valores no poço de monitoramento estudado. Aliado a isso, no ano de 2020, foi observado o sétimo recorde de vazões mínimas nos rios da região do Pantanal CPRM, (2020), fato que não ocorria desde a seca histórica dos anos 60, assim como recordes históricos de queimadas INPE, (2020), podendo ser consequência desse período mais seco. Há ainda o aumento na retirada de água superficial para irrigação no período de estiagem. Assim, na RH – Paraguai, bacia do rio Paraguai, uma região com nascentes de rios importantes e formadores do bioma Pantanal, por exemplo, o rio Paraguai, a variabilidade hidrológica sazonal pode estar sendo comprometida.

## 5. Conclusões

Este estudo demonstra a possibilidade da relação entre os dados da missão GRACE como resposta do comportamento, em especial, das vazões, na bacia do rio Paraguai, apresentando a importância da água superficial na região e ainda, a viabilidade no uso dos dados de imagens de satélite de armazenamento total de água no monitoramento ambiental. Porém, ainda são necessários novos estudos e dados disponíveis para verificação da componente subterrânea no TWS, em especial, devido à hidrologia da região.

Apesar disso, conforme analisado graficamente, o armazenamento de água apresentou uma diminuição, em especial, após 2015, tanto no armazenamento total de água, fornecido pelo GRACE, como nos dados de vazão e nível de água subterrânea, medidos in loco. Os períodos de seca cada vez mais severos na região, indicados em vários estudos, podem estar relacionados a uma possível consequência de alterações nas águas subterrâneas da região. Esta situação torna-se preocupante, em especial, considerando que a importância do regime de águas na Região Hidrográfica do Paraguai para manutenção do Pantanal e sua biodiversidade.

## 6. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT, Campus Pontes e Lacerda – Fronteira Oeste, e ao Programa de Engenharia Civil do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

## 7. Referências

- Ana – Agência Nacional de Águas. Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Paraguai – PRH Paraguai, Produto Parcial PP-05 - Propostas de Ações e Intervenções e Programa de Investimentos do Plano 261p **Agência Nacional de Águas** - Brasília: ANA/SPR, ENGECORPS ENGENHARIA S.A., 2017.
- ANA. (2018). **Plano de Recursos Hídricos da RH-Paraguai**. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/portal/RH-Paraguai/Plano.pdf>.
- Araujo, A. G. D. J., Obregón, G. O., Sampaio, G., Monteiro, A. M. V., da Silva, L. T., Soriano, B., ... & Farias, J. F. S. (2018). Relationships between variability in precipitation, river levels, and beef cattle production in the Brazilian Pantanal. **Wetlands Ecology and Management**, 26(5), 829-848, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11273-018-9612-0>.
- Bergier, I. (2013). Effects of highland land-use over lowlands of the Brazilian Pantanal. **Science of the Total Environment**, v. 463–464, p. 1060–1066, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.036>.
- Camacho, C. R., Getirana, A., Rotunno Filho, O. C., & Mourão, M. A. A. Large-Scale Groundwater Monitoring in Brazil Assisted With Satellite-Based Artificial Intelligence Techniques. **Water Resources Research**, 59(9), e2022WR033588, 2023.
- Collischonn, Walter; Tucci, Carlos Eduardo Morelli. Aspectos da hidrologia da bacia do alto do rio Taquari. **Rhama**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 25, 2002.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Serviço Geológico do Brasil acompanha vazante extrema na bacia do rio Paraguai**. <https://www.cprm.gov.br/publique/Noticias/Servico-Geologico-do-Brasil-acompanha-vazante-extrema-na-bacia-do-rio-Paraguai-6352.html>. 2020.
- IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9827-censo-agropecuario.html>. 2017.
- Famiglietti, J. S., Lo, M., Ho, S. L., et al. "Satellites measure recent rates of groundwater depletion in California's Central Valley", **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 3, p. 2–5, 2011. DOI: 10.1029/2010GL046442.
- Famiglietti, James S., Rodell, M. "Water in the balance", **Science**, v. 340, n. 6138, p. 1300–1301, 2013. DOI: 10.1126/science.1236460.
- Getirana, A. "Extreme Water Deficit In Brazil Detected From Space", **Journal Of Hydrometeorology**, V. 17, N. 2, P. 591–599, 2016. DOI: 10.1175/JHM-D-15-0096.1.
- Hamilton, S. K. Hydrological controls of ecological structure and function in the Pantanal wetland (Brazil). The Ecohydrology of South American Rivers and Wetlands. **International Association of Hydrological Sciences**, Special Publication, 6, 133-158, 2002.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Monitoramento dos Focos Ativos por Bioma. [http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas\\_estados/](http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/). 2020.
- Lázaro, Wilkinson Lopes et al. Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: an overview of the Northern Pantanal water regime. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 32, p. e104, 2020.
- Marques, M. C. S., & Rodriguez, D. A. Impacts of the landscape changes in the low streamflows of Pantanal headwaters—Brazil. **Hydrological Processes**, 36(6), e14617, 2022. <https://doi.org/10.1002/hyp.14617>.
- Pascotto, Lorena Moreira Nicochelli et al. Análise do impacto na rentabilidade de usuários e do potencial financiador da cobrança pelo uso da água subterrânea no sistema Aquífero Parecis. **Rega: revista de gestión del agua de America Latina**. Vol. 19 (jan./dec. 2022),[Artigo] e8, 20 p., 2022.

- Pereira, Ayelen et al. Study of water storage variations at the Pantanal wetlands area from GRACE monthly mass grids. **Journal of Geodetic Science**, v. 9, n. 1, p. 133-143, 2019.
- Rodell, M., Famiglietti, J. S., Wiese, D. N., et al. "Emerging trends in global freshwater availability", *Nature*, v. 557, n. 7707, p. 651–659, 2018. DOI: 10.1038/s41586-018-0123-1.
- Roque, F. O., Ochoa-Quintero, J., Ribeiro, D. B., Sugai, L. S., Costa-Pereira, R., Lourival, R., & Bino, G. Upland habitat loss as a threat to Pantanal wetlands. **Conservation Biology**, 30(5), 1131-1134, 2016. <https://doi.org/10.1111/cobi.12713>.
- Satizábal-Alarcón, D. A., Suhogusoff, A., & Ferrari, L. C. Characterization of groundwater storage changes in the Amazon River Basin based on downscaling of GRACE/GRACE-FO data with machine learning models. **Science of The Total Environment**, 912, 168958, 2024.
- Save, H., Bettadpur, S., Tapley, B. D. "High-resolution CSR GRACE RL05 mascons", **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, p. 3782–3803, 2016. DOI: 10.1002/2015JB012608.
- Sun, T., Ferreira, V. G., He, X., et al. "Water availability of são francisco river basin based on a space-borne geodetic sensor", **Water (Switzerland)**, v. 8, n. 5, 2016. DOI: 10.3390/w8050213.
- Tapley, B. D., Bettadpur, S., Watkins, M., et al. "The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results", **Geophysical Research Letters**, v.31, n. 9, p. 1–4, 2004. DOI: 10.1029/2004GL019920.
- Valeriano, M.M., Salvi, L. L., & de Aragão, J. R. L. (2012). Relações entre a distribuição da precipitação e o relevo da bacia do alto Paraguai. **Anais 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Bonito, MS, 20-24 de outubro 2012. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.289 -298.
- Wahr, J., Swenson, S., Zlotnicki, V., et al. "Time-variable gravity from GRACE: First results", **Geophysical Research Letters**, v. 31, n. 11, p. 20–23, 2004. DOI: 10.1029/2004GL019779.

## **Transformações na cobertura florestal e perda de habitat para um ungulado chave na transição Pantanal-Cerrado (1986-2022)**

Douglas Stefanello Facco<sup>1</sup>  
Mozart Sávio Pires Baptista<sup>2</sup>  
Alexine Keuroghlian<sup>3</sup>  
Cibele Biondo<sup>2</sup>  
Pedro Daniel da Cunha Kemerich<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do ABC - UFABC  
Avenida dos Estados, 5001  
09280-560 – Santo André - SP, Brasil  
douglas.s.facco@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do ABC - UFABC  
Alameda da Universidade, s/nº  
09606-045 – São Bernardo - SP, Brasil  
mozartbaptista@gmail.com  
cibele.biondo@gmail.com

<sup>3</sup> Projeto Queixada  
Spipe Calarge, 2355  
79051-560 – Campo Grande - MS, Brasil  
alexinek@hotmail.com

<sup>4</sup> Universidade Federal de Santa Maria - UFSM  
Avenida Roraima, 1000  
97105-900 – Camobi - Santa Maria – RS, Brasil  
pedro.kemerich@ufsm.br

**Resumo.** O Pantanal é reconhecido por seus diversos domínios vegetacionais e pela rica biodiversidade, sendo considerado um dos biomas mais bem conservados do Brasil. No entanto, a recente antropização e a falta de políticas específicas ameaçam sua conservação. Este estudo analisa as mudanças no uso e cobertura do solo entre 1986 e 2022 na área de vida de três bandos de queixadas (*Tayassu pecari*) vivendo na planície de inundação, na área de transição e no planalto Pantanal-Cerrado. Especificamente, avaliamos a perda de área florestada e área nuclear. Utilizando dados de satélite de média resolução espacial (30 m), observamos que a planície perdeu 37% de cobertura nativa, com um aumento de 40% em áreas antropizadas. A área de transição e o planalto passaram por perdas de 19% e 21% na cobertura nativa, respectivamente, e aumentos de 24% e 32% em áreas antropizadas. As perdas de área nuclear foram maiores na transição (50,3%), seguidas pela planície (40,78%) e pelo planalto (22,3%). Os resultados indicam que as áreas de transição são as mais ameaçadas pela fragmentação das florestas, enquanto a planície sofre com a conversão para pastagens cultivadas. Estes resultados diferem do esperado para a Bacia do Alto Paraguai como um todo, onde o planalto é mais modificado. Isso destaca a necessidade de abordagens de conservação direcionadas especificamente para cada região, em vez de se basearem apenas nas expectativas gerais para o bioma.

**Palavras-chave:** queixadas, desmatamento, restauração ecológica, landsat.

**Abstract.** Changes in forest cover and habitat loss in the Pantanal-Cerrado transition (1986-2022). The Pantanal is recognized for its diverse vegetation domains and rich biodiversity, being considered one of the best-preserved biomes in Brazil. However, recent anthropization and the lack of specific policies threaten its conservation. This study analyzes land use and land cover changes between 1986 and 2022 in the habitat areas of three white-lipped peccaries (*Tayassu pecari*) herds living in the Pantanal-Cerrado floodplain, transition area, and plateau. Specifically, we evaluated the loss of forested area and core area. Using medium spatial resolution satellite data (30 m), we observed that the floodplain lost 37% of its native cover, with a 40% increase in anthropized areas. The transition area and the plateau experienced losses of 19% and 21% in native cover, respectively, and increases of 24% and 32% in anthropized areas. Core area losses were highest in the transition area (50.3%), followed by the floodplain (40.78%) and the plateau (22.3%). The results indicate that the transition areas are the most threatened by forest fragmentation, while the floodplain undergoes conversion to pasture. These results differ from what was expected for the Upper Paraguay Basin as a whole, where the plateau is more modified. That highlights the need for conservation approaches tailored to each region, rather than relying solely on general expectations for the biome.

**Key-words:** white-lipped peccary, deforestation, ecological restoration, landsat.

## 1. Introdução

O Pantanal é caracterizado por uma vasta planície inundável rodeada por áreas de planalto Fraser e Keddy, (2005). Este bioma possui uma rica biodiversidade e uma variedade de domínios vegetacionais, como campos, savanas e florestas, influenciados pelos ciclos de inundações da Cunha et al., (2007); Pott et al., (2011). Historicamente, o regime hídrico limitou a ocupação humana na planície quando comparada ao planalto Alho, (2005). Além disso, a densidade populacional humana no Pantanal é menor em comparação às regiões de Cerrado e Amazônia em seu entorno Sano et al., (2010); Assine, (2015). Consequentemente, a fauna do Pantanal apresenta uma abundância de espécies maior do que nos biomas vizinhos Alho e Gonçalves, (2005). No entanto, a recente antropização Tomas et al., (2019), a vulnerabilidade da planície às mudanças que ocorrem no planalto Bergier, (2013); Roque et al., (2016) e a falta de políticas de conservação específicas Irigaray, (2015) ameaçam o bioma.

A construção de estradas e a expansão agrícola são as principais causas de desmatamento na alta bacia do Pantanal Foley et al., (2005); Pereira et al., (2012); Guerra et al., (2020). As mudanças na paisagem têm aumentado os períodos de seca e incêndios Marengo et al., (2021); Correa et al., (2022), ameaçando a biodiversidade pantaneira. Isso tem consequências para a conservação. Por exemplo, a queixada (*Tayassu pecari*), que é uma espécie-chave, é classificada como Quase Ameaçada no Pantanal Keuroghlian et al., (2012), embora globalmente seja considerada como Vulnerável IUCN, (2020). No entanto, não existem grandes áreas conservadas na planície, sendo as únicas unidades de conservação as Reservas Particulares de Patrimônio Natural (RPPNs) e Reservas Legais, que são frequentemente pequenas e fragmentadas Guerra et al., (2020b). Além disso, a sub-região de Aquidauana é uma das mais afetadas pelo desmatamento Souza Ferreira & Pasa, (2015). Em contraste, nesta sub-região, o planalto encontra-se adjacente ao Parque Nacional da Serra da Bodoquena, importante corredor ecológico e refúgio para a biodiversidade Sousa, (2017). As mudanças recentes na paisagem do Pantanal destacam a vulnerabilidade da biodiversidade frente às atividades humanas. Compreender as perdas de habitat é essencial para que a ocupação humana aconteça de forma sustentável.

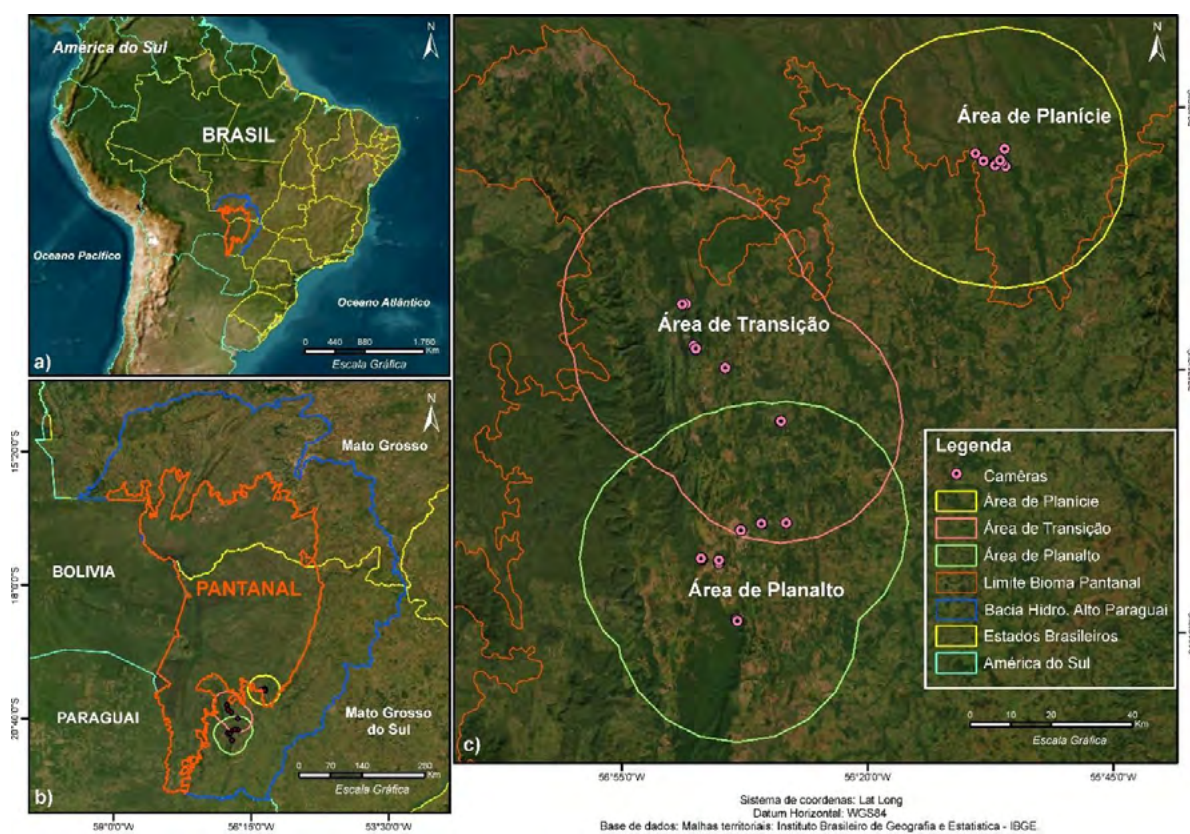
## 2. Objetivo

Analisar as mudanças no uso e cobertura da terra e nas porcentagens de áreas nucleares entre 1986 e 2022 em três regiões: planície de inundações, área de transição entre a planície e planalto e área de planalto na área de transição Pantanal-Cerrado. Especificamente, pretendemos analisar as implicações das mudanças na paisagem para a perda de habitats. Uma vez que

as mudanças no planalto são mais antigas, esperamos que mudanças recentes na paisagem sejam mais acentuadas na planície. Se isso for verdade, será necessário repensar as políticas de conservação para a região.

### 3. Material e Métodos

O estudo foi conduzido na região da Bacia do Alto Paraguai (BAP), mais especificamente na sub-região do Aquidauana, abrangendo uma área de planície de inundação, uma de transição entre planície e planalto, e uma no planalto (**Figura 1**). Essas áreas foram selecionadas devido à presença de bandos de queixadas (*Tayassu pecari*) em monitoramento com armadilhas fotográficas e por esta espécie ser considerada indicadora de qualidade ambiental Keuroghlian et al., (2015).



**Figura 1.** Localização da área de estudo. a) Fronteiras dos países sul-americanos, com ênfase no Brasil, onde o Pantanal está localizado; b) Visão mais detalhada da região do Pantanal e seus limites; c) Área analisadas: Área de Planície (em amarelo), Área de Transição (em rosa) e Área de Planalto (em verde) e localização de câmeras de monitoramento em pontos rosa.

Este trabalho integra um projeto maior que utiliza imagens de armadilhas fotográficas para monitorar o comportamento de forrageamento da comunidade de mamíferos frugívoros na área de estudo. A delimitação dessa área foi baseada nas posições das câmeras, utilizando a ferramenta de *buffer* para estabelecer um raio de 30 km, que corresponde à área de habitat utilizada por queixadas para três regiões: Área 1 Planície, Área 2 Transição, Área 3 Planalto, conforme a **Figura 1c**.

Os dados de uso e cobertura da terra foram obtidos da plataforma MapBiomas, coleção 8.0 (2024), para os anos de 1986 e 2022, com resolução espacial de 30 m. As classes de uso e cobertura da área de estudo incluem Formação Florestal, Formação Savânica, Silvicultura, Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Pastagem cultivada, Mosaico de Usos, Urbanização, Outras Áreas Não Vegetadas, Afloramento Rochoso, Mineração, Rio, Lago, Soja e Outras Lavouras Temporárias. Para a análise das florestas, as classes Formação Florestal e Formação Savânica foram agrupadas, permitindo o cálculo das mudanças e aplicação de métricas de paisagem.

A análise estrutural da paisagem foi realizada por meio da aplicação de métricas específicas, com o objetivo de avaliar as mudanças ocorridas ao longo de 36 anos. Foram selecionadas métricas que medem a área, como o Total de Área Nuclear (TCA) e a Porcentagem de Classe (PLAND). Para essas métricas utilizou-se área de borda de 30 m. Essas métricas foram calculadas utilizando o software Fragstats (versão 4.2.1) McGarigal & Marks, (1995).

#### 4. Resultados e Discussão

Os resultados deste estudo revelam que as áreas de transição entre a planície do Pantanal e o planalto adjacente, localizadas em áreas de Cerrado, têm perdas de cobertura florestal e habitat mais severas do que as áreas exclusivamente de planalto ou planície. Esta situação é compreensível, considerando a dinâmica de ocupação na planície e a existência do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, que protege extensas áreas de planalto. Nas áreas de transição, a vegetação nativa é menos protegida e mais suscetível ao uso humano, resultando em fragmentação e diminuição de habitats, o que agrava a perda de vegetação florestal. Muitas áreas desmatadas se tornaram lavouras de milho, fonte sazonal de alimento ao pecarídeo.

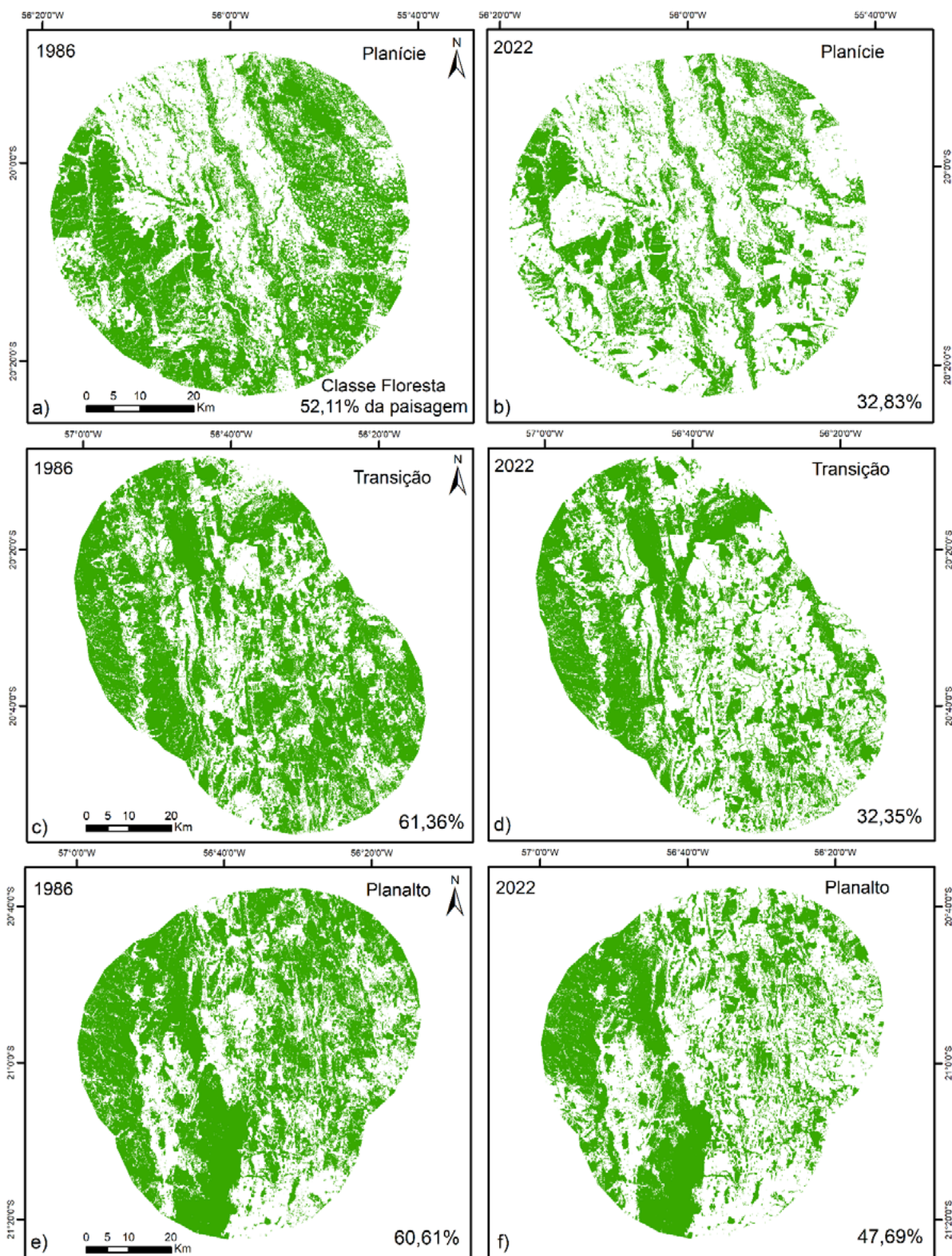
Em primeiro lugar, a análise espacial dos mapas de cobertura florestal revela uma redução de áreas florestais nas três paisagens estudadas entre os anos de 1986 e 2022. Na Planície, observou-se uma drástica redução da cobertura florestal, que passou de 52,11% em 1986 para 32,83% em 2022, representando uma perda de aproximadamente 37% da cobertura original. A área de transição também apresentou uma considerável diminuição na cobertura florestal, indo de 61,36% em 1986 para 32,35% em 2022, correspondendo a uma perda de cerca de 47% da área florestal inicial. No planalto, a cobertura florestal declinou de 60,61% em 1986 para 47,69% em 2022, refletindo uma redução de aproximadamente 21% da área florestal original (**Figura 2**).

Os padrões de perda de cobertura florestal divergem das expectativas para a Bacia do Alto Paraguai (BAP) como um todo, onde as mudanças mais acentuadas são observadas no planalto e a planície permanece mais bem conservada Guerra et al., (2020). Até 2016, por exemplo, a planície perdeu apenas 13% de sua vegetação nativa, enquanto o planalto teve uma redução de 60% SOS-Pantanal et al., (2017). Nossos dados revelam uma perda substancial de vegetação em todas as paisagens, com a área de transição experimentando a maior redução, seguida pela planície e, por último, pelo planalto.

A identificação de uma maior vulnerabilidade nas áreas de transição entre os biomas Pantanal e Cerrado, conforme observado na região estudada, pode servir de base para a formulação de estratégias de conservação e manejo sustentável. Essas estratégias devem ser desenvolvidas considerando as especificidades locais e os desafios ambientais enfrentados, de maneira análoga às aplicadas na transição Cerrado-Amazônia. Especialmente no denominado “arco do desmatamento”, que está passando por rápidas transformações devido às intensas atividades antropogênicas no uso da terra Lathuillière et al., (2016).

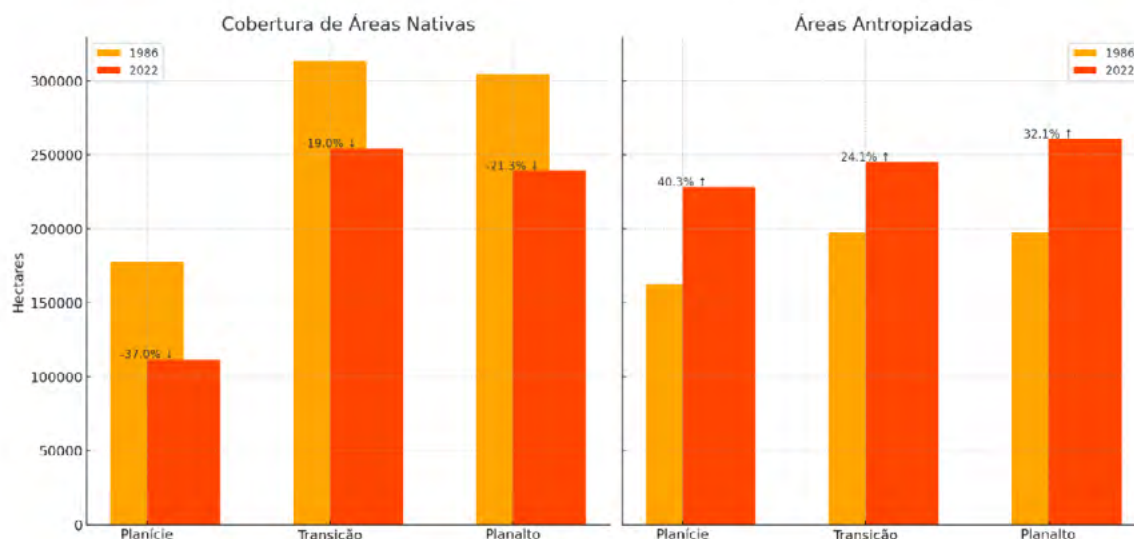
Em segundo lugar, a maior perda de vegetação nativa (37%) e o maior aumento das áreas antropizadas (40%) na planície indicam um impacto mais severo da antropização nessa região. Em comparação, as áreas de transição e planalto perderam 19% e 21% de vegetação nativa,





**Figura 2.** Dinâmica das áreas de floresta. a) Planície do Pantanal em 1986: Classe Floresta representando 52,11% da paisagem. b) Planície em 2022: representando 32,83%. c) Transição Pantanal-Cerrado em 1986: Representando 61,36%. d) Transição em 2022: Representando 32,35%. e) Planalto em 1986: Representando 60,61%. f) Planalto em 2022: Representando 47,69% da paisagem.

respectivamente, com um aumento de 24% e 32% em áreas antropizadas (**Figura 3**).



**Figura 3.** Valores das mudanças de área nos períodos entre 1986 a 2022 no Pantanal planície, transição e planalto. a) Cobertura de Floresta Nativa e b) Áreas Antropizadas.

Estes dados sugerem que as mudanças recentes na paisagem têm sido mais pronunciadas na planície, possivelmente devido a práticas de uso da terra mais intensivas e expansivas. Isso salienta a necessidade urgente de implementar estratégias de conservação e manejo sustentável que sejam tanto eficientes quanto conscientes, garantindo a preservação das florestas remanescentes e a mitigação dos impactos da atividade humana.

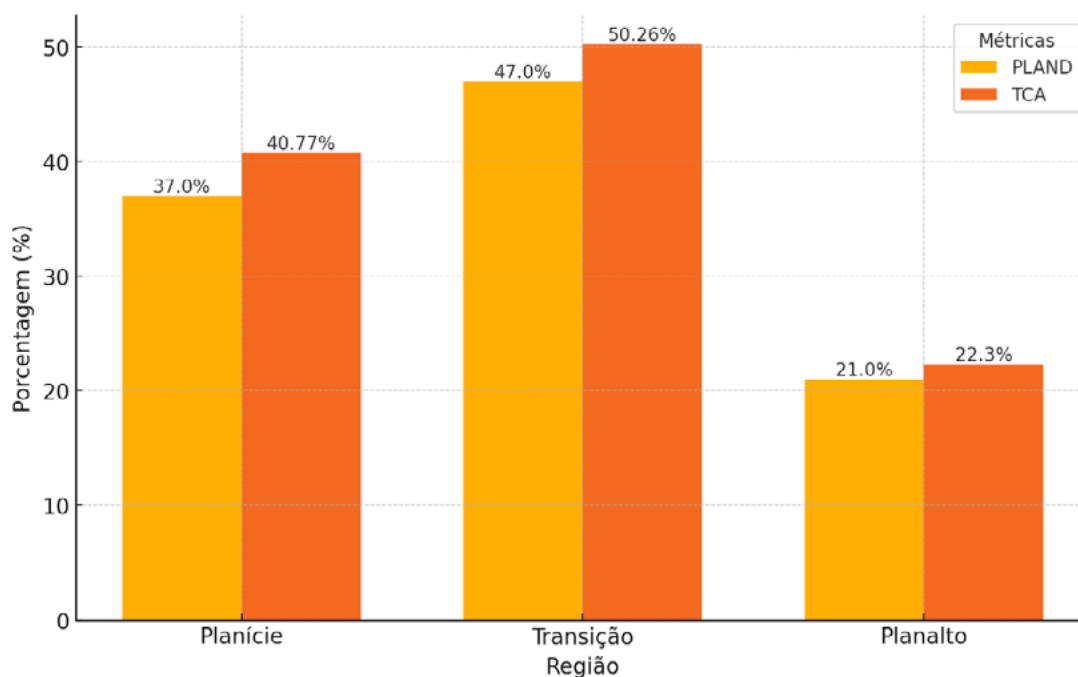
Por fim, quando comparamos a perda de área florestal e perda de área nuclear, observamos que a área de transição teve a maior perda total, com 47% de perda de floresta e 50,26% de área nuclear. A planície teve uma perda menor, com 37% de perda de floresta e 40,77% de área nuclear. O planalto apresentou os menores percentuais de perda, com 21% floresta e 22,30% de área nuclear (**Figura 4**).

Estas variações indicam que as áreas de transição entre planície e planalto foram as mais afetadas, seguidas pelas planícies de inundação. As áreas de planalto, embora também impactadas, tiveram uma menor redução relativa na cobertura florestal e de áreas nucleares, pois estão inseridas em um Parque Nacional importante para a região. Isto está de acordo com o fato de que a área de transição é a mais vulnerável às atividades humanas, devido à sua maior perda de cobertura florestal e aumento de áreas antropizadas. Este padrão é consistente com as mudanças no planalto. No entanto, a existência de áreas protegidas contínuas, como o Parque Nacional na região do planalto, tem se mostrado eficaz para a conservação, resultando em uma menor degradação relativa.

O nosso desenho amostral apresenta a limitação de depender diretamente da distribuição das câmeras, que está vinculada aos locais onde os queixadas são visualizados. Isso resultou em uma sobreposição de áreas de Transição e Planalto que não pôde ser eliminada, o que pode influenciar a representatividade espacial do monitoramento. Apesar das limitações, os benefícios em termos de dados coletados e a viabilidade prática do estudo fazem com que seja justificado mantê-lo, com a perspectiva de melhorias futuras.

Nossos resultados reforçam a urgência de políticas claras de conservação para o Pantanal

e seu entorno, envolvendo a colaboração de múltiplos setores e fundamentadas em evidências científicas Alho e Sabino, (2011); Roque et al., (2016). É essencial criar novas áreas protegidas, especialmente nas regiões sob maior pressão. Considerando que 85% do Pantanal é composto por terras privadas Guerra et al., (2020), as estratégias de preservação devem focar em incentivos para os proprietários de terras, como pagamentos por serviços ecossistêmicos, benefícios fiscais e promoção de cadeias de valor sustentáveis.



**Figura 4.** Comparação da Perda de cobertura florestal (*Percentage of Landscape - PLAND*) e de Área Nuclear Total (*Total Core Area - TCA*) (%) do Pantanal. Área 1 – planície, Área 2 – transição, Área 3 – planalto.

## 5. Conclusões

Os dados desta pesquisa indicam que as áreas de transição entre planície e planalto foram as mais afetadas, seguidas pelas planícies de inundações. Essas regiões são mais suscetíveis às pressões antropogênicas, exigindo estratégias de conservação mais robustas e específicas para essa região. Além disso, ao comparar a planície com o planalto, as áreas de planície mostram-se mais vulneráveis. Estes resultados destacam a necessidade de abordagens de conservação direcionadas especificamente para cada zona da região, em vez de se basearem apenas nas expectativas gerais para a Bacia do Alto Paraguai (BAP).

## 6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## 7. Referências

Alho, C. J. R., & Sabino, J. A conservation agenda for the Pantanal's biodiversity. *Brazilian Journal of Biology*, 71, 327-335, 2011.

- Assine, M. L. Brazilian Pantanal: a large pristine tropical wetland. Landscapes and landforms of Brazil (pp. 135-146). Springer, Dordrecht. 2015.
- Bergier, I. Effects of highland land-use over lowlands of the Brazilian Pantanal. **Science of the Total Environment**, v. 463, p. 1060-1066, 2013.
- Correa, D. B.; Alcântara, E.; Libonati, R.; Massi, K. G.; Park, E. Increased burned area in the Pantanal over the past two decades. *Science of the Total Environment*, v. 835, p. 155386, 2022.
- Azevedo, F. C. C., & Conforti, V. A. **Decline of peccaries in a protected subtropical forest of Brazil: toward conservation issues**, 2008.
- Sousa, F. A. Potencialidade e fragilidade da Serra da Bodoquena um breve ensaio metodológico de análise da paisagem—Município de Bodoquena—MS—Brasil. **Acta Geográfica**, v. 11, n. 26, p. 71-80, 2017.
- Souza Ferreira, A. L., & Pasa, M. C. O uso de geotecnologia aplicada ao monitoramento de desmatamento do Pantanal Mato-grossense. **Advances in Forestry Science**, v. 2, n. 2, p. 41-47, 2015.
- Eisenberg, J. F. The density and biomass of tropical mammals. **Conservation Biology**, p. 35-55, 1980.
- Foley, J. A.; DeFries, R.; Asner, G. P.; Barford, C.; Bonan, G.; Carpenter, S. R.; ... Helkowski, J. H. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.
- Fraser, L. H.; Keddy, P. A. (Eds.). The world's largest wetlands: ecology and conservation. **Cambridge University Press**, 2005.
- Guerra, A.; Oliveira Roque, F.; Garcia, L. C.; Ochoa-Quintero, J. M.; de Oliveira, P. T. S.; Guariento, R. D.; Rosa, I. M. Drivers and projections of vegetation loss in the Pantanal and surrounding ecosystems. **Land Use Policy**, v. 91, p. 104388, 2020a.
- Guerra, A., Oliveira, P. T. S., Roque, F.O., Rosa, I. M., Ochoa-Quintero, J. M., Guariento, R. D., ... & Garcia, L. C. The importance of Legal Reserves for protecting the Pantanal biome and preventing agricultural losses. **Journal of environmental management**, v. 260, p. 110128, 2020b.
- Irigaray, C. T. J. H. Áreas Úmidas Especialmente" Des" Protegidas no Direito Brasileiro: O Caso do Pantanal Mato-grossense e os Desafios e Perspectivas para sua Conservação. **Revista de Estudos Sociais**, v. 17, n. 34, p. 203-225, 2015.
- IUCN. Lista vermelha de espécies ameaçadas da IUCN. Versão 2020-2. <https://www.iucnredlist.org> ISSN 2307-8235, 2020.
- Junk, W. J., Da Cunha, C. N., Wantzen, K. M., Petermann, P., Strüssmann, C., Marques, M. I., & Adis, J. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**, 68(3), 278-309, 2006.
- Junk, W. J.; da Silva, C. J.; Nunes da Cunha, C. The Pantanal: Ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland. **Pensoft Publishers**, 2011.
- Keuroghlian, A., Desbiez, A. L. J., de Mello Beisiegel, B., Medici, E. P., Gatti, A., Pontes, A. R. M., ... & de Pinho, G. M. Avaliação do risco de extinção do queixada *Tayassu pecari* Link, 1795, no Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, (1), 84-102, 2012.
- Keuroghlian, A., Santos, M. D. C. A., & Eaton, D. P. The effects of deforestation on white-lipped peccary (*Tayassu pecari*) home range in the southern Pantanal. **Mammalia**, 79(4), 491-497, 2015.
- Kiltie, R. A.; Terborgh, J. Observations on the behavior of rain forest peccaries in Perú: Why do white-lipped peccaries form herds?. **Zeitschrift für Tierpsychologie**, v. 62, n. 3, p. 241-255, 1983.
- Lathuillière, M. J., Coe, M. T., & Johnson, M. S. A review of green-and blue-water resources and their trade-offs for future agricultural production in the Amazon Basin: what could irrigated agriculture mean for Amazonia?. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 20, n. 6, p. 2179-2194, 2016.
- Lin, J., Huang, C., Wen, Y., & Liu, X. An assessment framework for improving protected areas based on morphological spatial pattern analysis and graph-based indicators. **Ecological Indicators**, 130, 108138, 2021.
- Pereira, G.; Chávez, E. S.; Silva, M. E. S. O estudo das unidades de paisagem do bioma Pantanal. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, p. 89-103, 2012.

Peres, C. A. Population status of white-lipped *Tayassu pecari* and collared peccaries *T. tajacu* in hunted and un hunted Amazonian forests. **Biological Conservation**, v. 77, n. 2-3, p. 115-123, 1996.

Phalan, B., Balmford, A., Green, R. E., & Scharlemann, J. P. Minimising the harm to biodiversity of producing more food globally. **Food Policy**, 36, S62-S71, 2011.

Roque, F. O.; Ochoa-Quintero, J.; Ribeiro, D. B.; Sugai, L. S.; Costa-Pereira, R.; Lourival, R.; Bino, G. Upland habitat loss as a threat to Pantanal wetlands. **Conservation Biology**, v. 30, n. 5, p. 1131-1134, 2016.

Sano, E. E.; Rosa, R.; Brito, J. L.; Ferreira, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, p. 113-124, 2010.

SOS-Pantanal; WWF-Brasil; ECOA; C-I, F. A. Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do Alto Paraguai Porção Brasileira-Período de análise: 2016 a 2017. **WWF-Brasil**, Brasília, 2017.

Tomas, W. M.; Roque, F. O.; Morato, R. G.; Medici, P. E.; Chiaravalloti, R. M.; Tortato, F. R.; ... Junk, W. J. Sustainability agenda for the Pantanal wetland: perspectives on a collaborative interface for science, policy, and decision-making. **Tropical Conservation Science**, v. 12, p. 1940082919872634, 2019.

## **Dinâmicas Espaço-Temporais das Formações Florestal e Savânica do Pantanal do Abobral, Mato Grosso do Sul**

Uelson Mateus Ribeiro <sup>1</sup>  
Mauro Henrique Soares da Silva <sup>2</sup>  
Samuel Corgne <sup>1</sup>  
Damien Arvor <sup>1</sup>

<sup>1</sup> CNRS, Univ Rennes, Univ Brest, Nantes Université, LETG, UMR 6554

<sup>2</sup> Place du recteur Henri Le Moal

35 000 – Rennes, França

uelison.ribeiro, samuel.corgne, damien.arvor}@univ-rennes2.fr

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Três Lagoas - UFMS/CPTL

Av. Ranulpho Marques Leal, 3484 - Distrito Industrial II

79613-000 – Três Lagoas - MS, Brasil

mauro.soares@ufms.br

**Resumo.** O bioma Pantanal é um ecossistema heterogêneo e dinâmico localizado no centro da América do Sul que possui relações complexas com fatores climáticos e geomórficos. Aqui, investigamos a variabilidade espaço-temporal nas dinâmicas das formações florestal e savânica no Pantanal do Abobral, uma das subregiões do Pantanal. A evolução das formações florestal e savânica entre 2015 e 2022 foram analisadas a partir dos mapas do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias). Séries temporais do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do produto Harmonized Landsat Sentinel-2 (HLS) e de precipitação do Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) para o período 2015-2023 foram utilizados para identificar padrões espaciais nas relações entre a fenologia dessas formações e a precipitação. As relações foram avaliadas por meio da correlação de Pearson. Adicionalmente, foram mapeadas variações espaciais em índices funcionais derivados das séries temporais de NDVI. A formação savânica apresentou uma pequena evolução nos últimos anos em detrimento da formação florestal. No entanto, erros de omissão e sobreprevisão também contribuíram para este resultado. De maneira geral, a vegetação arbórea responde à precipitação com um a dois meses de atraso. Tipologias distintas, mesmo dentro de uma mesma classe de cobertura da terra, respondem diferentemente aos regimes locais de precipitação. Por fim, este estudo ressalta a importância de mapeamentos que descrevam atributos funcionais da vegetação e que, portanto, podem contribuir para o monitoramento e planejamento de estratégias de mitigação e adaptação aos efeitos das mudanças climáticas globais.

**Palavras-chave:** áreas úmidas tropicais, séries temporais de imagens de satélite, HLS, CHIRPS, NDVI.

**Abstract.** Spatio-temporal dynamics of forest and savanna formations in the Abobral Pantanal wetland. The Pantanal biome is a heterogeneous and dynamic ecosystem located in the center of South America and has complex relationships with climatic and geomorphic factors. Here, we investigate the spatio-temporal variability in the dynamics of the forest and savanna formations in the Pantanal do Abobral, one of the Pantanal sub-regions. The evolution of the forest and savanna formations between 2015 and 2022 was analyzed using maps from the Brazilian Annual Land Use and Land Cover Mapping Project (MapBiomias). We used time series of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from the Harmonized Landsat Sentinel-2 (HLS) product and precipitation from the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) for the period 2015-2023 to identify spatial patterns in the relationships between the phenology of these formations and precipitation. The relationships were assessed using Pearson's correlation. In addition, spatial variations in functional indices derived from NDVI time series were mapped. The savanna formation has shown a slight increase in recent years, to the detriment of the forest formation. However, omission and commission errors also contributed to this result. Generally, tree vegetation responds to rainfall with a delay of one to two months. Even within the same land cover class, different typologies respond differently to local precipitation regimes. Finally, this study highlights the importance of mapping that describes the functional attributes of vegetation and can therefore contribute to monitoring and planning mitigation and adaptation strategies to the effects of climate change.

**Key-words:** tropical wetlands, satellite image time series, HLS, CHIRPS, NDVI.

## 1. Introdução

O Pantanal é uma das maiores áreas úmidas sazonalmente inundadas do mundo. Esse ecossistema compreende uma área de ~150.000 km<sup>2</sup> Bergier et al., (2018) em uma região de subsidência geológica no centro da América do Sul Bergier, (2013) e que se estende pelo Brasil (78%), Bolívia (18%) e Paraguai (4%) Tomas et al., (2019). Entre suas características marcantes destacam-se as paisagens únicas e a alta biodiversidade, incluindo um grande número de animais carismáticos Junk e Cunha, (2005). A diversidade de espécies é enriquecida pelos ecossistemas circundantes do Cerrado, da Amazônia, da Mata Atlântica, do Chaco e da Floresta Chiquitana da Bolívia Bergier et al., (2018). Devido à sua importância para a conservação da biodiversidade e o seu valor para a humanidade, a região foi declarada Patrimônio Nacional pela Constituição Brasileira, possui quatro Sítios Regionais na Lista de Zonas Úmidas de Importância Internacional (Lista de Ramsar) e um complexo de áreas protegidas contínuas declaradas como Reserva da Biosfera e Patrimônio Mundial Natural pela UNESCO.

Esse ecossistema está sob um pulso de inundação monomodal previsível Junk e Cunha, (2005). A inundação possui uma sincronicidade com as chuvas de verão austral em sua parte norte e propaga-se lentamente de norte a sul, atingindo o sul do Pantanal vários meses após o pico das chuvas Ivory et al., (2019).

Todavia, essa dinâmica vem sendo diretamente influenciada pelas alterações climáticas assistidas nos últimos anos. Cenários futuros para o território brasileiro em decorrência das mudanças climáticas globais já apontavam uma tendência de aumento de períodos secos com chuvas cada vez mais concentradas e menos intensas para o Pantanal Marengo, (2007). No entanto, foram os incêndios catastróficos de 2020 que ligaram definitivamente o alerta vermelho para os eventos extremos no Pantanal. Por parte da comunidade científica, por exemplo, a produção científica abordando essa temática foi 1,6 vezes maior para o período 2020-2022 em relação ao período 1945–2019 Pereira et al., (2024).

Soma-se a essa problemática a perda de biodiversidade associada ao processo de ocupação e uso das terras no território pantaneiro, caracterizada por uma estrutura fundiária composta por grandes fazendas e latifúndios Silva et al., (2017). De acordo com Braz et al. (2020), propriedades privadas ocupam 97% do bioma, dos quais 86% (9.450.221,35 ha) são grandes propriedades (propriedades entre 1.200,1 e 47.999 ha) e 8% (847.468,28 ha) estão contidos em apenas 12 latifúndios. Mudanças na cobertura da terra ocorrem principalmente em áreas

mais acessíveis (áreas a leste), onde formações florestais, como as cordilheiras e os capões, são convertidas em pastagens cultivadas com gramíneas exóticas Paranhos Filho et al., (2014).

O Pantanal do Abobral, uma das subregiões do Pantanal Sul-mato-grossense Silva e Abdon, (1998), ilustra bem esse cenário. De acordo com Andrade et al. (2020), por exemplo, desde 1995 o Pantanal do Abobral vem perdendo espaços com predomínio de formações florestais, os quais estão sendo substituídos por áreas de pastagens. Além disso, foi identificado um aumento significativo de áreas compostas por formações monodominantes.

Nesse sentido, evoca-se aqui que mapeamento e monitoramento detalhado são essenciais para a compreensão dos processos e dinâmicas de formação e evolução das unidades da paisagem que constituem complexos mosaicos ambientais como o do Pantanal do Abobral. Destaca-se que muitos mapas globais ou regionais se encontram disponíveis para servir a comunidade científica, como o Projeto MapBiomas Souza Jr et al., (2020), por exemplo. No entanto, áreas úmidas são difíceis de caracterizar devido ao limiar estreito entre os seus diferentes tipos de cobertura da terra Rapinel et al., (2019), enquanto mapas de cobertura da terra geralmente apresentam classes estáticas (tipos gerais de vegetações como, por exemplo, ‘formação florestal’) Arvor et al., (2021), que não contemplam dinâmicas sazonais (i.e., uma área pode ser chamada de “vegetação herbácea”, por exemplo, mas esta mesma área pode ser “água” em certos momentos do ano) e que estão sujeitas à exclusão entre classes (se um pixel é “floresta”, que dizer que ele não pode ser “savana”, enquanto no Pantanal um pixel pode ser “árvore”, “herbácea” e “água” ao mesmo tempo ou em diferentes momentos do ano). Ou seja, há ainda uma lacuna no que se refere à descrição e espacialização de atributos funcionais da vegetação.

Vários índices de vegetação foram desenvolvidos para estudos de sensoriamento remoto de parâmetros biofísicos, sendo o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI; Rouse Jr et al., 1974) o mais amplamente utilizado Miranda et al., (2017). As séries temporais de NDVI baseadas em sensoriamento remoto, por exemplo, têm sido usadas com frequência para acessar padrões fenológicos Miranda et al., (2017). No entanto, a taxa de revisita deve ser suficiente para capturar os padrões do sinal investigado Inglada et al., (2016). Por outro lado, as séries temporais de imagens de satélite geralmente são prejudicadas pela alta cobertura de nuvens em regiões como o Pantanal. Portanto, dados de alta resolução temporal são essenciais nesse tipo de ecossistema. Os produtos harmonized Landsat Sentinel-2 (HLS) fornecem observações com um ciclo de revisita de 2 a 3 dias com resolução espacial de 30 m, graças às medições combinadas derivadas dos dados do Landsat-8/9 Operational Land Imager (OLI) e do Sentinel-2A/B Multi-Spectral Instrument (MSI). O projeto HLS é uma iniciativa da NASA que produz dados de refletância de superfície contínua dos sensores OLI e MSI com base em uma coleção de algoritmos para obter detalhes, consulte Claverie et al., (2018).

No contexto das mudanças climáticas globais, o entendimento de como diferentes fisionomias vegetais respondem aos regimes hidroclimáticos em curso são informações basilares no planejamento de estratégias de mitigação e adaptação no nível da paisagem. Eventos extremos, especialmente secas e incêndios, estão se tornando mais recorrentes e, associados a impactos antropogênicos, podem mudar o Pantanal como o conhecemos hoje. Esses eventos têm o potencial de empobrecer a composição florística e degradar funções ecológicas das diferentes tipologias de vegetação. Logo, a aplicação de uma abordagem de avaliação funcional de áreas úmidas poderia melhorar a eficiência da gestão ambiental Rapinel et al., (2015), bem como orientar estratégias de restauração florestal da paisagem. Rapinel et al. (2019), por exemplo, mostraram que as análises das mudanças temporais de indicadores funcionais evidenciaram os efeitos das práticas de gerenciamento climático e hidrológico nas funções das áreas úmidas.



## 2. Objetivo

Neste estudo, nosso objetivo foi investigar a variabilidade espaço-temporal nas dinâmicas das formações florestal e savânica no Pantanal do Abobral, Mato Grosso do Sul. Especificamente, buscamos: (1) analisar a evolução dessas formações entre 2015 e 2022; (2) identificar padrões de distribuição espacial nas relações entre fenologia e precipitação; e (3) mapear as variações espaciais em índices funcionais derivados de séries temporais de NDVI.

## 3. Material e Métodos

### 3.1. Área de Estudo

O Pantanal do Abobral é uma das subregiões do bioma Pantanal, segundo a delimitação proposta por Silva e Abdon (1998) (**Figura 1**). Compreendendo uma área de 2.833 km<sup>2</sup> localizada no território sul-mato-grossense do Pantanal (19°18'31''S e 57°03'15''O), esta subregião constitui uma planície de inundação comum aos rios Abobral, Miranda e Negro Ravaglia et al., (2010) que, por sua vez, correm no sentido L-O em direção ao Rio Paraguai. O Rio Abobral é um falso rio, sem bacia própria, recebendo água extravasada dos outros dois, que podem ser represados pela cheia defasada do Rio Paraguai e correr para trás.

### 3.2. Cobertura da terra

A evolução da cobertura da terra foi avaliada para as classes formação florestal e formação savânica a partir dos mapas do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias) Souza et al., (2020) e disponíveis gratuitamente em [https://code.earthengine.google.com/?accept\\_repo=users/mapbiomas/user-toolkit](https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users/mapbiomas/user-toolkit). A variação na cobertura da terra entre os anos 2015 e 2022 foi obtida por meio de álgebra de mapas.

### 3.3. Fenologia da vegetação arbórea

Os padrões fenológicos da vegetação foram avaliados por meio do NDVI médio mensal com base em séries temporais de imagens HLS. Os dados HLS (bandas T21KVU e T21KWU) com cobertura de nuvens inferior a 80% foram adquiridos gratuitamente para o período de 2015 a 2023 do arquivo na nuvem Cumulus do Centro de Arquivo Ativo Distribuído da NASA Processos Terrestres (LP DAAC) Masek et al., (2021). Para cada banda, o NDVI foi calculado para todas as observações (equação 1).

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

onde, NIR: reflectância da superfície na banda do infravermelho próximo e R: reflectância da superfície na banda do vermelho.

A banda de avaliação de qualidade (Fmask) foi usada para remover pixels classificados como nuvens ou sombras de nuvem. Pixels erroneamente altamente positivos [negativos] também foram mascarados com a remoção de valores maiores que 1 [menores que -1]. O NDVI médio mensal foi calculado como o valor médio de todas as observações de cada mês de 2015 a 2023, gerando um cubo de dados raster com 108 camadas (12 camadas por ano).

A vegetação lenhosa foi obtida a partir do Projeto MapBiomias. Apenas as áreas sempre classificadas como formação florestal e sempre classificadas como formação savânica das classificações de 2015 a 2022 foram usadas para minimizar a variabilidade não relacionada à fenologia. O mapa de 2023 não foi utilizado, pois não se encontrava disponível até a realização

deste trabalho. As séries temporais de NDVI médio mensal foram então extraídas apenas para os pixels dessas duas formações.

### **3. 4. Precipitação Mensal**

Os regimes de precipitação nos locais de estudo foram monitorados por meio dos dados diários de precipitação do Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) Funk et al., (2015). O conjunto de dados de precipitação de 2015-2023 com resolução espacial de 0,05° foi obtido gratuitamente em ([https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/global\\_daily](https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/global_daily)). O conjunto de dados foi recortado para a área de estudo e a precipitação mensal foi obtida pela adição dos valores diários para cada mês de 2014 a 2023 (2014 foi incluído devido às correlações com atraso).

### **3. 5. Correlação pontual**

As relações entre a fenologia e os padrões hidrológicos foram avaliadas por meio da correlação de Pearson (R). Realizamos a correlação pontual (correlação entre a série temporal de cada pixel de NDVI com a série temporal do pixel de precipitação correspondente) na resolução espacial do HLS (i.e., 30m). Portanto, as séries temporais mensais de precipitação CHIRPS foram reamostradas para a resolução do HLS usando o método do vizinho mais próximo. A correlação foi realizada entre o NDVI médio mensal (i.e., série com o NDVI médio para cada um dos 108 meses entre 2015 e 2023) e a precipitação acumulada mensal.

Além da correlação convencional onde, para cada ponto (ou seja, para a localização de cada pixel), os valores de ambas as séries temporais (NDVI e chuva) são alinhadas em pares de mesma data, também foram realizadas correlações com atraso. As correlações com atraso foram realizadas de maneira que, para uma correlação com um mês de atraso, o par de um dado NDVI na data  $i$  seria o valor de precipitação correspondente na data  $i - 1$ . Estas correlações foram feitas com um a seis meses de atraso. Correlações com  $p$ -value  $< 0,001$  foram consideradas significativas. A partir dos sete mapas de correlação, com 0 a 6 meses de atraso, foram obtidos i) o mapa de correlação maximizada onde, para cada pixel, seleciona-se entre os sete valores de correlação aquele que apresenta maior valor absoluto; e ii) o mapa com o número de meses de atraso associado à correlação maximizada de cada pixel.

### **3. 6. Índices funcionais**

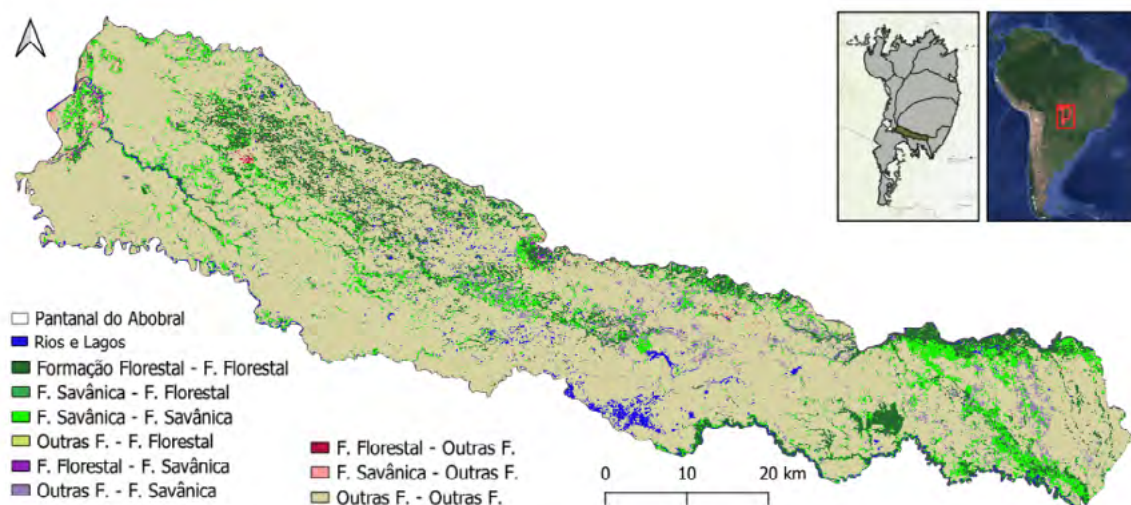
As séries de NDVI médio mensal derivadas de produtos HLS foram utilizadas para acessar variações em processos funcionais das formações florestal e savânica. Os indicadores funcionais derivados da curva anual de NDVI foram: (1) a integral anual do NDVI (NDVI-I), como indicador de produção primária líquida e (2) a amplitude relativa intra-anual (RREL), para descrever a sazonalidade dos fluxos de carbono (Rapinel et al., 2019). Os valores negativos nos pixels foram substituídos por zeros para evitar tendências relacionadas à inundações (Rapinel et al., 2019). Devido à alta cobertura de nuvens, que afetaria diretamente o NDVI-I (pois haveria uma tendência de subestimação do NDVI-I em função da falta de dados) e, conseqüentemente, o RREL, calculamos o ciclo anual médio a partir do NDVI mensal médio para o período 2015-2023. Por fim, o NDVI-I foi obtido a partir da soma dos NDVIs do ciclo anual médio, e o RREL a partir da subtração entre o NDVI máximo e o NDVI mínimo do ciclo anual médio, dividido pelo NDVI-I.

Todas as etapas de processamento e análise foram realizadas usando o software R v.4.2.3.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Evolução das formações florestal e savânica

As formações florestal e savânica representavam aproximadamente 20,2% da cobertura da terra do Pantanal do Abobral em 2015, como base na classificação do Projeto MapBiomias, sendo 10,2% florestal e 10,0% savânica. Em 2022, a área ocupada por essas duas classes combinadas aumentou para 23,5% da subregião (**Figura 1**). Esse aumento, no entanto, foi proporcionado exclusivamente pela formação savânica, que passou a ocupar 13,7% do Abobral, enquanto a florestal teve uma ligeira diminuição de área, ocupando 9,8% desse território.



**Figura 1.** Evolução das formações florestal e savânica no Pantanal do Abobral (2015-2022) com base na classificação da cobertura e uso da terra do Projeto MapBiomias. *Outras F.* reúne as classes (MapBiomias): formação campestre, pastagem e campo alagado e área pantanosa.

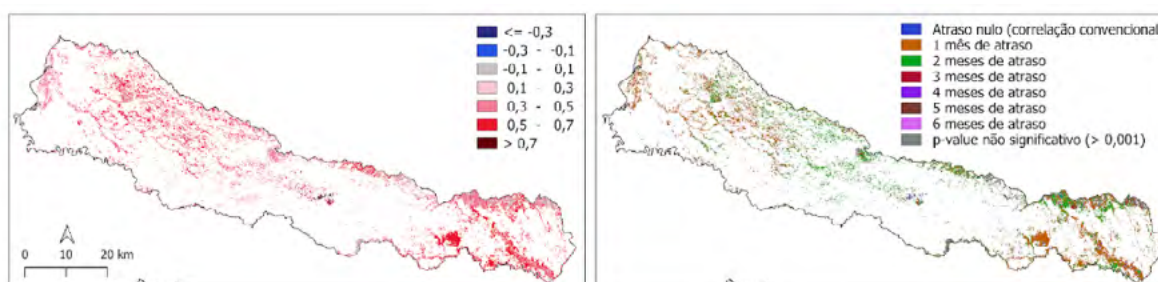
A redução de área florestal ocorreu principalmente na transição da classe florestal para savânica e poderia indicar um processo de ‘cerradização’ associado ao fogo que, por sua vez, tem o potencial de reduzir espécies sensíveis e favorecer o aumento de espécies de ritidoma cortiçoso (Pott e Pott, 2004; Pott, 1994). No entanto, em contraste com imagens de satélite, observa-se que as mudanças de classes de formação florestal para savânica também ocorreram devido a erros de sobreprevisão no mapa de classificação de 2015. Adicionalmente, a paisagem do Pantanal do Abobral, saturada de capões, favorece a ocorrência de um alto número de pixels mistos entre as formações florestal e campestre nas bordas dessas ilhas de árvores. Estes pixels são frequentemente classificados como formação florestal, o que pode contribuir para uma superestimação da área florestal (embora o contrário também ocorra).

O avanço da formação savânica também ocorreu sobre as classes formação campestre e campo alagado e área pantanosa. Nesse sentido, Alho et al. (2019) observaram que formações homogêneas de plantas lenhosas têm colonizado campos sazonalmente inundados do Pantanal durante anos de seca. Importantes dinâmicas de expansão das formações pioneiras no Pantanal do Abobral, entre os anos de 1995 e 2015, também foram identificadas por Andrade et al. (2020). A expansão de formações savânicas pode, portanto, estar vinculado ao período mais seco observado nos últimos anos. O nível do Rio Paraguai na base naval de Ladário, por exemplo,

voltou a apresentar cotas negativas a partir de 2020, o que não ocorria desde 1973 (dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, disponível em <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>). Além disso, em 2021 foi registrado o segundo menor nível do Rio Paraguai, para esta estação, em toda sua série histórica, que teve início em 1900 (cota de -60 cm em 2021, contra -61 cm em 1964).

#### 4.2. Dinâmica entre fenologia e precipitação

Os resultados da correlação de Pearson maximizada e do tempo de atraso entre as séries de valores mensais de NDVI e precipitação que maximiza a correlação são apresentados na (Figura 2). De modo geral, a correlação foi maximizada com 1 a 2 meses de atraso das séries de NDVI em relação às de precipitação. A correlação foi mais forte com um mês de atraso em 43,3% dos pixels e com dois meses em 42,2%. Não houve correlação significativa ( $p\text{-value} > 0,001$ ) em 7,4% da área e R foi maximizado com 3 meses de atraso em outros 4,9%. No restante da área, R é maximizado com 6, 0 (atraso nulo ou R convencional), 4, e 5 meses de atraso (respectivamente, 1,1%, 0,8%, 0,2% e 0,02% dos pixels).



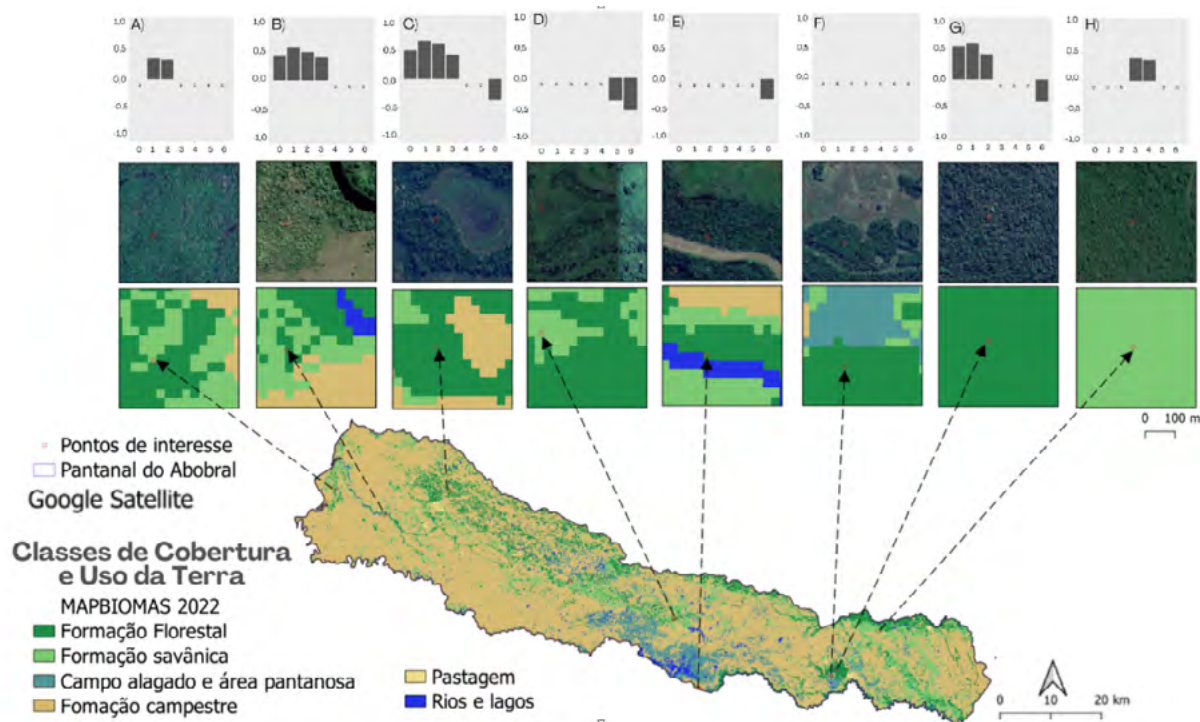
**Figura 2.** Distribuição espacial da correlação de Pearson maximizada entre séries temporais mensais de NDVI da vegetação lenhosa e de precipitação para o Pantanal do Abobral, MS (esq.) e do número de meses de atraso necessários para maximizar a correlação (dir.).

Essa dinâmica espaço-temporal está associada a ampla variedade de tipologias de vegetação deste bioma. Entre as formações lenhosas do Pantanal, por exemplo, Pott (1994) cita, as florestas semidecíduas, o cerradão mesotrófico e o distrófico, a floresta de galeria e as florestas ripárias (inundáveis). O autor menciona ainda as comunidades dominadas por uma única espécie, geralmente pioneiras, onde a sucessão ecológica é impedida pela ocorrência de inundações regulares.

As florestas ripárias e os mosaicos de vegetação arbóreo-arbustivas nas proximidades de corpos d'água apresentaram correlações com a chuva variando de baixa positiva a não-significativa ( $p\text{-value} > 0,001$ ) (Figura 3A e H), eventualmente podendo apresentar correlações negativas (Figura 3E). Baixos valores de correlação positiva e correlações não-significativas também foram observados na borda das manchas florestais, particularmente aquelas dominadas pelo Acuri (*Atallea phalerata*) (Figura 3F). Outra formação com predominância de uma espécie, os Carandazais (manchas de *Copernicia alba*) apresentaram correlações positivas com a chuva, embora normalmente inferiores a  $R < 0,55$  (Figura 3B).

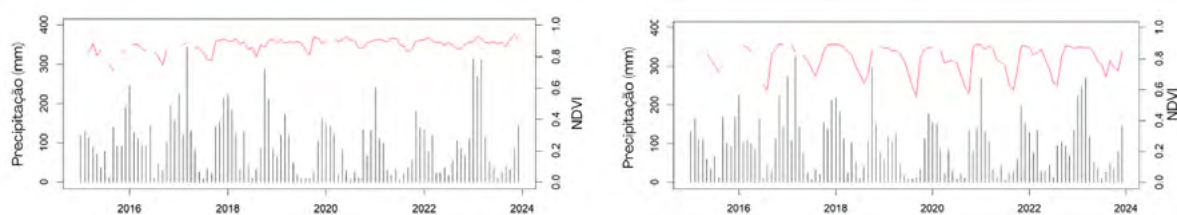
As correlações positivas mais altas ( $R > 0,5$ ) foram observadas nas vegetações arbóreas que compõem o mosaico de cordilheiras, capões e lagoas sazonais próximos da transição para a subregião da Nhecolândia na porção oeste do Abobral (Figura 3C) e nas grandes áreas de florestas contínuas na parte leste (Figura 3G). Por fim, além de alguns pontos isolados,

correlações negativas foram observadas apenas em áreas com fisionomias de campo sujo (vegetação herbáceo-arbustivas) classificadas como formação savânica pelo Projeto MapBiomas (**Figura 3D**). No entanto, de acordo com Merino e Assine (2019), essa área pode se tratar de um lago de 1.100 km<sup>2</sup> escondido sob o acúmulo de plantas aquáticas, o que poderia contribuir para explicar os valores negativos de correlação.



**Figura 3.** Cobertura e Uso da terra no Pantanal do Abobral em 2022 (Projeto MapBiomas). Destaque para os pontos A-H com representações gráficas indicam das correlações de Pearson com 0 (correlação convencional) a 6 meses de atraso.

As séries temporais mensais de NDVI e precipitação dos pontos E e G da (**Figura 3**) são apresentados em detalhe na (**Figura 4**) e ressaltam a variabilidade na dinâmica de diferentes tipologias de vegetação que podem ser encontradas numa mesma classe de cobertura do solo em áreas complexas como o Pantanal. A série temporal de NDVI médio mensal da floresta ripária possui baixa amplitude intra-anual (**Figura 4-esq.**), ou seja, essa floresta tende a permanecer verde ao longo de todo o ano. Nessas áreas, as dinâmicas de inundação também possuem um papel importante na variabilidade da vegetação (Ivory et al., 2019). Por outro lado, manchas com características de florestas sazonalmente secas (e.g., **Figura 4-dir.**) apresentam amplitudes intra-anuais importantes em suas séries de NDVI. Essa diversidade de tipologias ressalta a alta

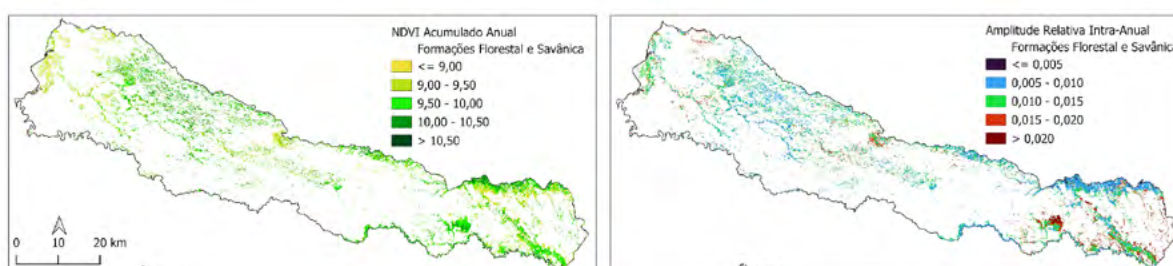


**Figura 4.** NDVI mensal médio dos pontos E (esq.) e G (dir.) indicados na (**Figura 3**), Pantanal do Abobral, MS.

dinâmica espacial e temporal das áreas úmidas Rapinel et al., (2019).

### 4.3. Variações espaciais em índices funcionais

A variabilidade espacial de processos funcionais das formações florestal e savânica foram mapeados por meio da integral anual do NDVI (NDVI-I) e da amplitude relativa intra-anual (RREL) (**Figura 5**), como indicadores de produção primária líquida e sazonalidade dos fluxos de carbono (Rapinel et al., 2019). A média do NDVI-I foi de 9,78 ( $\pm 0,48$ ) para a formação florestal e de 9,27 ( $\pm 0,51$ ) para a formação savânica, sendo essas médias significativamente diferentes ( $t = 352,56$ ,  $df = 455643$ ,  $p\text{-value} < 2,2e-16$ ). Além disso, o NDVI-I tende a ser maior nas florestas ripárias e menor na planície de inundação do Rio Paraguai, na parte oeste do Pantanal do Abobral.



**Figura 5.** NDVI Acumulado anual (esq.) e amplitude relativa intra-anual (dir.) das formações florestal e savânica derivados do ciclo anual médio do NDVI (2015-2023), Pantanal do Abobral, MS.

A amplitude relativa intra-anual, por sua vez, mostrou que a sazonalidade do NDVI é significativamente menor na formação florestal ( $0,011 \pm 0,0042$ ) em relação à savânica ( $0,013 \pm 0,0047$ ) ( $t = -134,03$ ,  $df = 442870$ ,  $p\text{-value} < 2,2e-16$ ). Complementando o NDVI-I, esse índice funcional aponta que a amplitude do NDVI é menor principalmente nas florestas ripárias. Adicionalmente, para a área florestal indicada pelo ponto G) na (**Figura 3**), ambos os índices funcionais evidenciaram um gradiente N-S de aumento na produção primária anual e diminuição na sazonalidade dos fluxos de carbono. De acordo com Rapinel et al. (2019), informações como essas podem contribuir em uma melhor compreensão e monitoramento da influência de práticas de manejo e do clima nas funções de áreas úmidas. Nesse sentido, Power et al. (2016) salienta que o manejo futuro da dinâmica fogo-vegetação em florestas tropicais sazonalmente secas exige o conhecimento de sua variabilidade natural em escalas de tempo curtas e longas, bem como a reflexão de como esses processos vinculam as mudanças climáticas aos impactos sobre a diversidade dessas comunidades vegetais.

## 5. Conclusões

No Pantanal do Abobral, a formação savânica apresenta uma pequena evolução nos últimos anos em detrimento da formação florestal, com base no mapeamento do Projeto Mapbiomas. No entanto, erros de omissão e sobreprevisão, haja vista a complexidade desta subregião, também contribuem com este resultado. De maneira geral, a vegetação arbórea responde à precipitação com um a dois meses de atraso. Além disso, mesmo dentro de uma mesma classe de cobertura da terra, tipologias distintas respondem diferentemente aos regimes locais de precipitação. Por fim, abordagens de mapeamento que descrevem atributos funcionais da vegetação podem contribuir para o monitoramento e planejamento, ao nível de paisagem, de estratégias de mitigação e/ou

adaptação aos efeitos das mudanças climáticas globais.

## 6. Agradecimentos

U. M. R. é financiado pelo CNES (Projeto SEMTI-SENT) e pela Région Bretagne. M.H.S.S. agradece ao apoio da Fundect (Chamada Fundect 31/2021 - Universal 2021).

## 7. Referências

- Alho, C. J. R.; Mamede, S. B.; Benites, M.; Andrade, B. S.; Sepúlveda, J. J. O. Threats to the biodiversity of the Brazilian Pantanal due to land use and occupation. **Ambiente & Sociedade**, 22, e01891, 2019.
- Andrade, B. S.; Silva, M. H. S.; Oliveira, A. K. M.; Alho, C. J. R. Análise Espaço-Temporal Das Mudanças Na Cobertura Vegetal E Uso Da Terra De 1995 A 2015 No Pantanal Do Abobral, Mato Grosso Do Sul. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 3, p. 101-121, 2020.
- Arvor, D.; Betbeder, J.; Daher, F. R.; Blossier, T.; Le Roux, R.; Corgne, S.; ...; da Silva Junior, C. A. Towards user-adaptive remote sensing: Knowledge-driven automatic classification of Sentinel-2 time series. **Remote Sensing of Environment**, v. 264, p. 112615, 2021.
- Bergier, I. Effects of highland land-use over lowlands of the Brazilian Pantanal. **Sci. Total Environ.**, v. 463, p. 1060-1066, 2013.
- Bergier, I.; Assine, M. L.; McGlue, M. M.; Alho, C. J.; Silva, A.; Guerreiro, R. L.; Carvalho, J. C. Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. **Sci. Total Environ.**, v. 619–620, 2018.
- Braz, A. M.; Melo, D. S.; Boni, P. V.; Decco, H. F. A Estrutura Fundiária Do Pantanal Brasileiro. **Finisterra**, v. 113, p. 01, 2020.
- Claverie, M.; Ju, J.; Masek, J. G.; Dungan, J. L.; Vermote, E. F.; Roger, J. C.; ...; Justice, C. The Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set. **Remote Sens. of Environment**, v. 219, pp. 145–161, 2018.
- Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; ...; Michaelsen, J. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, no. 1, 2015.
- Inglada, J.; Vincent, A.; Arias, M.; Marais-Sicre, C. ‘Improved Early Crop Type Identification By Joint Use of High Temporal Resolution SAR And Optical Image Time Series’, **Remote Sens.**, vol. 8, no. 5, p. 362, Apr. 2016.
- Ivory, S. J.; McGlue, M. M.; Spera, S.; Silva, A.; Bergier, I. Vegetation, rainfall, and pulsing hydrology in the Pantanal, the world’s largest tropical wetland. **Environmental Research Letters**, v. 14, no. 12, p. 124017, 2019.
- Junk, W. J.; Cunha, C. N. D. Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. **Ecological Engineering**, vol. 24, no. 4, pp. 391–401, Apr. 2005, doi: 10.1016/j.ecoleng.2004.11.012.
- Marengo, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: **Ministerio Do Meio Ambiente Secretaria de Biodiversidade EF**, 2006.
- Masek, J.; Ju, J.; Roger, J.; Skakun, S.; Vermote, E.; Claverie, M.; ...; Justice, C. HLS Operational Land Imager Surface Reflectance and TOA Brightness Daily Global 30m v2.0. NASA EOSDIS L. **Processes DAAC**, 2021.
- Merino, E. R. e Assine, M. L. Hidden in plain sight: How finding a lake in the Brazilian Pantanal improves understanding of wetland hydrogeomorphology. **Earth Surface Processes and Landforms**. out. 2019.
- Miranda, C. S.; Gamarra, R. M.; Miotto, C. L.; Silva, N. M.; Conceição Filho, A. P.; Pott, A. Analysis of the landscape complexity and heterogeneity of the Pantanal wetland. **Braz. J. Biol.**, v. 78, no. 2, pp. 318–327, 2017.
- Paranhos Filho, A. C.; Moreira, E. S.; Oliveira, A. K. M. D.; Pagotto, T. C. S.; Miotto, C. L. Análise da variação da cobertura do solo no Pantanal de 2003 a 2010 através de sensoriamento remoto. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 19(spe), 69–76, 2014.
- Pereira, A. D. M. M.; Oliveira, M. D. R.; Bao, F.; Souza, E. B. D.; Pott, A.; Escobar, A. C. D. S.; ...; Damasceno-Júnior, G. A. Changes, trends, and gaps in research dynamics after the megafires in the Pantanal. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-15, 2024.
- Pott A. Ecosistema Pantanal. In: Puignau J.P. (ed.), Utilizacio´n y manejo de pastizales, **IICA-PROCISUR**,

- Dia'logos, 40. IICA-PROCISUR, Montevide' o, Uruguay, pp. 31–44, 1994.
- Pott, A.; Pott, V. J. Plantas do Pantanal. Brasília: **EMBRAPA-SPI**, 1994., 1994.
- Pott, A.; Pott, V. J. Features and conservation of the Brazilian Pantanal wetland. **Wetlands Ecology and Management**, v. 12, p. 547-552, 2004.
- Power, M. J., Whitney, B. S., Mayle, F. E., Neves, D. M., De Boer, E. J., & Maclean, K. S. Fire, climate and vegetation linkages in the Bolivian Chiquitano seasonally dry tropical forest. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 371, n. 1696, p. 20150165, 2016.
- Rapinel, S.; Hubert-Moy, L.; Clément, B. Combined use of LiDAR data and multispectral earth observation imagery for wetland habitat mapping. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, v. 37, p. 56-64, 2015.
- Rapinel, S.; Fabre, E.; Dufour, S.; Arvor, D.; Mony, C.; Hubert-Moy, L. Mapping potential, existing and efficient wetlands using free remote sensing data. **Journal of environ. management**, v. 247, p. 829-839, 2019.
- Ravaglia, A. G.; Santos, S. A.; Pellegrin, L. A.; Rodela, L. G.; da Silva, L. C. F. Classificação preliminar das paisagens da sub-região do Abobral, Pantanal, usando imagens de satélite. **Comunicado Técnico**, nº 82. EMBRAPA, Corumbá, 2010.
- Rouse Jr, J. W.; Haas, R. H.; Deering, D. W.; Schell, J. A.; Harlan, J. C. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. No. E75-10354, 1974.
- Silva, J. S. V.; Abdon, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 13, p. 1703-1711, 1998.
- Silva, M. H. S.; Decco, H. F.; Gradella, F. S. Estudo Comparativo Das Variações Microclimáticas Em Distintas Unidades Da Paisagem No Pantanal Do Abobral Em Mato Grosso Do Sul. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas (AGB-TL)**. N. 26, 2017.
- Souza Jr, C. M.; Z. Shimbo, J.; Rosa, M. R.; Parente, L. L.; A. Alencar, A.; Rudorff, B. F.; ...; Azevedo, T. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine, **Remote Sensing**, vol. 12, no. 17, p. 2735, Aug. 2020, doi: 10.3390/rs12172735.
- Tomas W. M.; de Oliveira Roque, F.; Morato, R. G.; Medici, P. E.; Chiaravalloti, R. M.; Tortato, F. R.; ...; Junk, W. J. Sustainability Agenda for the Pantanal Wetland: Perspectives on a Collaborative Interface for Science, Policy, and Decision-Making. **Tropical Conservation Science**, vol. 12, 2019.



## **Modelagem climática regional no Pantanal e impactos sob cenários de mudanças climáticas**

Lindsay Assunção Silva Pimenta <sup>1</sup>  
Chou Sin Chan <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Rodovia Presidente Dutra, km 40 SP/RJ  
12630-970- Cachoeira Paulista - SP, Brasil  
lindsay.silva@inpe.br<sup>1</sup>  
chou.inpe@gmail.com<sup>2</sup>

**Resumo.** Áreas inundáveis estão associadas à diversas funções ecológicas. Esses ecossistemas desempenham um papel importante na mitigação das mudanças climáticas, sequestrando até 30% do carbono presente na atmosfera. A modificação do uso da terra e do clima o longo das últimas décadas tem colocado em risco o Pantanal e demais áreas inundáveis em escala global, causando impactos diretos na população que depende dos serviços ecológicos oferecidos por esses habitats. Desta forma, simular áreas inundáveis é importante para compreender os processos físicos inerentes à estas e a influência que exercem no clima local. Entretanto, essas regiões são mal representadas nos modelos de superfície terrestre. Conseqüentemente, esses corpos d'água ainda não são considerados em projeções climáticas e sua contribuição em cenários de mudanças climáticas no longo prazo não é conhecida. Por meio de modelos climáticos regionais é possível reduzir as simulações climáticas globais para resoluções mais finas que permitem identificar maiores detalhes e conduzir estudos de impacto que mostrem a influência de áreas inundáveis no clima regional. O objetivo desse trabalho é discutir brevemente sobre a representação das áreas inundáveis, incluindo o Pantanal, em estudos de modelagem climática regional, o impacto do bioma do clima local e os impactos das mudanças climáticas através de projeções climáticas.

**Palavras-chave:** modelagem climática regional, Pantanal, mudanças climáticas.

**Abstract.** Wetlands are associated with various ecological functions. These ecosystems play an important role in mitigating climate change, sequestering up to 30% of the carbon present in the atmosphere. Land use and climate changes over the past decades have endangered the Pantanal and other wetlands, causing direct impacts on the population that depend on the ecological services provided by these habitats. Therefore, simulating wetlands is essential to understanding the physical processes inherent to them and their influence on the local climate. However, these regions are poorly represented in land surface models. Consequently, these water bodies are still not considered in climate projections, and their contribution to long-term climate change scenarios is not well known. Through regional climate models, it is possible to downscale global climate simulations to finer resolutions that allow for identifying more details and conducting impact studies that show the influence of wetlands on the regional climate. The objective of this work is to briefly discuss the representation of wetlands, including the Pantanal, in regional climate modeling studies, the impact of the biome on the local climate, and the impacts of climate change through climate projections.

**Key-words:** climate regional modeling, Pantanal, climate change.

## 1. Introdução

Áreas inundáveis estão associadas à diversas funções ecológicas. Uma das principais é a capacidade de reter e liberar águas provenientes de diversas fontes, funcionando como esponjas naturais Penatti et al., (2015); Balwan e Kour, (2021). Esses ecossistemas desempenham um papel importante na mitigação das mudanças climáticas, ocupando entre 5 e 8% da superfície terrestre e sendo responsáveis por sequestrar aproximadamente de 20 a 30% do dióxido de carbono presente na atmosfera através do processo de fotossíntese LAL, (2008); Mitsch et al., (2013).

O Brasil possui 27 sítios na Lista de Ramsar, que inclui áreas inundáveis de importância internacional, dos quais quatro estão localizados no domínio do Pantanal. O bioma, que se estende pelo Brasil, Bolívia e Paraguai, é considerado a maior planície de inundação contínua do mundo. Diversas atividades humanas, como navegação, pecuária e agricultura são reguladas pelo regime hidrológico desse ecossistema Marengo et al., (2016).

A modificação do uso da terra e do clima ao longo das últimas décadas tem colocado em risco o Pantanal e demais áreas inundáveis em escala global Ivory Et Al., (2019); Musasa; Marambanyika, (2020); Khelifa et al., (2022), reduzindo sua extensão e vegetação nativa Smaniotto et al., (2024), perturbando a hidrologia Saha et al., (2024) e causando impactos diretos na população que depende dos serviços ecológicos oferecidos por esses habitats.

Simular a extensão e processos hidrológicos de áreas inundáveis é importante para avaliar suas funções ecossistêmicas. Esses ambientes são capazes de influenciar o clima regional alterando a distribuição dos fluxos de energia turbulenta de calor sensível e latente, refletindo no resfriamento das temperaturas no verão. Além disso, as áreas inundáveis também fornecem fonte de umidade para a formação de nuvens, reduzindo a radiação solar e o movimento atmosférico ascendente, resultando assim em uma camada limite planetária mais rasa Zhang et al., (2022).

A representação de áreas inundáveis é importante para compreensão dos processos físicos inerentes a estas e da influência que exercem no clima local. Entretanto, essas regiões são mal representadas nos modelos de superfície terrestre Zhang et al., (2022). Além disso, esses corpos d'água não tem sua variabilidade sazonal de inundações considerada em projeções climáticas. Logo, sua potencial contribuição em cenários de mudanças climáticas no longo prazo não é conhecida.

Modelos climáticos regionais desempenham a importante função de reduzir as simulações climáticas globais para tamanhos de grade menores onde estudos de impacto podem ser realizados Chou et al., (2014b). Desta forma, é possível obter previsões climáticas regionais com alta resolução espacial, capazes de representar detalhadamente feições topográficas,

corpos d'água, linhas costeiras, eventos extremos, processos dinâmicos de mesoescala, dentre outros aspectos. Diversos trabalhos simularam cenários de mudanças climáticas a partir de downscaling dinâmico para o Pantanal Bravo et al., (2014); Mourão, (2015); Marengo et al., (2016); Silva et al., (2022); Silva et al., (2024), evidenciando os impactos climáticos na hidrologia, biodiversidade e economia da região.

## **2. Objetivos**

O objetivo deste trabalho é discutir brevemente sobre modelagem climática regional e a representação das áreas inundáveis, incluindo o Pantanal, além do impacto do bioma do clima local e os impactos das mudanças climáticas através de projeções climáticas.

## **3. Modelagem Climática Regional em Áreas Inundáveis**

As mudanças climáticas têm intensificado eventos climáticos extremos, como inundações e secas prolongadas, desencadeando desastres que impactam milhares de pessoas no mundo todos os anos. Em particular, as inundações representam grande parte dos eventos hidro-meteorológicos que causam danos materiais, perdas de vidas e prejudicam a infraestrutura Marengo et al., (2023). Entre os ecossistemas mais afetados pelos impactos das mudanças climáticas estão as áreas inundáveis, que desempenham um papel crucial na manutenção da biodiversidade, na regulação do ciclo hidrológico e na mitigação de inundações. Esses ambientes têm seus padrões de inundações e seca impactados pelos impactos das mudanças climáticas, afetando toda sua dinâmica hídrica e conseqüentemente toda a biota e a população que depende de seus serviços ecossistêmicos.

A condução de estudos utilizando modelos climáticos regionais é fundamental para a compreensão de impactos em áreas inundáveis, associados a modelos hidrológicos de grande escala e modelos do sistema terrestre Li et al., (2022). Modelos de superfície terrestre como o Noah-MP possuem múltiplas opções para modelar processos entre a superfície terrestre e a atmosfera, sendo possível calcular separadamente as temperaturas do dossel e da superfície do solo, atingindo uma profundidade de até 12 m Pilotto, (2024) e obter simulações coerentes com dados observacionais.

Zhang et al. (2021) utilizaram o modelo de superfície terrestre Noah-MP aninhado ao Weather Research and Forecasting (WRF) para investigar os impactos das mudanças climáticas na futura abundância e distribuição das áreas úmidas em oito principais regiões ecológicas no centro do Canadá e os potenciais efeitos conjuntos das mudanças climáticas e dos padrões históricos de drenagem nos futuros serviços ecossistêmicos nas políticas de conservação. Os autores utilizaram o modelo WRF para obter cenários climáticos atuais (experimento controle) e futuros. Para a simulação controle, as condições iniciais e de contorno foram de um conjunto de dados de reanálise ERA-Interim de 6 horas. Para a simulação de aquecimento futuro, as condições iniciais e de contorno foram criadas adicionando uma perturbação de mudança climática, derivada de um conjunto de Modelos Circulação Global para o final do século 21 no cenário de emissões RCP8.5, à reanálise ERA-Interim.

Os resultados mostram que os impactos das mudanças climáticas na extensão das áreas inundáveis são heterogêneos espacial e temporalmente. Foi observado um clima futuro mais úmido em todas as estações, exceto no verão, com forte heterogeneidade espacial e variação sazonal e seus correspondentes efeitos sobre as áreas úmidas. O aumento de áreas úmidas na parte leste da região estudada, sob extremos úmidos e secos, sugere que a retenção e restauração das áreas úmidas serão favoráveis hidrológicamente sob mudanças climáticas, com água disponível para preencher as áreas úmidas e manter os habitats da vida selvagem mesmo em

verões relativamente secos. Por outro lado, em áreas altamente drenadas, a perda de áreas úmidas e condições de seca intensificadas sob mudanças climáticas significará uma escassez de habitat para a vida selvagem em anos secos, ao passo que condições úmidas extremas podem levar a inundações na primavera, exacerbadas pela perda destas áreas úmidas.

Zhang et al. (2021) mencionam o desenvolvimento de um esquema de áreas inundáveis que melhor representasse esses ecossistemas no modelo de superfície terrestre, que é apresentado em Zhang et al. (2022) para representar dinamicamente a extensão e processos hidrológicos na Região dos Charcos das Pradarias na América do Norte. Zhang et al. (2022) incorporaram um esquema de áreas inundáveis no modelo Noah-MP, sendo este integrado ao Weather Research and Forecasting (WRF), rodado durante 13 anos. Foi utilizado o conjunto de dados Global Inundation Extent from Multiple Satellites-2 (GIEMS-2) de sensoriamento remoto para estimar a extensão e dinâmica da água superficial na região de estudo.

Foram apontados alguns problemas na representação dessas regiões. As áreas inundáveis no WRF são tratadas como tipo de cobertura do solo com parâmetros estáticos no WRF. Além disso, como comentado na metodologia de Zhang et al. (2022), o esquema de armazenamento de áreas inundáveis padrão do Noah-MP não está conectado a outros armazenamentos de áreas inundáveis ou a uma rede fluvial, de modo que o escoamento deixará o ponto de grade e será perdido no balanço hídrico. Desta forma, foi modificada a fração de saturação da sub-grade para extensão espacial de zonas úmidas e incorporado um armazenamento dinâmico de zonas úmidas para simular os complexos processos hidrológicos.

Dois objetivos principais foram estabelecidos pelos autores, melhorar a representação das extensões de áreas inundáveis e dos processos hidrológicos no Noah-MP e explorar os impactos das áreas inundáveis no clima regional, especialmente o feedback área inundável-temperatura, em um modelo climático regional de alta resolução de permissão de convecção.

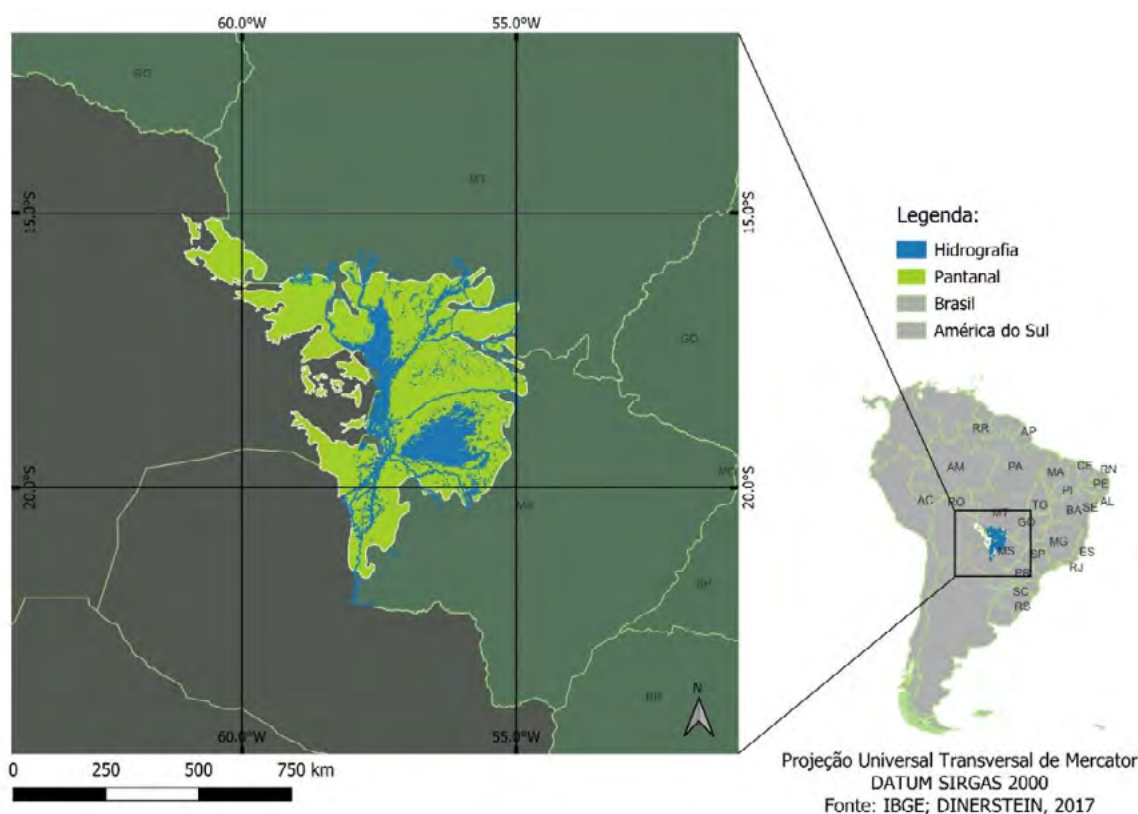
Os autores encontraram diferenças significativas entre as simulações com e sem as áreas inundáveis, com aumento do calor latente e da evapotranspiração e supressão do calor sensível e do escoamento superficial no esquema dinâmico de áreas inundáveis. Foram observadas ainda mudanças no equilíbrio energético da superfície, além de modificações na interação com a baixa atmosfera, diminuindo a altura da camada limite planetária, promovendo a formação de nuvens e uma taxa de resfriamento de 1 a 3°C onde as áreas inundáveis são abundantes. Além disso, Zhang et al. (2022) observaram que a simulação de áreas inundáveis mostrou uma redução no número de dias quentes por mais de 10 dias durante o verão de 2006, quando ocorreu uma onda de calor prolongada na região.

Destaca-se, a partir dos estudos discutidos, que áreas inundáveis podem atenuar as temperaturas atmosféricas durante ondas de calor a partir do particionamento do balanço de energia, bem como interações com a atmosfera, reduzindo a altura da camada limite e promovendo a formação de nuvens. A drenagem de áreas inundáveis pode contribuir para uma maior quantidade de carbono na atmosfera, reduzindo a resiliência à seca e à alta temperatura, causando danos à agricultura. Melhorias na simulação de áreas inundáveis possibilitam uma melhor compreensão dos seus impactos no clima regional e global, bem como o desenvolvimento de estratégias de gestão e conservação mais eficazes.

#### **4. O Pantanal e Impactos de Mudanças Climáticas**

O Pantanal (**Figura 1**) é classificado como área úmida interior ou continental Junk et al., (2014), tendo como característica a formação de áreas inundáveis semi-permanentes a partir do transbordamento de rios, que ocorre entre novembro e março. Cerca de 70% das planícies adjacentes a estes rios são inundadas, formando extensas áreas de lagos rasos e pântanos que

ficam submersos por até aproximadamente 8 meses, com profundidades que variam de poucos centímetros até mais de 2 metros. Na época mais seca (abril a setembro), os rios recuam, porém as regiões mais baixas não são totalmente drenadas Marengo et al., (2016).



**Figura 1.** Mapa do bioma Pantanal.

Fonte: Dinerstein et al. (2017) e autor.

O regime de cheias do rio Paraguai é fortemente influenciado pelo armazenamento de águas do Pantanal, produzindo um atraso no pico de cheia entre o norte e o sul do bioma Mourão, (2015) de quase 6 meses, minimizando as inundações a jusante Marengo et al., (2016). O pico da época de cheias para a bacia do baixo rio Paraná ocorre 2 a 3 meses antes da estação de cheia do alto rio Paraguai. Sem o Pantanal, as duas épocas de cheia seriam simultâneas, com consequências graves para os habitantes a jusante Marengo et al., (2016).

Bergier et al. (2018) calcularam as séries temporais de precipitação sazonal de 1926 a 2016 para o Pantanal. Os autores identificaram que a precipitação média anual na região é de aproximadamente 1350 mm e cerca de 70% deste volume corresponde ao período da primavera e do verão. As temperaturas médias diárias também apresentam uma sazonalidade bem definida, variando entre 13 e 26 °C na primavera e verão e 10 e 22 °C no outono e inverno. As temperaturas diurnas podem ultrapassar os 35°C durante a tarde no verão, enquanto à noite, durante o inverno, a temperatura do ar pode chegar a menos de 10 °C Bergier et al., (2018).

A condução de estudos em cenários de mudanças climáticas por meio de modelos climáticos regionais Marengo et al., (2016) e de eventos extremos Marengo et al., (2021); Silva et al., (2024) consistem em ferramentas fundamentais para avaliar os impactos locais em função das alterações climáticas nas áreas inundáveis do Pantanal.

Para avaliar os impactos de mudanças climáticas no clima e hidrologia do Pantanal, Marengo et al. (2016) usaram cenários regionais de mudanças climáticas derivados do downscaling do

modelo HadGEM2-ES através do modelo Eta, com resolução de 20 km gerado por Chou et al., (2014a); Chou et al., (2014b) no Pantanal. O cenário de emissão Representative Concentration Pathways (RCP) utilizado no estudo Eta-HadGEM2 ES foi o RCP 8.5, que representa o cenário pessimista de aquecimento global. Os resultados do experimento Eta-HadGEM2 ES foram comparados com os resultados gerados do AR4 e AR5 do IPCC, utilizando o ensemble dos modelos do CMIP5.

Com base nas projeções do Eta-HadGEM2 ES em escalas de tempo anuais para o RCP8.5 até 2100 analisadas por Marengo et al. (2016), são previstos aumento das temperaturas e alterações nos extremos climáticos sazonais e interanuais (incluindo secas, ondas de calor e inundações). As simulações mostraram um aquecimento de 2,5 a 3,5°C entre 2011 e 2040 e de 5 a 7°C entre 2071 e 2100, o que está de acordo com as projeções do CMIP5. Em relação à precipitação, o Eta-HadGEM2 ES reduz entre 10 e 20% no período entre 2010 e 2040 o volume de chuvas e em torno de 30% entre 2071 e 2100. Ambos os resultados supracitados concordam com as simulações do Eta aninhado ao modelo japonês MIROC5 feitas por Chou et al. (2014b) para a mesma região. Mudanças no balanço de Precipitação menos Evaporação (P-E) também foram observadas, indicando que a região se tornará mais seca no futuro, reduzindo aproximadamente 40% durante o século XXI.

As anomalias mensais de temperatura média simuladas apresentaram grande variação, especialmente entre maio e julho. Os resultados apontaram para uma mudança de extremos máximos e mínimos e um aumento de mais de 6°C em julho e 8,5°C em dezembro até o final do século XXI. Anomalias de precipitação considerando valores médios na extensão da bacia não apresentaram grandes mudanças. Por outro lado, extremos mostraram ter maior amplitude. Essas mudanças poderiam contribuir para a eutrofização das áreas inundáveis, prejudicando a biota aquática através da diminuição do oxigênio.

Uma problemática discutida pelos autores é que as mudanças na hidrologia do Pantanal são incertas devido aos processos de superfície terrestre não estarem bem representados pelos modelos climáticos. Enquanto a maioria das projeções de modelos regionais e globais mostra aumentos na precipitação e nas descargas da Bacia do Paraguai no verão, elas também mostram reduções durante o restante do ano, com um possível atraso no início das chuvas e uma estação chuvosa mais curta. Essas incertezas podem prejudicar a identificação dos impactos das mudanças climáticas nessa região.

Além de Marengo et al. (2016), outros autores simularam e discutiram sobre as projeções climáticas no Pantanal. Mourão (2015) usou o modelo Eta-10 km com as condições iniciais e de contorno do modelo Eta-20 km e do modelo HadGEM2-E para verificar como as áreas inundáveis do Pantanal afetam o balanço hídrico da Bacia do Prata. Foi considerado o cenário de emissão de CO<sub>2</sub> RCP 4.5 para as simulações.

O modelo Eta foi integrado para os períodos de 1960-2005, 2006-2040, 2040-2070, 2070-2099, para avaliar as mudanças climáticas na Bacia do Prata. Mourão (2015) utilizou como esquema de superfície o modelo Noah-LSM, a versão prévia do Noah-MP descrito anteriormente. Foi realizada uma simulação controle e outra com a inclusão das áreas inundadas. Para representar as áreas inundáveis, a autora utilizou o mapa de frequência de inundação de Padovani (2010). As áreas com frequência de inundação igual a 100% foram inseridas no atual mapa de vegetação do modelo Eta, como um 15º tipo de vegetação chamado de áreas alagadas arborizadas. Durante o período de abril a julho o modelo considerou que praticamente toda a região do Pantanal estivesse alagada, para verificar o efeito desta inundação no clima da região.

A análise das projeções mostrou que a variação espacial das áreas alagadas influencia significativamente o balanço de umidade da Bacia do Prata. No experimento que inclui a representação das áreas inundáveis houve uma tendência de aumento de temperatura para

toda a Bacia do Prata, especialmente na região Nordeste, acompanhado de uma tendência de redução da precipitação, afetando negativamente a agricultura na região, especialmente para culturas como a soja. No clima presente, o modelo regional foi capaz de representar o padrão espacial e temporal da precipitação e temperatura, para o período de 1961-1990, entretanto, regionalmente, houve erros sistemáticos com vieses.

Os resultados obtidos foram melhores em relação aos de Chou et al. (2014a), que usam a resolução de 20 km. Na análise do clima futuro, tendência de anomalia negativa de precipitação foi detectada sobre a região da ZCAS. A partir de 2041 foi observada uma tendência de aumento da precipitação na Região Sul do Brasil e norte da Argentina. Foi observado também aumento de temperatura em todo domínio. Apesar de o Pantanal representar uma pequena área da Bacia do Prata, o bioma exerce grande influência no balanço de umidade da região. Mudanças nos ciclos de inundação no Pantanal podem influenciar toda a bacia.

Nos últimos anos, a ocorrência de eventos de secas colocou o Pantanal em risco. Silva et al. (2024) avaliaram a ocorrência de secas no bioma utilizando o índice de precipitação padrão (SPI) e o índice de precipitação evapotranspiração padrão (SPEI), que comparam a precipitação acumulada em um período específico com a média histórica para o mesmo período, ajustando essa diferença para desvio padrão. O índice SPEI acrescenta a evapotranspiração potencial, fornecendo uma medida mais abrangente do balanço hídrico. Os autores também projetaram eventos de seca ao longo do século XXI utilizando um ensemble do Modelo Regional Climático Atmosférico RCA4-RC obtido do projeto CORDEX e as saídas do ensemble do modelo Eta (dentre estes, utilizando o HadGEM2-ES e o MIROC5 mencionados anteriormente) na resolução de 20 km, analisando temperatura e precipitação mensais para o período histórico 1961-2005, e o período futuro, 2010-2099, sob os cenários de emissão RCP4.5 e RCP8.5.

Para avaliar os conjuntos de dados de precipitação e temperatura, foi utilizado o conjunto de dados climatológicos CRU. Silva et al. (2024) observaram que ambos os índices SPI e SPEI capturaram os episódios de seca e sua severidade, especialmente nos anos hidrológicos 1961/1962, 1963/1964, 1966/1967 e 1968/1969. O ano 2019/2020 foi o ano mais seco do período de estudo. Nas projeções, o ensemble Eta para o período de 90 anos indicou a ausência de secas extremas, com SPI menor que 2. No cenário RCP8.5, as projeções mostraram ausência de secas extremas, mas eventos severos são concentrados principalmente na década de 2090 devido à redução da precipitação no final do século. Os resultados semelhantes dos índices SPI e SPEI indicam que a falta de chuvas é o principal fator produtor de secas no Pantanal. No caso de secas extremas, a falta de precipitação combinada ao aumento da temperatura pode produzir eventos perigosos. Foi observado também que o ensemble CORDEX representou melhor os episódios extremos do que o ensemble Eta.

Outros impactos foram observados no Pantanal por Vourlitis et al. (2022), como a alteração da diversidade e produtividade de espécies arbóreas na região do Pantanal Norte, em Cáceres, com a diminuição do crescimento do caule proporcional ao aumento das temperaturas máximas, mostrando que as alterações climáticas influenciam diretamente a biota do ecossistema. Uma vez que a maior parte das projeções climáticas para o Pantanal indicam, no geral aumento das temperaturas e diminuição da precipitação ao longo do século XXI, compreender a ocorrência de consequentes desastres como inundações e secas severas no bioma é fundamental para a gestão da vida selvagem e a conservação da natureza deste hábitat, bem como a disponibilidade de serviços ecossistêmicos oferecidos pelo bioma à população local Marengo et al., (2016), respaldando futuras estratégias de adaptação desenvolvidas e implementadas a fim de minimizar os impactos das mudanças climáticas.

## 5. Considerações Finais

O presente trabalho ressalta a importância da modelagem climática regional para representar ambientes sensíveis como áreas inundáveis, compreender a influência que exercem no clima local e simular os impactos das mudanças no uso e cobertura da terra e das mudanças climáticas nesses ecossistemas.

Modelos climáticos regionais, juntamente com modelos hidrológicos e de superfície terrestre são ferramentas fundamentais para representar e compreender processos físicos de áreas inundáveis. Diversos modelos hidrológicos de grande escala e modelos do sistema terrestre incorporaram esquemas de inundação de águas superficiais para representar a dinâmica de lagos, áreas inundáveis e planícies aluviais com o intuito de investigar os seus impactos no ciclo da água e no sistema climático.

A drenagem de áreas inundáveis pode contribuir para uma maior quantidade de carbono na atmosfera, reduzindo a resiliência à seca e à alta temperatura, causando danos à agricultura. Melhorias na simulação de áreas inundáveis possibilitam uma melhor compreensão destes habitats e contribuem para tomada de decisão frente às mudanças climáticas, à gestão de recursos hídricos e à conservação ambiental.

O Pantanal tem sido atingido por episódios de seca extrema e consequentes incêndios nos últimos anos, com milhões de afetados entre flora e fauna, especialmente nos eventos de 2019 e 2020. As projeções climáticas para o Pantanal sob diferentes cenários de emissões (RCP4.5 e RCP8.5) indicam, em sua maioria, um clima futuro com aumentos significativos na temperatura e reduções na precipitação, exacerbando eventos de secas e incêndios florestais. Essas mudanças têm o potencial de alterar drasticamente a ecologia do Pantanal, comprometendo a sobrevivência de espécies endêmicas e a sustentabilidade das atividades humanas na região.

Ações de conservação e manejo sustentável serão essenciais para proteger a biodiversidade do Pantanal, bem como assegurar a continuidade dos serviços ecossistêmicos, como o fornecimento de água e suporte à vida silvestre. A aplicação de estratégias de adaptação e mitigação devem ser desenvolvidas com base nas projeções climáticas para proteger o Pantanal frente às mudanças climáticas.

## 6. Referências

- Balwan, W. K., & Kour, S. (2021). Wetland: An ecological boon for the environment. *East African Scholars Journal of Agriculture and Life Sciences*, 4(3), 38–48. ISSN 2617-4472.
- Bergier, I. (2013). Effects of highland land-use over lowlands of the Brazilian Pantanal. *Science of The Total Environment*, 463-464, 1060–1066. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.001>
- Bravo, J. M.; Collischonn, W.; Paz, A. R. Da; Allasia, D.; Domecq, F. Impact of projected climate change on hydrologic regime of the upper Paraguay river basin. *Climatic Change*, Springer Science+Business Media Dordrecht, v. 127, p. 27–41, 2014.
- Chou, S. C., Lyra, A., Mourão, C., Dereczynski, C., Pilotto, I., Gomes, J., Bustamante, J., Tavares, P., Silva, A., Rodrigues, D., Campos, D., Chagas, D., Sueiro, G., Siqueira, G., Nobre, P., & Marengo, J. (2014). Evaluation of the Eta simulations nested in three global climate models. *American Journal of Climate Change*, 3, 438–454. <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2014.35039>
- Chou, S. C., Lyra, A., Mourão, C., Dereczynski, C., Pilotto, I., Gomes, J., Bustamante, J., Tavares, P., Silva, A., Rodrigues, D., Campos, D., Chagas, D., Sueiro, G., Siqueira, G., & Marengo, J. (2014). Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. *American Journal of Climate Change*, 3, 512–525. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35043>
- Ivory, S. J., McGlue, M. M., Spera, S., Silva, A., & Bergier, I. (2019). Vegetation, rainfall, and pulsing hydrology in the Pantanal, the world's largest tropical wetland. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4ffe>



- Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Lourival, R., Wittmann, F., Kandus, P., Lacerda, L. D., Bozelli, R. L., Esteves, F. A., Cunha, C. N. da, Maltchik, L., Schöngart, J., Schaeffer-Novelli, Y., & Agostinho, A. A. (2014). Brazilian wetlands: Their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, 24, 5–22. <https://doi.org/10.1002/aqc.2386>
- Khelifa, R., Mahdjoub, H., & Samways, M. J. (2022). Combined climatic and anthropogenic stress threaten resilience of important wetland sites in an arid region. **Science of the Total Environment**, 806, 150806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150806>
- Lal, R. (2008). Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 815–830. ISSN 0962-8436. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2185>
- Marengo, J. A., Alves, L. M., & Torres, R. R. (2016). Regional climate change scenarios in the Brazilian Pantanal watershed. **Climate Research**, 68(2-3), 201–213. <http://www.int-res.com/abstracts/cr/v68/n2-3/p201-213/>
- Marengo, J. A., Cunha, A. P., Cuartas, L. A., Leal, K. R. D., Broedel, E., Seluchi, M. E., Michelin, C. M., Baião, C. F. D. P., Angulo, E. C., Almeida, E. K., Kazmierczak, M. L., Mateus, N. P. A., Silva, R. C., & Bender, F. (2021). Extreme drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, causes, and impacts. **Frontiers in Water**, 3, 639204. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.639204>
- Marengo, J. A., Seluchi, M. E., Cunha, A. P., Cuartas, L. A., Goncalves, D., Sperling, V. B., Ramos, A. M., Dolif, G., Saito, S., Bender, F., Rocha Lopes, T., Alvala, R. C., & Moraes, O. L. (2023). Heavy rainfall associated with floods in southeastern Brazil in November–December 2021. **Natural Hazards**. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05827-z>
- Mourão, C. E. F. (2015). O papel das áreas inundáveis no balanço hídrico da Bacia do Prata e impactos na agricultura em cenários futuros de mudanças climáticas [Tese de doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)].
- Musasa, T., & Marambanyika, T. (2020). Threats to sustainable utilization of wetland resources in Zimbabwe: A review. **Wetlands Ecology and Management**, 28, 681–696. <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09732-1>
- Padovani, C. R. (2010). Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal [Tese de doutorado, Universidade de São Paulo]. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/91/91131/tde-14022011-170515/>
- Penatti, N. C., Almeida, T. I. R. d., Ferreira, L. G., Arantes, A. E., & Coe, M. T. (2015). Satellite-based hydrological dynamics of the world's largest continuous wetland. **Remote Sensing of Environment**, 170, 1–13.
- Pilotto, I. L., Rodriguez, D. A., Chou, S.-C., Garofolo, L., & Gomes, J. L. (2023). Impacts of the land use and land-cover changes on local hydroclimate in southwestern Amazon. **Climate Dynamics**. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06787-4>
- Saha, T. K., Sajjad, H., Roshani, Rahaman, M. H., & Sharma, Y. (2024). Exploring the impact of land use/land cover changes on the dynamics of Deepor Wetland (a Ramsar site) in Assam, India using geospatial techniques and machine learning models. **Modeling Earth Systems and Environment**. <https://doi.org/10.1007/s40808-024-01999-0>
- Smaniotto, N. P., Moreira, L. F. B., Smedo, T. B. F., Carvalho, F., Quintela, F. M., Nunes, A. V., & Shimano, Y. (2024). When drought matters: Changes within and outside protected areas from the Pantanal ecoregion. **Wetlands**.
- Silva, P. S., Geirinhas, J. L., Lapere, R., Laura, W., Cassain, D., Alegría, A., & Campbell, J. (2022). Heatwaves and fire in Pantanal: Historical and future perspectives from CORDEX-CORE. **Journal of Environmental Management**, 323, 116193. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116193>
- Silva, V. O., Mello, C. R. de, Chou, S. C., Guo, L., & Viola, M. R. (2024). Characteristics of extreme meteorological droughts over the Brazilian Pantanal throughout the 21st century. **Frontiers in Water**, 6, 1385077. <https://doi.org/10.3389/frwa.2023.1385077>
- Vourlitis, G. L., Paiva Jr., O. B., Dalmagro, H. J., Arruda, P. E. Z. de, Lobo, F. de A., & Nogueira, J. de S. (2022). Tree growth responses to climate variation in upland and seasonally flooded forests and woodlands of the Cerrado-Pantanal transition of Brazil. **Forest Ecology and Management**, 505, 119917. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119917>

Zhang, Z., Bortolotti, L. E., Li, Z., Armstrong, L. M., Bell, T. W., & Li, Y. (2021). Heterogeneous changes to wetlands in the Canadian Prairies under future climate. **Water Resources Research**, 57, e2021WR030572. <https://doi.org/10.1029/2021WR030572>

Zhang, Z., Chen, F., Barlage, M., Bortolotti, L. E., Famiglietti, J., Li, Z., Ma, X., & Li, Y. (2022). Cooling effects revealed by modeling of wetlands and land-atmosphere interactions. **Water Resources Research**, 58, e2021WR030573.

## **Obtenção de dados para o treinamento de modelos de aprendizado de máquina para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região amazônica da Bacia do Alto Paraguai**

Glauber José Vaz <sup>1,2</sup>  
André Silva Tavares <sup>1,3</sup>  
João Francisco Gonçalves Antunes <sup>1</sup>  
Alexandre Camargo Coutinho <sup>1</sup>  
Júlio César Dalla Mora Esquerdo <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Agricultura Digital – CNPTIA  
Av. André Toselo, 209 – Campus da Unicamp, Barão Geraldo  
13083-886 – Campinas – SP, Brasil  
{glauber.vaz, joao.antunes, alex.coutinho, julio.esquerdo}@embrapa.br  
andresttavares@gmail.com<sup>1,3</sup>

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Campinas – Unicamp  
Doutorando, Laboratório de Inteligência Artificial, Recod.ai, Instituto de Computação  
Av. Albert Einstein, 1251, 13083-852 – Campinas – SP, Brasil

<sup>3</sup> Universidade de Brasília – UNB  
Campus Darcy Ribeiro: Instituto de Geociências, ICC  
Ala Central, AT- 321/9, lado B, Brasília - DF, Brasil

**Resumo.** Este trabalho descreve uma metodologia para a obtenção de pontos de amostra da região amazônica da Bacia do Alto Paraguai, que concentra 67% do passivo ambiental em reserva legal da bacia. Os pontos compõem uma base de dados para o treinamento de modelos de aprendizado de máquina, para o mapeamento do uso e cobertura da terra. Os dados são baseados nas principais iniciativas brasileiras relacionadas a esse mapeamento: TerraClass e MapBiomias. A metodologia favorece o balanceamento de classes, a distribuição geográfica dos pontos, a variabilidade temporal e a confiabilidade nas anotações.

**Palavras-chave:** Bacia do Alto Paraguai, conjunto de dados de treinamento, sensoriamento remoto, mapeamento do uso e cobertura da terra, qualidade de dados.

**Abstract.** This paper describes a methodology for obtaining sample points from the Amazon region of the Upper Paraguay River Basin, which accounts for 67% of the environmental liability in legal reserves in the basin. The points form a database for training machine learning models for land use and land cover mapping. The data are based on the main Brazilian initiatives related to this mapping: TerraClass and MapBiomass. The methodology favors the balancing of classes, geographical distribution of points, temporal variability, and reliability in annotations.

**Key-words:** Upper Paraguay River Basin, training dataset, remote sensing, land use and land cover, data quality.

## 1. Introdução

A Bacia do Alto Paraguai (BAP), localizada na região central da América do Sul, é responsável por porção significativa da drenagem do continente e constituída por dois grandes ecossistemas: a planície, onde se forma o bioma Pantanal, e o planalto, caracterizado pelos biomas Cerrado e Amazônia. Essas regiões apresentam relação direta, pois os cursos d'água localizados no planalto formam as nascentes dos rios que seguem para a planície. Assim, atividades realizadas no planalto geram impactos diretos no Pantanal Rabelo e Souza, (2021); Tomas et al., (2022). No entanto, há grandes lacunas e desafios em relação às políticas públicas direcionadas à BAP, que possui características tão particulares, dada sua grande heterogeneidade, diversidade biológica e sua variação espacial e temporal no nível das águas e, portanto, nas delimitações dos corpos d'água Tomas et al., (2022). Para o apoio a ações e programas de governo que garantam sua conservação ambiental, seu desenvolvimento e a recuperação de áreas críticas, são vitais a produção e a disseminação constantes de conhecimentos sobre a região. As geotecnologias constituem ferramentas importantes nesse contexto, em especial no mapeamento de recursos naturais a partir de dados espaciais como as imagens de satélite Rabelo e Souza, (2021).

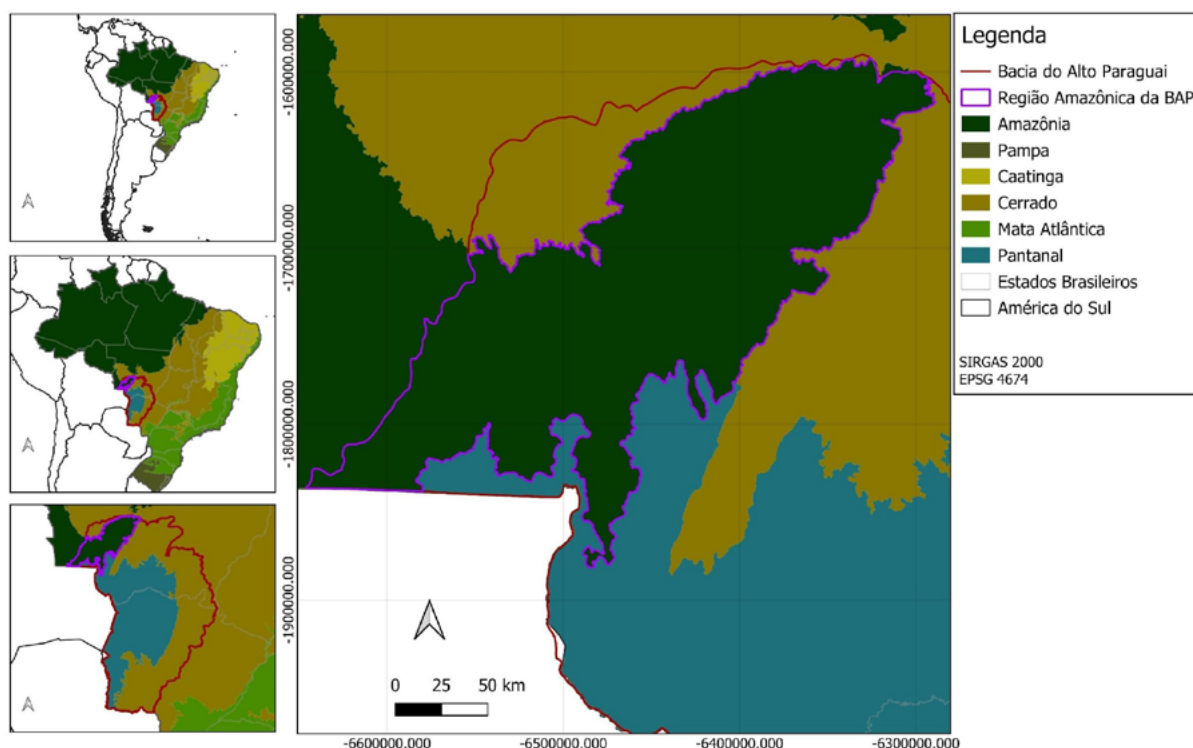
A **Figura 1** mostra os limites da BAP e as fronteiras, em território brasileiro, entre os três biomas nessa região: Pantanal, Amazônia e Cerrado. A região amazônica da BAP aparece em destaque.

Reserva legal, conforme a Lei 12.651, de maio de 2012 Brasil, (2012), é a “área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural (...) com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa”. Segundo estudo do MapBiomass Rosa et al., (2024), em 2022, as áreas antrópicas ocupavam 42% da BAP. O planalto tem 62% de seu território antropizado e representa 99% do passivo ambiental em reserva legal da bacia. Somente a região da BAP situada no bioma amazônico concentra 67% desse passivo.

Nesse contexto, o mapeamento do uso e cobertura da terra é fundamental para a compreensão da dinâmica territorial e o estabelecimento de políticas públicas para o desenvolvimento sustentável nessa região. No Brasil, duas iniciativas que têm produzido dados sistematicamente nesse tema são os projetos MapBiomass e TerraClass.

MapBiomass é uma rede multidisciplinar que foi criada para reconstruir informações sobre uso e cobertura da terra a partir de 1985 em todos os biomas brasileiros, com base no algoritmo *random forest* aplicado a séries temporais de imagens Landsat e na plataforma Google Earth Engine (GEE) Souza Jr et al., (2020). Este trabalho está em constante desenvolvimento e novas coleções são disponibilizadas regularmente, inclusive envolvendo outros países, como Paraguai, Bolívia e Argentina, e outros tipos de mapa, como de solo e vigor da pastagem.

Já o projeto TerraClass foi estruturado para atender a demandas do Governo Federal para qualificar os desmatamentos observados na região da Amazônia Legal. Conduzido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o projeto oferece dados para subsídios à definição de políticas e ações governamentais



**Figura 1.** Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai.

referentes à sustentabilidade na produção agrícola, preservação da biodiversidade e qualidade dos serviços ambientais (erraClass, (2024). Posteriormente, este projeto também foi ampliado para o bioma Cerrado. O TerraClass fornece dados sobre o uso e cobertura da terra nas áreas desmatadas identificadas pelo PRODES, o Programa de Monitoramento do Desmatamento por Satélite Almeida et al., (2016).

O PRODES gera dados de desmatamento que podem ser acessados por meio do TerraBrasilis, uma plataforma desenvolvida pelo INPE para disponibilizar os dados geográficos produzidos pelos seus programas de monitoramento ambiental Assis et al., (2019; TerraBrasilis, (2024). Ele usa mapeamentos incrementais, de maneira que, para cada ano, o sistema identifica novas áreas de desmatamento em relação ao ano anterior Almeida et al., (2021). Esse programa começou atendendo a Amazônia, foi ampliado para abranger o Cerrado Parente et al., (2021b) e, atualmente, cobre o país todo.

Neves et al. (2020) compararam os mapas obtidos pelo MapBiomas e pelo TerraClass. Embora haja uma concordância entre eles em torno de 90%, há diferenças significativas devido às diferenças metodológicas. Os autores concluem que a escolha do mapa depende da aplicação. Enquanto a metodologia do MapBiomas é completamente automatizada e integrada ao GEE, o TerraClass envolve fases de correção manual e utiliza apenas plataformas tecnológicas brasileiras, como o cubo de dados Brazil Data Cube (BDC) Ferreira et al., (2020) e o pacote, em R, Sits, para análise, visualização e classificação de dados de séries temporais de imagens de satélite Simões et al., (2021). As classes consideradas em cada mapeamento também são diferentes, o que exige algumas adaptações quando se procura comparar seus resultados.

Porém, ambas as iniciativas estão em constante desenvolvimento e evoluíram muito nos últimos anos. Tanto o MapBiomas quanto o TerraClass usam aprendizado de máquina para a construção de modelos de classificação do uso e cobertura da terra. É fundamental, portanto, a obtenção de dados de qualidade para o treinamento desses modelos. Além das imagens de

satélite, obtidas com alto nível de qualidade em plataformas como o BDC, o GEE e outras, é necessário ter anotações precisas sobre as classes temáticas rotuladas para cada ponto amostral na região de estudo. Este artigo trata da seleção destes dados, explorando os resultados dos dois principais projetos brasileiros de classificação do uso e cobertura da terra.

## 2. Objetivo

Este trabalho descreve uma metodologia para a obtenção de pontos de amostra na região amazônica da BAP, a fim de se construir um conjunto de dados confiável para o treinamento de modelos de aprendizado de máquina para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região.

## 3. Material e Métodos

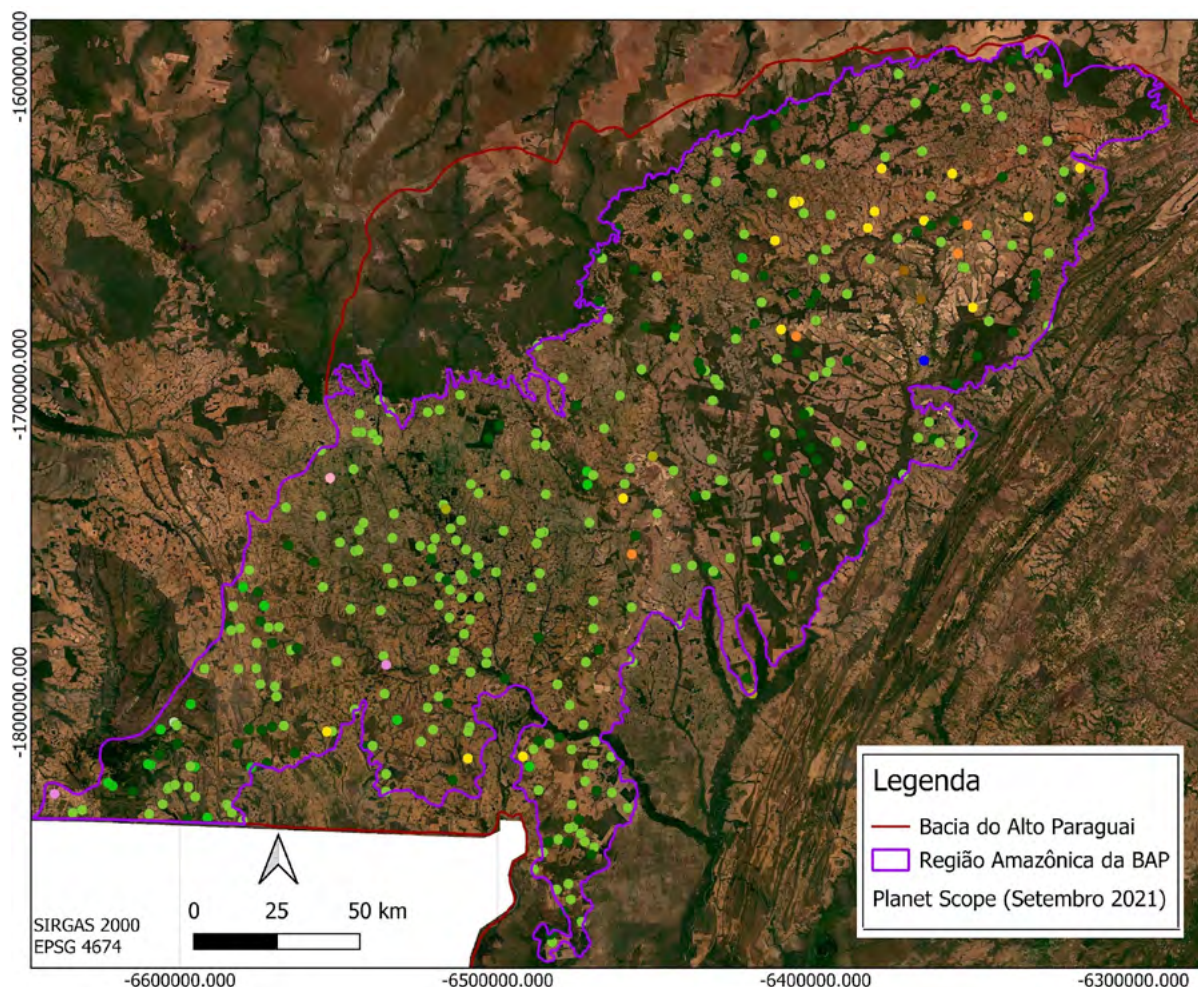
Embora apresentem metodologias diferentes de classificação, o TerraClass e o MapBiomas utilizam algoritmos de aprendizado de máquina que são treinados com conjuntos de dados das diferentes classes consideradas em seus respectivos mapeamentos. Este trabalho busca explorar os dados disponíveis em ambas as iniciativas, a fim de se construir um conjunto de dados para novas abordagens de classificação do uso e cobertura da terra.

Para a obtenção dos dados de sensoriamento remoto, uma boa alternativa é a coleção S2-16D-2 do BDC, que conta com imagens Sentinel-2/MSI de 10 m de resolução espacial e composições de 16 dias de resolução temporal, com a série temporal iniciada em 2018. Portanto, além de cobrir um período suficiente para este trabalho, esses dados apresentam boas resoluções temporal e espacial, e são mantidos pelo INPE, uma instituição pública que garante a disponibilidade e a qualidade dos dados.

O MapBiomas disponibiliza publicamente pontos de amostra que foram utilizados na validação de seus modelos de aprendizado supervisionado (MapBiomas Brasil, 2024b). São 85.152 amostras cobrindo todo o território brasileiro que foram inspecionadas visualmente por três analistas cada, usando imagens Landsat e classificadas de 1985 a 2022. Portanto, para cada ponto, há 38 rótulos de classes, um para cada ano. No total, são mais de três milhões de anotações de classes. Esses pontos foram determinados conforme metodologia de Parente et al. (2021a). Na região amazônica da BAP, há 392 pontos desse conjunto, cuja distribuição é exibida na **Figura 2**.

Considerando-se que os dados de satélite utilizados para a realização de novos mapeamentos são extraídos da coleção S2-16D-2 do BDC, apenas as classificações anotadas para os anos a partir de 2018 podem ser aproveitadas. Os mapas mais recentes do projeto TerraClass Amazônia referem-se aos anos de 2018, 2020 e 2022 TerraClass, (2024a). Para cada um dos pontos da BAP presentes no conjunto de validação do MapBiomas, foram analisadas as rotulações de ambas as iniciativas nesses três anos. Portanto, o total de registros considerados é de  $392 \times 2 \times 3 = 2.352$ .

As classes envolvidas nestes pontos de validação do MapBiomas e presentes na BAP correspondem a: 'Água', 'Floresta', 'Savana', 'FNNF-Alagado' (FNNF = Formação Natural Não Florestal), 'FNNF-Formação Campestre', 'FNNF-Formação Rochosa', 'Silvicultura', 'Pastagem', 'Agricultura Temporária', 'Agricultura Semiperene', 'Agricultura Perene' e 'Urbano'. Em contrapartida, as classes presentes nesses pontos de validação, considerando o mapeamento do TerraClass, correspondem a: 'Água', 'Vegetação Natural Florestal Primária', 'Vegetação Natural Florestal Secundária', 'Formação Natural Não Florestal', 'Silvicultura', 'Pastagem Arbustiva', 'Pastagem Herbácea', 'Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo', 'Cultura Agrícola Temporária de mais de 1 Ciclo', 'Cultura Agrícola Semiperene', 'Cultura Agrícola Perene', 'Urbano' e 'Desflorestamento no Ano'.



**Figura 2.** Pontos de validação do MapBiomias.

Para compatibilizar as classes entre MapBiomias e TerraClass, é necessário realizar as seguintes alterações: (i) agregar as duas classes referentes a pastagens arbustivas e herbáceas em uma única classe ‘Pastagem’; (ii) agregar as duas classes referentes a vegetação natural florestal primária e secundária em uma única classe ‘Floresta’; (iii) agregar as duas classes que indicam agricultura temporária em uma única; (iv) agregar as três classes de FNNF em uma única; (v) analisar de maneira particular as classes que aparecem apenas no TerraClass, ‘Desflorestamento no Ano’, ou no MapBiomias, ‘Savana’.

Portanto, as classes envolvidas neste trabalho são, em princípio, formadas pelo seguinte conjunto: ‘Água’, ‘Floresta’, ‘FNNF’, ‘Silvicultura’, ‘Pastagem’, ‘Agricultura Temporária’, ‘Agricultura Semiperene’, ‘Agricultura Perene’, ‘Urbano’, ‘Savana’ e ‘Desflorestamento no Ano’. As duas últimas aparecem apenas em uma das iniciativas.

#### 4. Resultados e Discussão

Neste estudo, para cada um dos 1.176 registros, foram comparadas as classes atribuídas pelo TerraClass e pelo conjunto de validação do MapBiomias. Em 946 deles, as classes atribuídas foram equivalentes, mas em 230, quase 20%, foram diferentes. A **Tabela 1** exibe a quantidade de vezes em que as amostras foram classificadas da mesma forma por ambas as iniciativas. Por exemplo, em 203 casos, a classe ‘Floresta’ aparece em ambas as iniciativas para um mesmo

**Tabela 1.** Classificação de pontos no MapBiomias (MB) e no TerraClass (TC).

MB/TC	Água	Florest.	FNNF	silvic.	pastag.	temp.	semip.	perene	urbano	savana	des.ano
Água	0	1			3						
Florest.		203	63		37						
FNNF			3		5						
silvic.				6	3						
pastag.		23	8	6	688	4			2		3
temp.					8	38	3				
semip.						1	5				
perene					6		6	0			
urbano									3		
savana		1	44		3					0	
des.ano											0

registro. De maneira análoga, em 37 ocorrências, o MapBiomias atribui a classe 'Floresta' enquanto o TerraClass atribui 'Pastagem'.

Todos os registros que foram classificados de maneira equivalente e que estão em destaque na **Tabela 1** podem ser considerados válidos. Os demais foram analisados por especialistas do domínio, a fim de se compreender os motivos das divergências. Destacam-se os seguintes: i) pontos próximos à fronteira entre classes; ii) áreas de transição, em que uma região apresenta características intermediárias entre duas classes distintas, comum, por exemplo, entre floresta e pastagem; iii) áreas antropizadas em regeneração, indicando uma condição entre floresta e uma formação natural não florestal; iv) localidades com vegetação de Cerrado, variando entre mais fechadas, semelhantes a florestas, e mais abertas, semelhantes a pastagens. Além disso, o TerraClass Amazônia não inclui uma classe para a vegetação típica do Cerrado, como é o caso da classe 'Savana' no MapBiomias.

A **Tabela 1** também mostra que as classes estão muito desbalanceadas. A seleção de pontos realizada busca maior distribuição geográfica, mas, em relação às classes consideradas, o conjunto de pontos não representa bem a variedade de uso e cobertura da terra na BAP. O ideal é coletar mais dados, principalmente porque há várias classes com pouquíssimas amostras. Com o software QGIS, que apoia a visualização, análise e edição de dados geoespaciais, isso foi realizado identificando-se visualmente as localidades nos mapas do TerraClass e do MapBiomias.

Cada classe é tratada isoladamente, de maneira que há um conjunto para cada classe. Como foram analisados três anos, o processo começa por selecionar um ponto em 2018. Se em 2020, a área ao seu entorno continua a ser da mesma classe, um ponto próximo a ele também é registrado. O mesmo ocorre para 2022. Esses pontos tendem a ser muito próximos nos três anos, mas isso não ocorre sempre, pois há variações ao longo do tempo devido às mudanças territoriais.

Além de serem verificados visualmente nos mapeamentos das duas iniciativas, os pontos podem ser inspecionados de duas outras maneiras: por meio de seu perfil espectro-temporal e por meio de visualizações de imagens de satélite de maior detalhamento espacial. No primeiro caso, a ferramenta SATVeg Esquerdo et al., (2020), mesmo sendo baseada em dados do sensor MODIS, com moderada resolução espacial de 250m, é muito útil para identificar os perfis temporais de índices vegetativos, principalmente, de classes em grandes áreas de extensão associadas à agricultura, vegetação, pastagem e silvicultura, justamente porque apresentam alta repetitividade temporal. Já as imagens de satélite auxiliam na visualização do contexto espacial dos pontos.



A **Tabela 2** exibe a quantidade de pontos coletados para cada classe e ano. Para cada classe, foram coletados 150 pontos, 50 para cada ano. Importante notar que se trata do ano-safra, cujo período começa em meados do ano corrente e termina no meio do ano seguinte.

**Tabela 2.** Quantidade de registros amostrados por classe e por ano.

Ano\Classe	Água	Floresta	FNNF	silvicultura	temporária 1	temporária +1	semiperene	urbano
2018	50	50	50	50	50	50	50	50
2020	50	50	50	50	50	50	50	50
2022	50	50	50	50	50	50	50	50
<b>Total</b>	150	150	150	150	150	150	150	150

As classes de ‘Silvicultura’, ‘Urbano’ e ‘Água’ são tratadas de maneira similar no TerraClass e no MapBiomias. Este ainda considera uma divisão para água entre aquicultura e corpos d’água naturais, como rios e lagos. No entanto, na BAP, o primeiro tipo não foi identificado. Em trabalhos futuros, essa divisão pode ser feita. Há trabalhos recentes que mapeiam, por exemplo, viveiros escavados para aquicultura São José et al., (2022).

Para a classe de ‘Floresta’, o TerraClass possui duas classes: ‘Vegetação Natural Florestal Primária’ e ‘Vegetação Natural Florestal Secundária’. A diferença é que a primeira indica regiões florestais naturais originais e a segunda indica vegetação florestal em processo de regeneração. Os dados do PRODES são usados para fazer essa distinção. O MapBiomias, por sua vez, tem uma superclasse ‘Floresta’ contendo classes ‘Formação Florestal’ e ‘Formação Savânica’, entre outras. Para a classe ‘Floresta’ deste trabalho, foram coletados pontos coincidentes para ‘Formação Florestal’ do MapBiomias com as duas classes do TerraClass, para uma maior representatividade, envolvendo áreas de vegetação tanto primárias quanto secundárias. Importante notar que um campo adicional foi criado para anotar essa diferença. Assim, é possível no futuro dividir essas amostras em duas classes, caso necessário.

Já na classe de ‘FNNF’, na BAP, o MapBiomias identifica campos alagados, formações campestres e afloramentos rochosos, enquanto o TerraClass não diferencia essas formações não florestais. Os três tipos de formações foram envolvidos e, da mesma forma que na classe ‘Floresta’, um campo adicional registra o tipo de FNNF.

As classes relacionadas à agricultura são tratadas de maneira bem diferente nas duas iniciativas. O MapBiomias normalmente classifica os pontos com as culturas específicas, como ‘Cana-de-Açúcar’, ‘Soja’, ‘Algodão’, ‘Café’ e ‘Citrus’, mas também usa uma hierarquia que coloca, por exemplo, as três primeiras classes em uma superclasse ‘Lavoura Temporária’ e as duas últimas em uma ‘Lavoura Perene’. Já o TerraClass não especifica o tipo de cultura e usa classes para identificá-la como temporária de um ciclo, temporária com mais de um ciclo, perene ou semiperene.

A cultura agrícola semiperene, na BAP, normalmente equivale a cana-de-açúcar. Porém, o MapBiomias situa esta cultura como lavoura temporária. Neste caso, foi adotada a terminologia do TerraClass, que tem uma maior especialização em agricultura, com profissionais dessa área atuando diretamente na composição dos mapas. Então, para selecionar os pontos de ‘Agricultura Semiperene’, foram comparados os pontos anotados como ‘Cana-de-Açúcar’ do MapBiomias com os pontos de ‘Cultura Agrícola Semiperene’ do TerraClass.

A agricultura temporária é representada no TerraClass por duas classes, uma identificando um ciclo de produção e outra mais de um ciclo. Essas informações são relevantes porque revelam condições de intensificação agrícola, sendo importante, então, mantê-las em duas classes separadas: ‘Agricultura Temporária 1 Ciclo’ e ‘Agricultura Temporária +1 Ciclo’. Porém, o

MapBiomias não identifica esse tipo de agricultura, de maneira que não é possível coletar pontos de amostra válidos para ambos os projetos. Além disso, na BAP, foram encontradas apenas amostras de 'Soja' e de 'Outras Lavouras Temporárias', entre as lavouras temporárias do MapBiomias. Então, os pontos para 'Agricultura Temporária 1 Ciclo' e para 'Agricultura Temporária +1 Ciclo' foram coletados seguindo o TerraClass, mas desde que o MapBiomias marque o ponto como 'Soja' ou 'Outras Lavouras Temporárias'.

Não foram coletadas amostras para algumas classes pelas seguintes razões:

- 'Desflorestamento do Ano': esses dados são fornecidos pelo PRODES, fonte oficial de dados de desmatamento no Brasil. Além disso, indicam um processo, e não uso ou cobertura de terra. Assim, não precisam ser considerados em modelos de mapeamento. Basta usar uma máscara excluindo essas áreas. No entanto, se há a intenção de novas propostas de mapeamento, é possível recorrer a esses dados para a coleta de amostras confiáveis.
- 'Agricultura Perene': não há área significativa na região da BAP. Os pontos assinalados com esta classe em uma das iniciativas correspondem a agricultura semiperene ou pastagem, conforme mostra a (**Tabela 1**) e confirmado por especialistas do domínio.
- 'Savana': é difícil situar a classe que indica savana em um mapeamento que considera as duas iniciativas. No MapBiomias, há classes para formação florestal e para formação savânica. No caso do TerraClass, há classes para vegetação natural florestal primária e para vegetação natural florestal secundária. Então, enquanto no primeiro caso, procura-se diferenciar o tipo de vegetação, no segundo procura-se distinguir uma formação nunca desmatada de uma em regeneração. Por isso, a dificuldade de se lidar com tal classe nesse contexto. Uma possível alternativa futura seria o uso de quatro classes: formação florestal primária e secundária, e formação savânica primária e secundária, a fim de compatibilizar melhor MapBiomias e TerraClass com dados mais detalhados para vegetação.
- 'Pastagem': a quantidade de amostras de pastagem que coincidem para TerraClass e MapBiomias é suficiente para formar a base de dados. Não são necessárias novas amostras. Caso haja interesse em se diferenciar pastagem herbácea de arbustiva, é importante fazer o tratamento dos dados para considerar essa especificação, presente apenas no projeto TerraClass.

Portanto, o conjunto final das classes é composto por: 'Água', 'Floresta', 'FNNF', 'Silvicultura', 'Pastagem', 'Agricultura Temporária 1 Ciclo', 'Agricultura Temporária +1 Ciclo', 'Agricultura Semiperene' e 'Urbano'. A (**Tabela 3**) mostra a compatibilização das classes entre MapBiomias, TerraClass e o conjunto de dados gerado. Para cada classe, foram coletados 150 pontos. É necessário usá-los no treinamento de modelos para checar se essa quantidade é suficiente. Novos pontos podem ser coletados conforme descrito neste trabalho.

## 5. Conclusões e Sugestões

Este artigo propõe uma metodologia para a construção de um conjunto de dados confiável e robusto com o fim de ser usado no treinamento de modelos de aprendizado de máquina para o mapeamento do uso e cobertura da terra. Neste caso, a região considerada é a bacia do Alto Paraguai, ressaltando que a metodologia pode ser usada para diferentes regiões do país.

No Brasil, MapBiomias e TerraClass são duas das principais iniciativas que oferecem mapas em grande escala com a classificação do uso e cobertura da terra e são fontes importantes para uma base de dados com registros de localidades e suas respectivas classes. Além dos mapas, o MapBiomias disponibiliza pontos de validação dos modelos, mas a quantidade de amostras

**Tabela 3.** Classes equivalentes de MapBiomias, TerraClass e o conjunto de dados gerado.

MapBiomias	TerraClass	Conjunto de dados
Água	Água	Água
Floresta	Vegetação Natural Florestal Primária	Floresta
	Vegetação Natural Florestal Secundária	
Savana		
FNNF-Alagado	Formação Natural Não Florestal	FNNF
FNNF-Formação Campestre		
FNNF-Formação Rochosa		
Silvicultura	Silvicultura	Silvicultura
Pastagem	Pastagem Arbustiva	Pastagem
	Pastagem Herbácea	
Agricultura Temporária	Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo	Agrícola Temporária de 1 Ciclo
	Cultura Agrícola Temporária mais de 1 Ciclo	Agrícola Temporária +1 Ciclo
Agricultura Semiperene	Cultura Agrícola Semiperene	Agrícola Semiperene
Agricultura Perene	Cultura Agrícola Perene	
Urbano	Urbano	Urbano
	Desflorestamento no Ano	

nesse conjunto é insuficiente para o treinamento de novos modelos, o que exige a coleta de novos pontos.

Nesta proposta de construção de base de dados, apenas localidades em que há coincidência na classificação de MapBiomias e TerraClass foram incluídas. Ainda assim, checagens de perfis temporais e de imagens de satélite foram realizadas quando necessário. A compatibilização de classes entre as duas iniciativas foi cuidadosamente tratada, assim como a identificação de pontos de diferentes tipos para uma mesma classe. O balanceamento das classes foi enfatizado, bem como a distribuição igualitária de pontos a cada ano. A distribuição geográfica dos pontos também foi visada de maneira empírica, mas, devido à dinâmica de uso da terra, a concentração de pontos de uma mesma classe em certas regiões é inevitável.

Um próximo passo é gerar novos mapas de uso e cobertura de terra na BAP a partir da base de dados construída, refiná-los e compará-los aos já existentes. Outro passo é estender este trabalho para considerar também a região de Cerrado da BAP, uma vez que TerraClass e MapBiomias também abrangem essa região.

## 6. Referências

Almeida, C.A. et al. Methodology for Forest Monitoring used in PRODES and DETER Projects. São José dos Campos: INPE, 2021. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/443H3RE>>. Acesso em 17 jun. 2024

Almeida, C.A.; Coutinho, A.C.; Esquerdo, J.C.D.M.; Adami, M.; Venturieri, A.; Diniz, C.G.; Dessay, N.; Durieux, L.; Gomes, A.R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazonica*. v. 46, n. 3, p. 291–302, 2016.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-4392201505504>>.

Assis, L.F.F.G.; Ferreira, K.R.; Vinhas, L.; Maurano, L.; Almeida, C.; Carvalho, A.; Rodrigues, J.; Maciel, A.; Camargo, C. TerraBrasilis: A Spatial Data Analytics Infrastructure for Large-Scale Thematic Mapping. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 11, 513, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/ijgi8110513>>.

Brasil. Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: **Presidência da República**, 2012. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em: 12 jun. 2024.

Esquerdo, J.C.D.M.; Antunes, J.F.G.; Coutinho, A.C.; Speranza, E.A.; Kondo, A.A.; Santos, J.L.dos. SATVeg: a web-based tool for visualization of MODIS vegetation indices in South America. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 175, p. 1-9, 105516, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105516>>

Ferreira, K.R.; Queiroz, G.R.; Vinhas, L.; Marujo, R.F.B.; Simoes, R.E.O.; Picoli, M.C.A.; Camara, G.; Cartaxo, R.; Gomes, V.C.F.; Santos, L.A.; Sanchez, A.H.; Arcanjo, J.S.; Fronza, J.G.; Noronha, C.A.; Costa, R.W.; Zaglia, M.C.; Zioti, F.; Korting, T.S.; Soares, A.R.; Chaves, M.E.D.; Fonseca, L.M.G. Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. **Remote Sensing**, v. 12, n. 24, 4033, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs12244033>>.

MapBiomias Brasil. **Coleções MapBiomias**. 2024a. Disponível em <<https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>>. Acesso em 5 ago. 2024.

MapBiomias Brasil. **Pontos de validação**. 2024b. Disponível em <<https://brasil.mapbiomas.org/pontos-de-validacao/>>. Acesso em 5 ago. 2024.

Neves, A.K.; Körting, T.S.; Fonseca, L.M.G.; Escada, M.I.S. Assessment of TerraClass and MapBiomias data on legend and map agreement for the Brazilian Amazon biome. **Acta Amazonica**, v. 50, n. 2, p. 170-182, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-4392201900981>>

Parente, L.; Mattos, A.P.; Baumann, L.R.F.; Lopes, V.C.; Silva, E.B.; Nogueira, S.; Mesquita, V.V.; Ferreira, L.G. **Shaping the Brazilian landscape: a process drive by land occupation, large-scale deforestation, and rapid agricultural expansion**, 2021. Disponível em <<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-819697/v1>>.

Parente, L.; Nogueira, S.; Baumann, L.; Almeida, C.; Maurano, L.; Affonso A.G.; Ferreira, L. Quality assessment of the PRODES Cerrado deforestation data. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**. v. 21, 100444, 2021. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100444>>.

Rabelo, A.P.C.; Souza, M.G. Bacia do Alto Paraguai: uma viagem no tempo. Brasília: **Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia**, 2021. 140 p. Disponível em <<http://ridi.ibict.br/handle/123456789/1199>>. Acesso em 12 jun. 2024.

Rosa, E.; Rosa, M.; Dias, M.; Azevedo, T.; Shimbo, J. Conservação da Planície e do Planalto na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai. 2024. Nota técnica. **MapBiomias**. Disponível em <<https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/01/Nota-Tecnica-BAP-25.01.24.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2024.

São José, F.F. de; Novo, Y.C. de C.; Farias, A.R.; Magalhães, L.A.; Fonseca, M.F. **Mapeamento de viveiros escavados para aquicultura no Brasil por sensoriamento remoto**. Campinas: Embrapa Territorial, 2022. 28 p. (Embrapa Territorial. Documentos, 144). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1152279/1/6105.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2024.

Simões, R.; Camara, G.; Queiroz, G.; Souza, F.; Andrade, P.R.; Santos, L.; Carvalho, A.; Ferreira, K. Satellite Image Time Series Analysis for Big Earth Observation Data. **Remote Sensing**, v. 13, n. 13, 2428, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs13132428>>.

Souza Jr., C.M. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, 2735, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs12172735>>

TerraBrasilis. **PRODES (Desmatamento)**. Disponível em <<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/map/deforestation?hl=pt-br>>. Acesso em 14 jun. 2024.

TerraClass. TerraClass. 2024. Disponível em: <<https://www.terraclass.gov.br>>. Acesso em: 05 ago. 2024.

Tomas, W.M.; Oliveira, M. da R.; Fernando, A.M.E; Camilo, A.R.; Pereira, G.M.F.; Silva, T.L. da. **Corredores de biodiversidade na Bacia do Alto Paraguai**: modelagem, mapeamento e aplicação em políticas públicas para sustentabilidade. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2022. 55 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 175). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1148621/1/Corredores-de-biodiversidade-Bacia-Alto-2022.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2024.

## Da borda para o interior: o desmatamento avança no Pantanal brasileiro

Tatiane Deoti Pelissari<sup>1</sup>  
Thaís Lourençoni<sup>2</sup>  
Daniel Henrique dos Santos<sup>2</sup>  
Dthenifer Cordeiro Santana<sup>1</sup>  
Paulo Eduardo Teodoro<sup>2</sup>  
Larissa Pereira Ribeiro Teodoro<sup>2</sup>  
Carlos Antonio da Silva Junior<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Mato Grosso do Sul - UFMS  
Av. Rio Paraguai,  
79560-000 - Chapadão do Sul - MS, Brasil  
{deotipelissari, dthenyfer}@gmail.com  
eduteodoro@hotmail.com  
larissa\_ribeiro@ufms.br

<sup>2</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT  
Av. dos Ingás, 3001 Jardim Imperial  
78555-000 - Sinop - MT, Brasil  
{thais.lourenconi, carlosjr}@unemat.br  
danielh-santos@hotmail.com.br

**Resumo.** O histórico de preservação do bioma Pantanal está ameaçado por inúmeros fatores, entre eles o desmatamento. Para buscar entender o processo de retirada da vegetação na região, este trabalho busca contabilizar o desmatamento no Pantanal brasileiro, usando dados do Sistema de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia Legal (PRODES). Estes dados foram processados e submetidos a Análises de Componentes Principais (PCA) e Densidade de Kernel (DK). Durante o período estudado foram detectados um total de 597.700 ha de áreas com a vegetação nativa retirada. Em 2016 foi o ano com as maiores extensões de áreas desmatadas com um total de 123.778 ha, respondendo por 20,71% do desmatamento no período estudado. O município de Corumbá no estado do Mato Grosso do Sul (MS), foi o com a maior área desmatada durante a série temporal com 270.957 ha representando 45,33%, do desmatamento de todo o território do bioma. Na área de transição com o Cerrado, no norte do bioma, apresentou pontos quentes de concentração de desmatamento durante o período analisado. A paisagem e a economia da região definem os padrões do desmatamento no bioma Pantanal, trazendo a necessidade de reversão desse cenário para a sustentabilidade do bioma.

**Palavras-chave:** PRODES, processamento de imagens, áreas úmidas, supressão da vegetação, densidade de Kernel.

**Abstract.** The history of preservation of the Pantanal biome is threatened by numerous factors, including deforestation. In order to understand the process of vegetation removal in the region, this study seeks to account for deforestation in the Brazilian Pantanal, using data from the Legal Amazon Deforestation Monitoring System (PRODES). These data were processed and subjected to Principal Component Analysis (PCA) and Kernel Density (KD). During the study period, a total of 597,700 ha of areas with native vegetation removed were detected. 2016 was the year with the largest extensions of deforested areas, with a total of 123,778 ha, accounting for 20.71% of deforestation in the study period. The municipality of Corumbá in the state of Mato Grosso do Sul (MS) had the largest deforested area during the time series, with 270,957 ha, representing 45.33% of the deforestation of the entire territory of the biome. The transition area with the Cerrado, in the north of the biome, presented hot spots of deforestation concentration during the analyzed period. The landscape and economy of the region define the patterns of deforestation in the Pantanal biome, bringing the need to reverse this scenario for the sustainability of the biome.

**Key-words:** PRODES, image processing, wetlands, vegetation suppression, Kernel Density.

## 1. Introdução

O Pantanal, por muito tempo, foi considerado um dos biomas mais preservados do Brasil, com cerca de 84% de sua vegetação mantida intacta Guerra et al., (2020). Reconhecido como a maior área úmida do planeta, o bioma ganhou destaque mundial tanto pela sua rica biodiversidade quanto pela tradicional pecuária extensiva, que se desenvolveram paralelamente e se consolidaram harmoniosamente Chiaravalloti et al., (2023). Além disso, o Pantanal é um refúgio para importantes espécies raras ou ameaçadas em outras regiões da América do Sul Moraes et al., (2024).

Atualmente, o Pantanal abriga cerca de três mil fazendas dedicadas à criação de gado, ocupando aproximadamente 90% de seu território Chiaravalloti et al., (2023). Entretanto, a conexão entre a preservação ecológica e a pecuária sustentável pertence ao passado. Atualmente as transformações antrópicas estão ocorrendo com frequência no bioma Valente e Laurini, (2024). E as consequências, deste fato, é a perda da sustentabilidade e da biodiversidade Chiaravalloti et al., (2023).

A região está em processo acelerado de transformação por uma multiplicidade de ameaças tais como: agricultura, pecuária, construção de barragens, expansão urbana, mudanças no regime de inundação e vazante, e principalmente pelas queimadas desastrosas Valente e Laurini et al., (2024).

Em 2024, além dos incêndios catastróficos no Pantanal, a mídia também noticiou uma grande área desmatada no bioma Folha de S.Paulo, (2024); G1, (2024). No Pantanal, é padrão o desmatamento avançar ao redor das estradas e nas propriedades rurais Alho et al., (2019). Nas últimas quatro décadas, a mudança do uso do solo no Pantanal quase triplicou, foram cerca de 2,2 milhões de hectares modificados Smaniotto et al., (2024). Estas mudanças no uso do solo, assim como nos biomas arredores, principalmente no Cerrado e Amazônia, estão tornando o Pantanal mais predisposto a ocorrências de secas e incêndios Marengo et al., (2021); Santos et al., (2024).

Nesta esfera, é essencial a compreensão e conhecimento de como prossegue o processo de desmatamento no bioma Pantanal, a fim de facilitar a tomada de decisão nas políticas ambientais e evitar desastres maiores. Neste contexto, o projeto PRODES fornece o monitoramento do desmatamento via satélite, disponibilizando para o bioma Pantanal dados de incremento de desmatamento desde 2016. O PRODES já demonstrou ser eficiente para contabilizar o desmatamento na Amazônia Lourençoni et al., (2021) e no Cerrado Maurano et al., (2019). Desse modo, também pode ser uma eficiente ferramenta para monitorar o desmatamento no Pantanal.

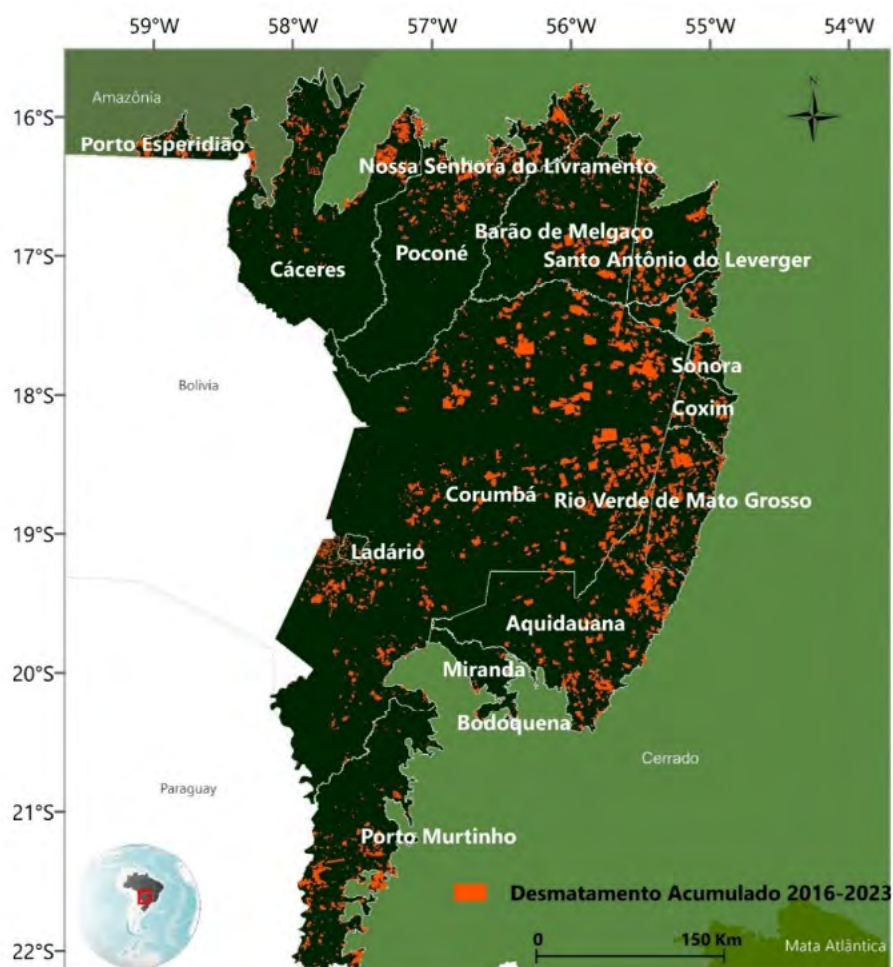
## 2. Objetivo

Dada a importância da preservação do bioma Pantanal, este trabalho pretende contabilizar, usando dados PRODES, o desmatamento no Pantanal entre os anos 2016 a 2023. Propondo dois objetivos específicos: i) avaliar a extensão da área desmatada no bioma de 2016 a 2023 ii) localizar os pontos com alta concentração de desmatamento dentro do bioma.

## 3. Material e Métodos

### Área de Estudo

A área de estudo compreende o bioma Pantanal brasileiro, representando 38 % da bacia do alto Paraguai, com localização na região central da América do Sul, **Figura 1**, sua extensão tem cerca de 138.183 km<sup>2</sup> IBGE, (2019). Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima do Pantanal é Aw, com precipitação anual em torno de 1010 mm Alvares et al., (2013). A vegetação do Pantanal é variada formando um mosaico de diferentes ecossistemas. O sistema de seca, cheia e vazante exerce total influência na flora e fauna, além disso este bioma recebe plantas migratórias dos biomas da Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e Chaco formando um complexo e diferenciado ecossistema Embrapa, (2014).



**Figura 1.** Área de estudo compreendendo o bioma Pantanal brasileiros. Arquivos *shapefile* oriundos da Plataforma IBGE, dados de desmatamento PRODES.



### **Obtenção dos dados de desmatamento.**

Os dados de incremento anual na supressão da vegetação nativa, foram adquiridos utilizando a plataforma PRODES (Sistema de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia Legal), que disponibiliza estimativas anuais de desmatamento desde 1988, para o bioma Amazônia, com base em imagens de satélite Landsat com resolução de 30 m e área mínima mapeada de 6,25 hectare. Para o bioma Pantanal o PRODES disponibiliza arquivos shapefile com o desmatamento anual em anos espaçados a partir de 2004 e desde 2016 os arquivos passaram a ser disponibilizados anualmente INPE, (2024).

### **Processamento dos dados e Análises Estatísticas**

Os dados foram processados, contabilizados e transformados em mapas visuais no software ArcGis Pro. Posteriormente, foi construído o gráfico boxplot para mostrar o comportamento do desmatamento avaliado ao longo da série temporal usando o pacote GGPlot2 (Wickham, 2014). Após, os dados foram submetidos à análise de componentes principais (PCA) para avaliar a relação entre as variáveis, municípios e os anos de estudo rodados no software R. Finalmente os dados anuais de desmatamento foram submetidos à utilização do estimador de Densidade de Kernel para identificar os municípios/regiões com maiores ocorrências de desmatamento, para tanto foi utilizado o software ArcGis Pro.

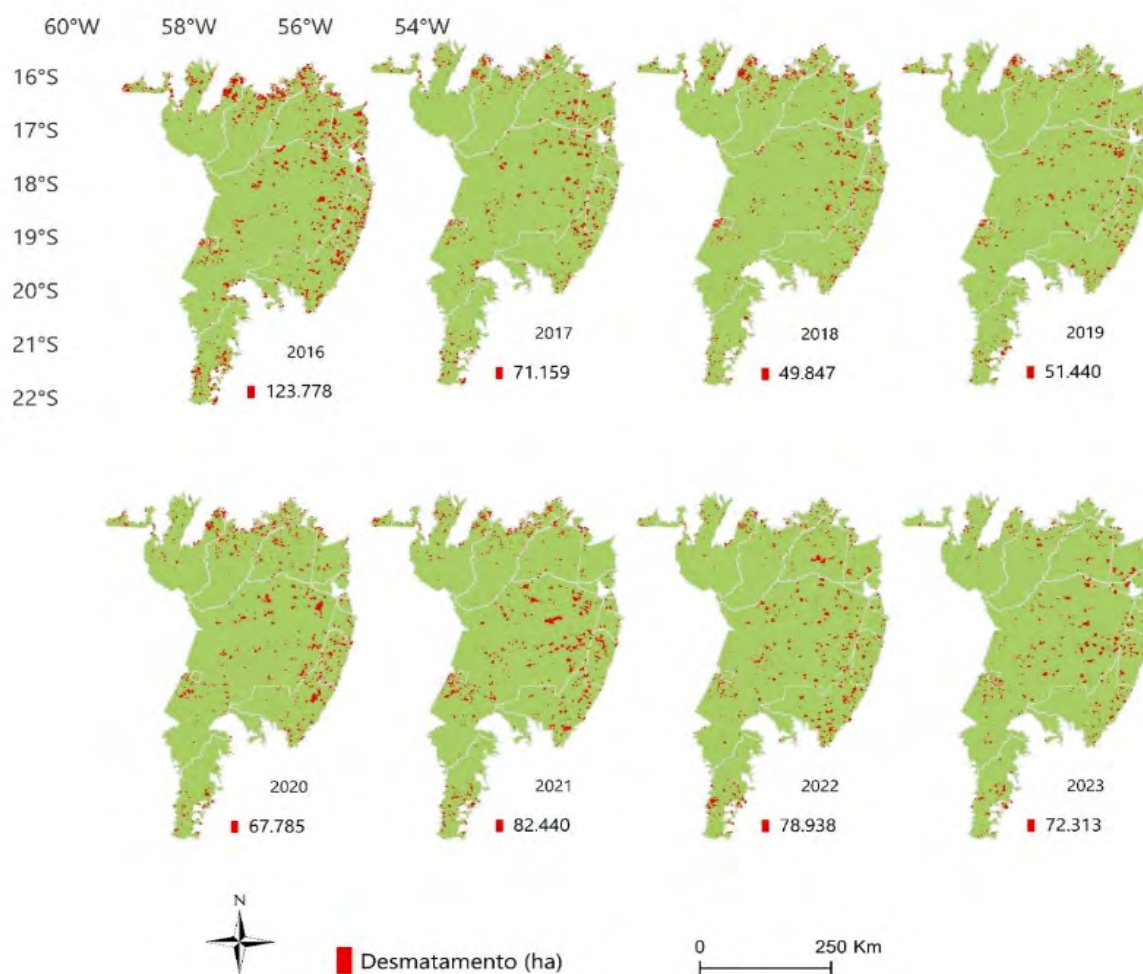
## **4. Resultados e Discussão**

Os dados do PRODES são uma ferramenta capaz de demonstrar a expansão da retirada da vegetação no Pantanal. Nos anos de estudo foram desmatados um total de 597.700 ha em toda a extensão brasileira do bioma. O ano de 2016 foi o ano com as maiores taxas e médias de áreas desmatadas 123.778 (20,71 %), enquanto 2018 e 2019 foram os anos com as menores taxas com 49.847 ha (8,34 %), e em 2021 o desmatamento teve um novo pico e uma leve baixa nos anos seguintes, (**Figura 2**) A razão do aumento do desmatamento em 2016, estão associadas a vários fatores, incluindo a agropecuária, a fragilidade na aplicação das leis ambientais, a falta de fiscalização e pressão econômica Alho et al., (2019).

Entre os municípios, quando é desconsiderado o tamanho da área do município; Corumbá foi o município que apresentou as maiores médias e valores absolutos com 270.957 ha representando 45,33%, do desmatamento do bioma nos anos estudados. No entanto, quando foi considerado o tamanho espacial dos municípios, Sonora, Rio Verde de Mato Grosso e Porto Esperidião tiveram as maiores áreas desmatadas, somando juntos 61.7054 ha desmatando (**Figura 3**).

A (**Figura 4**) representa as áreas com as maiores concentrações de desmatamento evidenciando uma maior retirada da vegetação na transição com o Cerrado. Na fronteira norte, que abrange os municípios de Barão de Melgaço, Poconé, Nossa Senhora do Livramento e Cáceres, no estado de Mato Grosso (MT), essa tendência de desmatamento foi observada. Já na fronteira leste, os municípios de Aquidauana e Rio Verde de Mato Grosso, ambos no Mato Grosso do Sul (MS), apresentaram altas taxas de desmatamento, especialmente nos anos de 2021 e 2022. Além disso, os municípios de Corumbá e Porto Murtinho também registraram desmatamento significativo na maioria dos anos estudados.

Os resultados aqui encontrados mostram que a fronteira transição Pantanal - Cerrado tem a maior concentração de desmatamento, resultado também encontrado por Caballero, (2023). No Pantanal, o processo de desmatamento se inicia pelas bordas e estende-se para o interior Ramos et al., (2023). Daí em diante, a escolha do uso do solo preconiza o estado edáfico do solo e o relevo. Os solos arenosos geralmente impróprios para agricultura são destinados a pastagens,

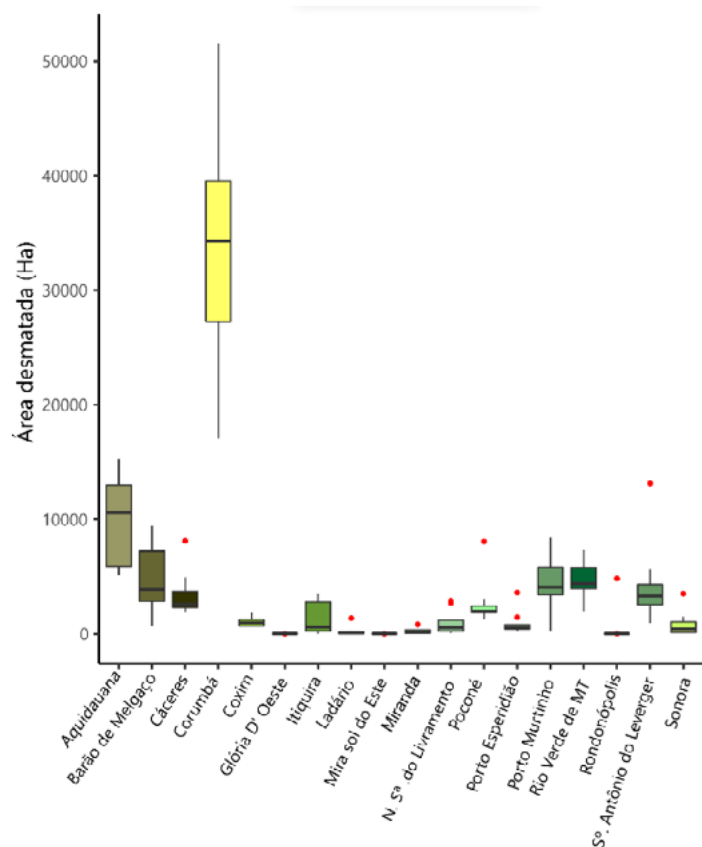


**Figura 2.** Série temporal, 2016 a 2023, do desmatamento anual do bioma Pantanal via dados PRODES.

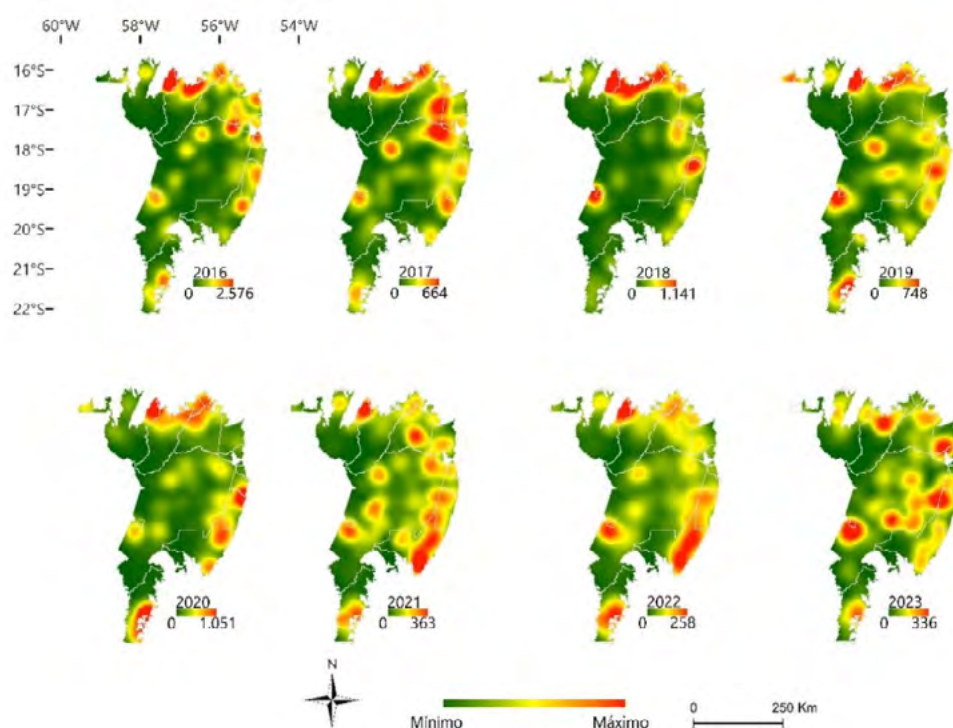
já os solos em terras planas e rica em nutrientes são destinados para a agricultura e nas planícies ocorre a substituição das herbáceas nativas por gramíneas exóticas para implantação de pastagem Padovani et al., (2017). Vale ressaltar que a variação de paisagem em função da cheia e vazante e da influência dos biomas vizinhos na vegetação; Cerrado, Amazônia, Chaco e a Mata Atlântica forma uma diversidade de diferentes ambientes Embrapa, (2024). Esta diversidade de ambientes faz com que os padrões de desmatamento no Pantanal sejam de acordo com a região que estão inseridos Ramos et al., (2023).

A PCA representada na (Figura 5) mostra o agrupamento com a quantidade de área desmatada e os anos de ocorrência, Corumbá e Porto Murtinho tiveram maiores ocorrências de desmatamento nos anos de 2019, 2021, 2022 e 2023. Já o município de Aquidauana teve as maiores quantidades de área desmatadas nos anos 2016, 2017, 2018 e 2020.

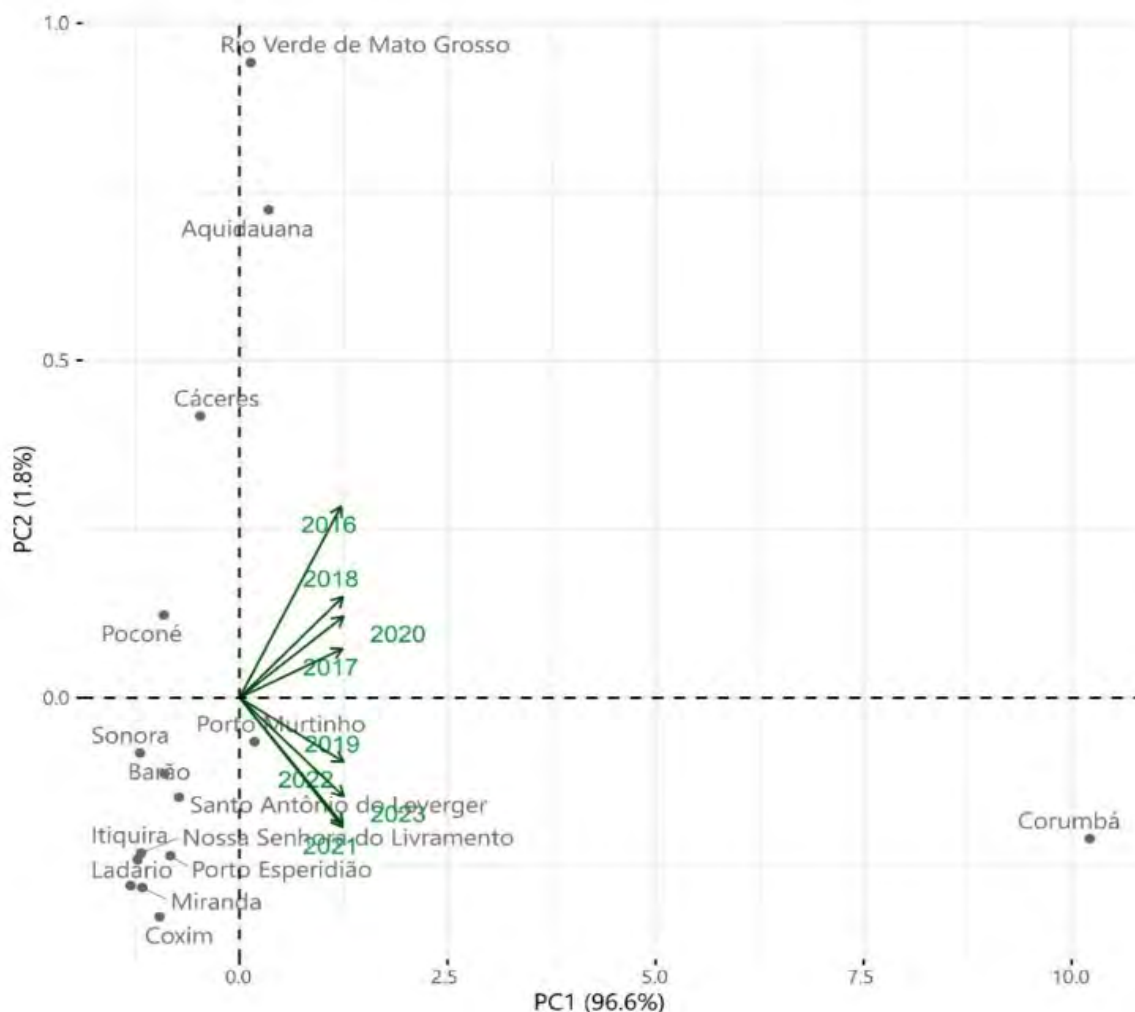
No Pantanal a pecuária é a principal fonte econômica das propriedades rurais Bergier, et al., (2019), a maioria dos municípios têm aumentado a sua área de pastagem Fairbrass et al., (2024). Não obstante, áreas com cultivos de soja têm se expandindo no Pantanal, avançado sobre áreas de pastagem e campos nativos Song et al., (2021). Broquet et al. (2024) destacam que se a dinâmica do uso do solo continuar do mesmo padrão haverá uma queda significativa da qualidade do ambiente.



**Figura 3.** Boxplot dos valores de desmatamento em hectares para os municípios pertencentes ao Pantanal brasileiro.



**Figura 4.** Densidade anual de desmatamento no bioma Pantanal brasileiro de 2016 a 2023 com dados do PRODES.



**Figura 5.** Análise de componentes principais para os anos de 2016–2023 das áreas desmatadas (ha) dos municípios do Pantanal brasileiro.

O desmatamento no Pantanal tornou-se alarmante, com consequências negativas para o ecossistema, que enfrenta desafios como os incêndios catastróficos, mudanças climáticas, atividades antrópicas. A expansão da agricultura, juntamente com a pecuária extensiva, contribui com a degradação do ambiente Caballero, (2023). A instalação de infraestruturas também tem chamado atenção aos danos ao bioma. A expansão agrícola no Cerrado, próximas ao Pantanal, acabam por expor o bioma a riscos ambientais. O resultado de todos estes fatores é o aumento dos gases de efeito estufa, perda da diversidade, perda dos recursos hídricos e redução da qualidade de vida. Ações de conservação devem incluir a criação de áreas protegidas, manejo sustentável e a criação e fortalecimento de políticas de fiscalização.

## 5. Conclusões e Sugestões

O desmatamento no Pantanal, que totalizam 597.700 hectares entre 2016 e 2023, representa uma ameaça significativa à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos da região. A análise dos dados evidencia uma dinâmica complexa, com variações anuais consideráveis e uma concentração da devastação em municípios específicos, como Corumbá, Porto Murtinho e

Aquidauana.

A distribuição espacial do desmatamento, especialmente nas áreas de transição com o Cerrado, aponta para a necessidade de ações de conservação específicas e adaptadas às características locais. A fronteira norte e leste do Pantanal, em particular, demanda atenção especial devido aos altos índices de desmatamento.

Para reverter esse cenário, é essencial adotar medidas urgentes e eficazes, como o fortalecimento da fiscalização ambiental, a criação de unidades de conservação, o apoio a práticas de produção sustentáveis e a promoção da educação ambiental. Além disso, a participação ativa da sociedade civil e a cooperação entre diferentes níveis de governo são cruciais para garantir a proteção do Pantanal.

## 6. Agradecimentos

GAAF – Geotecnologia Aplicada em Agricultura e Floresta, Universidade Estadual do Estado do Mato Grosso (UNEMAT) - Universidade do Estado do Mato Grosso do Sul (UEMS), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## 7. Referências

- Alho, C. J.; Mamede, S. B.; Benites, M.; Andrade, B. S., & Sepúlveda, J. J. Threats to the biodiversity of the Brazilian Pantanal due to land use and occupation. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, p. e01891, 2019.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L., Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. D. M.; & Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- Bergier, I., Silva, A. P. S.; de Abreu, U. G. P.; de Oliveira, L. O. F.; Tomazi, M.; Dias, F. R. T., ... & Borges-Silva, J. C. Could bovine livestock intensification in Pantanal be neutral regarding enteric methane emissions?. **Science of the Total Environment**, v. 655, p. 463-472, 2019.
- Broquet, M.; Campos, F. S.; Cabral, P.; & David, J. Habitat quality on the edge of anthropogenic pressures: Predicting the impact of land use changes in the Brazilian Upper Paraguay river Basin. **Journal of Cleaner Production**, v. 459, p. 142546, 2024.
- Caballero, C. B.; Biggs, T. W.; Vergopolan, N., West, T. A.; & Ruhoff, A. Transformation of Brazil's biomes: The dynamics and fate of agriculture and pasture expansion into native vegetation. **Science of the Total Environment**, v. 896, p. 166323, 2023.
- Chiaravalloti, R. M.; Tomas, W. M.; Akre, T.; Morato, R. G.; Camilo, A. R.; Giordano, A. J.; & Leimgruber, P. Achieving conservation through cattle ranching: The case of the Brazilian Pantanal. **Conservation Science and Practice**, 2023.
- EMBRAPA. **Flora e Paisagens do Pantanal**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/pantanal/flora-e-paisagens-do-pantanal>>. Acesso em: 7 ago. 2024.
- Guerra, A.; de Oliveira Roque, F.; Garcia, L. C.; Ochoa-Quintero, J. M.; de Oliveira, P. T. S.; Guariento, R. D.; & Rosa, Drivers and projections of vegetation loss in the Pantanal and surrounding ecosystems. **Land Use Policy**, v. 91, p. 104388, 2020.
- Fairbrass, A. J.; Moretti, V.; Quaresma, E.; Ribeiro, C.; de Oliveira Roque, F.; Oller, C., & Tomei, J. Indicator-based natural capital reporting to inform decision-making in the Brazilian Pantanal. **Conservation Science and Practice**, p. e13115, 2024.
- Folha de S.Paulo. **Pecuarista do Pantanal é alvo de investigação por desmate químico em 8,1 mil hectares**. Folha de S.Paulo, 03 abr. 2024. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2024/04/pecuarista-do-pantanal-e-alvo-de-investigacao-por-desmate-quimico-em-81-mil-hectares.shtml>. Acesso em: 06 ago. 2024.
- G1. **Agente Laranja: pecuarista desmata o Pantanal com substância altamente tóxica**. G1, 14 abr. 2024. Disponível em: G1. Agente Laranja: pecuarista desmata o Pantanal com substância altamente tóxica. G1, 14 abr. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/fantastico/noticia/2024/04/14/agente-laranja-pecuarista-desmata-o>

pantanal-com-substancia-altamente-toxica.ghtml. Acesso em: 06 ago. 2024. . Acesso em: 06 ago. 2024.

IBGE. **Biomass e Sistema Costeiro-Marinheiro do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 156 p.

Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais (INPE). **Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomass – PRODES**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 8 ago. 2024.

Lourençoni, T.; da Silva Junior, C. A.; Lima, M.; Teodoro, P. E.; Pelissari, T. D.; Dos Santos, R. G.; ... & Rossi, F. S. Advance of soy commodity in the southern Amazonia with deforestation via PRODES and ImazonGeo: a moratorium-based approach. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 21792, 2021.

Marengo, J. A.; Cunha, A. P., Cuartas, L. A.; Deusdará Leal, K. R.; Broedel, E., Seluchi, M. E., ... & Bender, F. Extreme drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: characterization, causes, and impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 639204, 2021.

Maurano, L. E. P.; Almeida, C. A. D.; & Meira, M. B. Monitoramento do desmatamento do cerrado brasileiro por satélite PRODES Cerrado. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 191-194, 2019.

Moraes, I. D. S.; Silva, V. L. D. B.; Andrade-Silva, B. E. D.; Gomes, A. P. N.; Urzedo, N. F. D., Abolis, V. B., ... & Ramos, D. G. D. S. Gastrointestinal Helminths in Wild Felids in the Cerrado and Pantanal: Zoonotic Bioindicators in Important Brazilian Biomes. **Animals**, v. 14, n. 11, p. 1622, 2024.

Padovani, C. R.; & Padovani, C. R. **Conversão da vegetação natural do Pantanal para uso antrópico de 1976 até 2017 e projeção para 2050**. 2017.

Ramos, A. W. P.; de Azevedo, Ú. R.; Xavier, F. V.; da Silva Neves, S. M. A.; & dos Santos Galvanin, E. A. Padrões de desmatamento nos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal na bacia hidrográfica do alto Paraguai, Mato Grosso-Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 17, n. 2, p. 136-158, 2023.

Sistema de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia Legal (PRODES). Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/downloads/> Acesso em: 06 ago. 2024.

Santos, F. C.; Chaves, F. M.; Negri, R. G.; & Massi, K. G. The link to Agriculture, Conversions in Cerrado, and Hydrological Changes. **Wetlands**, v. 44, n. 6, p. 1-11, 2024.

Smaniotto, N. P.; Moreira, L. F.; Smedo, T. B.; Carvalho, F., Quintela, F. M.; Nunes, A. V.; & Shimano, Y. Changes Within and Outside Protected Areas from the Pantanal Ecoregion. **Wetlands**, v. 44, n. 5, p. 45, 2024.

Song, X. P.; Hansen, M. C.; Potapov, P.; Adusei, B.; Pickering, J., Adami, M.; ... & Tyukavina, A. Massive soybean expansion in South America since 2000 and implications for conservation. **Nature Sustainability**, v. 4, n. 9, p. 784-792, 2021.

Valente, f.; Laurini, M. The Dynamics of Fire Activity in the Brazilian Pantanal: A Log-Gaussian Cox Process-Based Structural Decomposition. **Fire**, v. 7, n. 5, p. 170, 2024.

Wickham, M. H. **Package ‘ggplot2’ Type Package Title An implementation of the Grammar of Graphics**, 2014.

## **Análise multicritério para mapear os avanços no desenvolvimento social das cidades brasileiras**

Carlos Daniel Pinheiro da Silva<sup>1</sup>  
Murilo Góis de Sousa <sup>2</sup>  
Karoliny Rocha Santos<sup>3</sup>  
Moisés Gomes Ferreira<sup>4</sup>  
Adrielly Santos Gonçalves<sup>5</sup>  
Diego de Sousa Ribeiro Fonseca<sup>6</sup>

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - IFNMG  
Rodovia BR 367, Km 07, s/n .  
Zona Rural, Almenara-MG, Brasil  
diegosousarf@gmail.com

**Resumo.** O objetivo desse estudo foi, por meio de uma análise multicritério, mapear e apontar as regiões e municípios do Brasil, e suas cidades, com maiores e menores avanços sob o aspecto do desenvolvimento social. A metodologia consistiu na montagem de um sistema geográfico de banco de dados envolvendo o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal; o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal; o Índice de Gini; o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades do Brasil; o Índice de Adoecimento por Dengue nos Municípios. A partir desses dados, providenciou-se a análise descritiva, hierarquização por quartis e escalonamento posicional, geração de mapas, gráficos e tabelas e aplicação do Índice de Moran para avaliação da autocorrelação espacial. Os resultados mostraram as regiões Norte e Nordeste com deficiências no desenvolvimento humano, e a metade sul de Minas Gerais conjuntamente com o Centro-Sul do país como regiões proficuas. Áreas pouco desenvolvidas são consequência do descaso ou da incapacidade, enquanto que espaços mais desenvolvidos são o resultado do trabalho e do maior comprometimento da gestão pública com sua população.

**Palavras-chave:** desenvolvimento sustentável; qualidade das cidades; análise descritiva; índices de desenvolvimento.

**Abstract.** The objective of this study was, through a multi-criteria analysis, to map and point out the regions and municipalities of Brazil, and their cities, with the greatest and least progress in terms of social development. The methodology consisted of setting up a geographic database system involving the Municipal Human Development Index; the Firjan Municipal Development Index; the Gini Index; the Sustainable Development Index of Brazilian Cities; the Dengue Illness Index in Municipalities. From these data, descriptive analysis, quartile ranking and positional scaling, map generation, graphs and tables and application of the Moran Index for spatial autocorrelation evaluation were provided. The results showed the North and Northeast regions with deficiencies in human development, and the southern half of Minas Gerais together with the Center-South of the country as thriving regions. Underdeveloped areas are a consequence of neglect or incapacity, while more developed spaces are the result of work and greater commitment of public management to its population.

**Key-words:** sustainable development; quality of cities; descriptive analysis; development indexes.

## 1. Introdução

A identificação de municípios e suas respectivas cidades mais avançadas socialmente é uma tarefa fundamental para avaliar o nível de desenvolvimento das regiões, e, a partir disso, verificar e analisar as vulnerabilidades de outros espaços inseridos em categorias geográficas desprestigiadas. Dessa forma, modelos mais desenvolvidos podem ser influenciadores para aqueles que precisam ser aperfeiçoados.

Conforme é verificado na literatura pertinente à abordagem da qualidade das cidades, qualquer modelo proposto que busque de forma exclusivista avaliar o nível de desenvolvimento ou qualidade dos espaços é insuficiente, tendo em vista que quaisquer deles apresenta falhas em determinados aspectos. Na busca de uma abordagem abrangente, ou holística, é mais pertinente o uso de vários critérios para avaliação desses espaços habitados pelo ser humano Pellenz e Puchale, (2018); Misra e Kumar, (2020); Kruger e Bourscheidt, (2021).

Análises robustas providenciam a detecção de aglomerados espaciais a partir do desempenho de indicadores socioeconômicos, permitindo a identificação de regiões com concentração de problemas ou vantagens e a interação entre elas. Essa investigação espacial proporciona a possibilidade de avaliar a capacidade do Estado em proporcionar equidade e desenvolvimento social, e, dessa forma, discriminar regiões com desafios para o setor público Forattini, (1991); Anselin, (1992); Torres et al., (2003); Kin e Yang, (2021).

Na perspectiva elencada, avaliadores de desenvolvimento, tais como o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM), o Índice de Gini, o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades do Brasil (IDSC-BR), e o Índice de Adoecimento por Dengue no Brasil (IADM) apresentam variáveis interessantes como critério de análise, tais como: emprego, renda, escolaridade, esperança de vida ao nascer, desigualdade social, desenvolvimento sustentável e infraestrutura urbana para qualidade de vida dos seus cidadãos Fuzaro e Carniello, (2020); Ogrodnik, (2020).

## 2. Objetivo

Dentro dos argumentos mostrados, o objetivo desse estudo é, por meio de uma análise multicritério, mapear e apontar as regiões e municípios do Brasil, e suas cidades, com maiores e menores avanços sob o aspecto do desenvolvimento social. Essa investigação pretende auxiliar na discussão da qualidade dos espaços públicos entre os especialistas acadêmicos, incentivar a gestão pública na promoção de medidas mitigatórias para a vulnerabilidade de determinados espaços. E, ainda, dar notoriedade às regiões mais desenvolvidas do Brasil, evidenciando as condições para o desenvolvimento ao ponto da maior equidade entre suas populações, as quais estão direcionadas para o avanço próximo ao ideal Ogrodnik, (2020).



### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1 Área de estudo

O território brasileiro encontra-se localizado quase completamente, 93% da sua área, na América do Sul, especificamente, na sua porção Norte, na região intertropical próxima à faixa equatorial do globo terrestre, e, ao Sul até mais adiante do Trópico de Capricórnio. A área total do país compreende 8.510.417,771 km<sup>2</sup>, e sua população atual, em 2024, está em torno de 208.000,000 habitantes. As regiões com a maior população absoluta são: o Sudeste, com 87.348,223; o Nordeste, com 55.389,382; e o Sul, com 30.685,598 pessoas IBGE, (2022). O Brasil ocupa a 12º posição na economia mundial, o que mostra seu grau de desenvolvimento e nível de competitividade comparável aos países mais desenvolvidos do planeta FMI, (2023).

#### 3.2 Base de dados

Para realização do trabalho foram adquiridos dados em formato de planilha numérica editável (xls), do Índice de Desenvolvimento das Cidades Brasileiras (IDSCBR), junto ao Instituto Cidades Sustentáveis ICS, (2023). O Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM) foi adquirido junto à Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro FIRJAN, (2018). O Coeficiente de Gini e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) foram adquiridos junto ao Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas IPEA, (2010). A malha digital, em formato *shapefile* (shp), com a representação dos municípios brasileiros, foi adquirida junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, (2022).

Os dados adquiridos para geração do Índice de Adoecimento Municipal (IADM) foram providenciados por meio do DATASUS, através do Sistema de Informações de Agravos e Notificações SINAN, (2019), o qual disponibiliza mensalmente os microdados dessas notificações em formato *data base format* (DBF), para cada município do país. Para efeitos deste estudo, optou-se por trabalhar com as internações no período de janeiro de 2009 a dezembro de 2019 Fonseca et al., (2024). A escolha por iniciar a análise a partir de 2009 se deveu à maior qualidade dos resultados, trabalhados num período superior a uma década, e, quanto à quantidade desses registros, o que denota um universo de dados mais incisivo. Foram concatenados, inicialmente, 6,8 mil arquivos em uma única base dados, o que possibilitou a seleção e a quantificação das internações de interesse da pesquisa. Diversos estudos têm utilizado os dados do Serviço de Internações Hospitalares (SIH) para a análise e entendimento tanto das causas como das ações para vigilância e prevenção de doenças no Brasil (HATISUKA et al, 2015).

#### 3.3 Procedimentos operacionais

Inicialmente, a partir do software QuantumGIS, ou QGIS, versão 3.26.3, foi realizada a montagem do banco de dados geográfico por meio do acesso à tabela de atributos da malha municipal *shapefile* adquirida junto ao IBGE. Os dados do IDHM, IFDM, Índice de Gine, IADM e IDSCBR foram unidos e concatenados por meio do código municipal contido nessas tabelas, gerando dessa forma um banco de dados único com as variáveis de interesse para esta pesquisa.

Com o propósito de que todos os valores variassem de 0 a 1 entre os índices utilizados neste trabalho, foi feita, no QGIS, a normalização dos dados do Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades do Brasil (IDSC-BR) e do Índice de Adoecimento por Dengue Municipal (IADM), de forma que ficassem escalonáveis conforme o valor máximo das variáveis. Os aspectos positivos dessa prerrogativa estão estabelecidos na manutenção da originalidade e proporção.

Dessa forma, cada valor foi dividido pelo valor máximo do seu respectivo grupo, permitindo que a análise se torne diretamente comparável ao maior valor possível do conjunto de dados trabalhados (MARTINS, 2010).

Por meio do software *Stata Statistics Data Analysis*, versão 16, realizou-se análises estatísticas como: a análise descritiva Ayres, (2007); Almeida et al., (2009); Martins, (2010). Seguidamente, por meio do banco de dados geográfico montado e configurado, a partir da “seleção por expressão”, do QGIS, foram selecionados os valores acima do terceiro quartil das variáveis: IDHM, IFDM, IADM e IDSC-BR, as quais, conforme sua escalabilidade e indicativo de desenvolvimento, variando de 0 a 1, atribuiu-se o valor 4 como peso amostral para uma nova coluna gerada. No caso do Índice Gini, devido a sua lógica inversa de grandeza, ou seja, quanto mais próximo a zero melhor é a distribuição de renda do município, foi atribuído o valor 4 aos valores dentro do primeiro quartil. Nos índices IDHM, IFDM, IADM e IDSC-BR, da mediana até os valores menores que o terceiro quartil foi atribuído o valor 3 como peso amostral. No Gini, valores maiores que os contidos no primeiro quartil, porém menores que a mediana, atribuiu-se o valor 3. Seguindo essa estratégia, foi feito em forma decrescente, conforme os quartis das variáveis trabalhadas até que finalizasse a seleção com a atribuição do valor 1 e todos os dados fossem adequadamente pontuados. Para finalizar o procedimento, a partir dos diferentes pontos que determinado município brasileiro recebeu, conforme cada critério de análise (IDHM, IFDM, GINI, IDSCBR e IADM) efetuou-se a soma desses pesos a fim de que se chegasse aos resultados que mostrassem aqueles com maior desenvolvimento por meio dessa análise multicritério. Mapas coropléticos estratificados em quarto ordenamentos de grandeza foram gerados, com a representação dos quartis de posição dos resultados gerados.

Para filtragem dos pontos de maior desenvolvimento foi tomado como método a autocorrelação espacial por meio do Índice de Moran. Para Câmara et al. (2004), a análise de correlação espacial pode ser entendida como um conjunto de procedimentos encadeados cuja finalidade é a escolha de um modelo inferencial que considere explicitamente o relacionamento espacial presente no fenômeno. Os procedimentos iniciais da análise incluem o conjunto de métodos genéricos de análise exploratória e o mapeamento das informações. Essas técnicas permitem descrever espacialmente a distribuição das variáveis de estudo, além de identificar observações atípicas em relação ao tipo de distribuição e em relação aos vizinhos, na busca por padrões na distribuição espacial.

Adicionalmente, o desempenho global da autocorrelação foi abastecido por classes de indicadores locais de associação espacial que permitem a decomposição de indicadores globais, como o I de Moran. Os índices LISA (Indicadores Locais de Associação Espacial) poderiam ser usados para identificar *outliers* e avaliar a influência de localizações individuais na magnitude das estatísticas globais Anselin, (1995).

A grande vantagem do LISA é a propriedade de decomposição do índice global (I) em índices locais de associação espacial, e vice-versa. Neste sentido, a forma mais simples para se calcular o  $LISA_i$ , de um valor  $z_i$  de uma variável amostral padronizada  $Z$ , se dará pela multiplicação de  $z_i$  pela média dos valores dos vizinhos de  $z_i$ , ou seja,  $w_{ij}z_j$ ; o I de Moran será dado, então, pela esperança dos valores de  $LISA_i$ , os quais, nesse caso, podem ser calculado pela soma dos  $LISA_i$ , e dividindo o resultado desse somatório por  $n$  menos 1, sendo  $n$  os números dos valores de  $Z$ . Tal como pode ser observado nas equações abaixo:

$$LISA_i = z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j$$

$$I = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n LISA_i$$

O I de Moran configura-se em uma medida de autocorrelação espacial global, pois indica o grau de associação espacial para o conjunto total dos dados. Outra interpretação deste índice indica que ele pode ser entendido como um teste cuja hipótese nula é de independência espacial: nesse caso, seu valor seria zero. Valores positivos (entre 0 e 1) indicam a correlação direta, e valores negativos (entre -1 e 0) indicam correlação inversa, observada entre os valores locais e a médias dos valores vizinhos Vieira,( 2009).

Valores próximos a zero indicam ausência de autocorrelação espacial. Neste caso, entende-se que o espaço não apresenta nenhuma influência no valor observado na variável de interesse Anselin, (1992), isto é, a localização não é relevante para determinar o valor observado na variável analisada. O I de Moran Local, quando significativo.

#### 4. Resultados e Discussão

Com base na análise da **Tabela 1**, a seguir, é possível perceber que há a predominância de uma alta variabilidade nos dados trabalhados para os 5572 municípios do Brasil, principalmente quanto à incidência de adoecimento por dengue (IADM), com desvio-padrão igual a 0,292, e quanto ao desenvolvimento social relacionado à aspectos econômicos, tal como visto no desvio-padrão do IFDM igual a 0,130. As médias dos Índices IDHM (0,658) e IFDM (0,655) apresentam-se similares, com desvio-padrão mais alto para o IFDM (0,130), o que pode dificultar as análises de desenvolvimento urbano tendo esse Índice como parâmetro. A média do IDSCBR (0,738) é a mais alta entre os dados da **Tabela 1**, e a do IADM (0,433) a mais baixa, indicando certa discrepância entre esses dados, e mostrando que quanto maior é o desenvolvimento sustentável das cidades, menor é o adoecimento por dengue.

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade urbana selecionados.

Estatísticas	IDHM	IFDM	GINI	IDSCBR	IADM
Mínimo	<u>nulo</u>	<u>nulo</u>	<u>nulo</u>	0,47	0
1º quartil	0,599	0,599	0,45	0,673	0,174
Mediana	0,665	0,672	0,49	0,735	0,447
3º quartil	0,718	0,7355	0,54	0,799	0,724
Máximo	0,862	0,901	0,8	1	1
Média	0,658	0,655	0,493	0,738	0,433
D. Padrão	0,076	0,130	0,068	0,090	0,292

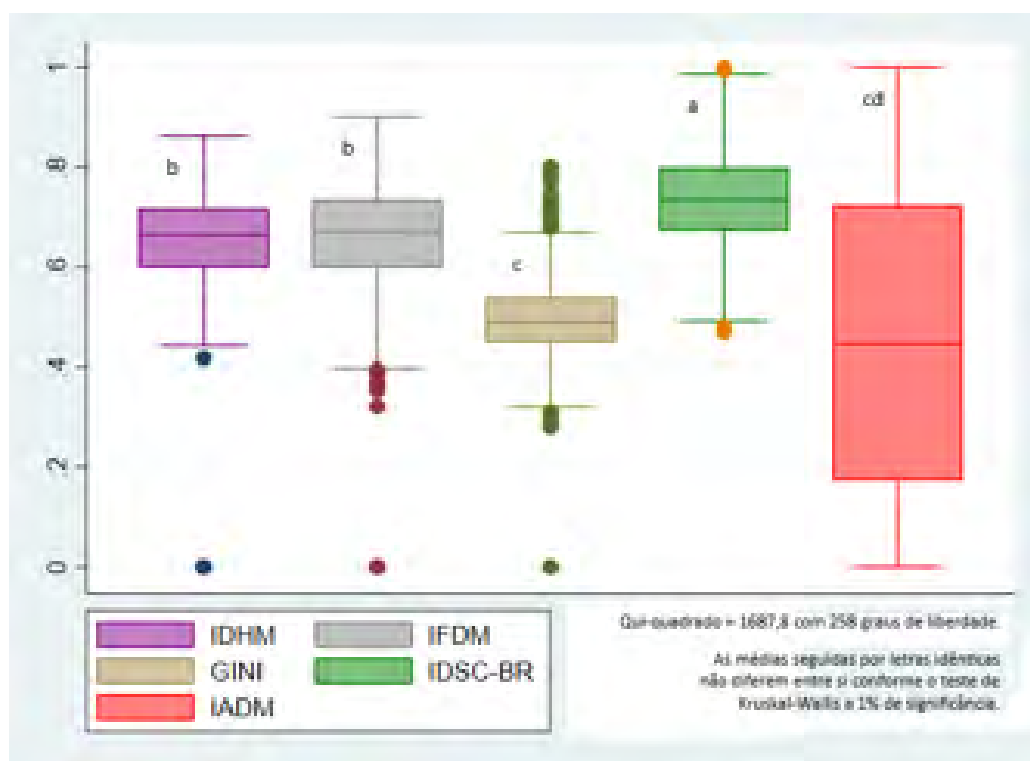
Fonte: IBGE (2010); IPEA (2010); FIRJAN (2018); SINAN (2019); ICS (2023). Autores (2024).

No último quartil (3º) do conjunto de dados, é mostrada certa semelhança entre os valores, os quais estão acima de 0,70, exclusive para o Índice Gini, o que serve como indicativo para, até certo ponto, o nível de desenvolvimento econômico ser correlacionável às interações por dengue, o que pode estar condicionado ainda a maior concentração de renda em determinados

espaços, notabilizando que os índices de desenvolvimento econômico trabalham com resultados econômicos medidos por médias, e portanto, são incapazes de avaliar, satisfatoriamente, as discrepâncias existentes nas sociedades de cada município.

A partir da mediana até os dados do primeiro quartil é visto, novamente, a comprovação da alta dispersão nos dados nas quatro variáveis em estudo, a não ser para o IADM, evidenciando que o maior número de internações por dengue obedece a critérios específicos, intrínsecos à geografia das regiões. Conforme ainda a observação dos valores mínimos das variáveis, é notada a relação negativa direta entre o Índice Gini e o IADM, quanto menor é a concentração de renda, portanto, menor é a desigualdade das populações dos municípios, com o Gini próximo à zero (0), e, nestes casos, menor é a incidência da epidemia de dengue. A referida análise reforça o IADM como bioindicador de desenvolvimento da infraestrutura cidadina.

Além da análise descritiva dos dados de forma tabular, a representação gráfica e o teste de diferença de médias, mostrado por meio da **Figura 1**, marcam a relação pareada entre os Índices de desenvolvimento econômico, IDHM e IFDM, diante das letras (b) e médias significativamente iguais ( $p < 0,01$ ) mostradas, e a resposta dicotômica entre os dois últimos citados e o Índice Gini (c), numa relação negativa em que, quanto maior o desenvolvimento avaliado pelo IDHM e IFDM, maior é a concentração de renda. O índice de sustentabilidade das cidades é o que apresentou médias significativamente mais elevadas (a), e, tal como discutido e esperado, o IADM e o Índice Gini apresentam certa similaridade (c) conforme o teste de Kruskal-Wallis empregado. Portanto, a discrepância entre os mais ricos e os mais pobres estaria relacionado ao maior número de adoecidos notificados. O Índice Gini é aquele com a menor dispersão entre as variáveis analisadas, os outliers concentram-se mais acima do terceiro quartil, notabilizando



**Figura 1.** Gráfico Box-Plot para representação das medidas de posição relativas aos parâmetros analisados e resultado do teste de diferença de médias.

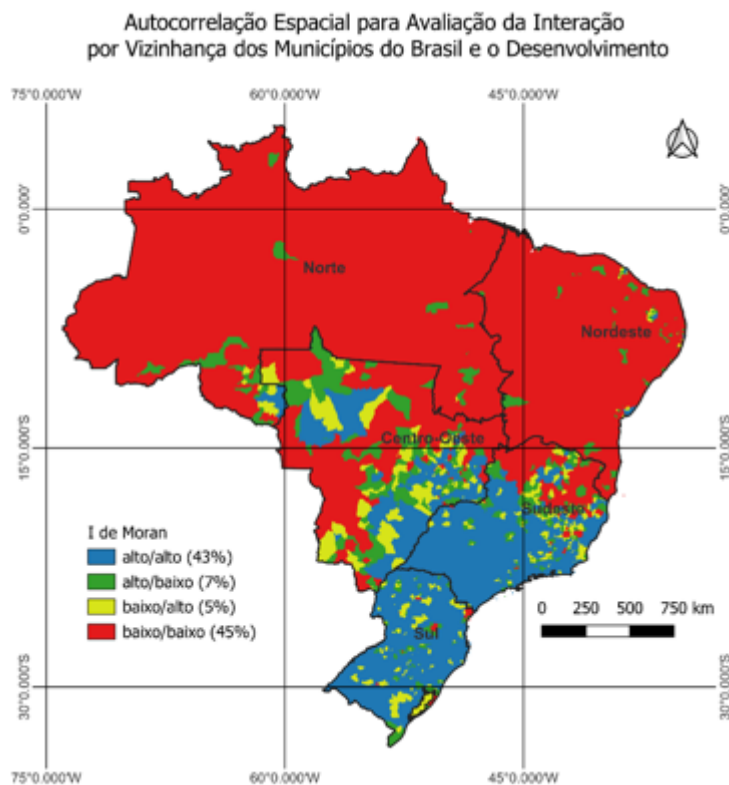
Fonte: IBGE (2010); IPEA (2010); FIRJAN (2018); SINAN (2019); ICS (2023). Autores (2024).

que os municípios brasileiros apresentam, estruturalmente, grandes desigualdades sociais relacionadas às regiões geográficas específicas. Adicionalmente ao descrito, o IADM mostra a grande dispersão entre os quartis, mostrando também a grande variação da incidência de adoecimento, provavelmente associada ao desenvolvimento econômico das cidades, porte e zona climática IBGE, (2010); Fonseca et al., (2024).

Conforme consulta ao banco de dados gerado a partir do emprego da metodologia utilizando os índices de desenvolvimento trabalhados, no Brasil, 1709 cidades, em um universo de 5572, podem ser consideradas desenvolvidas, portanto, um total relativo de 30% delas. Dessas mais desenvolvidas, 20% são classificadas como pequena I; 4% são consideradas pequena II, cidades médias são 2%, grandes são também 2%, e as metrópoles são 0,01%. Pode-se entender, nessa perspectiva, que são cidades pequenas aquelas que tendem a ser os espaços com a maior qualidade para se viver.

Cidades qualificadas pelo IPEA (2020) como de porte “Pequeno I” são aquelas que apresentaram população residente inferior a 20.000 habitantes. Acima de 20.000 e menores que 49.500 habitantes, foram qualificadas como “Pequeno II”. As de porte “Médio” foram aquelas com total de habitantes maior que 49.500 e inferior a 99.900. Cidades consideradas de porte “Grande” foram aquelas com total de população residente variando entre 100.000 e 855.000. “Metrópoles” foram consideradas aquelas zonas urbanas com número de habitantes superior, em geral, aos 900.000. No entanto, essas classificações hierárquicas não levaram em consideração apenas intervalos absolutos, e, portanto, apresentaram pequenas variações em torno dos intervalos mostrados neste texto.

O emprego da autocorrelação espacial, por meio do Índice de Moran, **Figura 2**, possibilita a leitura mais assertiva quando à distribuição dos espaços mais desenvolvidos.



**Figura 2.** Mapeamento da autocorrelação espacial, Índice de Moran, através da análise multicritério com os Índices de desenvolvimento trabalhados, e grandes regiões do país.  
Fonte: IBGE (2010); IPEA (2010); FIRJAN (2018); SINAN (2019); ICS (2023). Autores (2024).

Além de predominarem em cidades pequenas, 43% deles são seguidos por outros espaços também desenvolvidos, alto/alto, em azul, o que significa que áreas avançadas influenciam outras, tendo em vista que apenas 7% das qualificadas como “altas” em desenvolvimento têm vizinhança com baixo desempenho, visto na cor verde, alto/baixo. Espaços brasileiros com baixo desempenho, em geral, influenciam outros a permanecerem com o desenvolvimento humano pífio, tal como é visto na cor vermelha, baixo/baixo, que representa 45% do território nacional. Apenas 5% das cidades com “baixo” desempenho apresentam vizinhança com “alto” desenvolvimento, visto na cor amarela em 5% dos casos. O resultado dessa análise demonstra que, áreas desenvolvidas são construídas regionalmente. Cidades discrepantes do seu meio circundante são raras.

A interpretação espacial do mapa permite ainda um julgamento positivo, se o Centro-Oeste foi impactado a partir do desenvolvimentismo de Juscelino Kubistchek, presidente do Brasil que inaugurou o distrito federal, Brasília, em 1960, tendo vários propósitos entre eles avançar com o Centro-Oeste do país, as áreas com alto/alto desenvolvimento vistas ao norte de Minas Gerais e na direção dos Estados de Goiás e Mato Grosso, estão indicando uma nova regionalização para um progresso futuro Kamarano e Kanso, (2009).

## 5. Conclusões

Tal como foi mostrado na pesquisa, apenas 30% das cidades brasileiras são consideradas desenvolvidas. Dessas mais desenvolvidas, 24% delas são de porte pequeno. Além de predominarem em cidades pequenas, 43% delas são seguidas por outros espaços também desenvolvidos conforme o índice de correlação espacial. São altos valores seguidos de altos desempenhos na vizinhança, portanto, áreas avançadas influenciam outras. O resultado dessa análise demonstra que, áreas desenvolvidas são construídas regionalmente. Cidades discrepantes do seu meio circundante são raras.

As regiões Norte e Nordeste são as menos desenvolvidas, com presença de alguns outliers, cidades desenvolvidas rodeadas por áreas pouco desenvolvidas, estas, predominantes. A metade sul da região Sudeste e a região Sudeste são aquelas com as cidades mais desenvolvidas sob o ponto de vista humano e social, onde se percebe mais municípios e cidades com interação positiva. É digno ser motorizado que nada é por acaso: áreas pouco desenvolvidas são consequência do descaso, ou da incapacidade, enquanto que espaços mais desenvolvidos são o resultado do trabalho e do maior comprometimento da gestão pública com sua população.

## 6. Referências

- Anselin, L. Local Indicators Of Spatial Association-Lisa. *Geographical Analysis*, V. 27, N.2, P. 93-115, 1995.
- Anselin, L. *Spatial Data Analysis With Gis: An Introduction To Application In The Social Sciences*. **Technical Report**, 1992.
- Câmara, G.; Carvalho, M.S.; Druck, S.; Monteiro, A.V.M. *Análise Espacial De Dados Geográficos*. Brasília: **Embrapa**, 2004.
- Camarano, A. A.; Kanso, S. Perspectivas de crescimento para a população brasileira: velhos e novos resultados. IPEA: Texto para discussão 1426, 2009, 34 p. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/dspace/bitstream/10419/91141/1/615104746.pdf>>. Acessado em 03 de fev. 2015.
- FIRJAN, Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM, 2018). Disponível em: <<https://www.firjan.com.br/ifdm/consulta-ao-indice/ifdm-indice-firjan-de-desenvolvimento-municipal-resultado.htm?UF=BA&IdCidade>>. Acesso em: 31 de maio de 2024.
- FMI, Fundo Monetário Internacional. Disponível em: <<https://www.imf.org/en/Search#q=economic%20position&sort=relevancy>>. Acessado em 11 de julho de 2023.

Fonseca, D.S.R.; Braz, C.K.R.; Garcia, R.A. O viés geográfico para o adoecimento e internação por dengue: uma regionalização do Brasil, entre os anos 2009 e 2019, por meio de múltiplos fatores espaciais. **GEOgraphia**, v. 26, n. 56, p. 1-21, 2024.

Forattini, O. P. Qualidade de vida e meio urbano. A cidade de São Paulo, Brasil. *Revista de Saúde Pública*, v. 25, n. 2, p. 75-86, 1991.

Fuzaro, P. A.; Carniello, M. F. Estudo Comparativo do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal e Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal na Região Metropolitana do Vale do Paraíba-SP. **Revista Desenvolvimento em Questão**, v. 18, n. 52, p. 75-100, 2020.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha municipal. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>>. Acesso em: 01 de abril de 2024.

IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Prévia do Censo 2022. Disponível em: < <https://censo2022.ibge.gov.br/noticias-por-estado/35954-brasil-tem-207-8-milhoes-de-habitantes-mostra-previa-do-censo-2022>>. Acesso em: 29 de dezembro de 2022.

ICS, Instituto Cidades Sustentáveis. Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC-BR, 2023). Disponível em: < <https://www.cidadessustentaveis.org.br/paginas/idsc-br>>. Acesso em: 31 de maio de 2024.

IPEA, Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas. Atlas da Violência. Disponível em: < <https://www.ipea.gov.br/atlasviolencia/>>. Acessado em: 29 de maio de 2024a.

IPEA, Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas. Bases. Brasil, Índice de Desenvolvimento Humano em 2020. Disponível em: < <https://ipea.gov.br/ipeageo/bases.html>>. Acesso em: 01 de abril de 2024b.

Kim, N.; Yang, S. Characteristics of conceptually related smart cities (CRSCs) services from the perspective of sustainability. *Sustainability*, v. 13, n. 6, p. 1-48, 2021.

Kruger, R. V.; Bourscheidt, D. M. mercado de trabalho e o índice Firjan de desenvolvimento municipal: padrões espaciais dos municípios do estado do Paraná. *Estudios Economicos*, v. 38, n. 77, p. 99-117, 2021.

Martins, G. A. Estatística Geral E Plicada. São Paulo: **Atlas**, 2010, 421p.

Misra, M.; Kumar, D. A hybrid indexing approach for sustainable smart cities development. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v. 48, n. 11, p. 1639-1643, 2020.

Ogrodnik, K. Multi-criteria analysis of smart cities in Poland. **Geographia Polonica**, v. 93, n. 2, p. 163-181, 2020.

Pellenz, J. D. L.; Puchale, C. L. Qualidade ambiental e seus condicionantes: uma análise multivariada para os municípios do Rio Grande do Sul. *Estúdios Económicos*, v. 35, n. 71, p. 5-24, 2018.

Rocon, C. S.; Alvarez, C. E. Smart Cities: Selection Of Indicators For Vitória. *International. Journal Of Sustainable Building Technology And Urban Development*, V. 8, N.2, P. 135-143, 2017.

Santos, S.A. Et Al. Estrutura Fundiária Na Bahia, Brasil: Uma Análise Sob A Ótica Do Índice De Gini. **Sociedade & Natureza**, V.32, P.614-625, 2020.

Sinan, Sistema de Informação de Agravos de Notificação. Disponível em: <<http://portalsinan.saude.gov.br/sinan-dengue-chikungunya>>. Acessado em 26 de agosto de 2019.

Torres, H. G.; Ferreira, M. P.; Dini, N. P. Indicadores sociais: por que construir novos indicadores como o IPRS. *São Paulo em Perspectiva*, v. 17, n. 3-4, p. 80-90, 2003.

Vieira, R. S. Crescimento econômico no estado de São Paulo: uma análise espacial. São Paulo: **Editora UNESP**. 2009. 103p.

Wissmann, M. A.; Backes, G. Índice De Desenvolvimento Sustentável Das Cidades: Um Estudo Com Base Na Realidade Brasileira. **Revista Científica Acertte**, v. 2, n. 9, 2022.

## **Plataformas Orbitais Sentinel-2 e CBERS-4A para o monitoramento de áreas incendiadas e em restauração ecológica no Pantanal Mato-Grossense**

Bruna Caroline Paspardelli Cortelete<sup>1</sup>  
Érico Fernando de Oliveira Martins<sup>2</sup>  
Ellen Cristina Magalhães Nacanishi<sup>1</sup>  
Wisllene da Silva Souza<sup>1</sup>  
Ana Livia Borges Farias<sup>3</sup>  
Solange Kimie Ikeda-Castrillon<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais. Universidade do Estado de Mato Grosso - PPGCA/UNEMAT

Av. Santos Dumont, S/N - Caixa Postal 78200-000 - Cáceres - MT, Brasil  
{bruna.cortelete, ellen.nacanishi, wisllene.souza, solangeikeda}@unemat.br

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Universidade do Estado de Mato Grosso - ProfÁgua/UNEMAT

Av. Gonçalo Antunes de Barros, s/n - Caixa Postal 78058-743 - Cuiabá-MT, Brasil  
{profericomartins, solangeikeda}@unemat.br

<sup>3</sup> Bolsista FAPEMAT. Universidade do Estado de Mato Grosso - Laboratório EDUCARE/UNEMAT

Av. Santos Dumont, S/N - Caixa Postal 78200-000 - Cáceres - MT, Brasil  
ana.livia@unemat.br

**Resumo.** O Pantanal, a maior área úmida contínua do mundo, é rico em biodiversidade e comunidades tradicionais, mas enfrenta constantes ameaças, como incêndios florestais. No ano de 2020, essa extensa planície de inundação enfrentou um incêndio de grande proporção, queimando cerca de 30% de sua área, impactando na Unidade de Conservação (UC) Estação Ecológica de Taiamã - ESEC de Taiamã, no Pantanal de Mato Grosso. Sendo fonte de subsistência para diferentes formas de vida, é necessário a recuperação desse ambiente. Este estudo tem como objetivo destacar a importância das geotecnologias e do sensoriamento remoto no monitoramento de áreas afetadas por incêndios e em processo de restauração ecológica. A pesquisa utilizou imagens dos satélites Sentinel-2 e CBERS-4A que carregam os sensores MSI e WPM respectivamente, para criar um mosaico temporal de 2019 a 2024, permitindo a análise das mudanças na composição ambiental antes e após os incêndios. Os resultados mostram a eficácia do uso de imagens fusionadas do CBERS-4A, que oferecem uma resolução espacial de 2 metros, na identificação de detalhes importantes para a gestão ambiental e o acompanhamento de áreas em restauração. Conclui-se que o sensoriamento remoto é uma ferramenta crucial para o monitoramento contínuo e planejamento de ações de conservação no Pantanal, especialmente em áreas protegidas como a ESEC Taiamã, que estão sob constante ameaça de degradação ambiental.

**Palavras-chave:** áreas úmidas, Pantanal, incêndios florestais, restauração ecológica, sensoriamento remoto, processamento de imagens.



**Abstract.** The Pantanal, the largest continuous wetland in the world, is rich in biodiversity and traditional communities, but it faces constant threats, such as forest fires. In 2020, this extensive floodplain experienced a large-scale fire, burning approximately 30% of its area, impacting the Conservation Unit (UC) Estação Ecológica de Taiaimã - ESEC Taiaimã, in the Pantanal of Mato Grosso. Being a source of subsistence for different forms of life, the recovery of this environment is necessary. This study aims to emphasize the significance of geotechnologies and remote sensing in monitoring areas affected by fires and in the process of ecological restoration. The research utilized images from the Sentinel-2 and CBERS-4A satellites, which carry the MSI and WPM sensors respectively, to create a temporal mosaic from 2019 to 2024, allowing the analysis of changes in environmental composition before and after the fires. The results demonstrate the effectiveness of using fused images from CBERS-4A, which offer a spatial resolution of 2 meters, in identifying important details for environmental management and monitoring areas under restoration. It is concluded that remote sensing is a crucial tool for continuous monitoring and planning conservation actions in the Pantanal, especially in protected areas such as ESEC Taiaimã, which are under constant threat of environmental degradation.

**Key-words:** wetlands, Pantanal, forest fires, ecological restoration, remote sensing, image processing.

## 1. Introdução

Considerado a maior planície de inundação do mundo, o Pantanal é uma vasta área úmida. Este bioma abrange parte dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul no Brasil e se estende por outros países da América do Sul, o que o torna, pela sua localização, um ecótono Alho et al., (2019). Sua biodiversidade, que inclui comunidades tradicionais, ribeirinhas e quilombolas, e sua flora desenvolvem-se de acordo com os períodos de seca e cheia, garantindo abrigo e alimento para diversas formas de vida Da Silva; Silva, (1995).

O Pantanal é formado pelo Rio Paraguai e seus afluentes, que em determinados momentos extravasam suas margens inundando os campos e transformando a região em uma vasta planície de inundação. Dessa maneira, o funcionamento hidrológico do Pantanal é determinado pelo Pulso de Inundação, característico de áreas úmidas, sendo a principal força motriz deste ecossistema único. A biota local responde diretamente a essas alterações Junk et al.(1989); Junk e Wantzen, (2007).

O município de Cáceres-MT abrange parte dessa área úmida. Nele, encontra-se a Unidade de Conservação de Proteção Integral Federal, a Estação Ecológica de Taiaimã (Esec Taiaimã), que possui o título de Sítio Ramsar, de importância internacional. Esta unidade é diretamente influenciada pela sazonalidade do regime hidrológico do Rio Paraguai (ICMBio, 2024), que modifica suas condições ambientais e a composição das espécies arbóreas Da Frota et al., (2017); Ikeda-Castrillon e Da Silva; Fernandez, (2020). No entanto, apesar de sua importância, o Pantanal enfrenta grandes ameaças, como o avanço extensivo da agropecuária, desmatamento, degradação, uso predatório de recursos e habitats naturais, além de queimadas e incêndios Alho et al., (2019).

Em 2020, o Pantanal sofreu grandes impactos, perdendo aproximadamente um terço de sua área verde, ou pouco mais de 30%, devido a um grande incêndio que ocorreu nesse ano Libonati et al., (2020); Gonzaga et al., (2020). Foram necessárias diversas técnicas, ferramentas, monitoramento e meios para conter o fogo INPE, (2020), além de enfrentar a escassez hídrica decorrente da falta de precipitação e evapotranspiração, bem como fatores climáticos que agravaram as queimadas Ikeda-Castrillon et al., (2023); Pirajá et al., (2022).

A origem dos incêndios florestais pode ser natural, quando ocorre a descarga de raios, ou resultante da ação humana para limpeza e abertura de novas áreas para agropecuária, uma prática historicamente utilizada Libonati et al., (2021); Arai et al., (2021).

No entanto, a ocorrência de incêndios naturais no Pantanal ainda é pouco documentada quando comparada a outros biomas, como o Cerrado Campanharo et al., (2021). De acordo com Batista (2004), os incêndios são um dos maiores causadores de perturbações ambientais.

Eles causam graves problemas relacionados à saúde, à economia e representam um risco para a biodiversidade, pois os organismos do Pantanal estão adaptados a passar por períodos de inundação Arai et al., (2021).

A degradação desse ambiente causa desequilíbrio ecológico, pois é fonte de vida e sobrevivência para diferentes organismos. Portanto, é importante restaurar o ambiente para o bom funcionamento do ecossistema. Existem métodos que visam recuperar áreas degradadas. A restauração ecológica busca restabelecer o ambiente o mais próximo possível do que era antes de ser degradado, com plantio de mudas e o uso de técnicas e conhecimentos multidisciplinares Brancalion et al., (2012). A regeneração natural permite que o ambiente se recupere naturalmente, embora seja um processo lento que pode ser acelerado com técnicas de nucleação de espécies Pott; Pott, (2002). Independente do método adotado, Brancalion et al. (2012) apontam que o monitoramento em projetos de restauração não é bem implementado no Brasil, necessitando de um acompanhamento para a restauração ser efetiva.

Desta maneira, no escopo geral da proteção ambiental, há a necessidade de monitorar áreas para identificar incêndios e seus impactos, bem como monitorar o processo de restauração. Neste contexto, pode-se contar com o auxílio de geotecnologias e do Sensoriamento Remoto. No Sensoriamento Remoto o acesso às informações é viabilizado pela disponibilidade de diferentes satélites imageadores que orbitam a Terra. Ao determinar a finalidade e os parâmetros, é possível escolher o tipo de satélite mais adequado e acessar os dados necessários Nogueira et al., (2021).

Assim, o Sensoriamento Remoto oferece imagens de satélites, que são recursos eficientes para a detecção e monitoramento dos incêndios florestais Batista, (2004). Técnicas de geoprocessamento permitem processar e gerar dados Zaidan, (2017), estimar o tamanho da perda, realizar um histórico espaço-temporal, dentre outras atividades, mas principalmente no planejamento para pautar decisões, sobretudo ambientais Menezes et al., (2016). Nesse contexto, áreas degradadas por incêndios florestais necessitam de restauração ambiental e monitoramento.

No caso do Pantanal, que teve parte do seu território incendiado, o uso desses recursos permite monitorar e fornecer informações antes e depois do fogo Campanharo et al., (2021); Arai et al., (2021). A análise espaço-temporal proporciona um maior conhecimento para reestruturação e tomada de decisões Nogueira et al., (2021).

Por fim, Nogueira et al. (2021) reforçam a importância de utilizar as imagens orbitais como recurso para aprimorar o conhecimento do local antes e após a passagem do fogo. Destacando a possibilidade de acompanhar áreas que estão se regenerando. Dessa forma, permite fornecer ao consultor em campo maior riqueza de detalhes.

## **2. Objetivo**

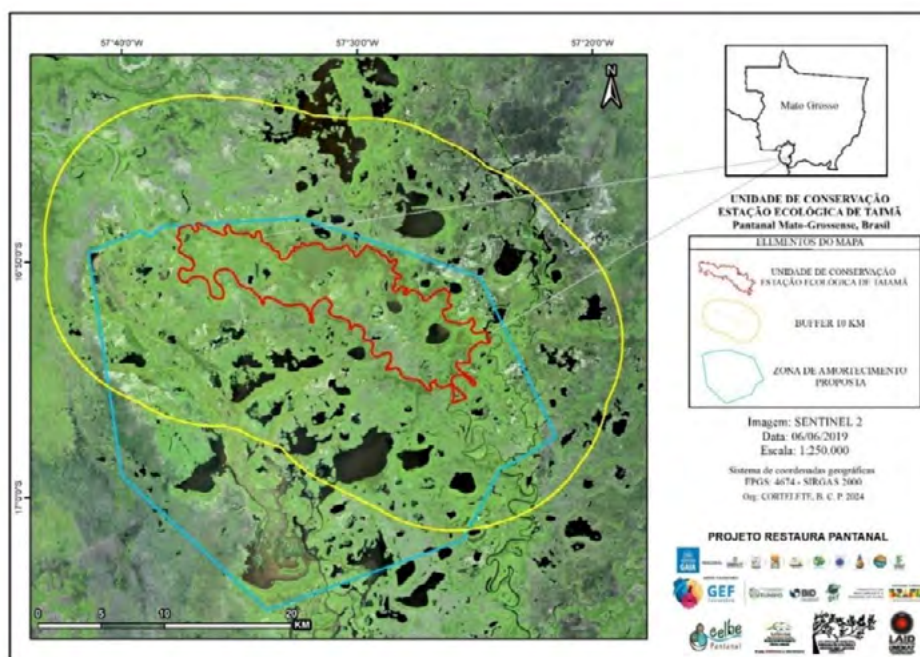
O objetivo deste estudo é destacar a importância das Geotecnologias e do Sensoriamento Remoto no monitoramento ambiental. Ao criar um mosaico temporal da Estação Ecológica de Taiamã em um Sistema de Informação Geográfica, buscamos explorar como os diferentes dados e técnicas do Sensoriamento Remoto podem colaborar para identificar áreas incendiadas, monitorar a recuperação dessas áreas de forma a colaborar com iniciativas de restauração ambiental.

## **3. Material e Métodos**

A área de estudo desta pesquisa foi à Unidade de Conservação (UC) de Proteção Integral Estação Ecológica de Taiamã (ESEC Taiamã), localizada no município de Cáceres-MT

(Figura 1). Situada na bacia hidrográfica do Alto Paraguai, entre os rios Paraguai e Bracinho, a região apresenta uma diversidade de macrohabitats, característica de todo o Pantanal Da Frota et al., (2017).

De acordo com a classificação climática de Köppen (1948), a região possui clima do tipo Aw (quente e úmido), com precipitação anual de 1.500 mm, concentrada principalmente nos meses de janeiro, fevereiro e março. As temperaturas variam entre 20°C e 32°C, alternando entre períodos de cheia e estiagem. A vegetação é descrita como Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, uma formação típica da depressão pantaneira margeada pelo rio Paraguai Veloso et al., (1991).



**Figura 1.** Estação Ecológica de Taiamã, Cáceres-MT.  
Fonte: Autores (2024).

Para realizar a caracterização da Estação Ecológica de Taiamã (ESEC Taiamã) nos últimos anos, apresentando suas dinâmicas ambientais, por meio de dados geoespaciais, foi essencial o uso de geotecnologias, em particular do Sistema de Informação Geográfica QGIS 3.36.2, que é um software livre. Neste software foram manipulados dados vetoriais no formato *Shapefile* (.shp) e *raster* no formato *Tagged Image File Format* (.tiff). Os dados vetoriais foram utilizados para apresentar as delimitações da área de interesse, enquanto os dados raster, gerados por sensores ópticos embarcados nas plataformas orbitais, permitiram a visualização integral da área de interesse, sendo o dado gerado por Sensoriamento Remoto.

As plataformas orbitais utilizadas foram a Sentinel-2, que produz imagens desde 2015, distribuídas no repositório *Copernicus* (<https://dataspace.copernicus.eu/>), e a CBERS-4A, que produz imagens desde 2019, distribuídas pelo INPE (<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>). A escolha dessas plataformas se deu pelas resoluções proporcionadas por seus sensores.

A resolução espacial das imagens Sentinel-2 é de 10m, 20m e 60 metros no sensor multiespectral, enquanto as imagens do CBERS-4A oferecem uma resolução espacial de 8 metros no sensor multiespectral e 2 metros no pancromático. Em termos de resolução espectral, o Sentinel-2, através do *Multispectral Instrument* (MSI), disponibiliza 13 bandas espectrais,

enquanto o CBERS-4A oferece 4 bandas pela Câmera Multiespectral e uma banda adicional pelo sensor Pancromático de Ampla Varredura (WPM).

Após a obtenção dos dados de Sensoriamento Remoto, foram realizados os processos de composição nos canais RGB das bandas para ambas as plataformas, buscando uma visualização em cores que destaque as feições da área. Em seguida, somente para a plataforma CBERS-4A, foi realizado processo de fusão da composição RGB com a imagem pancromática, gerando uma nova imagem sintética que mantém a resposta espectral RGB e sofre uma melhora na resolução espacial, ficando com 2 metros. Obtidos os resultados destes processos, realizou-se a análise visual das imagens para verificar o quanto podem contribuir para identificar áreas incendiadas e monitorar sua recuperação.

Para a seleção dos intervalos temporais das imagens nos repositórios Copernicus e INPE, foi considerado ao período sazonal do ambiente. De acordo com Neves, Nunes e Neves (2011), os meses de abril a novembro são caracterizados pelo período seco, sendo mais intenso de junho a agosto, enquanto o período úmido ocorre de dezembro a março, com maior precipitação em janeiro. O mês com maior temperatura média é outubro (28,01° C) e a de menor temperatura média, junho e julho (23,39° C e 23,36° C). Sendo o mês de junho o período de vazante e outubro o início da enchente. Janeiro destaca-se como um mês sazonal de cheia e de maior precipitação ICMBio, (2023).

Na seleção das imagens, optou-se por aquelas que recobrissem totalmente a área e que apresentassem a menor interferência possível (nuvens e fumaça). Assim, foram obtidas as imagens do Sentinel-2 dos meses de junho e outubro de 2019 a 2023, e dos meses de janeiro e junho de 2024. Para as CBERS-4A WPM, utilizou-se a imagem de outubro de 2020.

Em seguida foi realizada a composição RGB. Para o Sentinel-2 foram combinadas as bandas 12-8-4 do Sentinel-2 (repostas do Infravermelho de Ondas Curtas, Infravermelho Próximo e Vermelho, respectivamente), gerando uma composição em falsa-cor (**Figura 2**). Este tipo de composição permite uma visualização clara das áreas que sofreram degradação, sendo frequentemente utilizada em monitoramento ambiental para a detecção de queimadas.

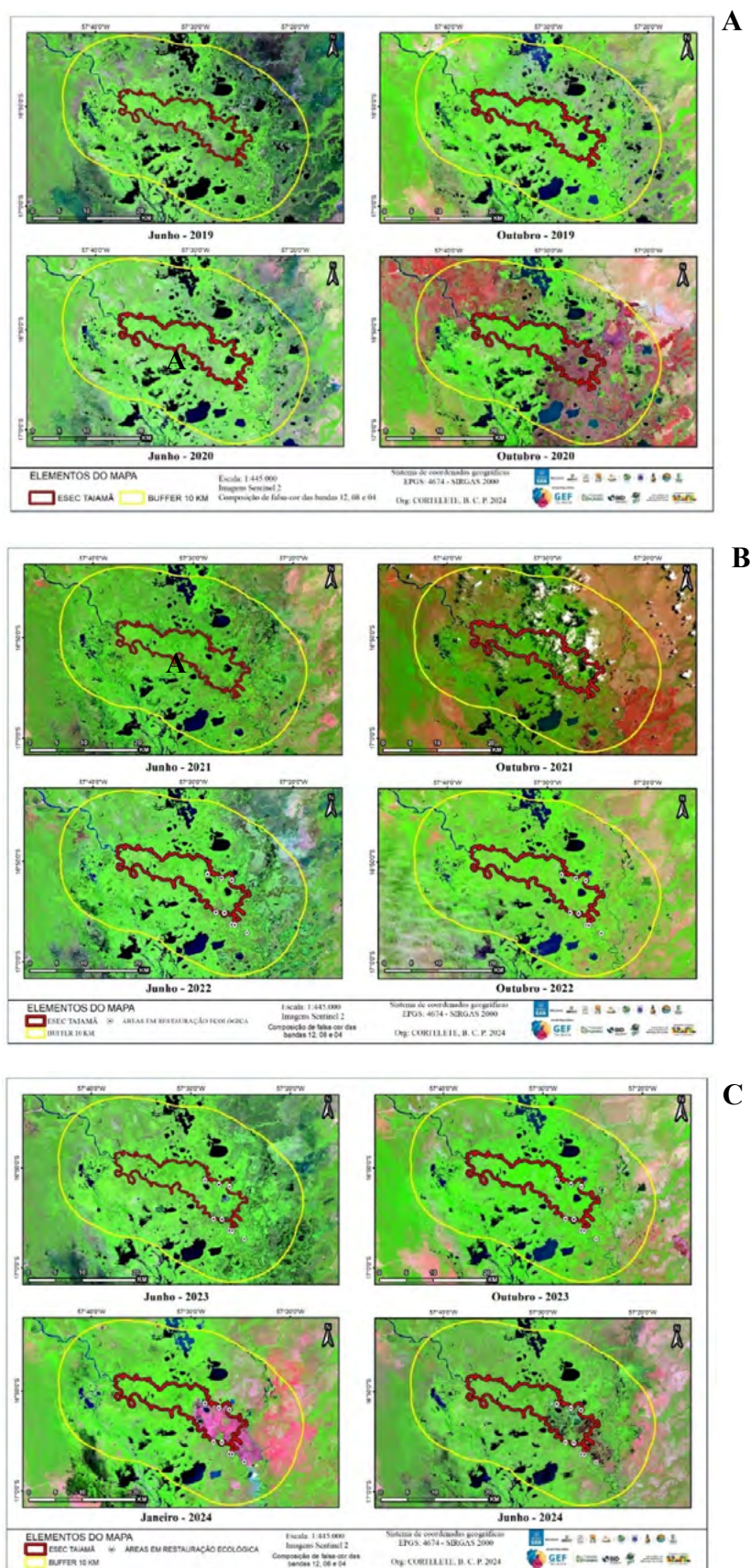
#### 4. Resultado e Discussão

Ao inspecionar as imagens, constata-se a mudança brusca na cobertura vegetal após a passagem do fogo na área, anos de 2020 (**Figura 2A**) e 2024 (**Figura 2C**).

Ao compararmos os mesmos meses no decorrer dos anos é possível constatar a característica cíclica do ambiente, com exceção para o ano de 2024 que demonstra incêndios no mês de janeiro, que ainda estava seco e áreas ainda alagadas no mês de junho, mudanças do ciclo que podem estar ocorrendo em razão de fatores ambientais extremos.

Historicamente, de acordo com o Plano de Manejo Integrado de Fogo (PMIF) da Estação Ecológica de Taiamã (2023), o fogo adentrou o perímetro da estação em 2011 e nos anos seguintes, chegou somente no entorno e ao sul, na ilha de Sararé que é um local onde o órgão também faz a gestão. Mas recentemente, em 2020, o fogo adentrou a área da estação somente, consumindo cerca de 30% da estação e 100% da ilha de Sararé (**Figura 2A**). Inspeccionando visualmente os resultados dos incêndios para o ano de 2020 (**Figura 2A**), nota-se que dentro do perímetro da ESEC, a área do buffer de 10 Km, bem como seu entorno foi seriamente afetada.

Após queimar a área da ESEC, a regeneração natural do ambiente começou a se estabelecer, iniciando o processo de sucessão ecológica, como observado nas imagens dos anos seguintes. Entretanto, por apresentar diferentes macrohabitats como o de Floresta com Monodominância de *Erythrina fusca* (Abobral) e Floresta Poliespecífica que foram impactadas no incêndio, iniciou-se o projeto Restaura Pantanal (Restauração da Biodiversidade, Conservação das águas



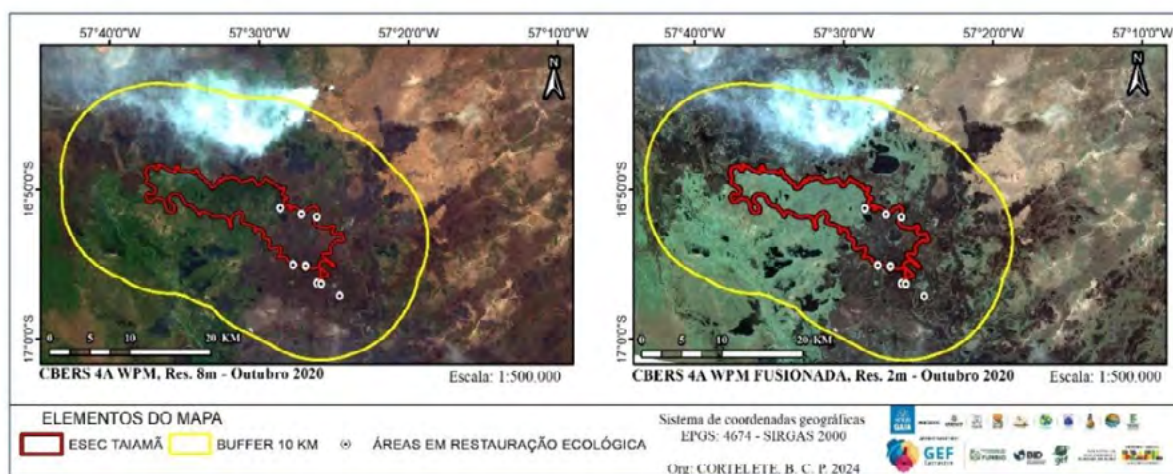
**Figura 2.** Mosaico temporal de área incendiada nos meses de junho e outubro dos anos de 2019 e janeiro e junho de 2024, na ESEC de Taiamã, Cáceres-MT.  
Fonte: Autores (2024).

e Prevenção aos Incêndios no Pantanal com foco na Estação Ecológica de Taiamã) financiado pelo GEF Terrestre. Nestas áreas as fitofisionomias eram formadas por espécies arbóreas e os estudos levantaram a regeneração de principalmente espécies herbáceas e gramíneas.

Em 2024, o projeto então foi impactado por um novo incêndio na área da ESEC de Taiamã (**Figura 2c**), menor que o de 2020 ao considerar o entorno, mas ainda assim de grandes proporções. Este incêndio atingiu áreas em processo de restauração, agravando o cenário de recuperação ambiental. Neste ano, mais do que nunca, faz-se necessário o monitoramento desses macrohabitats, acompanhando o comportamento de recuperação das espécies chaves da área.

Neste contexto, os esforços passam a ser de obtenção de dados de sensoriamento remoto que permitam a fotointerpretação da área com a maior quantidade de detalhes visuais possíveis. Devido a resolução espacial de 10 metros, as imagens Sentinel-2, não permitem identificar com a clareza necessária os detalhes da área, mesma situação que ocorre com as imagens CBERS-4A, que possuem resolução de 8 metros. Logo, uma possível alternativa seja a fusão das imagens do CBERS-4A para obter maiores detalhes da cena.

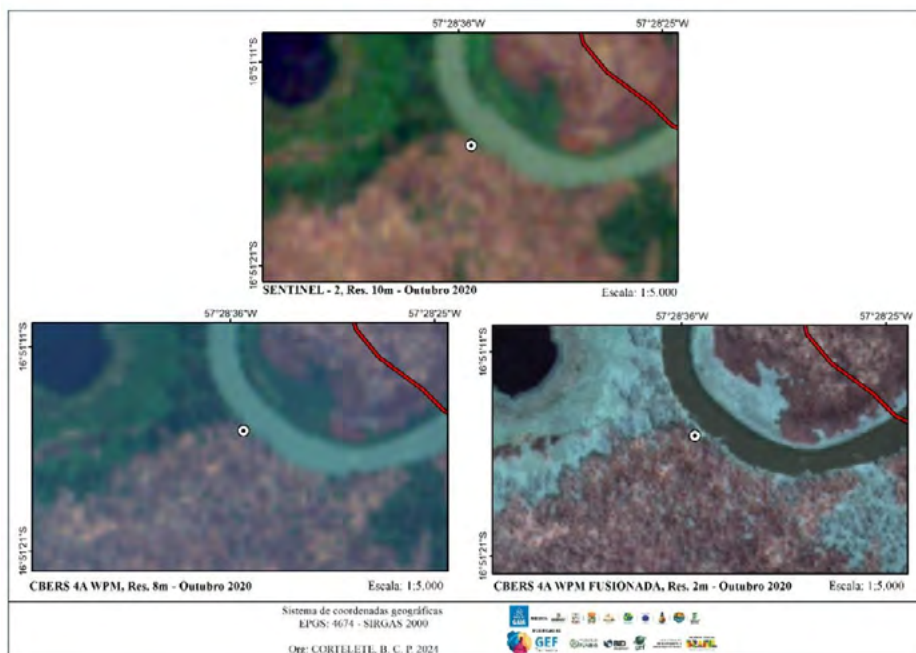
Assim, as imagens do CBERS-4A com composição das bandas 3-2-1 (vermelho, verde e azul, respectivamente), que geraram uma composição em cor natural (**Figura 3**), podem ser fusionadas com a respectiva imagem pancromática, gerando uma imagem fusionada que mantém a radiométrica original, porém com a resolução espacial que passa a ter 2 metros.



**Figura 3.** Imagem do Satélite CBERS-4A WPM de resolução 8 metros e CBERS-4A WPM Fusionada com banda Pancromática, resolução de 2 metros, de toda a área da ESEC Taiamã. Fonte: Autores (2024).

A (**Figura 4**) apresenta um comparativo entre as três imagens (Sentinel 2, CBERS-4A e CBERS-4A fusionada). As imagens fusionadas permitem visualizar detalhes nas feições de interesse devido sua resolução espacial, melhor que a original.

Apesar da nítida superioridade que a imagem CBERS-4A fusionada oferece para as atividades de fotointerpretação, há aspectos a serem observados. Esta plataforma entrou em atividade recentemente e por ter um tempo de revisita de 20 dias, pode ocorrer a falta de disponibilidade destes dados para o período desejado. Neste trabalho, não foi possível elaborar o mosaico temporal devido à pouca disponibilidade das imagens.



**Figura 4.** Destaque para uma área em restauração visualizada na imagem Sentinel-2 (10 metros), CBERS-4A WPM (8 metros) e CBERS-4A Fusionada (2 metros).  
Fonte: Autores (2024).

## 5. Conclusões e Sugestões

O uso de imagens orbitais, como as fornecidas pelos satélites Sentinel-2 e CBERS-4A, demonstrou ser essencial para o monitoramento ambiental de áreas afetadas por incêndios, como a Estação Ecológica de Taiamã. Embora as imagens Sentinel-2 ofereçam uma excelente capacidade de monitoramento em larga escala, sua resolução espacial de 10 metros pode não ser suficiente para identificar detalhes mais finos necessários em áreas de restauração ecológica. As imagens CBERS-4A, especialmente quando fusionadas, superam essa limitação ao oferecer maior clareza visual, permitindo uma análise mais detalhada e eficaz para a gestão ambiental e o planejamento de ações de conservação. Assim, a fusão das imagens CBERS-4A apresenta-se como uma solução valiosa para aprimorar o monitoramento de áreas em processo de recuperação, especialmente aquelas impactadas por incêndios.

## 6. Agradecimentos

Ao Projeto de Restauração da Biodiversidade, Conservação das Águas e Prevenção dos Incêndios das Áreas Úmidas do Pantanal - Estação Ecológica de Taiamã.

Ao Fundo Brasileiro para a Biodiversidade.

Ao GEF Terrestre - Projeto Estratégias de Conservação, Restauração e Manejo para a Biodiversidade da Caatinga, Pampa e Pantanal.

À Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT.

Ao Centro de Pesquisa de Limnologia, Biodiversidade, Etnobiologia do Pantanal (CELBE).

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCA/UNEMAT, Cáceres-MT.

Ao Laboratório de Educação Ambiental, Restauração Ecológica e Agroecologia (EDUCARE).

Ao Laboratório de Análise de Imagens Digitais (LAID), participante da Rede SpinLab.

Ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Estação Ecológica de Taiamã.

Ao Instituto de Pesquisa e Educação Ambiental - Instituto Gaia.

## 7. Referências

- Alho, C. J. R.; Mamede, S. B.; Benites, M; Andrade, B. S.; Sepúlveda, J. J. O. Ameaças à biodiversidade do pantanal brasileiro pelo uso e ocupação da terra. **Ambiente & Sociedade**. Vol. 22, p. 01-22, 2019. DOI <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc201701891vu2019L3AO>. Acesso em: Acesso em 26 jul. 2024.
- Arai, E.; Dutra, A. C.; Gasparini, K. A. C.; Dutra, V.; Shimabukuro, Y. E. A degradação florestal causada por queimadas: métodos e aplicações na Amazônia. In: Setzer, A. W.; Ferreira, N. J. (Orgs). **Queimadas e incêndios florestais**: mediante monitoramento orbital. São Paulo: Ofic. de Textos, p. 159-180, 2021.
- Batista, A. B. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Floresta**, v.34, n. 2, p. 237-241, 2004.
- Brancalion, P. H. S.; Gorneviani, R. A.; Rodrigues R. R.; Gandolfi, S. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**, v. 2, p. 262-293, 2012. Disponível em: [https://esalqlastrop.com.br/img/aulas/Cumbuca%206\(2\).pdf](https://esalqlastrop.com.br/img/aulas/Cumbuca%206(2).pdf). Acesso em 26 jul. 2024.
- Campanharo, W. A.; Neves, A. K.; Lopes, A. P.; Dutra, A. C.; Scalioni, D. C. C.; Pereira, V. P. B.; Anderson, L.; Aragão, L. E. O. C. Padrões e impactos dos incêndios florestais nos biomas brasileiros. In: Setzer, A. W.; Ferreira, N. J. (Orgs). **Queimadas e incêndios florestais**: mediante monitoramento orbital. São Paulo: Oficina de Textos, p. 181-212, 2021.
- Da Frota, A.; Ikeda-Castrillon, S. K.; Kantek, D. L.; Da Silva, C. J. Macrohabitats da Estação Ecológica de Taiamã, no contexto da área úmida pantanal Mato-Grossense, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v. 12, n. 2, p. 239-254, 2017.
- Da Silva, C. J.; Silva, J. A. No ritmo das águas do pantanal. São Paulo, Brasil: Núcleo de Apoio para Pesquisa sobre Populações Humanas e áreas úmidas Brasileiras (NUPAUB), USP. 1995. Disponível em: <https://idb-bnc-idrc.dspace.org/bitstream/handle/10625/15746/IDL-15746.pdf?sequence=1> . Acesso em 26 jul. 2024.
- Gonzaga, C. A. C.; Roquette, J. G.; Silva, N. M. Da; Barbosa, D. S.; Pessi, D. D.; Paranhos Filho, A. C.; Miotto, C. L. Government actions for the mitigation and prevention of environmental damage in the Pantanal Mato-grossense after the great fire of 2020. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 7, p. e48111730413, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i7.30413. Acesso em: Acesso em 26 jul. 2024.
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Estação Ecológica de Taiamã. Ministério do Meio Ambiente. 2024. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/esectaiama/quem-somos/historia.html>. Acesso em: 27 jul. 2024.
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Plano De Manejo Integrado do Fogo 2024 - 2027 Estação Ecológica De Taiamã. 4 **Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. 45-55 p. Ministério do Meio Ambiente. 2023.
- Ikeda-Castrillon, S. K.; Da Silva, C. J.; Fernandez, J. R. C. Efeitos do nível de inundação sobre comunidades arbóreas em ilhas do Rio Paraguai No Pantanal, BRASIL. **Revista Equador**. v. 9, n. 1. 2020. DOI: <https://doi.org/10.26694/equador.v9i1.9502> . Acesso em: 27 jul. 2024.
- Ikeda-Castrillon, S. K.; Oliveira-Junior, E. S.; Rosseto, O. C.; Saito, C. H.; Wantzen, K. M. The Pantanal: A seasonal neotropical wetland under threat. In: **The palgrave handbook of global sustainability**. Palgrave Macmillan, Cham, p. 1-27. DOI:10.1007/978-3-030-38948-2\_36-1 . 2023.
- Inpe - Instituto Nacional De Pesquisa Espaciais. Operação Pantanal Norte. Brasil. 2020. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/ciman/operacao/68>.
- Junk, W. J.; Wantzen, K. M. Flood pulsing and the development and maintenance of biodiversity in floodplains. Ecology of freshwater and estuarine wetlands. **University of California Press**, Berkeley, p. 407-435, 2007. DOI: 10.1525/california/9780520247772.003.0011 . Acesso em 26 jul. 2024.
- Junk, W. J.; Bayley, P. B.; Sparks, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: **Dodge DP** (ed) Proceedings of the int. large river symposium (LARS) - Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences 106. Canadian Government Publishing Centre, Ottawa, p 110-127. 1989. Acesso em 26 jul. 2024.



Koppen, W., 1948. Climatologia, com um estudio de los clima de la Tierra. FCE, México.

Libonati, R.; Dacamara, C. C.; Peres, L. F.; Carvalho, L. A. S.; Garcia, L. C. Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. **Nature**, v. 588, n.1, p. 217-219, 2020.

Libonati, R.; Pereira, A. A.; Santos, F. L. M.; Rodrigues, J. A.; Rosa, A. S.; Melchiori, A. E.; Morelli, F.; Setzer, A. W. Sensoriamento remoto de áreas queimadas no Brasil: progressos, incertezas, desafios e perspectivas futuras. In: Setzer, A. W.; Ferreira, N. J. (Orgs). **Queimadas e incêndios florestais: mediante monitoramento orbital**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 49-76, 2021.

Menezes, T. N. G.; Bias, E. S.; Almeida, T. Avaliação da recuperação das áreas degradadas pelas obras de implantação da rodovia BR-158/MT, KM 139,91 ao KM 201,01, entre os anos 2009 a 2013, a partir do processamento de imagens ópticas. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2016, Edição Especial Geoinformação e Análise Espacial, n. XXX, p. 759-777. ISSN: 1808-0936

Neves, S. M. A. S.; Nunes, M. C. M.; Neves, R. J. Caracterização das condições climáticas de Cáceres/MT-Brasil, no período de 1971 a 2009: subsídio às atividades agropecuárias e turísticas municipais. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 55-68, 2012. DOI: 10.5216/bgg.v31i2.16845. Acesso em 07 ago. 2024.

Nogueira, J.; Machado-Silva, F.; Peixoto, R. B.; Libonati, R. Respostas da vegetação ao fogo: perspectivas do uso de satélites ambientais no Brasil. In: Setzer, A. W.; Ferreira, N. J. (Orgs). **Queimadas e incêndios florestais: mediante monitoramento orbital**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 213-234, 2021.

Pirajá, R. V.; Oliveira, A. K. M.; Matias, R.; Rezende-Filho, A. T. R. O uso dos índices espectrais NBR e  $\Delta$ NBR empregando dados Sentinel-2 para identificar e delimitar áreas queimadas, utilizando como modelo uma área do Pantanal de Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. **RA'EGA**. Curitiba-PR, v. 56, p. 24-42, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v56i0.85434> . Acesso em 03 Jun. 2024.

Pott, A; Pott, V. J. Plantas nativas para recuperação de áreas degradadas e reposição de vegetação em mato grosso do sul. **EMBRAPA**, 2002. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/325575/plantas-nativas-para-recuperacao-de-areas-degradadas-e-reposicao-de-vegetacao-em-mato-grosso-do-sul> . Acesso em: 23 jul. 2024

Veloso, H. P.; Rangel-Filho, A. L. R.; Lima, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. **IBGE**, Rio de Janeiro. 1991. Disponível em [https://jbb.ibict.br/bitstream/1/397/1/1991\\_classificacaovegetal\\_Veloso1991.pdf](https://jbb.ibict.br/bitstream/1/397/1/1991_classificacaovegetal_Veloso1991.pdf) . Acesso em 26 jul. 2024

Zaidan, R. T. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia-PPGEO -UFJF**. Juiz de Fora, v.7, n.2, p.195-201, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/18073> . Acesso em 28 jul. 2024

## **Caracterização de propriedades rurais quanto ao escoamento da produção e acesso à recursos hídricos superficiais na Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e entorno- MT, Brasil**

Tamires Fornazari <sup>1</sup>

Rafael Mingoti <sup>2</sup>

Salete Gürtler <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP  
Núcleo de Estudos e Pesquisas em Ambiente e Sociedade – NEPAM  
R. dos Flamboyants, 155 - Cidade Universitária,  
13083-870 - Campinas - SP  
fornazaritamires@gmail.com

<sup>2</sup> Embrapa Territorial - CNPM  
Av. Soldado Passarinho, 303 - Jardim Chapadão,  
13070-115 - Campinas - SP  
rafael.mingoti@embrapa.br  
salete.gurtler@colaborador.embrapa.br

1

**Resumo.** A Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e entorno (RMVRCE) compreende 14 municípios localizados no estado do Mato Grosso e se destaca pela crescente produção agrícola realizada por pequenos produtores rurais que enfrentam desafios relacionados ao escoamento da produção e limitações no acesso a recursos hídricos para uso na irrigação. O presente estudo objetivou caracterizar as propriedades rurais situadas na RMVRCE quanto ao acesso a vias para escoamento da produção agrícola e suas distâncias aos recursos hídricos superficiais. Foram identificados trajetos de menor distância para transporte rodoviário a partir das sedes de cada estabelecimento agropecuário até o CEASA Cuiabá. Também foram identificadas distâncias entre cada propriedade rural e os cursos d'água com disponibilidade hídrica mais próximo. A metodologia utilizada para a identificação dos trajetos foi o cálculo de menor distância a partir da utilização da ferramenta de análise espacial "Cost Path". As principais vias utilizadas para a realização do escoamento da produção na região da RMVRCE com destino até o CEASA de Cuiabá-MT foram BR/MT-07, BR-163/BR/MT-364, MT-010, MT-040, MT-060, MT-351, MT-456 e Avenida Fernando Côrrea da Costa. Verificou-se que 70,3% das sedes dos estabelecimentos agropecuários estavam a até 1km de vias de escoamento e que 42,9% dos imóveis rurais da região da RMVRCE estavam localizados a mais de 100m de distância dos cursos d'água. Fatores como a condição infraestrutural e de tráfego ainda podem dificultar o transporte da produção até o CEASA e o acesso a água para irrigação limita grande parte das propriedades rurais.

**Palavras-chave:** produção agrícola; transporte de mercadorias; disponibilidade hídrica.

**Abstract.** The Metropolitan Region of Vale do Rio Cuiabá and surrounding areas (RMVRCE) comprises 14 municipalities located in the state of Mato Grosso and stands out for the growing agricultural production carried out by small rural producers who face challenges related to the flow of production and limitations in access to water resources for use in irrigation. The present study aimed to characterize the rural properties located in the RMVRCE in terms of access to roads for the flow of agricultural production and their distances to surface water resources. Shorter distance routes for road transport were identified from the headquarters of each agricultural establishment to CEASA Cuiabá. Distances were also identified between each rural property and the nearest watercourses with water availability. The methodology used to identify the routes was to calculate the shortest distance using the “Cost Path” spatial analysis tool. The main routes used to transport production in the RMVRCE region to CEASA in Cuiabá-MT were BR/MT-07, BR-163/BR/MT-364, MT-010, MT-040, MT-060, MT-351, MT-456 and Avenida Fernando Côrrea da Costa. It was found that 70.3% of the headquarters of agricultural establishments were up to 1km away from drainage routes and that 42.9% of rural properties in the RMVRCE region were located more than 100m away from watercourses. Factors such as infrastructural and traffic conditions can still make it difficult to transport production to CEASA and access to water for irrigation limits a large part of rural properties.

**Key-words:** Agricultural production; Transportation of goods; Water availability.

## 1. Introdução

A região metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e entorno (RMVRCE), ou Baixada Cuiabana, está localizada no estado do Mato Grosso, compreende 14 municípios localizados no entorno do rio Cuiabá que são: Cuiabá, Várzea Grande, Nossa Senhora do Livramento, Santo Antônio de Leverger, Acorizal, Barão de Melgaço, Chapada dos Guimarães, Campo Verde, Jangada, Nobres, Nova Brasilândia, Planalto da Serra, Poconé e Rosário Oeste. Esta região se destaca pela crescente produção agrícola por parte de pequenos produtores rurais. Segundo dados do Censo Agropecuário de 2017 IBGE, (2017), quase 50 mil (49.322) pessoas estão ocupadas em estabelecimentos agropecuários, sendo de agricultura familiar mais da metade destas pessoas (26.553). Todavia, esses produtores enfrentam o desafio relacionado ao escoamento de sua produção, devido aos elevados custos de frete, a manutenção da qualidade dos produtos durante o transporte da produção e, além disso, enfrentam limitações no acesso a recursos hídricos para uso na irrigação, assistência técnica pública insuficiente, dificuldade ao acesso de créditos rurais, êxodo da juventude rural, dentre outras questões Embrapa, (2023).

O estado do Mato Grosso, onde está localizada a RMVRCE, é considerado o maior produtor nacional de grãos no Brasil, como soja, milho, algodão, girassol, feijão etc; e também se destaca pela produção de suínos, aves e bovinos Von Dentz, (2019). Entretanto, apesar do aumento da produtividade agrícola e da expansão do Produto Interno Bruto (PIB) regional, a questão viária é considerada um limitante para o crescimento e a integração da economia do Estado Souza, (2016). Um dos fatores relacionados às limitações impostas pelas rodovias é o baixo número de vias pavimentadas CNT, (2019).

Pereira (2014) define recursos hídricos como a parcela de água doce, superficial e/ou subterrânea, e que está disponível para qualquer tipo de uso em uma determinada região ou bacia hidrográfica. Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de Cuiabá de 106 municípios do Estado de Mato Grosso, o Rio Cuiabá e afluentes são responsáveis pelo abastecimento de aproximadamente 92% dos municípios que compõem a RMVRCE Lima et al., (2018). Em termos hidrográficos, o rio Cuiabá é um dos principais afluentes do rio Paraguai em sua margem esquerda e possui grande importância para a formação da planície pantaneira. Suas nascentes estão localizadas nas encostas da Serra Azul, no município de Rosário Oeste, onde atravessa áreas predominantemente rurais com usos da água inexpressivos, apesar de que a supressão do Cerrado e de áreas de proteção permanente (APPs) ao longo dos rios e das nascentes dos afluentes têm alterado gradualmente as condições naturais da bacia, a biodiversidade e as características qualitativas dos corpos d'água.

Ao atingir a região mais urbanizada (Várzea Grande e Cuiabá) tanto os usos do solo quanto da água são intensificados e ampliados. A retirada de extensas áreas de vegetação, a canalização de córregos, as construções em áreas de risco, a impermeabilização do solo, o despejo de resíduos líquidos e sólidos resultam em alterações do Rio Cuiabá e de seus afluentes que banham essa área metropolitana. Rio abaixo, as cidades de Santo Antônio de Leverger e Barão de Melgaço convivem com situações de escassez hídrica, antes inexistentes no rio Cuiabá Figueiredo et al., (2019). Segundo a Secretaria da Fazenda do Estado do Mato Grosso, a maioria dos domicílios localizados na RMVRCE não tem instalação sanitária e possuem alto coeficiente de problemas de água para o consumo humano ou para uso na produção, devido à contaminação do solo e do lençol freático superficial. Dessa forma, o presente estudo objetivou caracterizar as propriedades rurais situadas na Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e Entorno (RMVRCE) quanto ao acesso a vias para escoamento da produção agrícola e suas distâncias aos recursos hídricos superficiais.

## 2. Material e Métodos

A RMVRCE está localizada na transição entre a área da Chapada dos Guimarães, porção ao norte, e às planícies do pantanal matogrossense, na porção sul. A região compreende 14 municípios: Cuiabá, Várzea Grande, Nossa Senhora do Livramento, Santo Antônio de Leverger, Acorizal, Barão de Melgaço, Chapada dos Guimarães, Jangada, Nobres, Nova Brasilândia, Planalto da Serra, Poconé e Rosário Oeste.

A RMVRCE está situada entre o bioma Cerrado (58% da área) e Pantanal (42%), com 88% da área inserida dentro da bacia hidrográfica do rio Paraguai (BHP). Apesar da maior parte estar inserida no bioma Cerrado, esta região corresponde a área de planalto da BHP, que abriga a maioria dos afluentes e as cabeceiras dos rios do Pantanal Ana, (2015). A altitude da porção norte da RMVRCE ultrapassa os 900 metros e da porção sul, não ultrapassa 150m. A diferença de altitude também é percebida pela elevada declividade presente no relevo escarpado localizado ao centro da região Embrapa, (2023). O clima predominante na região é o tropical quente semi-úmido, marcado por dois períodos distintos e que se relacionam diretamente ao regime de chuvas na região Maitelli, (2005). Durante os meses de outubro a março, a pluviosidade na região pode ultrapassar 150mm, enquanto os menores índices e precipitação ocorrem no período que abrange os meses de abril a setembro. A pluviosidade na região também está condicionada ao relevo, pois os maiores índices de precipitação ocorrem nas regiões com maior altitude, localizadas ao norte do Vale Embrapa, (2023).

Na RMVRCE estão localizados agricultores familiares, terras indígenas e remanescentes de quilombos Oliveira,(2019); Embrapa,(2023). Na região, os cultivos agrícolas são praticados, principalmente, em pequenas propriedades e os produtos são comercializados no mercado local. Os principais desafios enfrentados pela agricultura familiar na região envolvem a comercialização dos produtos; o acesso à tecnologia nos sistemas produtivos; assistência técnica pública insuficiente; dificuldade ao acesso de créditos rurais; êxodo da juventude rural; dentre outras questões Embrapa, (2023).

Para a análise da proximidade a vias para escoamento da produção foram adquiridos dados de localização da sede dos estabelecimentos agropecuários localizados na RMVRCE, por meio de informações compartilhadas pelo Censo Agropecuário para o ano de 2017 IBGE, (2017). Também foram adquiridos dados sobre as vias de acesso presentes na região do Vale por meio da plataforma Open Street Map no ano de 2024 PlanetOSM, (2024). Para caracterizar as propriedades rurais na Região do Vale do Rio Cuiabá quanto a proximidade a vias (municipais, estaduais ou federais) para escoamento da produção foi identificado trajeto de menor distância

em vias, desde a sede dos estabelecimentos agropecuários até o CEASA Cuiabá. O cálculo da menor distância foi realizado por meio da ferramenta de análise espacial “Cost Path”, presente no software ArcMap 10.8.2. Além disso, as distâncias entre as sedes dos estabelecimentos agropecuários e as ruas ou rodovias mais próximas foram contabilizadas e classificadas em: 1) até 1 km da sede; e 2) acima de 1 km da sede.

Após a identificação dos caminhos de menor custo, foram delimitadas as principais vias de acesso até o CEASA. Para a definição do ponto de saída, foram considerados os seguintes critérios: 1) Proximidade da sede dos estabelecimentos agropecuários às vias de acesso; e 2) Maior número de imóveis rurais aglomerados próximos a uma mesma via. Em seguida, utilizou-se a plataforma Google Maps a fim de possibilitar a identificação dos nomes das vias de acesso. Para as vias que possuíam mais de uma identificação, ou seja, mais de um nome para o mesmo trecho, foi estabelecida a seguinte hierarquia para a seleção do nome: municipal; federal e estadual.

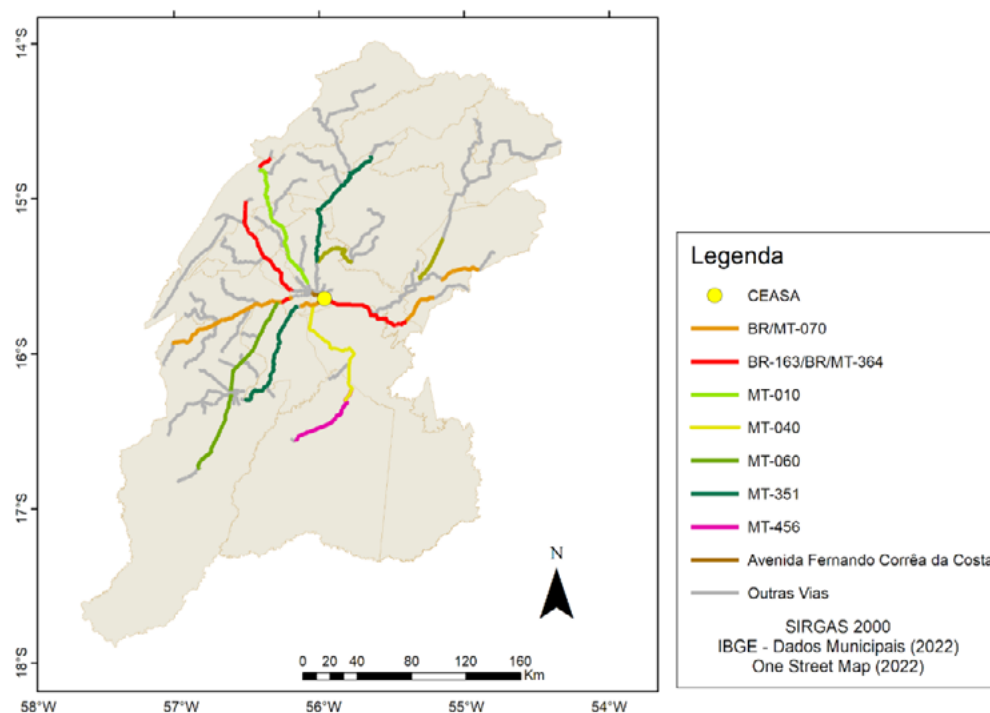
Para a análise sobre as distâncias entre os imóveis rurais e os cursos d’água na RMVRCE realizou-se a identificação das distâncias entre os imóveis rurais e os cursos d’água com disponibilidade hídrica mais próximas. As informações sobre os imóveis rurais foram obtidas por meio de informações disponibilizadas pelo Cadastro Ambiental Rural (CAR) para o ano de 2023 SFB, (2023). As informações a respeito dos cursos d’água na região foram obtidas por meio da Agência Nacional de Águas (Ana) no ano de 2019 e, em seguida, foram selecionados somente os cursos d’água categorizados pela Ana como tendo comprometimento hídrico “baixo”, “mediano” e “alto”, a fim de excluir da análise as drenagens intermitentes e os trechos já comprometidos quanto à disponibilidade hídrica. As informações foram analisadas espacialmente por meio da construção de modelos no software ArcGIS Pro 3.0.1 e a menor distância entre os imóveis rurais e os cursos d’água foi contabilizada considerando três classes: 1) 0-50 m; 2) 50-100 m; e 3) acima de 100 m.

### 3. Resultados e Discussão

As principais rodovias federais utilizadas para a realização do escoamento da produção na região da RMVRCE com destino até o CEASA de Cuiabá-MT foram 1) BR/MT-070 e 2) BR-163/BR/MT-364. Já em relação às rodovias estaduais, foram destacadas: 1) MT-010; 2) MT-040; 3) MT-060; 4) MT-351; e 5) MT-456. A via municipal de maior concentração de escoamento foi a Avenida Fernando Côrrea da Costa (**Figura 1**).

A rodovia BR-163 possui fundamental importância para o escoamento da produção agrícola principalmente no estado do Mato Grosso onde é utilizada para transportar matérias-primas, máquinas e outros itens Presente Rural, (2024). A rodovia BR-070 é uma rodovia radial brasileira e foi criada com o intuito de estimular a integração entre as regiões do Centro-Oeste brasileiro e, atualmente, a BR-070 é considerada uma das principais rotas de escoamento da safra na região Centro-Oeste. Já a rodovia BR-251, também conhecida como Rodovia Júlio Garcia, é uma rodovia transversal brasileira que se estende de Ilhéus (BA) até Cuiabá (MT) e foi criada com o interesse de fortalecer a integração entre as regiões Nordeste e Centro-Oeste brasileiras. Essa rodovia ainda possui muitos trechos não asfaltados ou não implantados, principalmente no estado de Mato Grosso Brasil, (2023).

O CEASA de Cuiabá está localizado na Avenida Fernando Côrrea da Costa, trecho que também compõe parte da rodovia BR-364. Essa via costuma apresentar tráfego lento ao longo do dia no trecho que compreende a região central de Cuiabá, e menor trânsito conforme há o afastamento da região central em direção ao CEASA. Além disso, a situação tende a ser agravada em situações em que há acidentes no trânsito, quebras de automóveis, interdição para obras etc.



**Figura 1.** Mapa das principais vias de acesso para escoamento da produção na Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e Entorno.

Fonte: Autores (2024).

Cardoso e Guilherme, (2023); Passos, (2023). No que se refere ao escoamento da produção na RMVRCE, foi observado que essa via é adotada, com maior frequência, para o escoamento de produções com destino até o CEASA por propriedades localizadas em municípios na porção leste e noroeste da RMVRCE, como Jangada, Acorizal, Rosário do Oeste, Nobres e Chapada dos Guimarães. Dessa forma, observa-se que, apesar de melhorias que foram realizadas em algumas estradas, como o asfaltamento, a duplicação de vias e melhor monitoramento, fatores como a condição infraestrutural e de tráfego ainda podem dificultar o transporte da produção até o CEASA.

A contagem de estabelecimentos agropecuários classificados em função da distância entre suas sedes e as ruas ou rodovias mais próximas está apresentada na **Tabela 1**.

Segundo as informações apresentadas na **Tabela 1**, observou-se que os municípios que apresentaram maior número total de estabelecimentos agropecuários com distância de até 1km em relação às vias de acesso foram: 1) Poconé; 2) Santo Antônio de Leverger; e 3) Nossa Senhora do Livramento. Proporcionalmente, os municípios que apresentaram maior número de estabelecimentos agropecuários com distância de até 50m em relação aos cursos d'água mais próximos foram: 1) Santo Antônio de Leverger; 2) Rosário do Oeste; e 3) Nossa Senhora do Livramento.

Na análise sobre as distâncias entre estabelecimentos agropecuários e cursos d'água foi observado que a maioria dos imóveis rurais da região da RMVRCE estavam localizados até 50m de distância dos cursos d'água, ou seja, 8.137 imóveis (52,3%), enquanto 745 imóveis (4,7%) estavam entre 50 a 100m de distância e 6.662 imóveis (42,9%) se localizavam à mais de 100 metros de distância desses cursos d'água (**Tabela 1**), dificultando o acesso e aumentando o custo do bombeamento. Cabe destacar que a distância não considera a sede da propriedade nem da área produtiva, pois foi considerado o limite dos imóveis rurais, além disso, a qualidade da

**Tabela 1.** Número e proporção de estabelecimentos agropecuários classificados em função da distância entre suas sedes e as vias ou rodovias mais próximas em cada município da Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e Entorno.

Municípios	Até 1km	Mais de 1km	Total
Acorizal	421 (75,2%)	139 (24,8%)	560 (100,0%)
Barão de Melgaço	441(53,7%)	380 (46,3%)	821 (100,0%)
Campo Verde	958 (82,2%)	207 (17,8%)	1.165 (100,0%)
Chapada dos Guimarães	573 (52,2%)	521 (47,6%)	1.094 (100,0%)
Cuiabá	1.155 (76,7%)	350 (23,3%)	1.505 (100,0%)
Jangada	383 (69,6%)	167 (30,16%)	550 (100,0%)
Nobres	453 (68,6%)	207 (31,4%)	660 (100,0%)
Nossa Senhora do Livramento	1.307 (71,1%)	531 (28,9%)	1.838 (100,0%)
Nova Brasilândia	206 (50,4%)	203 (49,6%)	409 (100,0%)
Planalto da Serra	129 (51,2%)	123 (48,8%)	252 (100,0%)
Poconé	2.452 (97,2%)	71 (2,8%)	2.523 (100,0%)
Rosário do Oeste	845 (52,0%)	779 (48,0%)	1.624 (100,0%)
Santo Antônio de Leverger	1.447 (61,6%)	901 (38,4%)	2.348 (100,0%)
Várzea Grande	501 (72,4%)	191 (27,6%)	692 (100,0%)
<b>Total</b>	<b>11.271 (70,3%)</b>	<b>4.770 (29,7%)</b>	<b>16.041 (100,0%)</b>

Fonte: Autores (2024).

água nos cursos d'água não foi avaliada, podendo este ser um limitador para o uso na irrigação das hortaliças na RMVRCE.

Segundo as informações apresentadas na **Tabela 2**, observou-se que os municípios que apresentaram maior número total de estabelecimentos agropecuários com distância de até 50m em relação aos cursos d'água foram: 1) Chapada dos Guimarães (1.108 estabelecimentos agropecuários); 2) Nossa Senhora do Livramento (1.057); e 3) Cuiabá (959). Proporcionalmente, os municípios que apresentaram maior número de estabelecimentos agropecuários com distância de até 50m em relação aos cursos d'água mais próximos foram: 1) Nova Brasilândia (65,9%); 2) Rosário do Oeste (64,8%); e 3) Acorizal (61,3%).

#### 4. Conclusões

O mapeamento das principais vias para escoamento da produção na RMVRCE objetivou apresentar os caminhos considerados mais viáveis para o escoamento da produção até o CEASA, considerado um importante centro de abastecimento e comercialização da produção realizada por pequenos produtores que residem na região. Entretanto, ao identificar as principais vias que podem ser utilizadas para o escoamento da produção, foi observado que, apesar de melhorias que foram realizadas em algumas estradas, como o asfaltamento, a duplicação de vias e melhor monitoramento, fatores como a condição infraestrutural e de tráfego ainda podem dificultar o transporte da produção até o CEASA.

Em relação à análise referente às distâncias entre os estabelecimentos agropecuários

**Tabela 2.** Número e proporção de imóveis rurais classificados em função da distância entre seus limites e os cursos d'água mais próximos em cada município e cursos d'água nos municípios da Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e Entorno.

Municípios	0-50m	50-100m	100m ou mais	Total
Acorizal	252 (61,3%)	30 (7,3%)	129 (31,4%)	411 (100,0%)
Barão de Melgaço	274 (42,7%)	25 (3,9%)	343 (53,4%)	642 (100,0%)
Campo Verde	417 (34,8%)	38 (3,2%)	745 (62,1%)	1.200 (100,0%)
Chapada dos Guimarães	1108 (56,4%)	102 (5,2%)	756 (38,5%)	1.966 (100,0%)
Cuiabá	959 (51,7%)	122 (6,6%)	773 (41,7%)	1.854 (100,0%)
Jangada	280 (50,5%)	27 (4,9%)	247 (44,6%)	554 (100,0%)
Nobres	427 (55,6%)	55 (7,2%)	286 (37,2%)	768 (100,0%)
Nossa Senhora do Livramento	1057 (58,2%)	79 (4,3%)	681 (37,5%)	1.817 (100,0%)
Nova Brasilândia	445 (65,9%)	33 (4,9%)	197 (29,2%)	675 (100,0%)
Planalto da Serra	258 (58,9%)	8 (1,8%)	172 (39,3%)	438 (100,0%)
Poconé	858 (41,3%)	39 (1,9%)	1179 (56,8%)	2.076 (100,0%)
Rosário do Oeste	881 (64,8%)	104 (7,7%)	374 (27,5%)	1.359 (100,0%)
Santo Antônio de Leverger	737 (55,4%)	59 (4,4%)	534 (40,2%)	1.330 (100,0%)
Várzea Grande	184 (40,5%)	24 (5,3%)	246 (54,2%)	454 (100,0%)
<b>Total</b>	<b>8.137 (52,3%)</b>	<b>745 (4,8%)</b>	<b>6.662 (42,9%)</b>	<b>15.544 (100,0%)</b>

Fonte: Autores (2024).

localizados na RMVRCE e os cursos d'água presentes na região, foi observado que a maioria destes estão localizados a distância de até 50m em relação aos cursos d'água mais próximos. Tais informações são fundamentais, visto que a disponibilidade e o acesso à água são fatores cruciais para a manutenção de processos que envolvem a produção agrícola.

Sugere-se que sejam realizados novos trabalhos contemplando a qualidade da água no Rio Cuiabá, que pode impedir o uso em irrigação em hortaliças, que é um dos principais cultivos da na RMVRCE.

## 5. Agradecimento

A Fundação André e Lucia Maggi por apoiar a execução do estudo.

## 6. Referências

Agência Nacional De Águas - Ana. **Balanco Hídrico Quantitativo**. Disponível em <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/35f247ac-b5c4-419e-9bdb-dcb20defb1f4> Acesso em 14 abr 2024.

\_\_\_\_\_. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras. Edição Especial. Brasília: ANA, 2015.



Barreto, R. C. P.; Ribeiro, A. J. M. Logística no Brasil: uma análise do panorama dos modais rodoviários e ferroviários no cenário nacional demonstrando as vantagens e desvantagens das referidas modalidades. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 5, n. 3, p. 145-176, 2020.

Brasil, República Refederativa Do. **Rodovia essencial para escoamento da produção agrícola no MT será relicitada**. Disponível em <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/2022/03/rodovia-essencial-para-escoamento-da-producao-agricola-no-mt-sera-relicitada>>. Acesso em 03 maio 2024.

Cardoro, B.; Guilherme, I. **Cuiabá enfrenta dia de trânsito infernal em suas principais avenidas**. Disponível em <<https://www.estadaomatogrosso.com.br/cidades/cuiaba-enfrenta-dia-de-transito-infernal-em-suas-principais-avenidas/82365>>. Acesso em 03 maio 2024.

Confederação Nacional Do Transporte – CNT. Boletins Técnicos. Brasília: CNT, 2019. Disponível em: <<http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/Boletim%20unificado/Fevereiro/BOLETINS%20T%C3%89CNICOS%20DA%20CNT%20-%20FEVEREIRO.pdf>>. Acesso em 24 abr 2024.

Embrapa. **Vale do Rio Cuiabá**. Disponível em <<https://www.embrapa.br/baixada-cuiabana/s.i.t.e/natural>>. Acesso em 14 abr 2024.

Figueredo, R. R. D.; Subtil, L. P.; Tasca, B. F.; De Alencar Neves, R.; Dos Santos Campos, P. A.; Xavier, F. V.; Siqueira, A. J. B. Expansão urbana e degradação de nascentes: identificando padrões espaço-temporais de um processo crônico em Cuiabá, MT. **Nativa**, v. 7, n. 4, p. 396-406, 2019.

Mato Grosso. **Lei Complementar 359/2009. Dispõe sobre a criação da região metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e dá outras providências**. Mato Grosso: Assembleia Legislativa [2009]. Disponível em: <<https://legislacao.mt.gov.br/mt/lei-complementar-n-359-2009-mato-grosso-dispoe-sobre-a-criacao-da-regiao-metropolitana-do-vale-do-rio-cuiaba-e-da-outras-providencias?origin=instituicao>>. Acesso em: 21 jun. 2024.

Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística - IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017/resultados-definitivos> Acesso em 14 abr 2024.

Lima, Ebnr; Modesto Filho, P. M.; Moura, Rmp. Plano Municipal de Saneamento Básico: Nossa Senhora do Livramento-MT. Cuiabá: EdUFMT, 2017.

Oliveira, J. E. Etnoarquilogia e laudo antropológico pericial sobre a terra indígena Baiá dos Guató, município de Barão de Melgaço, Mato Grosso. **XX Congresso da Sociedade de Arqueologia Brasileira Pelotas (RS)**. Pelotas, 2019.

Passos, B. **Avenidas em Cuiabá têm cruzamentos como “áreas quentes” de acidentes**. Disponível em <<https://www.rdnews.com.br/cidades/conteudos/177072>>. Acesso em 01 mai 2024.

Planet OpenStreetMap. **OpenStreetMap data**. Disponível em: <https://planet.openstreetmap.org/pbf/planet-latest.osm.pbf> Acesso em 01 mar 2023.

Pereira, M. P. R. **Economia Ambiental**: análise da tendência de crescimento do consumo de energia elétrica por meio de medidas educativas. Sete Lagoas, 2014.

Present Rural. **BR-163 é a principal rota de escoamento da produção agrícola do Centro-Oeste**. Disponível em <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/2023/06/melhorias-na-br-070-go-beneficiam-a-exportacao-de-produtos-agricolas-e-artigos-de-moda-em-goias>>. Acesso em 01 mai 2024.

Serviço Florestal Brasileiro - Sfb. **Consulta Pública do Sistema do Cadastro Ambiental Rural: SICAR**. Disponível em <https://www.car.gov.br/publico/estados/downloads> Acesso em 01 mar 2023.

Souza, R. Infraestruturas de Logística e Transporte em Mato Grosso: Uma leitura geográfica. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso. Rondonópolis, 2016.

Von Dentz, E. Produção agrícola no estado do Mato Grosso e a relação entre o agronegócio e as cidades: o caso de Lucas do Rio Verde e Sorriso. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 13, n. 2, p. 165–186, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/atelic/article/view/54290>. Acesso em: 01 mai 2024.

## **Regionalização estatística e predisposição hierárquica para as infecções por dengue: o caso do Estado da Bahia**

Ariana Natalia de Oliveira de Oliveira<sup>1</sup>

Sâmya Sofia Alves Teixeira<sup>2</sup>

Maria Eduarda Porto Silva <sup>3</sup>

Maria Eduarda Ribeiro Gomes<sup>4</sup>

Julia Moreira Costa<sup>5</sup>

Diego de Sousa Ribeiro Fonseca<sup>6</sup>

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - IFNMG

Rodovia BR 367, Km 07, s/n .

Zona Rural, Almenara-MG, Brasil

diegosousarf@gmail.com

**Resumo.** A proposta deste trabalho é realizar a regionalização das áreas com maior incidência de hospitalização por dengue no Estado da Bahia, região Nordeste do Brasil, apontando aquelas com maior potencial para adoecimento em correlação com fatores geográficos de cunho ambiental e socioeconômico. A metodologia do trabalho consistiu na montagem de um banco de dados geográfico constituído, inicialmente, pela localização das notificações de internações por dengue no Estado entre os anos 2009 e 2019; em seguida, esse sistema foi alimentado com variáveis socioeconômicas (como população e porte dos municípios) e ambientais (como bioma, amplitude térmica média anual e umidade). Realizou-se as análises através da estatística descritiva, regressão pelo método StepWise progressivo e a interpolação dos pontos e cokrigagem. Os resultados apontaram para a significância estatística entre as variáveis testadas ( $p < 0,01$ ), com o poder explicativo ( $R^2$  global) igual ou superior a 87,6% no modelo adotado, podendo-se afirmar que a temperatura e o regime das chuvas são responsáveis pela explicação de 69% das taxas de internação, o que está diretamente correlacionado aos fatores ambientais onde o paciente encontra-se inserido. A partir desses fatores realizou-se a cokrigagem, chegando às regiões baianas mais propícias ao agravamento por dengue, a qual a praticamente todo Estado, a não ser, genericamente, à faixa litorânea.

**Palavras-chave:** taxa de internação; StepWise progressivo; cokrigagem; regionalização; dengue.

**Abstract.** The proposal of this work is to regionalize areas with the highest hospitalization incidence for dengue in the state of Bahia, in the Northeast region of Brazil, identifying those with the greatest potential for illness in correlation with environmental and socioeconomic geographic factors. The methodology of the work consisted of building a geographic database initially composed of the locations of dengue hospitalization notifications in the state between 2009 and 2019; subsequently, this system was fed with socioeconomic variables (such as population and municipal size) and environmental variables (such as biome, average annual temperature range, and humidity). The analyses were performed through descriptive statistics, progressive StepWise regression, and point interpolation and cokriging. The results indicated statistical significance between the tested variables ( $p < 0.01$ ), with the global explanatory power ( $R^2$ ) equal to or greater than 87.6% in the adopted model, allowing it to be stated that temperature and rainfall patterns are responsible for explaining 69% of the hospitalization rates, which is directly correlated to the environmental factors where the patient is inserted. From these factors, cokriging was performed, leading to the most dengue-prone regions in Bahia, which practically covers the entire state, except for the coastal strip.

**Keywords:** hospitalization rate; StepWise progressive; cokriging; regionalization; dengue.

## 1. Introdução

O estudo de epidemias pode ser potencializado quando são analisadas as características ambientais mapeáveis juntamente com medidas quantitativas que agrupem ou expressem as múltiplas interações de determinado fenômeno nesses espaços. Essas análises probabilísticas têm a possibilidade de buscar e processar dados de diferentes bases de maneira sistemática, levando a produtos incisivos e com maior aplicabilidade das medidas de contenção dos danos (Magnusson, 1999; Pablo, 2000).

Em sincronia a essas análises, a epidemia de dengue tem sido um imbróglio que afeta a saúde mundial, mesmo se tratando de uma moléstia mais recorrente em países tropicais. No Sul da América, por exemplo, os criadouros preferenciais do vetor da dengue são recipientes artificiais, tanto aqueles abandonados a céu aberto, que servem como reser-vatório de água da chuva, como os utilizados para armazenar água de uso domiciliar (Sawyer; Leite, 2002; Moreno; Barata, 2012). O inseto voa baixo, não sobrevive em altitudes acima de 1.200 metros, possui deslocamento horizontal limitado e transporta-se também passivamente, grudado ao corpo das pessoas. Dessa forma, um indivíduo que transitou em lugares contaminados pode levar o vetor para outras regiões, pois se trata de uma praga cosmopolita (Consoli; Oliveira, 1994; Neves, 2005; Fonseca; Braz, 2010).

Os cidadãos têm sido facilmente infectados pelos vírus que o mosquito pode conter. A fêmea do *A. aegypti* alimentando-se, em geral, de sangue humano durante um único ciclo gonadotrófico e amplia a sua suscetibilidade de se infectar e transmitir os vírus possíveis. Somado a isso, a resistência dos ovos permite a manutenção do ciclo na natureza durante as variações climáticas sazonais, tendo em vista que podem permanecer em repouso por até 492 dias na seca, eclodindo posteriormente, no primeiro contato com a água (Silva; Silva, 1999; Powell; Tabachnick, 2013).

A atividade de hematofágica desse vetor acontece no período diurno. Após a ingestão sanguínea contaminada, há a infecção e replicação do vírus no intestino do mosquito, nesse estágio da hemolinfa, outros órgãos serão contaminados. O vírus é repassado para as filhas do mosquito já na primeira oviposição, e 100% das fêmeas nascidas terão potencial de transmissão de vírus como a dengue. Em uma segunda oviposição, 25% delas ainda poderão transmitir doenças (Campanelli, 2007).

A dengue é uma doença grave, semelhante à gripe, afeta bebês, crianças pequenas e adultos, mas raramente causa a morte. Deve-se suspeitar desta doença quando acontece febre

alta (40°C) acompanhada por dois dos seguintes sintomas: dor de cabeça intensa, dor atrás dos olhos, dores musculares e articulares, náuseas, vômitos, glândulas inchadas ou erupção cutânea. Os sintomas duram, geralmente, entre 2 a 7 dias, após um período de incubação de 4 a 10 dias após a picada do mosquito infectado. A forma mais intensa dessa doença, a do tipo hemorrágica, é potencialmente fatal devido ao vazamento de plasma, acúmulo de líquido, dificuldade respiratória, sangramento grave ou comprometimento em determinados órgãos. Os sinais de alerta ocorrem entre 3 a 7 dias após os primeiros sintomas, em conjunto com a diminuição na temperatura (abaixo de 38°C) e incluem: dor abdominal intensa, vômitos persistentes, respiração rápida, sangramento nas gengivas, fadiga, agitação e vômitos. As 24 a 48 horas do estágio crítico podem ser letais, e cuidados médicos adequados são necessários para evitar complicações e risco de morte. Não há tratamento específico para a dengue. Para a forma mais grave, a assistência médica experiente, tendo em vista os efeitos e a progressão rápida da doença, pode salvar vidas, sendo a remediação mais eficaz atualmente providenciada com a manutenção do volume de fluido corporal do paciente hospitalizado (Campos et al., 2015; WHO, 2019).

## 2. Objetivo

A proposta deste trabalho é realizar a regionalização das áreas com maior incidência de hospitalização por dengue no Estado da Bahia, região Nordeste do Brasil, apontando aquelas com maior potencial para adoecimento em correlação com fatores geográficos de cunho ambiental e socioeconômico. O conhecimento de tais parâmetros poderão subsidiar os esforços da administração pública para as regiões mais prioritárias e suscetíveis ao agravamento e debilidade dos infectados, diminuindo assim, o congestionamento dos serviços de saúde e o sofrimento dos enfermos.

## 3. Materiais e Métodos

### 3.1 3.1 Área de estudo

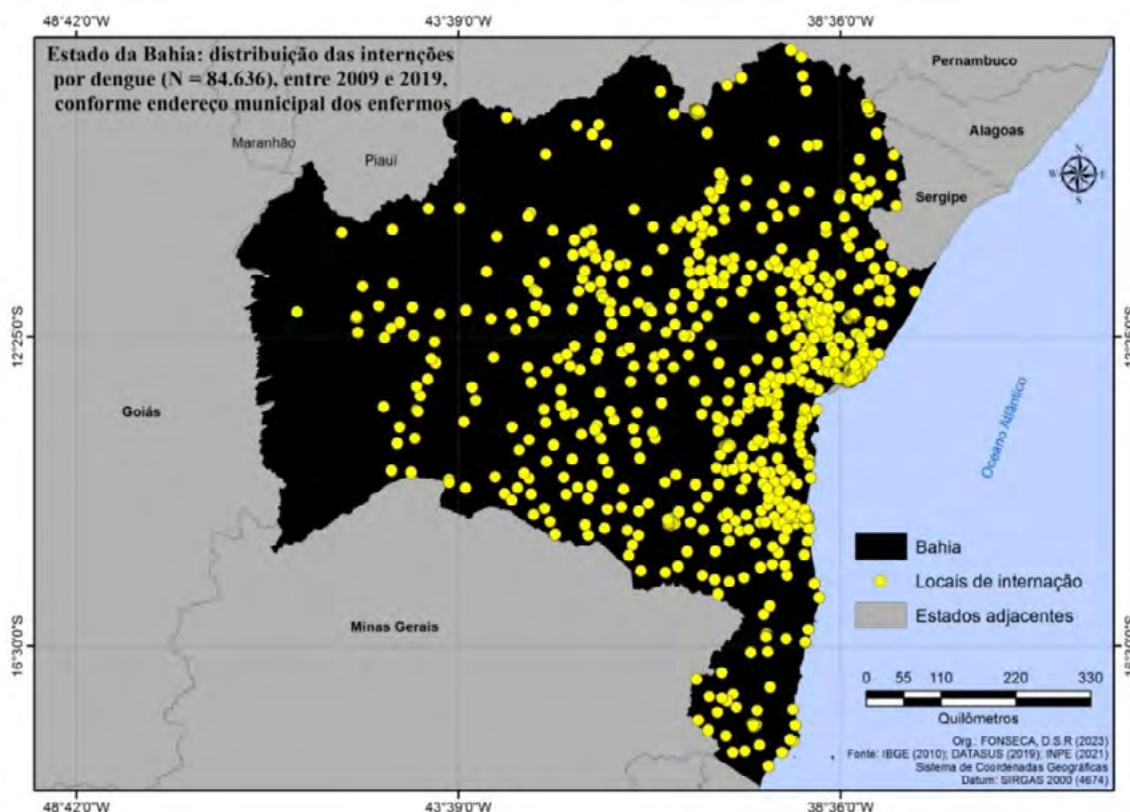
O território baiano encontra-se localizado na porção Nordeste do Brasil, região tropical do globo terrestre. A área total do Estado compreende 564,760 km<sup>2</sup>, e sua população atual, em 2024, está em torno de 14,1 milhões de habitantes distribuídos diferentemente em 07 mesorregiões (IBGE, 2022).

O Estado da Bahia apresenta genericamente nove regiões climáticas conforme a classificação de Köppen (1931), sendo estas: a tropical superúmida; tropical úmida; tropical savânica com chuvas no inverno; a tropical savânica com chuvas no verão; a região seca, ou semiárida seca; a temperada sem seca e com verão quente; a temperada sem seca e verão fresco; a temperada com inverno seco e verão quente; e a temperada com inverno seco e verão fresco. Nessa perspectiva, a Bahia detém características físicas que fazem distinguir aptidões socioeconômicas de uma região para outra.

Por ser um território da faixa tropical, é essencialmente um lugar de temperaturas médias quentes, em geral, com médias anuais em torno dos 31°C. A distribuição da estiagem no Estado acontece principalmente devido a fatores latitudinais e topográficos, os quais influenciam a atuação de massas de ar oceânicas e continentais (KÖPPEN, 1921; MEDEIROS et al., 2020).

A Bahia ocupa a 7ª posição na economia nacional, conforme seu produto interno bruto (PIB), o que mostra seu grau de desenvolvimento e nível de competitividade. Populacionalmente Quanto à população, a esperança de vida ao nascer dos seus cidadãos fica atualmente em torno dos 70 anos (FGV, 2021; IBGE, 2022; FMI, 2023).

Em meio a essa realidade, o estado da Bahia apresentou entre os anos 2009 e 2019, um total de 84.636 casos de internações por dengue, seguida, ocasionalmente por seus agravos, como a febre hemorrágica da dengue ou morte do enfermo. Aparentemente, conforme é mostrada na **Figura 1**, a distribuição dessas internações desenvolveu-se de forma homogênea, especialmente na porção leste do mapa, porém, com a relativização dos dados sobre dengue em relação ao número de habitantes por regiões, as observações podem confluir para um julgamento mais assertivo sob o ponto de vista geográfico das análises regionais (Haesbaert, 2014; Silva, 2023).



**Figura 1.** IBGE (2010); SIH-SUS/Datasus (Microdados,2020).  
Fonte: Autores, (2024).

### 3.2 Base de dados

O Sistema de Internações Hospitalares atendido pelo Sistema Único de Saúde (SIH/SUS) é um mecanismo informatizado que registra todos os atendimentos em internação financiados pelo SUS, a partir da Autorização de Internação Hospitalar (AIH). Os dados das AIH processados pelo SIH fornecem informações para todo o país, agregadas sob a forma de código de endereçamento postal (CEP), e consistiram no banco de dados principal para esta investigação sobre a proliferação da dengue.

O DATASUS disponibiliza mensalmente os microdados dessas autorizações, em formato *data base format* (DBF), para cada unidade da federação do país. Para efeitos deste estudo, optou-se por trabalhar com as internações no período de janeiro de 2009 a dezembro de 2019. A escolha por iniciar a análise a partir de 2009 se deveu à maior qualidade dos resultados, trabalhados num período superior a uma década, e, quanto à quantidade desses registros, o que denota um universo de dados mais incisivo. Foram concatenados, inicialmente, 6,8 mil arquivos em uma única base dados, o que possibilitou a seleção e a quantificação das internações de

interesse da pesquisa.

Para a geração de um sistema de informação geográfica (SIG) capaz de interligar informações sobre a expansão da dengue na escala municipal, utilizou-se a malha digital dos municípios brasileiros, adquirida junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), a qual disponibiliza os arquivos agrupados por estados, em formato *Shape File* (shp), os quais podem ser lidos pela maioria dos Sistemas de Informações Geográficas. Diversos estudos têm utilizado os dados do Serviço de Internações Hospitalares (SIH) para a análise e entendimento tanto das causas como das ações para vigilância e prevenção de doenças no Brasil (Hatusuka et al, 2015).

### 3.3 Procedimentos operacionais

A partir dos softwares ArcGIS, versão 10.1 e do QuantumGIS, versão 3.26.3, foi realizada a filtragem para os 84.636 casos de internações por dengue, os quais foram selecionados e tabulados, primeiramente, com as variáveis referentes à data, local de residência e sexo do internado(a). Nesses dados alfanuméricos, relativos às estimativas anuais do DATASUS, foi adicionada posteriormente a população municipal conforme o censo demográfico (IBGE, 2017), bem como as variáveis que compõem a classificação do Mapa Climas do Brasil (IBGE, 2002). Tendo esse banco de dados geográfico pré-estabelecido, por meio do Centro de Estudos da Metrópole (CEM, 2020) foi adquirida outra base cartográfica digital georreferenciada das sedes municipais brasileiras, a qual, a partir do código municipal em comum nas duas tabelas, estas foram concatenadas, formando um único banco de dados com variáveis adicionais, tais como: densidade demográfica, Produto Interno Bruto (PIB) e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), com base em dados do censo demográfico de 2010. Adicionalmente, por meio do Instituto de Pesquisas Aplicadas (IPEA, 2020), adquiriu-se o banco de dados contendo a classificação dos municípios brasileiros conforme seu porte, dados estes inseridos ao conjunto de variáveis do Sistema Geográfico de Banco de Dados (SGBD) formado. Adicionado por fim, dados referentes às mínimas e máximas da temperatura e precipitação das regiões de abrangência dos biomas brasileiros foram inseridos (INPE, 2022).

Seguidamente, foram calculadas as taxas médias de internação por dengue (TMI) durante o período de referência, entre 2009 e 2019, e taxas anuais de internações hospitalares (TAI) por dengue em função das características climáticas, umidade, biomas e porte dos municípios, através da seleção por atributos, ferramenta dos softwares de SIG manuseados. A fim de se obter estimativas consistentes e evitar flutuações indesejadas dessas TAI's, salienta-se que foram observadas as médias móveis quinquenais do número total de internações nos procedimentos envolvendo cálculo, isso feito para quase toda a série histórica analisada, exceto para os anos de 2018 e 2019, cujas médias foram obtidas com base nos quatro e três últimos valores anuais dos totais de internações registradas, respectivamente, conforme a localidade de residência do internado, gerando, ao final do processo, a taxa de internações por 1.000 habitantes.

As fórmulas de cálculo dessas taxas encontram-se expressas nas seguintes equações, na qual o  $n_{i,l}$  representa o total de internações registradas na localidade  $l$  no ano  $i$  e  $P_{i,l}$ , a população estima da localidade  $l$  no ano  $i$ :

$$TAI_{i,l} = \frac{5^{-1}}{P_{i,l}} \sum_{i=i-2}^{i+2} n_{i,l}$$

$$TMI_l = \frac{20^{-1}}{P_{10,l}} \sum_{00}^{19} n_{i,l}$$

No entanto, antes que fossem possíveis os resultados conclusivos finais, foi necessário manusear o banco de dados com as taxas de internação geradas, quando se procedeu com a transformação dessas taxas ( $x^3$ ) a fim de diferenciá-las de forma mais notável por regiões geográficas. Seguidamente, foi realizada a somatória destes dados, por localização, a fim de que esses dados fossem utilizados como pesos hierárquicos, com o propósito da delimitação das áreas mais propícias à internação por dengue.

Por meio do software *Stata Statistics Data Analsis*, versão 16, realizou-se análises estatísticas como: a análise descritiva e a regressão pelo método *StepWise* progressivo (Ayres, 2007; Almeida; Medronho; Valência, 2009; Martins, 2010). Este método de regressão linear múltipla (*StepWise*) foi produtivo para seleção automática das variáveis preditivas com maior peso ( $R^2$ ), por meio da sua significância estatística (CUNHA-CRUZ; NADANOVSKY, 2003). A partir da escolha das variáveis com maior poder explicativo, no ArcGIS, através da ferramenta - *Geostatistical Analyst, Geostatistical Wizard* - efetuou-se o método interpolativo da cokrigagem - para estimar as áreas sob efeito do agravo do número de infectados por dengue nos anos analisados (LANDIM, 2006), procedimento embasado na relação entre a distância dos pontos analisados e seu ajuste com as variáveis preditivas descritas (Utsumi; Galo; Tachibana, 2015).

#### 4. Resultados e Discussão

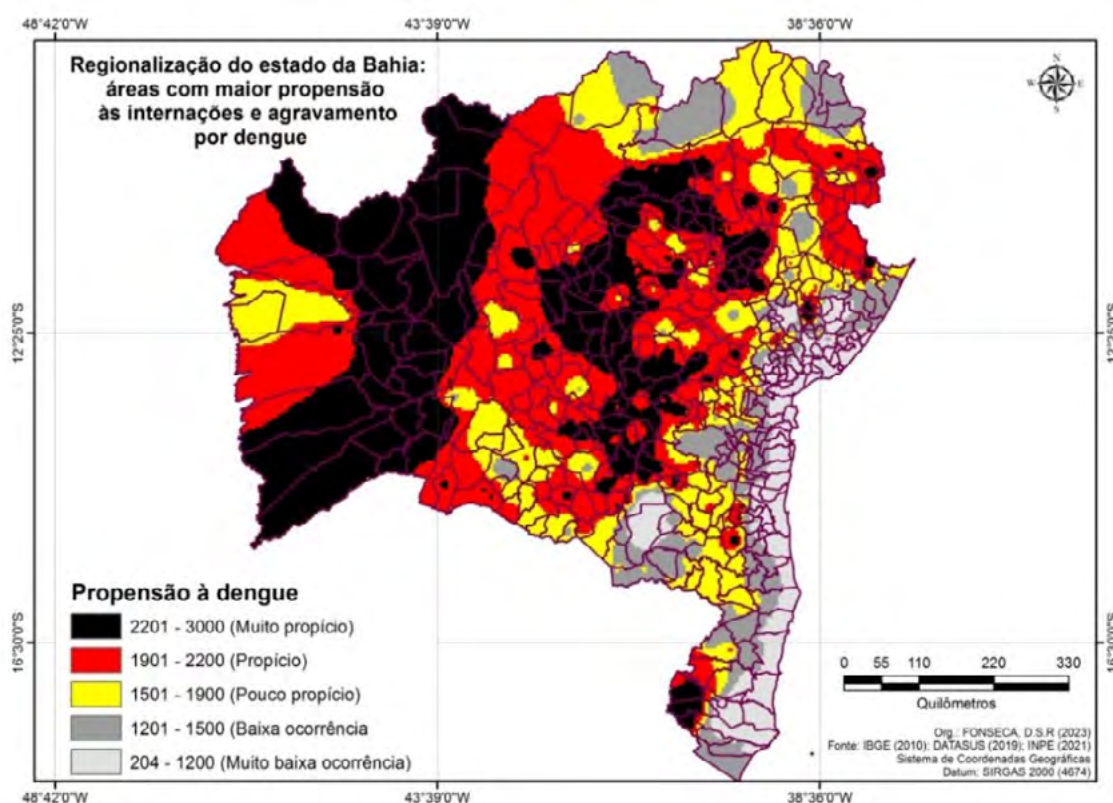
Os pesos gerados, quando submetidos à regressão progressiva como variável dependente (y), **Tabela 1**, pelo método *StepWise*, mostram que a maior variação anual da temperatura onde o paciente internado é residente ( $R^2 = 43\%$ ) em correlação a precipitação são capazes de explicar ( $R^2$ ) 69,2% da probabilidade das taxas de ocorrência das internações; o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e a altitude média quando unidos à análise acrescentam 18,4% à explicação citada, gerando o  $R^2$  final igual à 0,87 a partir da metodologia empregada.

**Tabela 1.** Modelo de regressão multifatorial (*StepWise* progressivo) para hierarquia das variáveis preditivas com maior poder explicativo para estimar a variável dependente (somatório das taxas de internação, por localidade, conforme: amplitude térmica anual, pluviosidade média, IDHM e altitude média das cidades).

Número de observações: 84.636					
V. Dependente (Y): taxas de internação (somatório = pesos)					
			p-valor	R <sup>2</sup>	Varição R <sup>2</sup>
			0,000	0,433	43
		Pluviosidade	0,000	0,692	25,9
	IDHM (2010)	Pluviosidade	0,000	0,854	16,2
Altitude (méd)	IDHM (2010)	Pluviosidade	0,000	0,876	2,2

Fonte: dados do IBGE (2010); IPEA (2020); SIH-SUS/Datasus (Microdados (2020); CEM (2020); INPE (2022). Org.: do Autor, 2024.

Por meio da maior ciência da correlação entre tais fatores corroborarem para a disseminação da dengue, providenciou-se a cokrigagem para modelagem das regiões sob o efeito do viés geográfico em relação à maior disseminação da hospitalização por essa doença, tal como é mostrado na **Figura 2** através da hierarquia de cores e regionalização do Estado da Bahia. A região em cor preta, a qual percorre o território baiano do norte ao sul de parte da porção oeste, e ainda, do norte ao sul de parte da porção leste - são as áreas mais propícias ao agravamento dos infectados por dengue, tendo em vista que os dados usados para realização deste trabalho correspondem às notificações de internação, e, tal fator por si só configura-se na complicação da enfermidade se for pensado que a maior parte dos casos, os mais simples da dengue, não chega a ser notificado pelos agentes públicos. As cidades envolvidas entre as mais propensas às complicações da enfermidade são, por exemplo: Cotengipe, Barra, Correntina, Muquem do São Francisco, Gavião, Seabra, Boa Vista do Tupim e Itanhém.



**Figura 2.** Cokrigagem para interpolação e estimativa das regiões por hierarquia dos pesos. Parâmetros multivariados para o resultado: pesos ( $y$ ), temperaturas, densidade demográfica e precipitação, no Estado da Bahia.

Fonte: dados do IBGE (2010); IPEA (2020); SIH-SUS/Datasus (Microdados (2020); CEM (2020); INPE (2022). Org. Autores, (2024).

Logo em seguida neste mesmo mapa, a região em cor vermelha, em segundo nível, é propícia a proliferação da enfermidade, levando à maior hospitalização dos enfermos. Essa segunda região segue o padrão tangencial ao da primeira região, funcionando empiricamente como um fator “buffer” ou um elo à primeira observação (região mais propícia). Cidades propensas, em tom vermelho no mapa da Bahia são, por exemplo: São Desidério, Palmas de Monte Alto, Gentio do Ouro, Barra da Estiva, Planaltino e Ribeira do Pombal. A realidade desses centros urbanos



pode estar relacionada à interdependência entre os locais, aos fluxos migratórios das pessoas a partir da área muito propícia até a outra, a propícia, ou vice versa. Em seguida, a região pouco propícia à proliferação do agravamento da dengue encontra-se em cor amarela, obedecendo a um comportamento espacial mais desvinculado à primeira região abordada, em preto, mas atuando vinculada à segunda região mapeada da Bahia, em vermelho, envolvendo cidades tais como, por exemplo: Luiz Eduardo Magalhães, Oliveira dos Brejinhos, Brumado e Chorrochó. Regiões de muito baixa ocorrência, ou de baixa ocorrência, encontram-se representadas nos dois tons de cinza do mapa a seguir, correspondendo às áreas localizadas, sobretudo, na porção litorânea, onde o regime das chuvas é mais equilibrado e o bioma predominante é a Mata Atlântica. Estas últimas têm como exemplos as cidades: Jequié, Conde, Alcobaça, Camaçari, Glória e Juazeiro.

## 5. Conclusões

Os dados apresentados mostram que existe forte relação espaço-temporal na propagação da dengue, a qual não ocorre de forma ubíqua e precisa ser analisada de modo estratégico quanto à escala de trabalho. As áreas mais propensas a maior ocorrência de pessoas doentes por dengue acontece em praticamente todo o Estado da Bahia, excluindo boa parte da faixa costeira.

O uso do método multifatorial StepWise progressivo, para seleção das variáveis preditivas com maior poder explicativo para explicação das taxas de internação por dengue ocorridas entre 2009 e 2019 mostrou-se eficiente, permitindo que fosse operacionalizada a cokrigagem a partir das variáveis com maior força sobre a variável dependente (y), a qual trouxe as regiões baianas sob maior probabilidade da ocorrência de infectados pela dengue. A partir desses parâmetros, a amplitude da temperatura onde o paciente internado é residente é capaz de explicar ( $R^2$ ) 43%% da probabilidade das taxas de ocorrência das internações por dengue; somado à precipitação, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) e à altitude média do local de residência chega-se a ( $R^2$ ) 89,6% dessa probabilidade de adoecimento e complicações advindas. O conhecimento dos locais mais críticos para infestação larvária e com maior número de pessoas doentes e internadas é fundamental para que se tomem medidas de mitigação para as anomalias epidêmicas.

## 6. Referências

- Ajus, L.C.; Vestena, L. Influência da pluviosidade e temperatura ambiente na longevidade e fecundidade dos *Aedes aegypti* e *Albopictus* na cidade de Guarapuava-PR e possibilidade de superinfestação. *Revista Hygeia*, v. 10, n. 18, p. 1-18, 2014.
- Almeida, A.S; Medronho, R.A.; Valência, L.I.O. Análise espacial da dengue e o contexto socioeconômico no município do Rio de Janeiro, RJ. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo, v. 43, n. 4, p. 666-673, 2009.
- Almeida, R. B.; Castro, M.B. Espacialização da dengue: indicadores socioespaciais e aspectos climáticos no processo saúde-doença. *Revista Ra'e Ga*, v.45, p. 200-213, 2018.
- Ayres, M. (2007). *BioEstat*. Versão 5.0. Belém: Soc. Civ. Mamirauá, MCT – CNPq.
- Barreto, M. L.; Teixeira, M. G. Dengue no Brasil: situação epidemiológica e contribuições para uma agenda de pesquisa. *Estudos avançados*, v. 22, n. 64, p. 53-72, 2008.
- Braga, I. A.; Valle, D. *Aedes aegypti*: histórico do controle no Brasil. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 16, n. 2, p. 113–118, 2007.
- Campbell, L. P. et al. Climate change influences on global distributions of dengue and chikungunya virus vectors. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological*, v. 370, n. 1665, p. 3-9, 2015.
- Campos, G. S; Bandeira, A. C.; Sardi, S. I. Zika virus outbreak, Bahia, Brazil. *Emerging Infectious Diseases*, v. 21 n. 10, p. 1885–1886, 2015.

Campos, M. B.; Macedo, D.R. Agrupamentos de emigração internacional no Brasil: o papel das redes sociais na formação dos espaços de emigração. *Geografia*, v. 39, n. 2, p. 257-272, 2014.

Carlos, A. F. A. A reprodução do espaço urbano como momento da acumulação capitalista. In: Carlos, A. F. A (Org). *Crise urbana*. São Paulo: Editora Contexto, p. 25-35, 2018.

Cem, Centro de Estudos da Metrópole. (2020). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (FFLCH-USP). Disponível em: <https://centrodametropole.fflch.usp.br/pt-br/quem-somos/quem-somos-missaoeobjetivos> Acessado em: 11 de julho de 2020.

Chaves, T. S. S; Pellini, A. C. G; Mascheretti, M; Jahnel, M. T; Ribeiro, A. F; Rodrigues, S. G; Vasconcelos, P. F. C.; Boulos, M. Travelers as sentinels for Chikungunya Fever, Brazil. *Emerging Infectious Diseases*, v. 18, n. 3, p. 529-530, 2012.

Consoli, R. A. G. B.; Oliveira, R. L. (2012). Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil. Rio de Janeiro: FioCruz; 1994, 228p. Disponível em: <http://static.scielo.org/scielobooks/th/pdf/consoli-9788575412909.pdf>. Acessado em 26 de janeiro de 2018.

Costa, Z. G. A; Romano, A. P. M; Elkhoury, A. N. M.; Flannery, B. Evolução histórica da vigilância epidemiológica e do controle da febre amarela no Brasil. *Revista Pan-Amazônica de Saude*, v. 2, n. 1, p. 11–26, 2010.

Cunha-Cruz, J; Nadanovsky, P. Doenças periodontais causam doenças cardiovasculares? Análise das evidências epidemiológicas. *Caderno de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p. 357-368, 2003.

FMI, Fundo Monetário Internacional. Disponível em: <https://www.imf.org/en/Search#q=economic%20position&sort=relevancy>. Acessado em 11 de julho de 2023.

Fonseca, D.S.R. (2021). A correspondência entre o *Aedes Aegypti* e o adoecimento pela dengue conforme os atributos espaciais do ambiente urbano. Tese (doutorado). Programa de Pós-graduação do Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 283p.

Fonseca, D.S.R.; Braz, C.K.R. Investigação epidemiológica da distribuição geográfica do *Aedes aegypti* na cidade de Montes Claros com uso de geotecnologia. *Brazilian Journal of Cartography*, v.62, n. 03, p. 489-503, 2010.

Fonseca, D.S.R; Braz, C.K.R.; Garcia, R.A. O viés geográfico para o adoecimento e internação por dengue: uma regionalização do Brasil, entre os anos 2009 e 2019, por meio de múltiplos fatores espaciais. *GEOgraphia*, v. 26, n. 56, p. 1-21, 2024.

Fonseca, D.S.R; Garcia, R.A. Zoneamento das áreas com maior propensão para adoecimento pela dengue na região intra-urbana de Montes Claros (MG) a partir de variáveis socioambientais e geoestatística. *GEOgraphia*, v. 23, n. 50, p. 1-22, 2021.

Forestgeo. Disponível em <https://forest-gis.com/2015/10/classificacao-climatica-de-koppen-geiger-em-shapefile.html/>. Acessado em 10 out. de 2023.

Gubler, D. J.; Kuno, G. *Dengue and dengue hemorrhagic fever*. New York: CAB International, p. 45-60, 1997.

Haesbaert, R. *Regional-global: dilemas da região e regionalização na Geografia contemporânea*. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

Hatusuka M. F. B.; Arruda, G. O.; Fernandes, C. A. M.; Marcon, S. S. Análise da tendência das taxas de internações por pneumonia bacteriana em crianças e adolescentes. *Acta Paulista de Enfermagem*, v. 28, n. 4, p. 294–300, 2015.

Hissa, C. E. V. *A mobilidade das fronteiras: inserções da geografia na crise da modernidade*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002, 316p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. *Mapa de clima do Brasil 1: 500.0000*. Rio de Janeiro: IBGE; 2002.

IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Bases e referenciais. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>. Acessado em 30 ago. de 2017.

IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. *Cidades* (2017). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/montes-claros/panorama>. Acesso em: 05 de dezembro de 2017.

- IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acessado em 16 out. de 2023.
- IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Prévia do Censo 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/noticias-por-estado/35954-brasil-tem-207-8-milhoes-de-habitantes-mostra-previa-do-censo-2022>. Acesso em: 29 de dezembro de 2022.
- IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Resultados: censo 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>. Acessado em 30 ago. de 2017.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: <http://cancedados.cptec.inpe.br>. Acesso em: 12 de julho de 2022.
- IPEA, Instituto De Pesquisas Econômicas Aplicadas. Secretaria de Assuntos Estratégicos. IPEAGEO: Bases. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/ipeageo/bases.html>. Acessado em: 30 ago. de 2020.
- Jentes, E. S.; Poumerol, G.; Gershman, M. D.; Hill, D. R.; Lemarchand, J.; Lewis, R. F.; Staples, J. E.; Tomori, O.; Smith, A. W.; Monath, T. P. The revised global yellow fever risk map and recommendations for vaccination, 2010: consensus of the Informal WHO Working Group on Geographic Risk for Yellow Fever. *The Lancet*, v. 11, p. 622-632, 2011.
- Köppen, W. *Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science*. Berlin: Walter de Gruyter, 1931, p.388.
- Köppen, W.; Geiger, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlagcondicionadas. Justus Perthes, 1928, p.270.
- Lacon, G; Morrison, A. C; Astete, H; Stoddard, S. T; Paz-Soldan, V. A.; Elder, J. P. Shifting patterns of *Aedes aegypti* fine scale spatial clustering in Iquitos, Peru. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, v. 8, n. 8, p. 1-13, 2014.
- Landim, P.M.B. Sobre Geoestatística e mapas. *Terra e Didática, Campinas*, v.2, n.1, 2006, p.19-33.
- Lussault, M. Constructivisme. In: LÉVY, J.; LUSSAULT, M. (orgs). *Dictionnaire de Géographie et de l' espace des sociétés*. Paris: Belin, 2003, 1128p.
- Magnusson, W. E. Estatística, delineamento e projetos integrados: a falta de coerência no ensino e na prática. *Brazilian Journal of Ecology*, v. 3, n. 1, 1999, p. 37-40.
- Martins, G. A. *Estatística geral e aplicada*. São Paulo: Atlas, 2010, 421p.
- Medeiros, R.M; Cavalcanti, E.P.; Duarte, J.F.M. Classificação climática de Köppen para o estado do Piauí – Brasil. *Revista Equador*, v. 9, n. 3, p. 82-99, 2020.
- Miller, B. R.; Ballinger, M. E. *Aedes albopictus* mosquitoes introduced into Brazil: vector competence for yellow fever and dengue viruses. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 82, n. 3, p. 476-477, 1988.
- Moreno, E. S.; Barata, R. C. B. Methodology for definition of yellow fever priority areas, based on environmental variables and multiple correspondence analyses. *PLoS Biology*, v. 6, n. 7, p. 1-7, 2012.
- Neves, D. P. *Parasitologia humana*. São Paulo: Atheneu, 2005.
- Oliveira, M.M.F. A dengue em Curitiba/PR: uma abordagem climatológica do episódio de março/abril – 2002 . *Revista RA'E GA*, n. 8, p. 45-54, 2004.
- Oliveira, R. L. *Biologia e Comportamento do vetor*. In: Valle, D.; Pimenta, D. N.; Cunha, R. V. *Dengue: teorias e práticas*. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2015. p. 75-92, 2015.
- Pablo, C. T. L. *Cartografia ecológica: conceptos e procedimientos para la representación espacial de ecosistemas*. *Boletín de la Real Sociedad Española de la Historia Natural Sección Geológica*, v. 96, n. 1/2, p. 57-68, 2000.
- Pompo, A. P. M. M. *Aedes aegypti*: morfologia, morfometria do ovo, desenvolvimento embrionário e aspectos relacionados à vigilância entomológica no município de São Paulo. Tese (doutorado). Programa de Pós-graduação em Anatomia dos Animais Domésticos e Silvestres da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016, 133p.
- Powell, J. R.; Tabachnick, W. J. History of domestication and spread of *Aedes aegypti* - A Review. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, v. 108, n. 1, p. 11-17, 2013.

- Raju, A. Community mobilization in *Aedes aegypti* control programme by source reduction in Peri-urban district of Lautoka, Viti Levu, Fiji Islands. *Dengue Bulletin*, v. 27, p. 149-155, 2003.
- Rizzi, C. B; Rizzi, R. L; Pramiu, P. V; Hoffmann, E.; Codeço, C. T. Considerações sobre a dengue e variáveis de importância à infestação por *Aedes aegypti*. *Hygeia*, v. 13, n. 24, p. 24-40, 2017.
- Santos, A.; Marçal Júnior, O. Geografia do dengue em Uberlândia (MG) na epidemia de 1999. *Caminhos de Geografia*, v. 3, n. 11, p. 35-52, 2004.
- Sawyer, D. O.; Leite, I. C.; Alexandrino, R. Perfis de utilização de serviços de saúde no Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 7, n. 4, p. 757-776, 2002.
- Silva, A. M; Silva, R. M; Almeida, C. A. P.; Chaves, J. J. S. Modelagem Geoestatística dos casos de dengue e da variação termoplúviométrica em João Pessoa, Brasil. *Sociedade & Natureza*, v. 27, n. 1, p. 157-169, 2015.
- Silva, J. S; Mariano, Z. F.; Scopel, I. A dengue no Brasil e as políticas de combate ao *Aedes aegypti*: da tentativa de erradicação às políticas de controle. *Hygeia*, v.3, n. 6, p. 163-175, 2008.
- Silva, L.L.S. A excepcionalidade da paisagem e do lugar: a transcendência da (i)materialidade por meio da mediação de subjetividades. Belo Horizonte, MG: Letramento, 2023.
- Sinan, Sistema de Informação de Agravos de Notificação. Disponível em: <http://portalsinan.saude.gov.br/sinan-dengue-chikungunya>. Acessado em 26 de agosto de 2019.
- Utsumi, A.G; Galo, M.L.B.T; Tachibana, V.M. Mapeamento de cianobactérias por meio da fluorescência da ficocianina e de análise geoestatística. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.19, n.3, p. 273-279, 2015.
- Who, World Health Organization. Dengue and severe dengue. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>. Acessado em 21 de março de 2019.
- Who, World Health Organization. Zika: Public Health Emergency of International Concern. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/zika-virus/en/>. Acessado em 19 de março de 2019.
- Zara, A. L. S. A; Santos, S. M; Fernandes-Oliveira, E. S; Carvalho, R. G.; Coelho, G. E. Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 25, n. 2, p. 391-404, 2016.

## **Plataforma de inteligência territorial de apoio ao desenvolvimento da Agricultura Familiar na Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e Entorno**

Jaudete Daltio <sup>1</sup>  
Salette Gürtler <sup>1</sup>  
Lucíola Alves Magalhães <sup>1</sup>  
André Rodrigo Farias <sup>1</sup>  
Marcelo Fernando Fonseca <sup>1</sup>  
Hilton Luís Ferraz da Silveira <sup>1</sup>  
Paulo Martinho <sup>1</sup>  
Carlos Alberto de Carvalho <sup>1</sup>  
Rafael Mingoti <sup>1</sup>  
Fabrício Tomaz Ramos <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa  
Av. Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão  
13070-115 – Campinas – SP, Brasil  
{jaudete.daltio, luciola.magalhaes, andre.farias, marcelo.fonseca, hilton.ferraz,  
paulo.martinho, carlos-alberto.carvalho, rafael.mingoti}@embrapa.br  
salette.gurtler@colaborador.embrapa.br

<sup>2</sup> Empresa Mato-Grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural - Empaer  
Rua Agrônomo Arnaldo Duarte Monteiro, 196. Ed. Engenheiro José Morbeck, 3º Andar  
78049-050 - Cuiabá - MT  
fabricioramos@empaer.mt.gov.br

**Resumo.** A agricultura familiar representa um pilar fundamental da estrutura econômica e social do Brasil, sendo responsável por uma parte significativa da produção nacional de alimentos, além de desempenhar um papel crucial na promoção da segurança alimentar no País. Na Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e Entorno, este segmento é representado por cerca de 28.000 famílias residentes no meio rural, organizadas em 10.547 estabelecimentos agropecuários. Seu fortalecimento depende do apoio de políticas públicas, capazes de compreender especificidades regionais e criar mecanismos eficientes de desenvolvimento e consolidação do setor. Neste contexto, foi estabelecida uma parceria entre a Empresa Mato Grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (EMPAER) e a Embrapa, com o objetivo de estruturar uma plataforma digital para integrar dados de diferentes dimensões territoriais para a caracterização da região e, principalmente, oferecer funcionalidades para análises de inteligência que subsidiem políticas públicas e investimentos locais. A solução foi estruturada a partir do conceito de inteligência territorial estratégica, que prevê a organização temática de dados espaciais em cinco grandes quadros: natural, agrário, agrícola, de infraestrutura e socioeconômico. Espera-se que a plataforma possa ser utilizada para subsidiar ações de gestão territorial de organizações públicas e privadas por meio da tipificação dos municípios da região em função dos seus potenciais ambientais e produtivos, apoiando instituições de pesquisa, órgãos de planejamento, gestão e de assistência técnica rural.

**Palavras-chave:** desenvolvimento rural, análise espacial, políticas públicas, inteligência territorial estratégica.

**Abstract.** Family farming represents a fundamental pillar of Brazil's economic and social structure, being responsible for a significant portion of the national food production and playing a crucial role in promoting food security in the country. In the Metropolitan Region of Vale do Rio Cuiabá and Surroundings, this segment encompasses approximately 28,000 families residing in rural areas, organized into 10,547 agricultural establishments. The strengthening of this segment depends on the support of public policies capable of understanding regional specificities and creating effective mechanisms for the development and consolidation of the sector. In this context, a partnership was established between the Mato Grosso Company of Rural Research, Assistance, and Extension (EMPAER) and Embrapa, to structure a digital platform to integrate data of different territorial dimensions to characterize the region and mainly offer intelligence analysis functionalities to support public policies and local investments. The solution was structured based on the concept of strategic territorial intelligence, which provides for the thematic organization of spatial data into five major frameworks: natural, agrarian, agricultural, infrastructure, and socioeconomic. We expect the platform to be used to support territorial management actions by public and private organizations through the typification of the region's municipalities based on their environmental and productive potential, thus supporting research institutions, and organizations responsible for rural planning, management, and technical assistance.

**Key-words:** rural development, spatial analysis, public policies, strategic territorial intelligence.

## 1. Introdução

A agricultura familiar representa um pilar fundamental da estrutura econômica e social do Brasil, sendo responsável por uma parcela significativa da produção nacional de alimentos. De acordo com o Censo Agropecuário de 2017 IBGE, (2019), 3,8 milhões de estabelecimentos agropecuários no Brasil são de agricultura familiar, o que representa 77% do total de estabelecimentos no País. Além disso, a agricultura familiar reúne 66% do total de pessoas ocupadas na agropecuária, abrangendo mais de 11,6 milhões de pessoas em diferentes atividades produtivas. É responsável pela produção de uma gama diversificada de alimentos, com elevada participação no volume total de vários produtos: 70% da mandioca, 51% dos suínos, 64% do leite de vaca, 46% do efetivo de aves e 38% do café em relação ao total nacional Embrapa, (2022).

Este cenário de diversidade produtiva pode ser observado, com algumas particularidades, nas várias regiões e biomas do Brasil. No Mato Grosso, na Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e Entorno (RMVRCE) habitam mais de 1 milhão de pessoas. Dessas, quase 50 mil pessoas estão ocupadas em estabelecimentos agropecuários IBGE, (2019). Em sua maioria, são agricultores familiares e comunidades tradicionais, quilombolas e indígenas com pequenas áreas disponíveis para manejo agropecuário (em média, menos de 80 ha por propriedade) MDA, (2015). Esses "pequenos agricultores", que atuam geralmente em regime de colaboração familiar, representam cerca de 80% dos estabelecimentos rurais e aproximadamente 28.000 famílias, e são responsáveis por garantir parte de produtos hortifrútiis consumidos, sobretudo, maxixe, mandioca, jiló, quiabo, abobrinha, feijão de vagem, tomate, frutos cítricos, dentre outras dezenas de hortifrútiis Ferro; Vechi, (2014).

Um dos grandes desafios desses produtores é garantir constância, quantidade e qualidade dos produtos “in natura” ou “processados” para comercialização. Atualmente, acima de 50% dos hortifrútiis consumidos em Mato Grosso são adquiridos por muitos varejistas e atacadistas de outros estados brasileiros, dado o descompasso entre a demanda, a baixa produção e a sazonalidade de produtos. O cenário oscila entre um risco de desabastecimento estadual, capaz de gerar uma situação de insegurança alimentar, e uma elevação dos custos, repassados aos consumidores. Aumentar a produtividade das cadeias produtivas vocacionais da agricultura familiar, adotando boas práticas de produção e tecnologias agrícolas melhoradas e inteligentes em relação ao clima, logística e outros fatores impactantes, é uma questão estratégica para esse setor.

Outra questão importante relatada na região é o êxodo da juventude rural. A ausência

de políticas públicas adequadas para esse segmento, que visem gerar renda e incentivá-los a permanecer em suas comunidades no campo, faz com que os jovens se desinteressem em dar continuidade à agricultura familiar e busquem oportunidades nos centros urbanos. Fomentar o interesse dos jovens filhos de agricultores familiares por meio do aprendizado de novas tecnologias e práticas agrícolas, aplicadas em projetos coordenados por eles em conjunto com suas famílias, também é de extrema importância para a manutenção da agricultura familiar na região.

Ambos os desafios apenas serão mitigados por meio da convergência de esforços entre os órgãos fomentadores, planejadores e executores. Nesse contexto, a Empresa Mato-Grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (Empaer-MT) estabeleceu uma parceria com a Embrapa Territorial para fomentar o desenvolvimento da agricultura familiar na RMVRCE, por meio de iniciativas conjuntas para o levantamento de dados primários e secundários e na execução colaborativa de diagnósticos estruturados em nível regional. Essa cooperação tem a Fundação André e Lúcia Maggi (FALM) como agente financiador e viabilizadora da proposta.

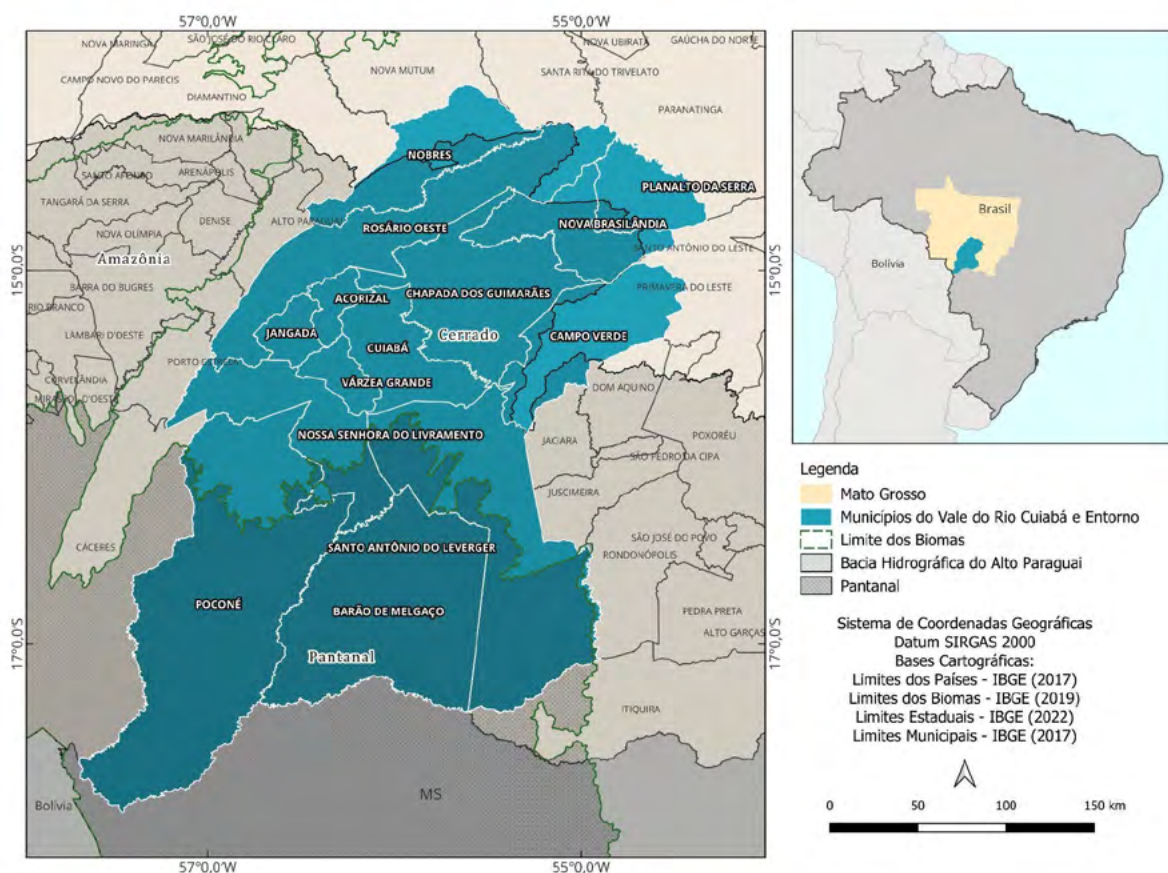
## 2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados obtidos no âmbito da parceria entre a Embrapa e a Empaer-MT para a estruturação de uma plataforma digital destinada a apoiar a definição de ações prioritárias no plano de desenvolvimento da agricultura familiar na região da RMVRCE. A plataforma visa integrar dados secundários sobre múltiplas temáticas relevantes para a caracterização da região, permitindo a correlação entre eles. O processo de estruturação da plataforma abrange, além da seleção dos dados, etapas de curadoria, agregação, espacialização e modelagem dos dados. Espera-se que a plataforma possa contribuir para a tipificação dos municípios em função de seu potencial para inclusão produtiva e socioambiental, além de apoiar a elaboração de planos de desenvolvimento territorial voltados para a fixação do jovem no campo, dentre outras ações de fomento regional.

## 3. Material e Métodos

### 3.1. Área de Estudo

A Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá foi instituída em 2009 pela lei complementar estadual nº 359, alterada pela lei complementar nº 577/2016 e pela lei complementar nº 796/2024 Mato Grosso, (2024). A região é composta pelos municípios de Cuiabá, Várzea Grande, Nossa Senhora do Livramento, Santo Antônio de Leverger, Acorizal e Chapada dos Guimarães. A lei também define o entorno metropolitano, formado pelos municípios de Barão de Melgaço, Jangada, Nobres, Nova Brasilândia, Planalto da Serra, Poconé e Rosário Oeste. Essa delimitação territorial, composta por 13 municípios e o município de Campo Verde é a área de estudo do projeto, **Figura 1**. Como pode ser observado, a RMVRCE está inserida entre os biomas Cerrado (58%) e Pantanal (42%). Apesar da menor representatividade no bioma Pantanal, todos os municípios estão inseridos total (9 municípios) ou parcialmente (5) na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai, que abrange 88% da área. As áreas de maior altitude (planaltos, não alagáveis) abrigam a maioria dos afluentes e cabeceiras dos rios do Pantanal Ana, (2015). A grande maioria dos problemas ambientais que afetam o Pantanal, inclusive, são gerados no Planalto e na Depressão Irigaray et al. (2020).



**Figura 1.** Área de Estudo - Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e Entorno (RMVRCE).

### 3.2. Sistemas de Inteligência Territorial Estratégica

Um dos maiores desafios atuais na gestão territorial é o gerenciamento do conhecimento para o planejamento e monitoramento de políticas públicas, bem como de ações privadas que visam integrar múltiplas áreas do conhecimento dentro de uma perspectiva colaborativa com os diversos atores da sociedade. A organização dos dados sobre o território viabiliza análises atualizadas, permitindo o estabelecimento de um planejamento estratégico que busque melhorar as condições sociais, econômicas e ambientais de uma região.

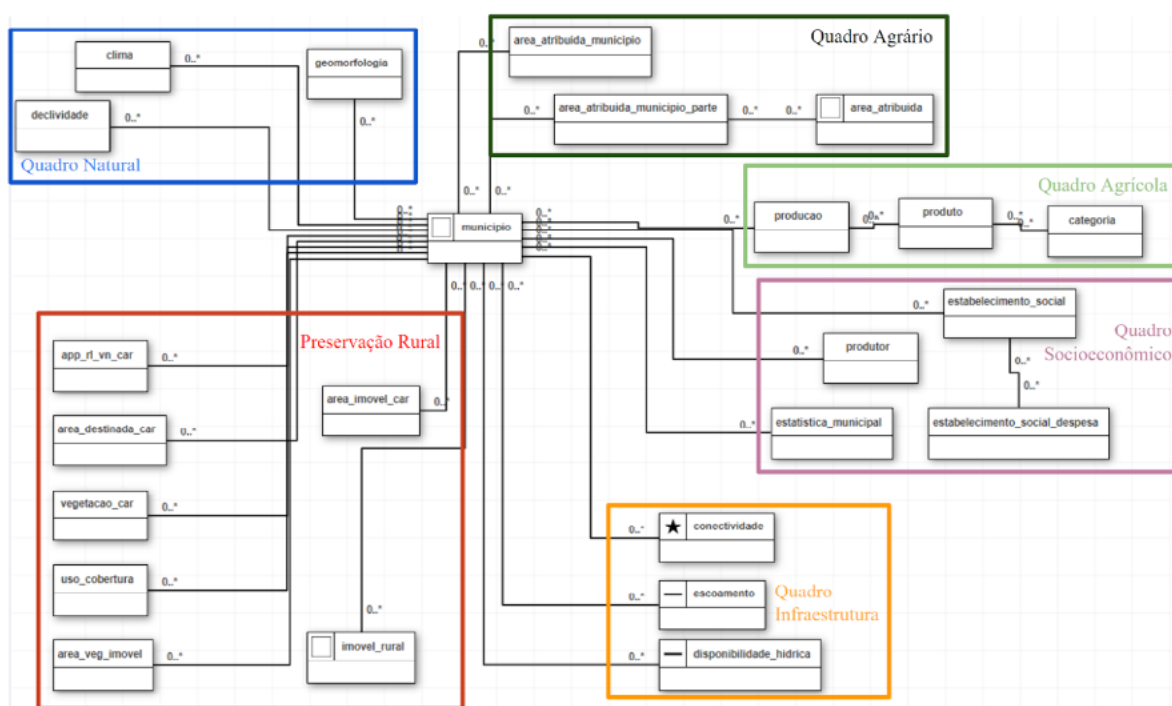
A inteligência territorial estratégica (ITE) se apresenta como uma ferramenta para este fim e envolve o uso de dados geográficos, tecnologias geoespaciais e análises territoriais para compreender e tomar decisões relacionadas ao espaço geográfico (Locatel, 2023). Atualmente, o termo ITE tem sido usado dentro de uma perspectiva colaborativa, ou seja, com a participação de diversos atores da sociedade e dentro de uma visão mais abrangente. A análise integrada de dados espaciais relativos aos quadros natural, agrário, agrícola, de infraestrutura e socioeconômico é a base dos Sistemas de Inteligência Territorial Estratégica (SITE) idealizados pela Embrapa (Miranda et al., 2014; Magalhães et al., 2021). Este foi o conceito adotado para estruturar a plataforma de fortalecimento da agricultura familiar da RMVRC.

### 4. Resultados e Discussão

A plataforma foi desenvolvida a partir de um amplo conjunto de dados espaciais, estruturados em um mesmo mecanismo de gerenciamento de dados. Devido à sua natureza, a componente



espacial foi considerada o elemento integrador entre as temáticas envolvidas. A (Figura 2) apresenta uma visão geral do diagrama de dados construído para a plataforma. Como pode ser visto, o município foi elencado como entidade central, sendo a ponte que viabiliza o cruzamento de dados entre múltiplos quadros temáticos. O diagrama apresenta também a organização das relações entre os diferentes temas dentro de cada um dos quadros (natural, agrário, agrícola, infraestrutura e socioeconômico). Um sexto conjunto de dados, referente ao tema ‘preservação rural’, agrega análises de dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Nesta representação gráfica da (Figura 2), as entidades espaciais são representadas com um símbolo ao lado esquerdo de seus rótulos que indicam o tipo de geometria espacial: a estrela indica geometrias do tipo ponto, a linha indica tipo linha, e quadrado indica tipo polígono.



**Figura 2.** Modelagem de dados da plataforma e sua organização por quadros temáticos.

A primeira etapa na materialização deste diagrama foi a escolha do escopo temporal da malha municipal. Entre os municípios da RMVRCE, sete tiveram alterações em seus limites territoriais entre 2017 e 2022 IBGE, (2022), ano da última malha municipal divulgada pelo IBGE. Essas alterações envolveram tanto perda quanto acréscimo de áreas entre os municípios da RMVRCE. As maiores alterações em termos de área foram no município de Cuiabá e Santo Antônio de Leverger que, em 2017, englobava uma porção do município que hoje (2022) pertence ao município de Jaciara.

Apesar destas recentes alterações, optou-se por adotar os limites municipais do IBGE de 2017 por questões de compatibilidade. Ocorre que o último Censo Agropecuário, de 2017, foi a principal fonte de dados adotada, dada a quantidade de qualificadores acerca dos estabelecimentos agropecuários, dos produtores, indicadores de economia e emprego no meio rural, pecuária, lavoura e agroindústria. Como esses dados são discriminados por município, os limites municipais necessitam ser compatíveis com o mesmo ano.

A partir dos dados organizados, iniciou-se o desenvolvimento e estruturação da plataforma de hospedagem e visualização das informações. A (Figura 3) apresenta uma visão geral de sua

organização, que está disponível<sup>1</sup> para acesso público no portal da Embrapa. A plataforma foi organizada em páginas temáticas, dedicadas para cada um dos quadros e ao tema preservação rural.



**Figura 3.** Visão geral da plataforma.

Cada página temática possui um conjunto de painéis interativos que organiza o conteúdo em mapas, gráficos e tabelas, permitindo a aplicação de consultas/filtros e download em diferentes formatos, além de textos explicativos de apoio e referência. A seguir, serão apresentadas as principais informações contempladas em cada página e os principais resultados analíticos.

#### 4.1. Quadro Natural

O quadro natural apresenta dados de precipitação e temperatura, variáveis que influenciam diretamente no balanço hídrico e, conseqüentemente, na aptidão climática para as diversas culturas Alvares et al. (2015) da RMVRCE. Além desses, o quadro agrega dados de altitude coletadas pela missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e tratadas pelo Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, onde também foram calculadas métricas de declividade de acordo com as classes de aptidão da Embrapa Valeriano, (2005).

As condições naturais de clima e de topografia impõem restrições e oportunidades ao desenvolvimento da agropecuária na região. Altas declividades oferecem limitações ao emprego de maquinários e exigem maiores cuidados no controle da erosão, enquanto que o regime pluviométrico e de temperatura determinarão os calendários agrícolas e os períodos críticos para as diversas fases de desenvolvimento das culturas Ramalho Filho e Beek, (1995). Além dos problemas relacionados à redução da produtividade agrícola, o planejamento rural é importante para a redução do impacto ambiental pelo manejo inadequado. Problemas de erosão do solo nas pastagens degradadas e a susceptibilidade natural à erosão dos solos do planalto têm sido apontados como um fator preocupante na deposição de sedimentos na planície pantaneira

<sup>1</sup> <https://www.embrapa.br/baixada-cuiabana>

e o conseqüente assoreamento dos rios nessas áreas de menor altitude.

Geograficamente, a RMVRCE corresponde a uma faixa de transição no sentido Norte-Sul, entre a área mais alta e mais úmida da Chapada dos Guimarães e as planícies e pantanais mato-grossenses, mais baixa e mais seca. A região apresenta altitudes acima dos 900 m (Chapada dos Guimarães) e abaixo de 150 m. Em regiões intermediárias, como no município de Cuiabá e, em parte do município Chapada dos Guimarães, as faces da escarpa apresentam-se com elevada declividade e variação altimétrica abrupta. Por conta disto, as porções mais altas e planas apresentam melhores aptidões para a culturas anuais tecnificadas, enquanto que as porções mais baixas, com relevo mais movimentado, concentram uma agricultura com menor nível de manejo.

Do ponto de vista climático, a região do vale costuma registrar um período chuvoso entre outubro e março, caracterizado por um excedente hídrico, com precipitações médias acima dos 150 mm, concentrando também a safra principal, além de um período seco de cinco meses de déficit no balanço hídrico.

#### **4.2. Quadro Agrário**

O quadro agrário apresenta as áreas legalmente atribuídas composto pelas Unidades de Conservação (UC) de proteção integral ou de uso sustentável (Ministério do Meio Ambiente - MMA; Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio), Terras Indígenas (Fundação Nacional dos Povos Indígenas - FUNAI), Assentamentos da reforma agrária e as Comunidades Quilombolas (Instituto Nacional de Colonização de Reforma Agrária - INCRA). Estas áreas foram oficialmente decretadas ao longo dos últimos 55 anos, por deliberações, decretos e atos de diversos órgãos e instâncias administrativas da Federação.

Até setembro de 2023, a RMVRCE contava com 96 áreas legalmente atribuídas, somando mais de 1,4 milhão de hectares, já descontadas as sobreposições, o que representa uma extensão territorial correspondente a cerca de 18% da área de estudo. O município de Rosário Oeste, ao norte da região, engloba pelo menos um quarto desse conjunto de áreas, com destaque para a Área de Proteção Ambiental (APA) das Cabeceiras do Rio Cuiabá e inúmeros assentamentos localizados na parte central de seu território. Do quadro agrário, as UCs se constituem na categoria mais representativa em termos de área (70%), seguidas pelos Assentamentos (22%) que, por sua vez, possuem cerca de 6 mil famílias assentadas nos 14 municípios analisados.

#### **4.3. Quadro Agrícola**

O quadro agrícola representa a diversidade de produtores e de produtos, abrangendo desde a agricultura intensiva e extensiva até a agricultura familiar e as práticas de comunidades tradicionais. Embora a produção agropecuária da região represente uma participação modesta na balança comercial do Mato Grosso (aproximadamente 5%, segundo o Censo Agropecuário de 2017), sua relevância é notável no que tange à garantia da segurança alimentar e à sustentação econômica das famílias locais.

Os produtos de maior significância na região, tanto em termos de volume produzido quanto de valor de produção, incluem o milho, a mandioca, a banana e o feijão, entre outros alimentos essenciais para o abastecimento da população. Os dados apresentados neste quadro agrícola são provenientes do Censo Agropecuário de 2017 e foram selecionados para destacar os produtos de maior relevância para a agricultura familiar, excluindo aqueles produzidos em larga escala e direcionados principalmente para o mercado externo.

Em termos de quantidade de estabelecimentos, a avicultura, especificamente galos e galinhas, possui a maior participação, com 10.770 estabelecimentos em um universo de 16.115,

seguida pela criação de bovinos e suínos. Esses números destacam a importância da avicultura na economia local, bem como a significativa presença da pecuária, que também desempenha um papel crucial no sustento das famílias da região. Já em termos de Valor da Produção, a pecuária bovina se sobressai, assumindo a maior participação com R\$ 735 milhões registrados no Censo Agropecuário de 2017.

A diversidade agrícola da região é expressa através do cultivo de 96 produtos distintos, distribuídos em nove categorias temáticas: hortaliças (frutos ou partes), hortaliças (folhas, flores e talos), hortaliças (raízes, bulbos e tubérculos), fruticultura, grãos, pecuária, produtos de pecuária, outras culturas e extrativismo. Esta amplitude de produtos permite uma avaliação detalhada da vocação agrícola de cada município pertencente a RMVRCE, promovendo uma compreensão mais clara das especificidades locais. Essa diversidade é materializada em termos locais, sendo que cada município apresenta uma estrutura produtiva particular.

#### **4.4. Quadro Infraestrutura**

O quadro de infraestrutura apresenta informações-chave para o fortalecimento da agricultura e a fixação do jovem no campo, como eletrificação, acesso à água e conectividade rural. Na RMVRCE, a distância das sedes dos estabelecimentos agropecuários (Censo Agropecuário 2017) até alguma via (estrada, rua ou rodovia) varia significativamente entre os municípios. Em Nova Brasilândia, 50% das sedes estão a mais de 1 km de alguma via, enquanto em Poconé, apenas 3% das sedes estão nessa condição. Variabilidade semelhante foi constatada em relação à cobertura de internet móvel nas áreas dos imóveis rurais (SiCAR 2021). Em Acorizal, apenas 28% das áreas dos imóveis não possuem cobertura de internet móvel, enquanto em Barão de Melgaço, 95% das áreas dos imóveis não dispõem dessa cobertura.

Em relação ao uso de irrigação, verificou-se que o sistema mais utilizado é o de irrigação localizada por gotejamento, com Cuiabá, Poconé e Campo Verde concentrando o maior número de propriedades rurais com esse tipo de irrigação. Além disso, na área de estudo, há o uso de molhação, que envolve o uso de mangueiras ou outros sistemas não previstos nas demais categorias, utilizados para irrigar áreas de horticultura, predominantemente nos municípios de Santo Antônio do Leverger, Várzea Grande e Cuiabá. Quanto ao potencial de expansão de áreas irrigadas, Barão de Melgaço e Poconé apresentaram mais de 100 hectares de áreas de bacias hidrográficas com alta disponibilidade de água para captação direta em cursos d'água.

#### **4.5. Quadro Socioeconômico**

O quadro socioeconômico é responsável por reunir indicadores sociais e econômicos para representar as diferentes realidades regionais, com ênfase na agricultura familiar. Para essa finalidade, apresenta um painel interativo segmentado em duas seções principais: 'o estabelecimento', em que as variáveis disponíveis estão associadas ao perfil dos estabelecimentos agropecuários presentes na RMVRCE; e 'o produtor', em que as informações são dedicadas exclusivamente à caracterização dos produtores da região.

No caso da RMVRCE, os estabelecimentos são majoritariamente da agricultura familiar (65%), variando desde o patamar de participação de 54% em Cuiabá até 76% em Campo Verde e Barão de Melgaço. No entanto, há diferenças internas importantes na análise das outras variáveis. Enquanto municípios como Planalto da Serra, Nova Brasilândia e Poconé apresentam o consumo próprio/familiar como a finalidade preferencial dos estabelecimentos, o que indica uma agricultura familiar com baixa capacidade de exploração comercial, outros municípios como Nobres e Campo Verde tem sua produção majoritariamente voltada à comercialização, o que demonstra maior capacidade de inserção dos produtores nos mercados. Essa diferenciação

também se faz presente em termos de utilização das terras: em Nobres e Campo Verde, a área utilizada por lavouras temporárias é representativa em relação aos outros usos, o que não ocorre nos demais municípios da região, cuja principal característica de uso é representada pela área de pastagem, plantada ou nativa.

Na região, 80% dos produtores responsáveis pelos estabelecimentos agropecuários são homens, percentual próximo à média nacional de 81,3% IBGE, (2019). Nesse quesito, não há diferenças significativas entre os municípios da região; no entanto, Barão de Melgaço/MT e Planalto da Serra/MT apresentam percentuais superiores a 90% de homens dirigindo os estabelecimentos. Em relação à cor ou raça, os produtores da região são majoritariamente pardos, com percentuais variando de 60% a 75%. Destacam-se, contudo, os municípios de Campo Verde/MT e Nobres/MT, onde a maioria dos produtores se declara branca no primeiro caso, e muito próximo da maioria no segundo.

Quanto aos dados de escolaridade e idade, todos os municípios apresentam gargalos significativos. No caso da escolaridade, a grande maioria dos produtores (mais de 50%) possui apenas o Ensino Fundamental, com o Ensino Médio representando entre 15% e 25% em grande parte dos municípios. Em relação à idade, todos os municípios revelam um problema crônico e emergente de sucessão familiar, com mais da metade dos produtores tendo idade superior a 55 anos. Esse quadro, somado a possíveis condições de estagnação econômica, pode levar a uma diminuição significativa da agricultura familiar em nível regional, inviabilizando a atividade comercial em algumas localidades.

#### **4.6. Preservação Rural**

Os 14 municípios da RMVRCE ocupam uma área de 7.850.373 ha (8,7% da área do estado de Mato Grosso). Essa região possui 14.545 imóveis rurais cadastrados no SICAR de 2023 e ocupam uma área de 5.750.502 ha (73,3% da região). Essas propriedades rurais dedicam 3.378.925 ha de suas áreas para a preservação e conservação da vegetação nativa (43% do VRCE). A região está no Cerrado da Amazônia Legal (exigência de 35% de reserva legal no Código Florestal 2012) e no Pantanal (exigência de 20% no Código Florestal 2012). Em média, um imóvel rural dedica 58,8% para tais fins. No VRCE 11.167 imóveis rurais são pequenos, com até 4 módulos fiscais (77,4% do total). Os imóveis rurais médios são 1.906 (13,2%) e os imóveis rurais grandes são 1.363 (9,4%). Os maiores imóveis cadastrados estão nos municípios de Poconé, Barão de Melgaço e Santo Antônio do Leverger, situados no Bioma Pantanal. Em termos de área ocupada pelos imóveis rurais, a situação se inverte: os grandes imóveis ocupam 3.992.615 hectares (70,0% da área total dos imóveis rurais), enquanto os pequenos imóveis ocupam 719.613 hectares (12,6%).

#### **5. Conclusões**

A implementação da plataforma de inteligência territorial para a Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e Entorno (RMVRCE) representa um avanço significativo na integração de dados espaciais e temáticos, permitindo uma análise abrangente das realidades regionais. Ao disponibilizar informações detalhadas sobre aspectos naturais, agrários, agrícolas, de infraestrutura e socioeconômicos no conceito de Sistema de Inteligência Territorial Estratégica, a plataforma se torna uma ferramenta estratégica para apoiar o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar na região. A tipificação dos municípios com base em suas características ambientais e produtivas possibilita a formulação de políticas públicas mais assertivas, que atendam às especificidades locais e promovam a inclusão produtiva e a sustentabilidade socioambiental.

Adicionalmente, a plataforma demonstra o potencial da cooperação interinstitucional entre a Embrapa, a Empaer-MT e a FALM, mostrando como a convergência de esforços pode gerar soluções inovadoras e eficazes para desafios complexos, como a fixação do jovem no campo e a preservação dos recursos naturais. A experiência adquirida na RMVRCE pode servir de modelo para outras regiões, incentivando o uso de tecnologias de inteligência territorial em prol do fortalecimento da agricultura familiar e da gestão territorial sustentável em diferentes contextos no Brasil.

## 6. Agradecimentos

A equipe do projeto agradece a Fundação André e Lucia Maggi (FALM) pelo financiamento do projeto Agricultura Familiar: Fortalecimento dos agricultores do futuro do Vale do Rio Cuiabá e entorno (Baixada Cuiabana).

## 7. Referências

- Alvares, C. A.; De Mattos, E. M.; Sentelhas, P. C.; et al. Modeling temporal and spatial variability of leaf wetness duration in Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 120, p. 455–467, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1182-3>. Acesso em: 22 set. 2023
- Embrapa. Secretaria Geral. Gerência de Comunicação e Informação. Embrapa em números. Brasília, DF, 2022. 140 p. il. color.
- Ferro, A. S.; Vechi, J. B. Contextualização da agricultura familiar em Mato Grosso. **Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril**, 2014. 31p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo agropecuário 2017: resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/>>. Acesso em: 11 mai. 2024.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Malha municipal digital e áreas territoriais 2022. Nota metodológica n. 01. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101998.pdf>>. Acesso em: 09 ago. 2024.
- Irigaray, C. T. J. H.; Nunes da Cunha, C.; Junk, W. J. (org.). Pantanal à margem da lei: panorama das ameaças e perspectivas para a conservação. Cuiabá, MT: Mupan, 2020. Programa Corredor Azul - Wetlands International.
- Locatel, C. D.; Troleis, A. L.; Mendes, L. S.; Silva, B. L. Inteligência territorial e análise de recursos hídricos: apontamentos teórico-metodológicos aplicados ao diagnóstico e prognóstico do PSH. **Confins**, 2023. Disponível em: <<http://journals.openedition.org/confins/54159>>. Acesso em: 11 mai. 2024.
- Magalhaes, L. A.; Fonseca, M. F.; Pinto, D. M.; Miranda, E. E. de. Inteligência estratégica e a relevância do território como elemento de planejamento. Nota Técnica/Nota Científica. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223527/1/5904.pdf>>. Acesso em: 11 fev. 2024.
- Mato Grosso. Lei Complementar n. 359, de 27 de maio de 2009. Disponível em: <<https://legislacao.mt.gov.br/mt/lei-complementar-n-359-2009-mato-grosso-dispoe-sobre-a-criacao-da-regiao-metropolitana-do-vale-do-rio-cuiaba-e-da-outras-providencias?origin=instituicao>>. Acesso em: 21 jun. 2024.
- MDA - Ministério do Desenvolvimento Agrário. Perfil territorial: Baixada Cuiabana. **Secretaria de Desenvolvimento Territorial**, 2015. 8p.
- Miranda, E. E. de.; Magalhães, L. A.; Carvalho, C. A. de. 2014. Um Sistema de Inteligência Territorial Estratégica para o MATOPIBA. Disponível em: [www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1037321](http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1037321). Acesso em: 05 nov. 2023.
- Ramalho Filho, A.; Beek, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: **EMBRAPA-CNPQ**, 1995. 65 p. ISBN 85-85864-01-X. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/330132/1/Sistema-de-avaliacao-da-aptidao-agricola-das-terras-1995.pdf>. Acesso em: 07 out. 2023.

Valeriano, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto Topodata. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005, Goiânia, GO. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. p. 1-8.

## **Utilização do modelo linear de mistura espectral para mapeamento de corpos de água a partir de dados CBERS-04A/WPM**

Bianca Perin Malaghini<sup>1</sup>  
Ana Laura Cardoso Santos<sup>1</sup>  
Ana Cláudia dos Santos Luciano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo - USP,  
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ  
Av. Pádua Dias, 235 - Agronomia  
13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil  
{bianca.pem, analauracs, analuciano}@usp.br

**Resumo.** Técnicas de sensoriamento remoto têm facilitado a identificação e o monitoramento de corpos d'água, desempenhando um papel crucial na gestão sustentável desses recursos. O mapeamento de pequenos corpos hídricos é particularmente desafiador devido à resolução limitada das imagens de satélite, mas é vital, pois essas áreas frequentemente servem como fontes críticas para sistemas hídricos maiores e são mais suscetíveis às mudanças ambientais. O objetivo deste trabalho foi mapear os corpos d'água utilizando imagens do satélite CBERS-4A/WPM, com resolução espacial de 2 metros. O mapeamento foi feito na região de Jacaréi/SP. Para isso, foram utilizadas as imagens das bandas 0 (pancromática), 2 (verde), 3 (vermelho) e 4 (NIR). Em seguida, foram aplicadas técnicas de geoprocessamento e Modelos Lineares de Mistura Espectral (MLME). Os resultados mostraram que a metodologia aplicada possibilitou a identificação de corpos hídricos com maior detalhe do que mapas de projetos nacionais em termos de resolução e detalhamento, especialmente na identificação de áreas estreitas e na redução de ruídos espectrais. A abordagem proposta apresenta potencial para a identificação de nascentes e pequenos rios, auxiliando na criação de políticas ambientais e estratégias de gestão sustentável.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, recursos hídricos, conservação ambiental, geoprocessamento, MLME.



**Abstract.** Remote sensing techniques have facilitated the identification and monitoring of water bodies, playing a crucial role in the sustainable management of these resources. Mapping small water bodies is particularly challenging due to the limited resolution of satellite images, but it is vital, as these areas often serve as critical sources for larger hydrological systems and are more susceptible to environmental changes. The aim of this study was to map water bodies using images from the CBERS-04A/WPM satellite, with a spatial resolution of 2 meters. The mapping was conducted in the Jacareí/SP region. For this, images from bands 0 (panchromatic), 2 (green), 3 (red), and 4 (NIR) were used. Geoprocessing techniques and Linear Spectral Mixture Models (LSMM) were then applied. The results showed that the applied methodology enabled the identification of water bodies with greater detail than national project maps in terms of resolution and detail, especially in the identification of narrow areas and the reduction of spectral noise. The proposed approach has the potential for identifying springs and small rivers, aiding in the creation of environmental policies and sustainable management strategies.

**Key-words:** remote sensing, water resources, environmental conservation, geoprocessing, LSMM

## 1. Introdução

Os recursos hídricos são essenciais para a manutenção da vida na Terra. Contudo, de toda a extensão hídrica do planeta, apenas 2,5% da água disponível é adequada para uso dos seres vivos. Com as mudanças climáticas e a crescente ação antropogênica sobre o meio ambiente diversos impactos ocorrem na disponibilidade de água, tornando o seu acesso ainda mais limitado Lu et al., (2011). Neste cenário, a conservação dos recursos hídricos é de extrema importância econômica, social e ambiental, especialmente em biomas como o do Pantanal, uma das maiores áreas úmidas contínuas do planeta e um dos biomas mais ricos em biodiversidade, que depende intrinsecamente de seus corpos hídricos para manter seus ecossistemas.

Nos últimos anos, técnicas de sensoriamento remoto para monitoramento do uso e cobertura do solo têm facilitado a identificação de corpos hídricos. Dentre as metodologias de monitoramento, destaca-se o uso de imagens de satélite e índices de vegetação derivados para mapeamento dos recursos hídricos Souza et al., (2020). No entanto, pequenos corpos d'água ainda são difíceis de identificar devido à resolução espacial das imagens de satélites. Esses corpos, muitas vezes vulneráveis à poluição, são cruciais para o manejo hídrico, uma vez que incluem nascentes de rios ou ribeirões que alimentam corpos hídricos maiores.

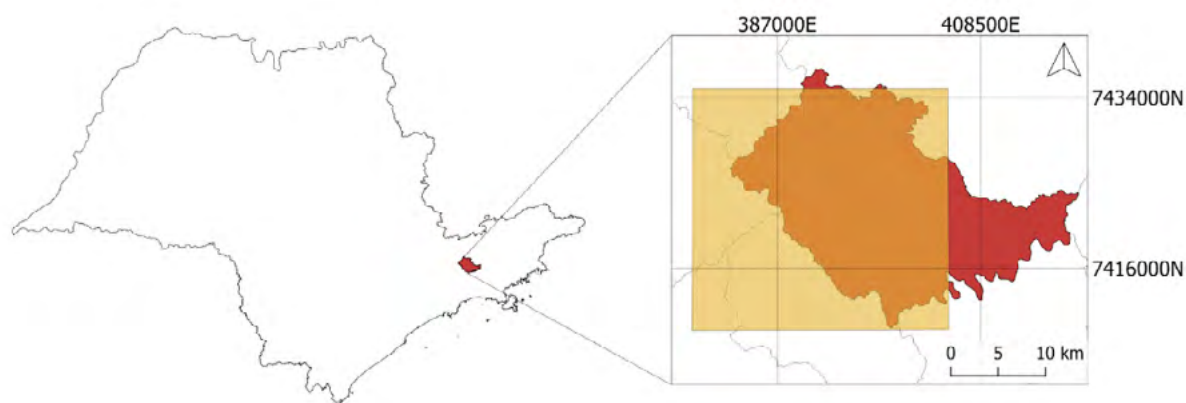
Desta forma, torna-se essencial o desenvolvimento e aprimoramento de metodologias para reconhecimento de pequenos corpos hídricos superficiais, que podem, por sua vez, embasar a criação de políticas públicas voltadas à gestão dos recursos hídricos. Sendo assim, este projeto consiste na utilização de imagens de maior resolução espacial para o mapeamento de pequenos corpos de água com maior detalhe do que os mapeamentos tradicionais.

## 2. Objetivo

Este trabalho teve por objetivo mapear os corpos de água na região de Jacareí/SP a partir de imagens do satélite CBERS4A, com resolução espacial de 2 metros e, por meio da utilização do modelo linear de mistura espectral.

## 3. Material e Métodos

A área de estudo localiza-se no município de Jacareí, SP. A área foi dimensionada em 68.850 ha e está inserida no retângulo definido pelas coordenadas 378000, 405000, 7409500, 435000 do meridiano 23S [EPSG:31983]. A área, apresentada na (**Figura 1**), foi delimitada com base na área utilizada por Namikawa, Körting e Castejon (2018), utilizado como método de referência do presente trabalho.



**Figura 1.** Localização da cidade de Jacareí, no estado de São Paulo, com destaque para a área de estudo, em amarelo.

No trabalho de referência, a composição colorida “R2G3B5”, a partir de imagens do satélite RapidEye, foi identificada como a melhor para a visualização de dados hídricos. Neste trabalho, foram utilizadas imagens do satélite CBERS-04A, do sensor WPM, das bandas 2 (verde), 3 (vermelho) e 4 (NIR), com resolução espacial de 8 metros, e da banda 0 (pancromática), com resolução espacial de 2 metros. As imagens do sensor WPM correspondem à órbita/ponto 202/124, obtidas em 24 de julho de 2023.

As imagens foram adquiridas do catálogo do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>). As imagens WPM foram inseridas no SIG QGIS e em seguida foi efetuada a composição colorida “R2G3B4”, equivalente à composição “R2G3B5” do trabalho de referência, conforme identificado na (Tabela 1). Em seguida, foi feita uma fusão de imagens com a banda pancromática por meio da ferramenta “pansharpening”, a fim de obter imagens coloridas com 2m de resolução espacial.

**Tabela 1.** Comparação de bandas entre o satélite utilizado na composição do trabalho de referência e o utilizado na presente metodologia. Em negrito, as bandas utilizadas para compor a imagem colorida.

<b>Bandas</b>	<b>Comprimento de onda (nm) -RapidEye</b>	<b>Comprimento de onda (nm) - CBERS-04A (WPM)</b>
0	-	450-900 (Pancromática)
1	440-510 (Azul)	450-520 (Azul)
2	520-590 (Verde)	520-590 (Verde)
3	630-685 (Vermelho)	630-690 (Vermelho)
4	690-730 (Red Edge)	770-890 (NIR)
5	760-850 (NIR)	-

A partir da composição colorida da área de estudo, foi aplicado o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) utilizando o SIG TerraView. O modelo linear de mistura espectral afere a contribuição de cada componente nos pixels separadamente, resultando na criação de imagens-frações. Sendo as respostas espectrais dos componentes previamente conhecidas, as proporções

desses componentes podem ser estimadas em qualquer imagem multiespectral (Shimabukuro et al., 1998).

As respostas espectrais dos componentes amostrais foram extraídas da composição colorida por meio de três testes de modelos. Em cada teste foram coletadas três amostras, sendo de corpos d'água, vegetação e sombra ou solo, conforme indicado na (Tabela 2), gerando as imagens-fração correspondentes. Foi selecionada a imagem do componente que melhor demonstrou realce dos corpos de água em cada teste (Tabela 2). Em seguida, foi feita uma composição colorida com os melhores componentes amostrais de cada teste. Para identificação das áreas de corpos hídricos foi definido o limiar de valor 170 para os pixels da componente amostral de corpo d'água de um lago (Banda 1).

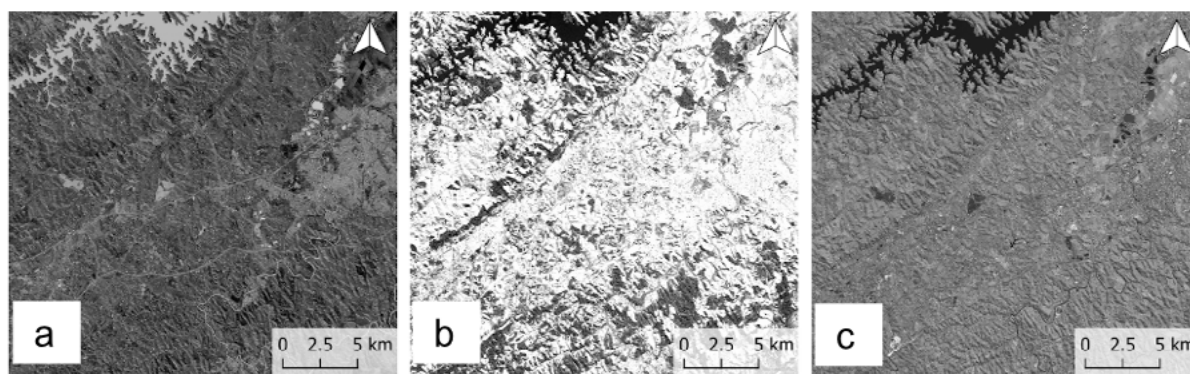
**Tabela 2.** Amostras dos Modelos Lineares de Mistura Espectral. Em negrito, estão destacados os componentes com melhor realce dos corpos de água.

Testes de modelos	Componente amostral 1	Componente amostral 2	Componente amostral 3
MLME 1	Solo exposto	Vegetação rugosa	Corpo d'água (lago) - Banda 1
MLME 2	Sombra de morro - Banda 2	Vegetação lisa	Corpo d'água (lagoa)
MLME 3	Sombra de vegetação	Gramado - Banda 3	Corpo d'água (rio)

Para a validação dos dados foi utilizado o recorte da área de estudo do tile 914 dos “Mapas de Lâmina de Água para Todo o Brasil Extraídos do RapidEye”, do INPE Namikawa et al.; (2018). Foi utilizado o valor 1 para pixels identificados como água e 0 para os não-água. A partir da identificação dos pontos de água foram feitas matrizes de confusão.

#### 4. Resultados e Discussão

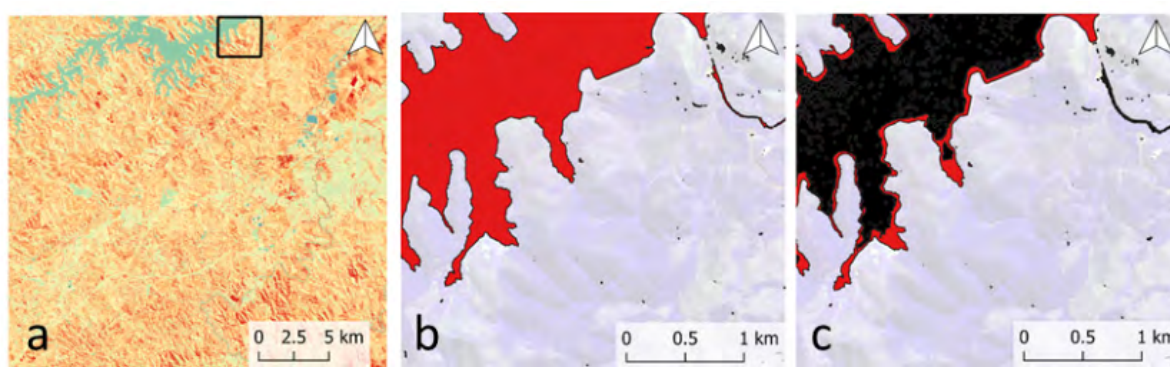
Na (Figura 2) é apresentada as imagens de fração dos melhores testes do MLME. Os pixels com tonalidade mais próxima do branco indicam a presença do elemento amostrado na imagem, sendo eles corpos d'água, sombra de morros e gramado.



**Figura 2.** Imagens fração dos testes MLME utilizadas para a nova composição colorida: a) Imagem fração do MLME 1, referente aos corpos d' água (Banda 1); b) Imagem fração do MLME 2, referente a sombra de morros (Banda 2); c) Imagem fração do MLME 3, referente às áreas de gramado (Banda 3).

Na (**Figura 3a**) pode ser vista a composição colorida com base nas bandas selecionadas do MLME. Na (**Figura 3b**), destaca-se os pixels com valores acima de 170 na Banda 1; e na (**Figura 3c**) é apresentada uma comparação entre as áreas reconhecidas como corpos d'água pelo modelo MLME, em vermelho, e pelo modelo de referência, em preto. É possível notar boa precisão na identificação de corpos de água através da composição MLME.

A partir do MLME, a área total de corpos hídricos foi igual a 34,41 km<sup>2</sup>, com a menor área de 4 m<sup>2</sup>. Já o modelo de referência identificou uma área total de 29,56 km<sup>2</sup> na região de estudo e a menor área de corpos de água foi de 29 m<sup>2</sup>. Sendo assim, como demonstrado na (**Figura 3c**), é possível notar que o modelo MLME apresentou melhorias em relação ao detalhamento da classificação em comparação com o modelo de referência, especialmente em função da melhor resolução espacial do CBERS 4A (2 metros).



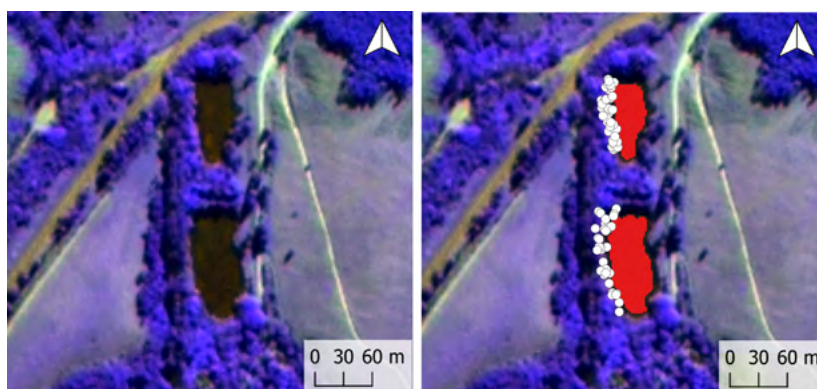
**Figura 3.** Comparação entre as áreas identificadas como corpos hídricos a partir da MLME e pelo modelo de referência: a) Composição colorida com as bandas resultantes dos testes MLME; b) Em vermelho, os pixels com valor acima de 170 na Banda 1; c) Sobreposição dos corpos d'água reconhecidos pelo modelo de referência (em preto).

Na (**Tabela 3**) é apresentada a matriz de confusão e a porcentagem das acurácias, respectivamente. O modelo MLME apresentou percentual de positivos verdadeiros (TP) de 32,87% e negativos verdadeiros (TN) de 78,51%, resultando na acurácia geral (AC) de 34,07%.

**Tabela 3.** Matriz de confusão de pixels para identificação dos corpos de águas.

		Referência (RapidEye, 2014)			TP =	32.87%	FN =	21.49%
		SIM	NÃO	TOTAL				
MLME (CBERS-04A, 2023, B1>170)	SIM	46.582	817	47.399	FP =	67.13%	TN =	78.51%
	NÃO	95.116	2.985	98.101	AC =	34.07%		
	TOTAL	141.698	3.802	145.500				

É possível notar um valor considerável de falsos negativos (FN = 67,13%). No entanto, como exposto na (**Figura 4**) diversos pontos obtidos como falsos negativos (**Figura 4b**) tratam de áreas que foram reconhecidas com maior acurácia pela composição a partir do MLME, em relação ao modelo de referência, representando pontos onde não há corpos hídricos. Assim, pode-se afirmar que parte dos falsos negativos identificados seriam decorrentes de melhorias no padrão de reconhecimento dos corpos hídricos menores.



**Figura 4.** Demonstração de pontos obtidos como falsos negativos a partir do modelo de referência: a) Área com lagoas na composição colorida (R2G3B4); b) Corpos reconhecidos pela composição a partir do MLME (em vermelho), com pontos obtidos como falsos negativos.

## 5. Conclusões

A metodologia aplicada possibilitou identificar pequenos corpos d'água a partir de imagens provenientes do CBERS4A/WPM. A aplicação dos MLME com imagens de alta resolução espacial possibilitou uma taxa de acerto mais refinada do que outros métodos anteriormente criados para mapeamento de corpos de água. Por fim, a metodologia poderia ser aplicada para identificação de nascentes ou pequenos rios, o que poderia ajudar na fiscalização e, criação de políticas ambientais e estratégias de gestão ambiental.

## 6. Referências

Chen, Qiaoling; Zhang, Yuanzhi; Ekroos, Ari; Hallikainen, Martti Hallikainen. The role of remote sensing technology in the EU water framework directive (WFD), **Environmental Science & Policy**, Volume 7, Issue 4, 2004, Pages 267-276, ISSN 1462-9011, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2004.05.002>

Lu, Shanlong; Wu, Bingfang; Yan, Nana; Wang, Hao. Water body mapping method with HJ-1A/B satellite imagery, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Volume 13, Issue 3, 2011, Pages 428-434, ISSN 1569-8432, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.09.006>.

Namikawa, L. M.; Körting, T. S.; Castejon, E. F. Water body extraction from rapideye images: An automated methodology based on hue component of color transformation from RGB to HSV model. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 68, n. 6, 2018. DOI: 10.14393/rbcv68n6-44495. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44495>>. Acesso em: 30 jul. 2024.

Souza et. al. (2020) – Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine – **Remote Sensing**, Volume 12, Issue 17, 10.3390/rs12172735

## **Impactos no escoamento superficial em função das alterações de uso e ocupação do solo na microbacia hidrográfica do igarapé Altamira**

Carlos Marcelo Felix Guimarães<sup>1</sup>  
Érico Fernando de Oliveira Martins<sup>1</sup>  
Francisco Lledo Dos Santos<sup>1</sup>  
Rodrigo Bruno Zanin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA  
Av. Gonçalo Antunes de Barros, s/n  
78048-743 - Cuiabá - MT, Brasil  
{marcelo.guimaraes1, profericomartins, franciscolleddo, rodrigo.zanin}@unemat.br

**Resumo.** A sede do município de Altamira, em função da implantação da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, sofreu os impactos decorrentes do uso e ocupação desordenados dos compartimentos geomorfológicos da sede municipal, exigindo medidas mitigadoras de saneamento e ações compensatórias para modificar a paisagem dos três igarapés urbanos da cidade (Altamira, Ambé e Panelas) e melhorar suas capacidades hídricas e a qualidade da água. No intuito de averiguar a eficiência destas ações, foi explorada a temporalidade e espacialidade de dados geoespaciais disponibilizados por fontes oficiais do governo, tais como imagens de radar de abertura sintética (do inglês *Synthetic Aperture Radar* – SAR) e imagens multiespectrais obtidas de sensores embarcados nas plataformas orbitais *LandSat* e *PlanetScope*. Foram avaliados os impactos no escoamento superficial em função das alterações de uso e ocupação do solo na microbacia hidrográfica do igarapé Altamira, cuja área urbana compreendeu o maior número de imóveis relocados por ocasião da instalação da UHE Belo Monte, utilizando o modelo de interpretação delineado pelo sistema multinível de classificação da cobertura e do uso da terra preconizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Desta pesquisa, foi possível correlacionar dados temporais de cobertura do solo com sua respectiva capacidade de escoamento superficial para os tempos de recorrência de 1, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, possibilitando desta forma uma análise temporal avaliativa da relação entre alterações da precipitação efetiva em função de suas respectivas alterações de uso do solo desta bacia hidrográfica.

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica, uso e ocupação do solo, hidrometria, sensoriamento remoto.

**Abstract.** The headquarters of the municipality of Altamira, due to the implementation of the Belo Monte Hydroelectric Plant, suffered impacts resulting from the disorderly use and occupation of the geomorphological compartments of the municipal headquarters, requiring mitigating sanitation measures and compensatory actions to modify the landscape of the three urban streams of the city (Altamira, Ambé and Panelas) and improve their water capacity and water quality. In order to investigate the efficiency of these actions, the temporality and spatiality of geospatial data made available by official government sources were explored, such as synthetic aperture radar images (Synthetic Aperture Radar – SAR) and multispectral images obtained from sensors embedded in LandSat and PlanetScope orbital platforms. The impacts on surface runoff due to changes in land use and occupation in the Altamira creek watershed, whose urban area comprised the largest number of properties relocated when the Belo Monte HPP was installed, were assessed using the interpretation model outlined by the multi-level land use and cover classification system recommended by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). From this research, it was possible to correlate temporal data on land cover with its respective runoff capacity for the recurrence times of 1, 5, 10, 25, 50 and 100 years, thus enabling an evaluative temporal analysis of the relationship between changes in effective precipitation as a function of the respective changes in land use in this watershed.

**Key-words:** watershed, land use and cover, hydrology, remote sensing.

## 1. Introdução

A UHE Belo Monte teve sua Licença Prévia (LP nº 342/2010) emitida em fevereiro de 2010, contendo 40 condições para continuação de sua validade, que culminaram na elaboração do Projeto Básico Ambiental (PBA), documento precursor a liberação da Licença de Instalação (LI nº 795/2011) em junho de 2011, que permitiu o início da construção da usina hidrelétrica de Belo Monte. Com o atendimento do PBA, em novembro de 2015, o empreendimento obteve sua respectiva Licença de Operação – LO nº 1.317/2015, tornando-se, então, oficialmente a maior hidrelétrica 100% brasileira.

De acordo com seus estudos de impactos ambientais, os meios físico, biótico, socioeconômico e cultural, bem como as bacias de drenagem dos igarapés Ambé, Altamira e Panelas (que abrangem boa parte do perímetro urbano da sede municipal), foram obrigatoriamente incluídas dentro da área de influência direta do empreendimento (Eletrobras, 2009 Volume 5 – item 6.3). Por essa razão, as propostas de intervenções em Altamira, que visaram principalmente a mitigação dos impactos provocados pela formação do reservatório do Xingu na cidade e o do fluxo populacional em função da construção da usina (Eletrobras, 2009 Volume 33 – item 12.10.1), foram consolidadas no Programa de Intervenção em Altamira (Norte Energia, Volume 3 – item 5.1).

Entre as ações socioeconômicas desenvolvidas em Altamira, o Projeto de Parques e Urbanização da Orla (Norte Energia, Volume 3 – item 5.1.8), associado às ações de outros programas do PBA, propôs a recuperação hídrica e criação do parque ecológico do Igarapé Altamira, pois estava em situação de extrema degradação, motivada principalmente pelas ocupações irregulares e lançamento indevido de esgoto urbano, além de sofrer o remanso provocado pela formação do lago da hidrelétrica. Sendo palco do maior número de famílias urbanas remanejadas – 7.675 das 16.420 pessoas atendidas pelo Programa de Negociação e Aquisição de Terras e Benfeitorias na Área Urbana (Norte Energia, Volume 2 – item 4.4).

Apesar das alterações do substrato espacial realizadas no Igarapé Altamira, com a relocação das famílias instaladas em situação de risco na calha do igarapé, a implantação das redes de água e esgoto da sede municipal, o reafeiçoamento e a nova proposta de paisagismo das suas margens para absorver o remanso do reservatório. Relatórios de acompanhamento ambiental do próprio empreendimento acusaram desconformidades nos parâmetros de qualidade da água, apontando como possível causa, o histórico de uso e ocupação da margem do igarapé e da influência direta da bacia, provenientes de ação antrópica não provenientes da UHE Belo Monte Norte Energia, (2019).

## 2. Objetivo

Considerando a hipótese de que as alterações nos parâmetros de qualidade da água do Igarapé Altamira sejam provenientes das alterações de uso e ocupação em sua bacia hidrográfica, esta pesquisa, com base na metodologia desenvolvida pelo U.S. Department of Agriculture / Natural Resources Conservation Service – USDA/NRCS, para o geoprocessamento de dados geoespaciais, teve como objetivo analisar se as transformações do uso e ocupação do solo impactaram tanto na precipitação efetiva – parcela do total precipitado (chuva) responsável pela contribuição do escoamento superficial desta bacia – quanto nas alterações dos parâmetros de qualidade da água do corpo hídrico.

## 3. Material e métodos

A proposta metodológica para a análise dos impactos no escoamento superficial devido às mudanças de uso e ocupação do solo na microbacia hidrográfica do Igarapé Altamira deve começar com a delimitação da área de estudo, sendo essencial utilizar bases de dados vetoriais, como as fornecidas pelo Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH) e o Sistema Estadual de Informações de Recursos Hídricos (SEIRH). No entanto, as divergências entre essas bases apresentaram diferentes características morfométricas desta microbacia.

Para contornar essas discrepâncias, optou-se pela vetorização de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) provenientes do projeto Topodata, utilizados para gerar o modelo de elevação têm resolução de 30 metros, com precisão vertical que varia de 5 a 10 metros em áreas planas e vegetadas, podendo ser maior em regiões montanhosas. O INPE, aprimorou esses dados para o Brasil, mas o erro médio permanece em torno de 8 a 10 metros, e mesmo sem verdade de solo, esse erro pode ser considerado uma incerteza inerente aos dados.

Como o erro se distribui de forma relativamente uniforme ao longo da grade de elevação, ele tende a se compensar parcialmente ao longo da área total analisada. Embora possam ocorrer variações locais significativas, a propagação do erro ao longo da extensão dos dados pode suavizar os impactos em análises hidrológicas de larga escala, reduzindo a influência de erros individuais na precisão dos resultados gerais.

Através das áreas, perímetros, níveis altimétricos e extensão da rede de drenagem adquiridos no geoprocessamento dos dados raster e vetoriais, foi possível mensurar os 16 indicadores na análise morfométrica, fornecendo uma compreensão detalhada das características físicas da bacia. Esses indicadores, fundamentais para a análise, incluem a área de drenagem, densidade de drenagem, índice de circularidade e coeficiente de manutenção, entre outros. Essa análise, aliada à comparação das diferentes bases de dados, permitiu uma avaliação abrangente das variações no escoamento superficial.

Além disso, a caracterização hidrométrica da bacia foi realizada com base nos valores do Curve Number (CN), os quais foram definidos a partir da correlação entre a classificação hidrológica dos solos, extraída da base vetorial de pedologia disponibilizada pelo IBGE, e a análise de cobertura do solo realizada através do sensoriamento remoto. Para essa análise, foram utilizados dados raster provenientes dos sensores da constelação de satélites Dove do PlanetScope. Essa abordagem permitiu estimar a precipitação efetiva em diferentes condições de uso do solo, proporcionando uma base sólida para a modelagem hidrológica que se seguirá.

A modelagem hidrológica, por sua vez, foi aplicada para estimar o escoamento superficial em função das diferentes condições de uso e cobertura do solo. Para tanto, utilizou-se o modelo desenvolvido pelo USDA/NRCS, que inclui simulações para tempos de recorrência variáveis, como 1, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Isso permitiu avaliar a resiliência da bacia hidrográfica a eventos extremos, contribuindo para uma melhor compreensão dos impactos das mudanças no



uso do solo na hidrologia da região.

Quanto a qualidade da água, devido à ausência de estações de monitoramento com dados devidamente validados pela ANA ou outros órgãos oficiais, a avaliação foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica nos relatórios semestrais do Programa de Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água, previsto no PBA da UHE Belo Monte. Essa análise forneceu insights valiosos sobre o impacto das mudanças no uso do solo nos corpos hídricos da bacia, complementando os resultados da modelagem hidrológica. Por fim, os resultados obtidos foram validados por meio de comparação com dados de relatórios de monitoramento existentes.

#### 4. Resultados e discussão

Em função das divergências encontradas na comparação entre as bases vetoriais do Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH) e Sistema Estadual de Informações de Recursos Hídricos (SEIRH), as delimitações de áreas e redes de drenagem da bacia hidrográfica do Igarapé Altamira remeteram a diferentes características morfométricas e, por conseguinte, diferentes aspectos hídricos. Em decorrência dos resultados, optou-se pela comparação entre os resultados do geoprocessamento das bases vetoriais fornecidas pelo SNIRH e SEIRH, com os resultados obtidos com a vetorização do modelo digital de elevação SRTM disponibilizado pelo Projeto Topodata Brasil, (2011), através das ferramentas do software QGIS.

As (**Figuras 1, 2 e 3**) mostram o resultado da delimitação da micro BH Igarapé Altamira e suas respectivas redes de drenagem, extraídos das bases SRTM, SNIRH e SEIRH. O Quadro 1, compara dezesseis parâmetros morfométricos em função dos três bases utilizadas na delimitação da área de estudo, com valores relacionados a geometria (parâmetros 1 a 11), drenagem e relevo (parâmetros 12 a 16).



**Figura 1.** BH Igarapé Altamira (SRTM).

Fonte: Topodata, (2011). Elaborado pelos autores (2022).



**Figura 2.** BH Igarapé Altamira (SNIRH).

Fonte: SNIRH, (2017). Elaborado pelos autores (2022).



**Figura 3.** BH Igarapé Altamira (SEIRH).

Fonte: SEIRH, (2018). Elaborado pelos autores (2022).

Através das áreas, perímetros, níveis altimétricos e extensão da rede de drenagem adquiridos no geoprocessamento dos dados raster e vetoriais, foi possível mensurar os 16 indicadores na análise morfométrica, todos relacionados no (**Tabela 1.**)

**Tabela 1.** Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do Igarapé Altamira.

Parâmetro		SRTM	SNIRH	SEIRH
01	Área de Drenagem (A) – Km <sup>2</sup>	71,12	72,44	75,49
02	Perímetro (P) - Km	73,03	44,75	58,05
03	Comprimento Axial (L <sub>AX</sub> ) – Km	17,26	17,76	17,21
04	Comprimento vetorial (L <sub>Dv</sub> ) – Km	16,44	16,97	16,95
05	Comprimento do canal principal (L) – Km	18,82	18,77	19,63
06	Comprimento total dos canais (L <sub>t</sub> ) – Km	69,52	18,77	88,45
07	Amplitude Altimétrica (H <sub>m</sub> ) – m <sup>1</sup>	105,00	105,00	105,00
	Cota de nível maior	200,00	200,00	200,00
	Cota de nível menor	95,00	95,00	95,00
08	Número de Cursos D'água (N) – curso	139,00	139,00	139,00
09	Coefficiente de Compacidade (K <sub>c</sub> )	2,42	1,47	1,87
10	Fator de Forma (K <sub>f</sub> )	0,24	0,23	0,25
11	Índice de Circularidade (I <sub>c</sub> )	0,01	0,04	0,02
12	Densidade da Drenagem (D <sub>d</sub> ) – Km/Km <sup>2</sup>	0,98	0,26	1,17
13	Densidade Hidrográfica (D <sub>h</sub> ) – curso/Km <sup>2</sup>	1,95	1,92	1,84
14	Índice de Sinuosidade (I <sub>s</sub> )	1,15	1,11	1,16
15	Coefficiente de manutenção (C <sub>m</sub> ) – Km <sup>2</sup> /Km	1,02	3,86	0,85
16	Índice de Rugosidade (I <sub>R</sub> ) – m	0,09	0,02	0,11

Apesar das proximidades das áreas (A) obtidas para delimitação da área de estudo, os perímetros (P) definidos através do SRTM, apresentaram divergências superiores a 26% em relação ao SRTM, que subsequentemente, ocasionaram em distorções superiores a 29% quando comparados aos coeficientes de compacidade – K<sub>c</sub> = 2,42). A base do SNIRH aponta BAIXA densidade drenagem da bacia (D<sub>d</sub> < 0,5), enquanto os valores estabelecidos em função dos dados das demais bases, colocam a BH em condição MEDIANA quanto a densidade de drenagem (D<sub>d</sub> entre 0,5 – 2,00).

As (Figuras 4 e 5), apresentam a base vetorial de pedologia extraída do SiBCS disponibilizado pela EMBRAPA (2020) e a representação dos dados pedológicos do IBGE (2021). Onde, para determinar os grupos hidrológicos de solo (Tabela 2), para posterior definição do CN e precipitação efetiva da BH Igarapé Altamira, optou-se pela classificação disponibilizada pelo IBGE (Figura 5), uma vez que a base cartográfica já contempla as informações do SiBCS.



**Figura 4.** Pedologia, base SiBCS 3ª ed.

Fonte: Embrapa, (2020). Elaborado pelos autores (2022).



**Figura 5.** Pedologia, base IBGE (2021).  
Fonte: IBGE, (2021). Elaborado pelos autores (2022).

**Tabela 2.** Classificação hidrológica de solos para BH Igarapé Altamira.

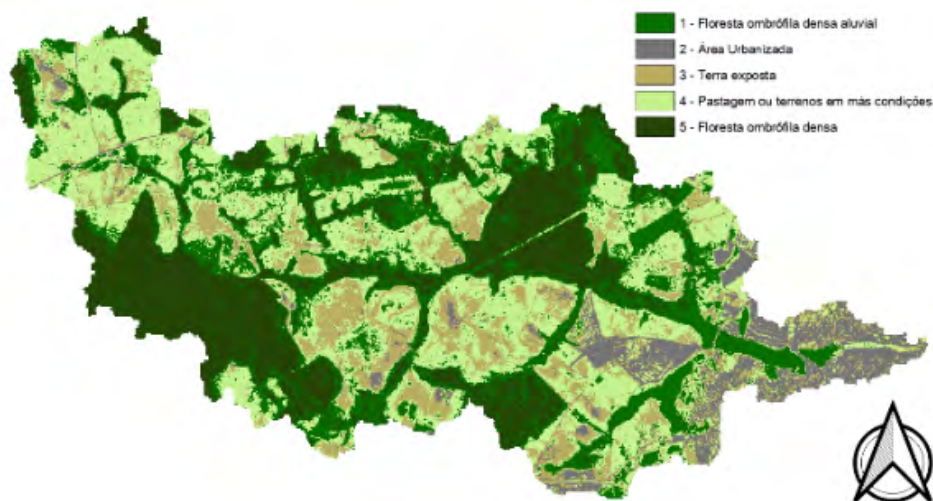
Grupo A	Grupo B
LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.	NITOSSOLO VERMELHO, argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.

Fonte: IBGE (2021).

As (Figuras 6 e 7), expõe o emprego da metodologia para análise de cobertura do solo, utilizando o sistema de classificação supervisionada do software QGIS para o geoprocessamento dos dados raster de 2016.



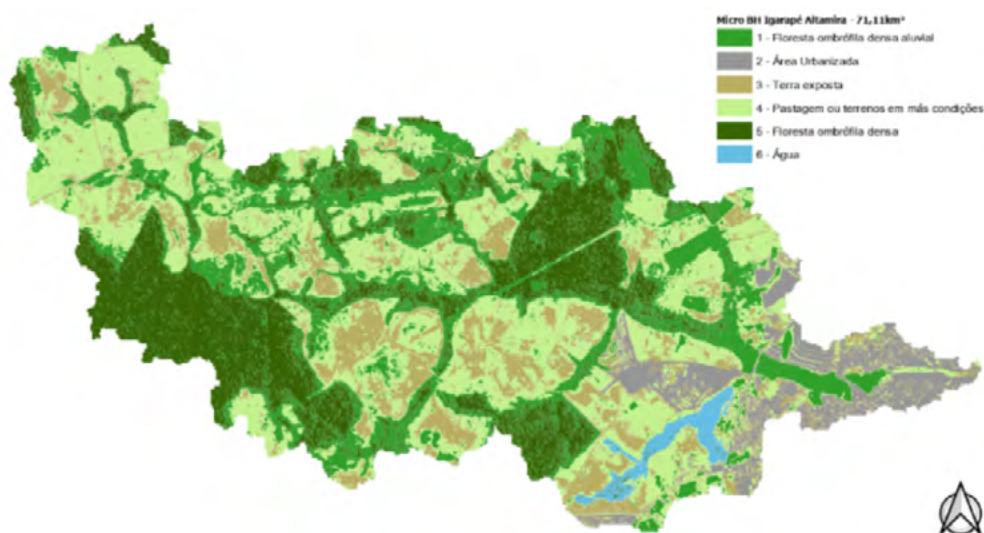
**Figura 6.** Raster image – (2016).  
Fonte: PlanetScope, (2016). Elaborado pelos autores (2022).



**Figura 7.** Cobertura do solo – dados raster de (2016).

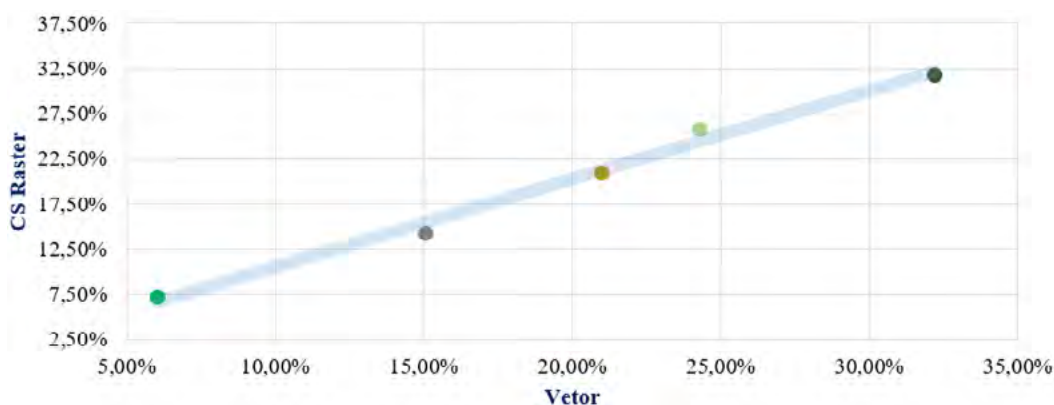
Fonte: PlanetScope, (2016). Elaborado pelos autores (2022).

A (**Figura 8**), apresenta a vetorização do raster (2016) processado no SCP, que permitiu novas correções para melhor conformidade do mapa temático da utilização ou cobertura do solo da microbacia do Igarapé Altamira – 2016. O (**Figura 9**), apresenta a aderência entre os percentuais de cobertura do solo extraídos dos dados raster (**Figura 7**) com os percentuais de cobertura do solo retirados dos dados vetoriais – (**Figura 8**).



**Figura 8.** Vetorização dos dados p/ cobertura do solo em 2016.

Fonte: PlanetScope, (2016). Elaborado pelos autores (2022).



**Figura 9.** Aderência entre dados raster e dados vetoriais.  
Fonte: PlanetScope, (2016). Elaborado pelos autores (2022).

Em relação a caracterização hidrométrica – (**Tabelas 3 e 4**), para definição dos valores do *Curve Number* (CN) da BH Igarapé Altamira e sua respectiva precipitação efetiva, foram correlacionadas (i) a classificação hidrológica do extraídas da base vetorial de pedologia disponibilizada pelo IBGE – (**Figura 5**), com a análise de cobertura do solo realizada através do sensoriamento remoto de rasters provenientes dos sensores da constelação de satélites Dove do *PlanetScope*.

Concatenando dados percentuais dos dados vetoriais das classes de utilização ou cobertura do solo com a metodologia desenvolvida pelo SCS, para o cálculo do número de deflúvio. Foi possível, conforme Quadro 3, definir a precipitação efetiva ( $P_{ef}$ ) para os diversos usos e coberturas do solo da BH Igarapé Altamira (ano de referência: 2016) em função dos maiores registros de altura de precipitação para os tempos de recorrência (TR), de 1 ano, 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

De acordo com os resultados expressos no (**Tabela 3**), a cobertura de solo que apresentaram maior capacidade de armazenamento de água no solo (S), tiveram menor capacidade de escoamento superficial expressa em mm. Contrapondo, cito as áreas urbanizadas, que apresentaram maior

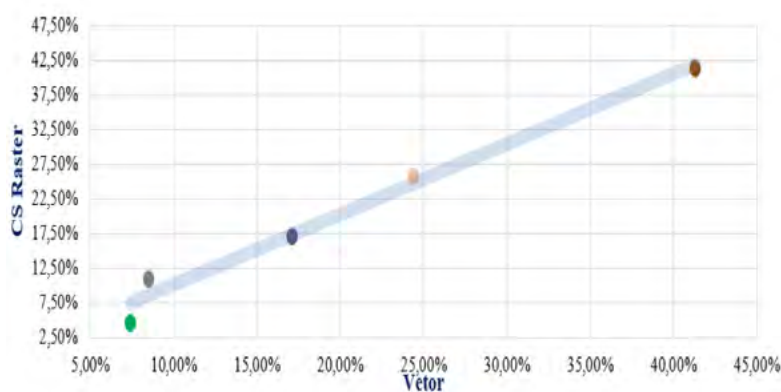
**Tabela 3.** Precipitação efetiva em função da maior altura pluviométrica – Ano 2016.

Uso e Cobertura do Solo - 2016	ÁREA		GRUPO DE SOLO	CN	CN <sub>100</sub>	S (mm)	I (mm)	1 ano	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
	%	Km²						Registro de Maior Altura Pluviométrica (P <sub>r</sub> )					
								121,90	146,74	158,93	176,63	191,31	207,21
Precipitação Efetiva (P <sub>ef</sub> )													
1 Floresta ombrófila densa aluvial	1,66%	1,178	A	45,00	53,01	310,44	62,09	9,66	18,14	23,03	30,87	37,98	46,23
	22,64%	16,101	B	66,00	1.062,68	130,85	26,17	40,45	57,82	66,86	80,47	92,14	105,09
2 Área urbanizada	0,00%	-	A	89,00	-	31,39	6,28	90,93	114,80	126,62	143,84	158,19	173,78
	6,02%	4,282	B	92,00	393,92	22,09	4,42	98,89	123,20	135,19	152,63	167,14	182,88
3 Terra exposta	0,81%	0,575	A	72,00	41,40	98,78	19,76	51,93	71,42	81,40	96,26	108,87	122,77
	14,26%	10,143	B	82,00	831,74	55,76	11,15	73,67	96,08	107,30	123,77	137,58	152,65
4 Pastagem ou terreno em más condições	4,34%	3,087	A	68,00	209,92	119,53	23,91	44,15	62,25	71,62	85,67	97,67	110,95
	27,86%	19,816	B	79,00	1.565,48	67,52	13,50	66,79	88,42	99,32	115,37	128,87	143,64
5 Floresta ombrófila densa	2,95%	2,099	A	25,00	52,48	762,00	152,40	1,27	0,04	0,06	0,75	1,89	3,68
	18,04%	12,831	B	55,00	705,68	207,82	41,56	22,40	35,34	42,36	53,20	62,71	73,47
6 Água	0,00%	-											
	1,42%	1,01											
Grupo de Solo Tipo A:	9,76%	6,94	A	51,42	356,80	239,97	47,99	17,40	28,78	35,07	44,89	53,59	63,50
Grupo de Solo Tipo B:	90,24%	64,18	B	71,04	4.859,49	103,54	20,71	80,02	69,19	79,03	93,70	106,17	119,93
Área Total Bacia Hidrográfica:	100,00%	71,12	AB	69,13	660,59	113,44	22,69	46,29	64,79	74,34	88,63	100,80	114,27

capacidade de escoamento superficial em relação as áreas com características predominantes de Floresta Ombrófila Densa.

Considerando uma avaliação geral da classificação hidrológica do solo em relação ao uso e cobertura da BH Igarapé Altamira, os grupos de solo tipo B, apresentaram maior capacidade de escoamento superficial. Enquanto os uso e cobertura do solo tipo A, apresentaram maior capacidade de armazenamento de água, e menor capacidade de escoamento superficial.

Continuadamente, para verificar possíveis alterações na precipitação efetiva em função de mudanças no uso e ocupação do solo na BH Igarapé Altamira, foi realizado o geoprocessamento de dados rasters (2021), também provenientes dos sensores da constelação de satélites Dove da constelação PlanetScope – (**Figuras 11 e 12**) cujo modelo indicou uma acurácia de 0,7662 e índice Kappa igual 0,6707. E, de acordo com o (**Figura 10**), obteve-se uma boa aderência no processo de vetorização dos dados rasters (2021) de cobertura do solo gerados pelo SCP – (**Figura 13.**)



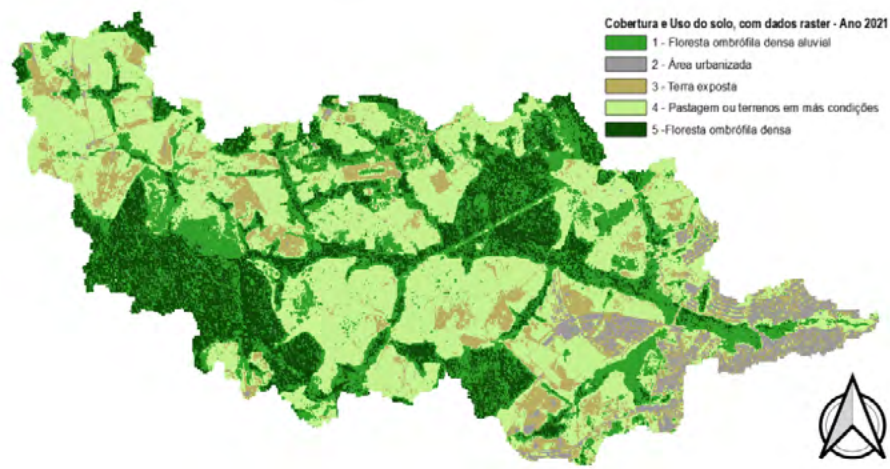
**Figura 10.** Aderência entre dados raster e dados vetoriais.

Fonte: PlanetScope, (2016). Elaborado pelos autores (2022).



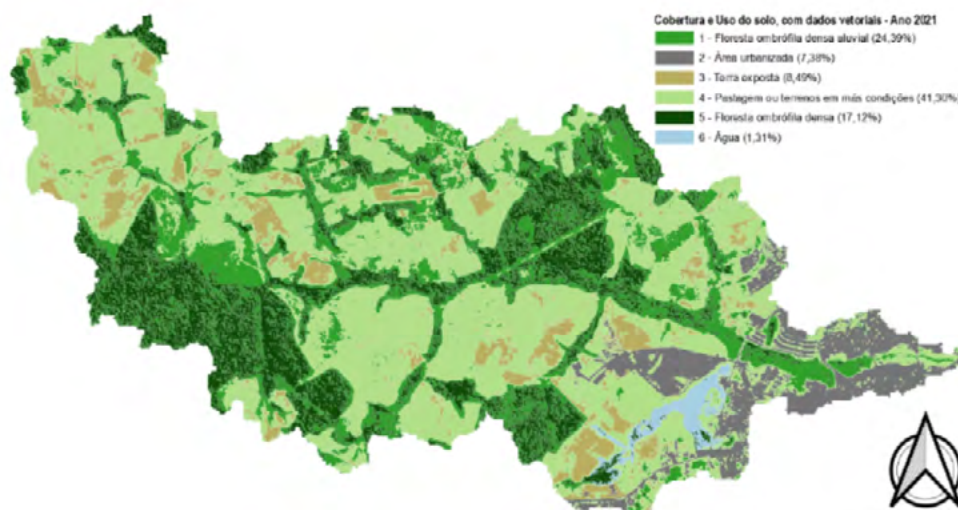
**Figura 11.** Raster image – (2021).

Fonte: PlanetScope, (2021). Elaborado pelos autores (2022).



**Figura 12.** Cobertura do solo – dados raster de (2021).

Fonte: PlanetScope, (2016). Elaborado pelos autores (2022).



**Figura 13.** Vetorização dados raster 2021 p/ cobertura do solo).

Fonte: PlanetScope, (2016). Elaborado pelos autores (2022).

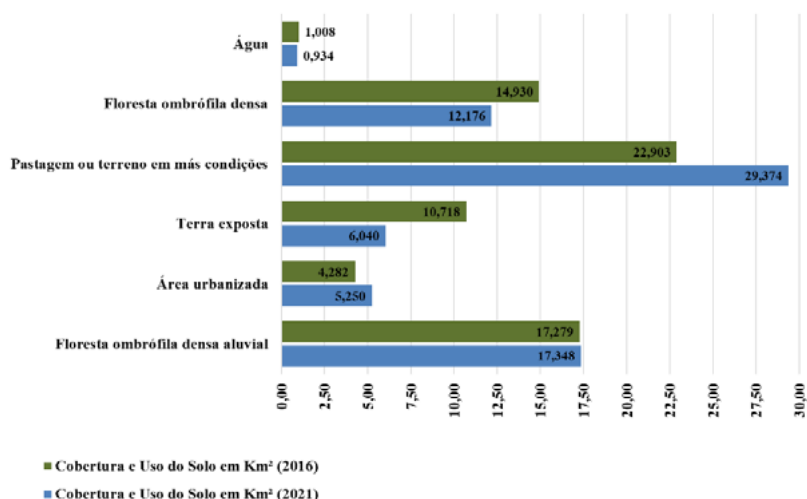
Relacionando os dados percentuais dos vetores de uso e cobertura do solo da bacia – (Figura 13), com a metodologia do SCS para o cálculo do escoamento superficial, obteve-se a precipitação efetiva (Tabela 4) para os diversos usos e coberturas do solo da BH Igarapé Altamira (ano de referência: 2021) em função dos maiores registros de altura de precipitação para os tempos de recorrência (TR), de 1 ano, 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

As (Figura 14 e 15), apresentam a comparação entre os usos e cobertura do solo entres os anos de 2016 – 2021, em unidade de área e percentual. Houve aumento de áreas com pastagem ou terrenos em más condições entre os anos de 2016 e 2021, além da redução de áreas com uso de floresta ombrófila densa. A Figura 16, expressa as modificações no CN em função das alterações no uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica entre os anos de 2016 a 2021.

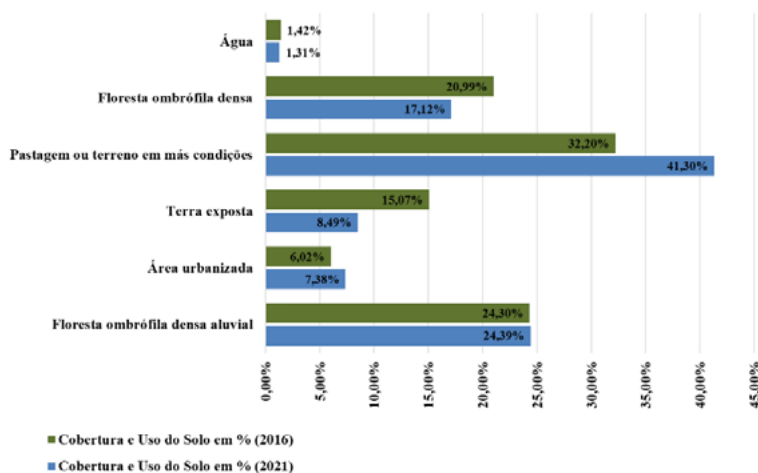


**Tabela 4.** Precipitação efetiva em função da maior altura pluviométrica – Ano 2021.

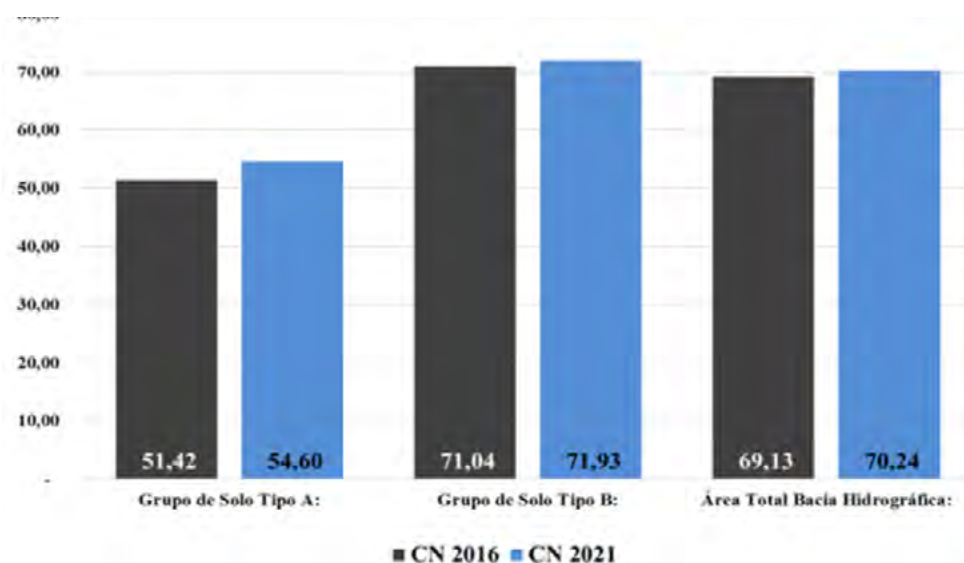
Uso e Cobertura do Solo - 2021	ÁREA		GRUPO DE SOLO	CN	CN <sub>Total</sub>	S (mm)	I (mm)	1 ano	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos	
								Registro de Maior Altura Pluviométrica (P <sub>r</sub> )						
	%	Km <sup>2</sup>	Precipitação Efetiva (P <sub>ef</sub> )						121,90	146,74	158,93	176,63	191,31	207,21
1 Floresta ombrófila densa aluvial	1,70%	1,21	A	45,00	54,41	310,44	62,09	9,66	18,14	23,03	30,87	37,98	46,23	
	22,69%	16,14	B	66,00	1.065,17	130,85	26,17	40,45	57,82	66,86	80,47	92,14	105,09	
2 Área urbanizada	0,00%	-	A	89,00	-	31,39	6,28	90,93	114,80	126,62	143,84	158,19	173,78	
	7,38%	5,25	B	92,00	483,00	22,09	4,42	98,89	123,20	135,19	152,63	167,14	182,88	
3 Terra exposta	1,28%	0,91	A	72,00	65,59	98,78	19,76	51,93	71,42	81,40	96,26	108,87	122,77	
	7,21%	5,13	B	82,00	420,58	55,76	11,15	73,67	96,08	107,30	123,77	137,58	152,63	
4 Pastagem ou terreno em más condições	4,52%	3,22	A	68,00	218,62	119,53	23,91	44,15	62,25	71,62	85,67	97,67	110,95	
	36,78%	26,16	B	79,00	2.066,56	67,52	13,50	66,79	88,42	99,32	115,37	128,87	143,64	
5 Floresta ombrófila densa	2,25%	1,60	A	25,00	40,00	762,00	152,40	1,27	0,04	0,06	0,75	1,89	3,68	
	14,87%	10,58	B	55,00	581,68	207,82	41,56	22,40	35,34	42,36	53,20	62,71	73,47	
6 Água	0,00%	-												
	1,31%	0,93												
Grupo de Solo Tipo A:	9,751%	6,94	A	54,60	378,62	211,24	42,25	21,81	34,58	41,52	52,25	61,67	72,33	
Grupo de Solo Tipo B:	90,252%	64,19	B	71,93	4.616,99	99,12	19,82	51,79	71,26	81,23	96,07	108,67	122,56	
Área Total Bacia Hidrográfica:	100,00%	71,12	AB	<b>70,24</b>	702,83	107,61	21,52	48,45	67,34	77,06	91,57	103,92	117,56	



**Figura 14.** Alterações cobertura e uso do solo da BH Igarapé Altamira entre os anos de 2016 e 2021, em Km<sup>2</sup>.



**Figura 15.** Alterações cobertura e uso do solo da BH Igarapé Altamira entre os anos de 2016 e 2021, em %.



**Figura 16.** CN em função das alterações cobertura e uso do solo da bacia hidrográfica entre os anos de 2016 e 2021.

E, quanto a qualidade da água, devido à ausência de estações de monitoramento com dados devidamente validados pela ANA ou outros órgãos oficiais, foi realizada pesquisa bibliográfica nos relatórios consolidados semestrais do Programa de Monitoramento Limnológico e de Qualidade da Água previsto no PBA UHE Belo Monte – (Tabela 5).

O (Tabela 5) descreve a análise temporal dos parâmetros de qualidade da água do Igarapé Altamira extraídos dos relatórios consolidados semestrais fornecidos pela Norte Energia ao Ibama, destacando em vermelho os parâmetros com divergências em relação ao VMP.

**Tabela 5.** Análise temporal dos parâmetros de qualidade da água do igarapé Altamira.

VARIÁVEL	dez/11	mar/12	jan/13	abr/13	abr/14	jul/14	jul/16	out/16	jan/17	abr/17	VMP Classe 2
Sólidos Dissolvidos Totais (g/L)	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,50
pH	5,61	6,14	5,49	6,78	6,77	6,12	6,20	7,31	6,12	6,37	6 < pH < 9
Turbidez (UNT)	9,70	7,50	21,20	10,20	22,40	11,90	13,90	34,10	33,50	39,90	100,00
Clorofila- <i>a</i> (µg/L)	0,14	1,28	0,95	32,32	1,54	1,90	2,09	2,28	NC	1,52	30,00
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	1,42	3,50	1,62	3,40	1,10	5,11	4,68	3,59	5,90	2,59	5,00
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	303,00	1.002,00	233,00	646,00	8.212,00	1.226,00	216,00	766,00	28.272,00	16.328,00	1.000,00
<i>Coliformes Totais</i> (NMP/100mL)	24.196,00	39.726,00	19.863,00	31.062,00	14.000,00	14.130,00	14.000,00	14.136,00	28.272,00	16.328,00	1.000,00
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	5,25	7,42	1,07	0,74	1,98	3,29	0,79	0,09	1,63	0,11	5,00
Fósforo Total (µg/L)	63,93	40,44	50,63	25,60	36,84	20,03	32,30	31,89	39,20	20,93	100,00
Cianobactéria (org/L)	-	1.440,00	215,00	258,00	666,00	2.042,00	1.075,00	1.311,00	1.741,00	3.836,00	50.000,00
Ferro dissolvido (mg/L)	0,55	0,55	1,01	<LD	1,44	0,99	0,30	0,17	0,17	1,81	0,30
Manganês total (mg/L)	0,13	0,13	0,21	<LD	0,05	0,05	0,13	0,03	0,04	0,17	0,10

Fonte: Norte Energia, 2011 – 2017.

## 5. Conclusão

A uniformização da metodologia e os critérios para delimitação das bacias hidrográficas e suas respectivas redes de drenagem com a utilização do SRTM, evitaria divergências entre os parâmetros morfométricos compiladas dos metadados fornecidos pelo SNIRH e SEIRH.

A metodologia utilizada pelo USDA/NRCS para cálculo do escoamento superficial de bacia hidrográficas com até 250 km<sup>2</sup>, com o apoio das ferramentas de geoprocessamento do software QGIS, proporcionou uma abordagem mais detalhada para o estabelecimento da capacidade de deflúvio, permitindo uma análise temporal dinâmica dos impactos hidromorfológicos do uso e

ocupação do solo da bacia hidrográfica do Igarapé Altamira, cujos os resultados demonstraram alterações no uso e ocupação do solo da BH Igarapé Altamira entre os anos de 2016 e 2021, com o aumento de 9,10% em área com pastagem ou terrenos em más condições e 1,36% de áreas urbanizadas, a redução de 3,87% da floresta ombrófila densa, o aumento de e 6,58% de terras expostas, que impactaram na capacidade de escoamento superficial desta bacia, com o aumento nos valores do curve-number (CN), e conseqüentemente aumentando gradativamente seu escoamento superficial em função do tempo de recorrência das maiores precipitações pluviométricas. A exemplo, a precipitação efetiva para TR de 100 anos entre 2016 e 2021, cujo escoamento superficial passou de 114,27 para 117,56 mm.

Correlacionando o aumento do escoamento superficial e os parâmetros de qualidade da água catalogados, reforça-se a hipótese de que as divergências nos parâmetros de qualidade da água do Igarapé Altamira sejam provenientes das alterações de uso e ocupação em sua bacia hidrográfica. Pois, mesmo com as alterações ocorridas no seu substrato espacial e a implantação da rede coletora de esgoto nas suas áreas urbanas de abrangência, (i) permaneceu alto o número de coliformes totais no corpo hídrico (12.500 – 40.000 NMP/100mL), (ii) o oxigênio dissolvido, não indicou estabilidade em seu monitoramento, portanto gerando mais contradições em relação as condições de recuperação do corpo hídrico, (iii) a presença alterada da quantidade de ferro e manganês que remetem a participação aquífera na alimentação do Igarapé Altamira, e (iv) as alterações de fósforo e nitrato, possivelmente relacionadas as alterações de escoamento superficial de elementos provenientes das crescentes áreas com atividades agropecuárias situadas na zona rural da bacia (9,10%) somado ao crescimento da área urbana (1,36%).

Face o exposto, justifica-se que medidas previstas no PBA, com objetivo de recuperar a capacidade hídrica do Igarapé, não foram satisfatórias, uma vez que não foram contextualizadas as características de uso e ocupação do solo da área total da bacia hidrográfica conforme previsto inicialmente no EIA. O PBA centralizou as ações mitigadoras para apenas em uma parte de área urbana da BH Igarapé Altamira.

## 6. Referências

Eletrobras. Estudo de Impacto Ambiental da Usina Hidrelétrica de Belo Monte. Brasília, DF: **Ibama, 2009**. 36 Volumes. Disponível em: <http://licenciamento.ibama.gov.br>. Acesso em 04 de janeiro de 2022.

Norte Energia. Projeto Básico Ambiental da Usina Hidrelétrica de Belo Monte. Brasília, DF: **Ibama, 2011**. 7 Volumes. Disponível em: <http://licenciamento.ibama.gov.br>. Acesso em 17 de fevereiro de 2022.

Brasil. Ministério de Desenvolvimento Regional. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - Snirh, 2009**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/>. Acesso em: 5 janeiros 2022. Comentários: Metadados Geoespaciais em conformidade com os padrões da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **IBGE**. Brasília, DF: Presidência da República, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/>. Acesso em 12 de agosto de 2022.

Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. **TOPODATA Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**, Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 05 janeiros 2022. Comentários: raster image com Modelo Digital de Elevação (MDE) elaborados a partir de dados da SRTM, mapa índic

## **Identificação e delimitação de áreas impactadas por pulverização de agrotóxicos sobre a vegetação nativa no Pantanal de Barão de Melgaço, Mato Grosso**

Jean Carlos Ferreira<sup>1</sup>  
André Pereira Dias<sup>1</sup>  
Jobberth Firmino Gambati<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso – SEMA/MT  
Rua C esquina com rua F, Centro Político Administrativo,  
78049-913, Cuiabá, Mato Grosso  
jeancarfloresta@hotmail.com  
{andrefloresta, jobberth.gambati}@gmail.com

**Resumo.** O estudo investigou o impacto da pulverização de agrotóxicos sobre áreas de vegetação nativa no Pantanal de Barão de Melgaço, Mato Grosso, especialmente em propriedades destinadas à pecuária extensiva, durante os anos de 2021, 2022 e 2023. Denúncias indicavam o uso de aeronaves para aplicar produtos químicos sobre áreas de vegetação nativa, levando à necessidade de uma metodologia eficaz para identificar e quantificar as áreas impactadas. Utilizando dados de sensoriamento remoto, o estudo aplicou os índices Triangular Greenness Index (TGI) e Índice de umidade de diferença normalizada (NDMI) em imagens dos satélites Sentinel 2A para detectar alterações na vegetação nativa. As imagens revelaram a destruição significativa da biodiversidade, incluindo a perda de vegetação em áreas de preservação permanente, devido ao uso recorrente de agrotóxicos pulverizados por avião. A análise identificou a degradação de 138.789 hectares entre os anos de 2021 e 2023, com graves impactos ambientais e financeiros, resultando em multas e embargos e obrigação de reparação dos danos ambientais. A pesquisa destaca a importância do monitoramento contínuo e da aplicação de geotecnologias para a proteção ambiental, especialmente em áreas críticas como o Pantanal, onde a fiscalização precisa ser rápida e precisa para prevenir maiores danos.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, índice triangular de verdor, diferença normalizada de água, agrotóxico, Pantanal.

**Abstract.** The study investigated the impact of pesticide spraying on areas of native vegetation in the Barão de Melgaço Pantanal, Mato Grosso, especially on properties intended for extensive livestock farming, during the years 2021, 2022 and 2023. Reports indicated the use of aircraft to apply chemicals over native vegetation areas, leading to the need for an effective methodology to identify and quantify the impacted areas. Using remote sensing data, the study applied the Triangular Greenness Index (TGI) and Normalized Difference Moisture Index (NDMI) in images from the Sentinel 2A satellites to detect changes in vegetation. The images obtained revealed significant destruction of biodiversity, including the loss of vegetation in permanent preservation areas, due to the continued use of pesticides. The analysis identified the degradation of 138,789 hectares between 2021 and 2023, with serious environmental and financial impacts, resulting in fines and embargoes and the obligation to repair environmental damage. The research highlights the importance of continuous monitoring and the application of geotechnologies for environmental protection, especially in critical areas such as the Pantanal, where inspection needs to be fast and precise to prevent further damage.

**Key-words:** remote sensing, triangular greenness index, normalized difference water. agrochemical, Pantanal.

## 1. Introdução

O Sensoriamento Remoto (SR) é uma prática consolidada para a caracterização e constatação de mudanças na paisagem devido ao seu baixo custo e alta eficiência, segundo Ponzoni et al. (2015) e vem sendo amplamente utilizada em estudos acadêmicos, bem como por entidades governamentais e não governamentais.

De acordo com Paranhos et al. (2021), o uso de geotecnologias por unidades de inteligência para planejamento de ações de combate a crimes ambientais é cada vez mais presente nos órgãos responsáveis pelo monitoramento e fiscalização. Essa estratégia permite planejar de maneira mais efetiva as ações de controle do desmatamento e dos incêndios florestais do que apenas com a fiscalização presencial, principalmente em um território tão vasto como o Brasil.

A utilização de dados de imagens e alertas diários sobre alterações na vegetação nativa tem se mostrado uma ferramenta eficaz para a fiscalização ambiental no estado de Mato Grosso, resultando em um aumento na apreensão de maquinários utilizados para desmatamento ilegal, o que vem contribuindo para a descapitalização dos infratores.

Como alternativa ao desmatamento mecanizado, tem-se observado um aumento no uso de fogo para reduzir a biomassa florestal, caracterizando o desmatamento por degradação sucessiva. Recentemente, também foi observado o uso de desfolhantes pulverizados sobre áreas de vegetação nativa para esse propósito.

Esses fatos destacam a necessidade de detecção rápida da ocorrência de eventos de degradação da vegetação nativa para prevenir danos ainda em estágios iniciais e assegurar a responsabilização adequada dos responsáveis e a devida recuperação das áreas afetadas.

Contudo, a maioria dos estudos que utilizam SR para identificar a degradação da vegetação nativa concentra-se na exploração madeireira seletiva e nos incêndios em florestas tropicais úmidas, afirma Souza et al. (2013). No entanto, Hett et al. (2012) e Ryan et al. (2012, 2014) indicam que há um interesse crescente em investigar distúrbios de menor intensidade, como agricultura itinerante, coleta de lenha e pastoreio de gado.

Nesse sentido, a aplicação de metodologias para o monitoramento de um território de grandes proporções como o estado de Mato Grosso é fundamental para subsidiar ações estratégicas para proteger a natureza, principalmente em áreas prioritárias para conservação.

Nos anos de 2022 e 2023 houve denúncias nos órgãos de fiscalização relativas à aplicação de agrotóxicos pulverizados com uso de aeronave agrícola sobre as áreas de vegetação nativa florestal em contato com savana no bioma Pantanal. As denúncias referiam-se a 11 propriedades contíguas destinadas à pecuária, localizadas no município de Barão de Melgaço, Mato Grosso. A pulverização destes agentes químicos altamente tóxicos, além de destruir a vegetação, influência também diretamente a fauna, através da contaminação do solo e da água, impactando

toda a cadeia trófica.

Devido a importância de monitorar a degradação florestal em diferentes contextos, especialmente em vegetações com fitofisionomia de cerrado (savana) e mosaicos de vegetação nativa em áreas úmidas, devido à complexidade da biodiversidade e da variação hídrica sazonal, foi desenvolvida uma metodologia para identificar e quantificar as áreas impactadas. Essa metodologia utiliza os índices TGI (Triangular Greenness Index) e NDMI (Normalized Difference Moisture Index) em imagens dos satélites Sentinel-2.

Essa abordagem visou subsidiar o planejamento e operações de fiscalização para a constatação de danos in loco, em uma operação conjunta entre a Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Ministério Público Estadual e outras entidades de comando e controle, permitindo a identificação e delimitação de áreas afetadas pela pulverização de produtos químicos, além de quantificar a degradação na vegetação nativa na área de estudo.

## 2. Objetivos

Identificar, caracterizar e delimitar as áreas impactadas por pulverização de agrotóxicos sobre as florestas e formas da vegetação nativa, em 11 imóveis rurais contíguos, numa área de 277.325 hectares, destinados à pecuária extensiva, localizadas no Pantanal de Barão de Melgaço.

## 3. Material e Métodos

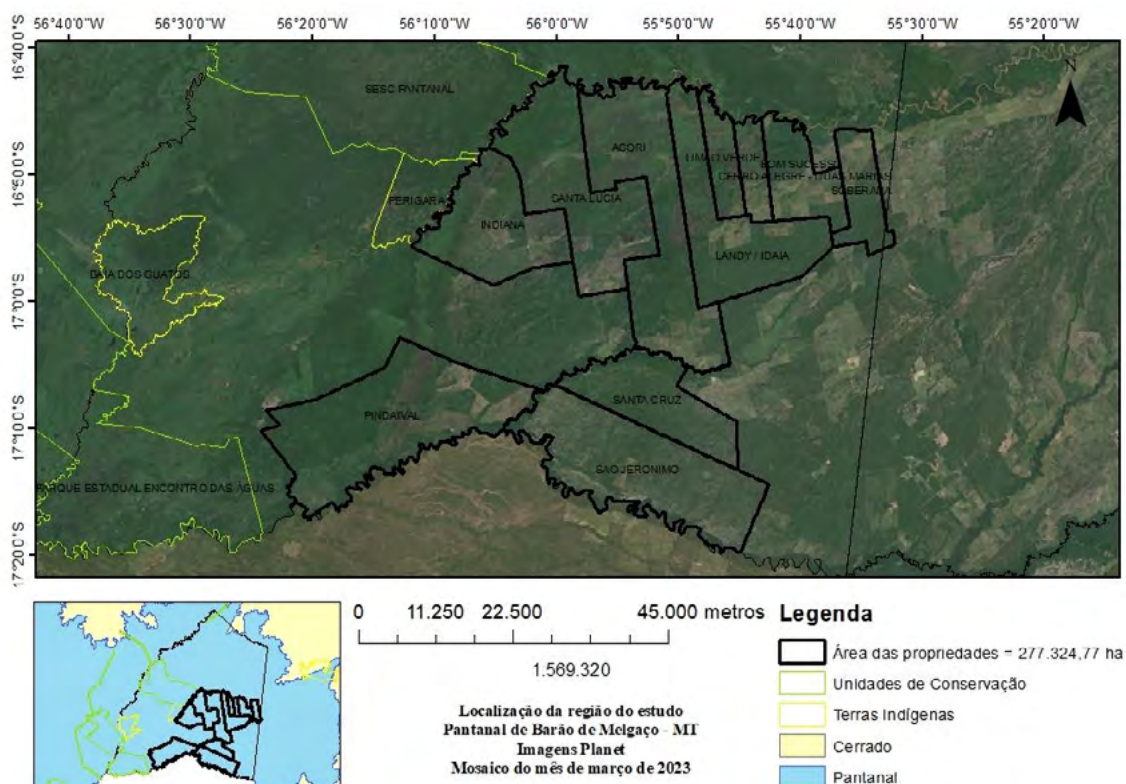
A área do estudo situa-se no Pantanal de Barão de Melgaço, que é uma das onze sub-regiões do bioma Pantanal. Essa sub-região apresenta uma heterogeneidade espacial de solos que, associada aos tipos de inundação e variações hídricas sazonais, gera grande diversidade de microhabitats compostos por Cordilheiras, Paleodiques, Murunduns, que constituem as formas de relevo raramente inundáveis. Já as Planícies fluviais, Campos, Baías, Corixos e Vazantes apresentam inundações anuais ou permanentes. As altitudes variam de 100 a 150m, e a declividade é inexpressiva, segundo estudo de Beirigo (2008).

As propriedades rurais avaliadas situam-se no entorno das Terras Indígenas Perigara e Baía dos Guatós, além de duas unidades de conservação (SESC Pantanal e Parque Estadual Encontro das Águas). (**Figura 1**)

A vegetação nativa da área de estudo é composta pelas fitofisionomias Savana Arborizada com floresta-de-galeria (Saf), Savana Arborizada sem floresta de galeria (Sas), Savana Gramíneo-Lenhosa sem floresta de galeria (Sgs), Savana Parque sem floresta de galeria (Sps), Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas com dossel emergente (Fbe), Floresta Estacional Semidecidual Aluvial com dossel emergente (Fae), de acordo com a Classificação da Vegetação Brasileira oficial utilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, atualizado na escala 1:250.000 .

Para iniciar a avaliação dos impactos e a extensão dos danos causados pelo lançamento de agrotóxicos sobre a vegetação nativa na área estudada, foi realizada uma análise temporal utilizando as imagens disponíveis dos satélites Sentinel-2 e da Constelação PlanetScope, com resolução espacial de 10 metros e 3 metros, respectivamente, que apresentavam cobertura de nuvens inferior a 20%.

Outro insumo utilizado para a identificação das áreas degradadas foram os polígonos de alertas de desmatamento, degradação e cicatriz de queimadas gerados através das imagens diárias Planet, disponibilizados ao setor de monitoramento e fiscalização ambiental da SEMA-MT. Para esta primeira abordagem, as análises foram realizadas utilizando o programa Arcgis 10.8 como Sistema de Informações Geográficas.



**Figura 1.** Mapa de localização da área de interesse.  
Fonte: SEMA-MT, 2023.

Através da série histórica destes sensores e dos polígonos de alerta, foi possível realizar o acompanhamento da dinâmica da degradação e/ou supressão da vegetação nativa e do uso do solo ao longo do tempo, sendo possível constatar que a degradação da vegetação nativa iniciou em janeiro de 2019 e persistiu até maio de 2023.

Devido às limitações das bandas RGB na identificação e delimitação precisa da degradação, optou-se pela utilização dos índices espectrais TGI (Triangular Greenness Index) e NDMI (Normalized Difference Moisture Index). Esses índices foram selecionados por sua capacidade de realçar variações sutis na resposta espectral, permitindo a detecção mais precisa de áreas degradadas por aplicação de produtos químicos nas florestas e vegetação nativa da área de estudo.

O TGI utiliza as três bandas do espectro do visível (RGB), sem a necessidade de utilizar bandas do infravermelho próximo (NIR) que geralmente não estão disponíveis em sensores multiespectrais de baixo custo. Este índice está altamente correlacionado com o teor de clorofila foliar e aproxima a área de um triângulo que delimita um espectro de refletância da folha, onde os vértices estão nos comprimentos de onda vermelho, verde e azul, como descrevem Hunt et al. (2011) e Polat (2020). O cálculo do TGI foi realizado na plataforma de nuvem Google Earth Engine (GEE), baseado em imagens de sensoriamento remoto do satélite Sentinel-2, obtidas da coleção de imagens “COPERNICUS/S2\_SR\_HARMONIZED” para os anos de 2021 até 2023. Foram utilizadas as bandas Azul (2), Verde (3) e Vermelho (4) do Sentinel-2, através da fórmula “ $TGI = (0.5 * (190 * (Vermelho - Verde) - 120 * (Vermelho - Azul)))$ ”, e o resultado foi reclassificado em 3 níveis.

O NDMI é um índice que mede o conteúdo de umidade da vegetação, baseando-se na diferença entre as bandas do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de ondas curtas

(SWIR), através da fórmula  $NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$ .

A banda espectral do SWIR é sensível ao conteúdo de água da vegetação e à estrutura mesofílica das folhas. Já a banda do NIR capta a refletância brilhante da estrutura interna das folhas e o conteúdo de matéria seca das folhas. Quando combinada, a precisão dos dados sobre o teor de água da vegetação torna-se muito mais elevada.

Delgado-Moreno & Gao, 2021 explicam que quando a vegetação está saudável, ela tende a reter mais umidade, resultando em valores mais altos de NDMI. Já em situações de estresse hídrico, degradação ou morte da vegetação, o conteúdo de umidade diminui, o que se reflete em valores mais baixos de NDMI. Isso o torna útil para monitorar processos de degradação, especialmente em ecossistemas onde o estresse hídrico e a perda de biomassa são sinais de deterioração da vegetação. Este índice foi processado diretamente na plataforma EO Browser da Sentinel Hub, que disponibiliza o resultado do NDMI de forma rápida em cada imagem selecionada da área estudada. O intervalo de valores deste índice varia de -1 a 1. Valores negativos (próximos de -1) estão associados a solo exposto. Valores em torno de zero (-0,2 a 0,4) correspondem a uma baixa cobertura de copa e estresse hídrico elevado e valores altos e positivos (aproximadamente 0,4 a 1) representam vegetação com dossel mais fechado e sem estresse hídrico.

Após o processamento das imagens e índices, foi realizada a identificação visual, a delimitação do dano e sua quantificação.

#### 4. Resultados e Discussão

Por meio da análise temporal foi verificado que parte da área de estudo foi severamente atingida pelo grande incêndio florestal que ocorreu no Pantanal mato-grossense entre agosto e setembro de 2020. No entanto, não foram registradas ocorrências de queimadas ou incêndios nos períodos subsequentes, portanto as florestas, juntamente com outras formações de vegetação nativa remanescente atingidas pelo fogo, encontravam-se em processo de regeneração natural em diferentes estágios desde então.

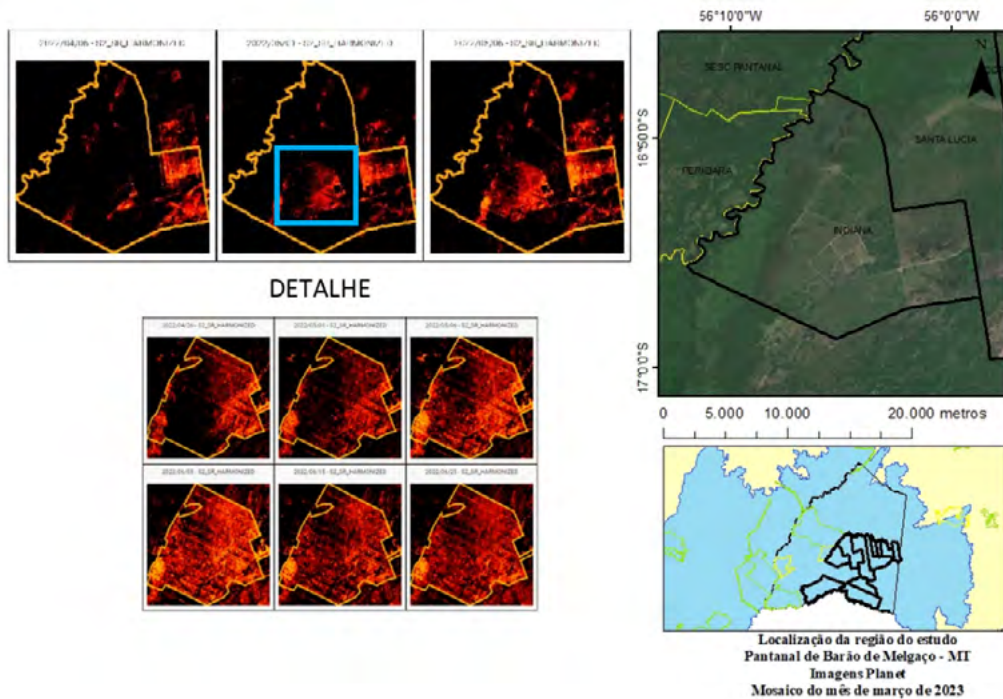
Os resultados apresentados na **Figura 2**, demonstram que regiões com valores negativos entre -1 a -0,499, (em vermelho) trata-se de vegetação sob forte estresse ou em degradação, onde a atividade fotossintética é muito baixa. Valores entre 0,5 e 0,749 na cor laranja, indica áreas onde a vegetação está passando por algum nível de estresse, mas ainda possui uma quantidade razoável de clorofila. As áreas em preto com valores entre 0,75 e 1, representam alto vigor de clorofila das folhas da vegetação nativa.

Através dos resultados obtidos, verificou-se que a degradação observada não foi decorrente de déficit hídrico, seca extrema ou outro evento climático, como geada, por exemplo, uma vez que foi possível identificar claramente as zonas afetadas são caracterizadas por faixas lineares com limites bem definidos, planejados com espaçamentos graduais e contínuos, correspondendo com as características e especificidades de pulverização aérea de produtos agrotóxicos sobre as florestas e a vegetação nativa das propriedades rurais avaliadas, como demonstra o detalhe da **Figura 3**.

A análise das imagens calculadas pelo TGI permitiu evidenciar os danos à vegetação nativa desde o início das observações das alterações anormais até a persistência desses impactos ao longo do tempo.

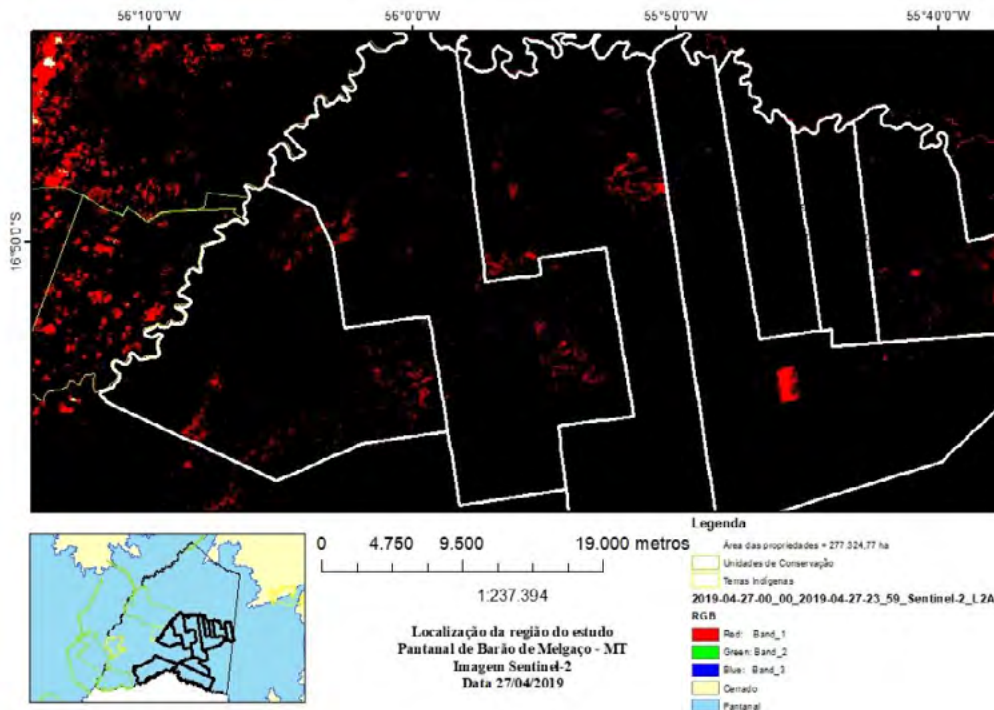
Através da aplicação do script customizado envolvendo TGI e NDMI, foi realizada a comparação dos valores dos índices obtidos antes, durante e após as pulverizações de agrotóxicos nas propriedades. Estes dados subsidiaram a delimitação das áreas impactadas de forma manual em conjunto com a análise visual das imagens em RGB, a qual foram vetorizadas em arquivos





**Figura 2.** Apresenta imagens TGI de uma sequência temporal entre 15/02/2022 e 25/06/2022 com a evolução do dano sobre a vegetação nativa no entorno das coordenadas 56°5'53,173\"/>

Fonte: SEMA-MT, 2023.



**Figura 3.** A coloração preta nas imagens TGI representa alto vigor de clorofila das folhas da vegetação nativa caracterizam as áreas com vegetação nativa vigorosa na data 27/04/2019. Com poucas áreas em vermelho, onde a atividade fotossintética é muito baixa.

Fonte: Sentinel Hub, (2023).

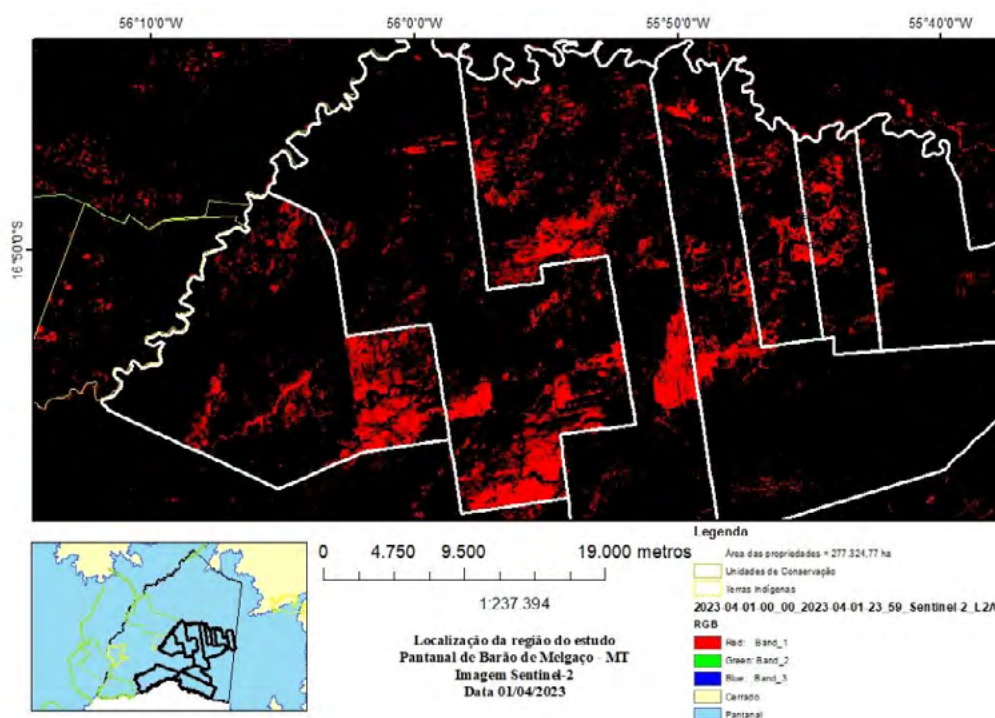
vetoriais, permitindo a mensuração da área impactada em cada ano.

As áreas de preservação permanente foram delimitadas e quantificadas com base na legislação vigente e nas características físicas e biológicas identificadas in loco, em conjunto com a coleção das imagens dos satélites disponibilizadas de forma pública do banco de dados do órgão ambiental, desde o ano de 1984 até 2023.

Essa prática realizada ao longo de 3 anos resultou em danos significativos à biodiversidade, destruindo vegetações nativas em estágio de regeneração natural, áreas de preservação permanente, áreas de preservação especial, e reservas legais, além de causar poluição ambiental, sendo quantificada a degradação em uma área de 60.233 hectares no ano de 2021, 38.711 hectares no ano de 2022 e 38.368 ha em 2023, acumulando 138.789 ha de áreas degradadas, deste total, uma área de 5.223 hectares trata-se de área de preservação permanente.

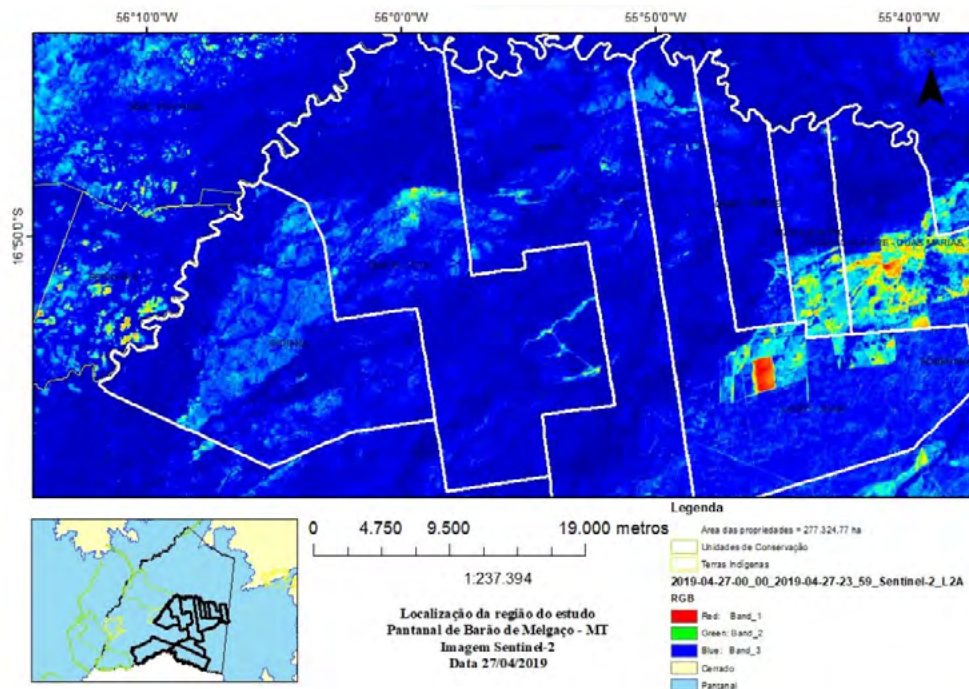
É possível constatar na (Figura 2) que as áreas atingidas apresentam um incremento da mortalidade das árvores afetadas por agrotóxicos com início da perda das folhas, ou seja, redução da clorofila e água, até a perda total das folhas, em comparação com as imagens anteriores em época normal de chuvas e cheias no Pantanal de Barão de Melgaço.

As (Figuras 3 e 4), demonstram as classes obtidas do TGI de antes e depois da ocorrência do dano decorrente do lançamento de agrotóxicos nas propriedades, do mesmo modo as (Figuras 5 e 6) para as classes do NDMI.



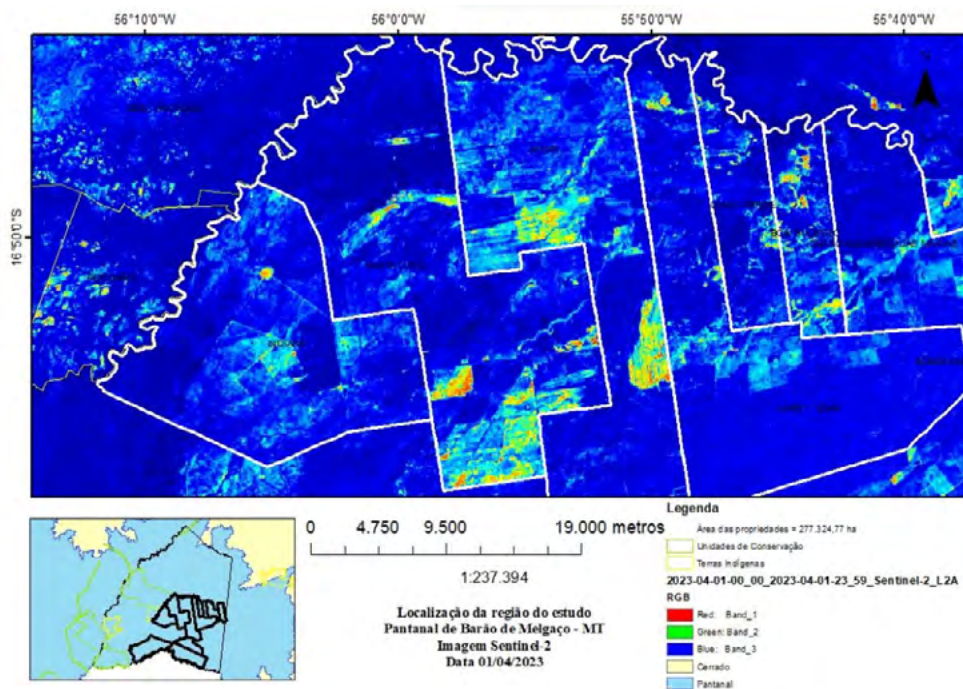
**Figura 4.** Após o lançamento de agrotóxicos sobre a área, percebe-se na imagem TGI de 01/04/2023 um aumento significativo das áreas em vermelho, que têm um TGI negativo, caracterizada por vegetação sob forte estresse ou em degradação, onde a atividade fotossintética é muito baixa.

Fonte: Sentinel Hub, (2023).



**Figura 5.** A imagem Sentinel-2 de 27/04/2019, calculada pelo NDMI. Demonstram que nesta data a maior parte da vegetação nativa apresentava valores altos (entre 0,4 e 1), que representam alta cobertura do dossel sem estresse hídrico.

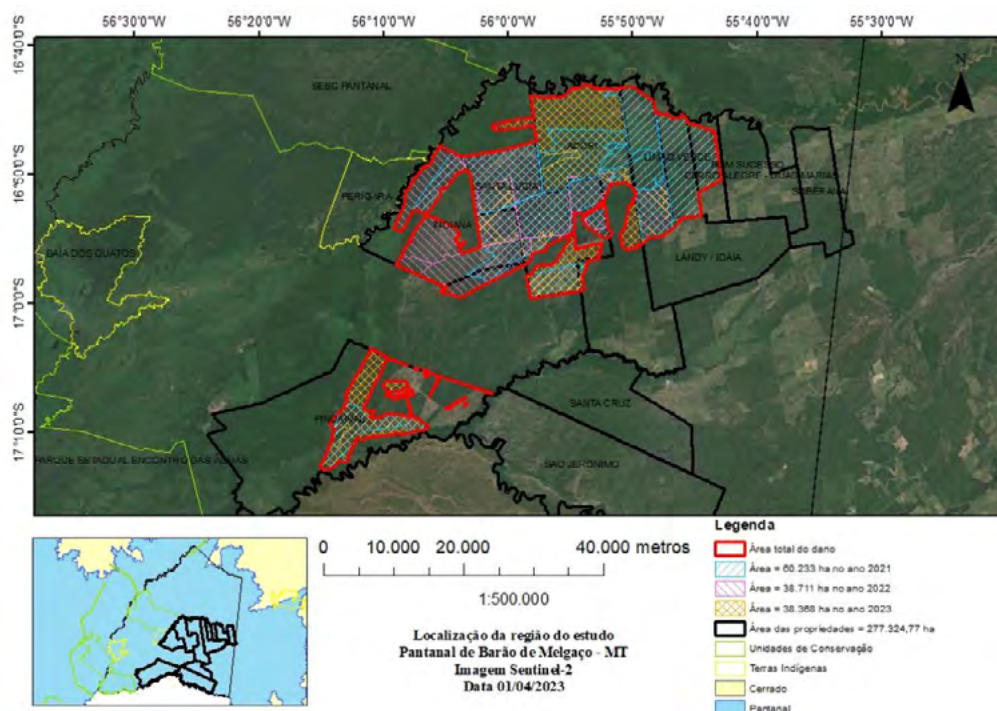
Fonte: Sentinel Hub, (2023).



**Figura 6.** Na imagem de 15/07/2023 há um aumento de áreas com valores menores de NDMI em verde e amarelo que correspondem a estresse hídrico. As áreas em azul apresentam valores altos e positivos, representam copa alta sem estresse hídrico (aproximadamente entre 0,4 e 1).

Fonte: Sentinel Hub, (2023).

Os índices utilizados destacaram as áreas afetadas permitindo delimitar os impactos, e quantificar as áreas afetadas, sendo uma área de 60.233 hectares no ano de 2021, 38.711 ha no ano de 2022 e 38.368 ha em 2023, acumulando 138.789 ha de áreas degradadas conforme demonstrado na (Figura 7), deste total uma área de 5.223 hectares trata-se de área de preservação permanente.



**Figura 7.** Área total dos danos ocorridos entre os anos de 2021 e 2023.  
Fonte: SEMA-MT, 2023.

## 5. Conclusões e Sugestões

Essa abordagem permitiu uma avaliação muito rápida e detalhada dos impactos na vegetação, fornecendo informações valiosas para a compreensão da extensão e da cronologia dos danos na área de estudo.

Os resultados obtidos serviram para direcionar as ações de fiscalização e responsabilização, resultando em embargo e interdição total da área, com multas aplicadas pelo órgão ambiental que somadas, chegam a quase R\$ 2 bilhões e 900 milhões, além de R\$ 2 bilhões e 300 milhões para recuperar a vegetação para a reparação dos danos ambientais que causou ao Pantanal.

Diante dos desafios envolvidos na caracterização da degradação de vegetação nativa de fitofisionomia de cerrado e dos mosaicos vegetacionais característicos de áreas úmidas, consideramos que a metodologia aplicada neste estudo é altamente relevante e possui potencial para ser utilizada em outras áreas do bioma Pantanal, bem como em regiões com características similares.

É importante destacar que, devido ao fogo provocado pela estiagem fazer parte da dinâmica natural do bioma, a vegetação do Pantanal desenvolveu estratégias de adaptação que permitem sua sobrevivência à estação seca, recuperando-se rapidamente quando cessam as queimadas e inicia-se a estação chuvosa. Essa resiliência confere à vegetação uma capacidade de recuperação significativa em determinados ambientes.

Entretanto, o aumento nos valores de biomassa durante o processo de regeneração natural

pode dificultar a detecção dos efeitos da degradação por meio de dados de sensoriamento remoto em curtos intervalos de tempo, uma vez que a rápida recuperação pode gerar confusão espectral, mascarando os impactos reais da degradação.

Dessa forma, recomendamos a realização de estudos adicionais com o objetivo de padronizar as abordagens de sensoriamento remoto para a detecção rápida dos impactos sobre a vegetação nativa dessa sub-região do Pantanal. Além disso, é fundamental desenvolver assinaturas espectrais específicas ao longo do tempo, que permitam discriminar diferentes tipos de degradação e gerar alertas sobre as alterações na cobertura vegetal de maneira célere.

## 6. Agradecimentos

Aos analistas da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso.

## 7. Referências

- Beirigo, R. M.. Sistema pedológico Planosolo-Plintossolo no Pantanal de Barão de Melgaço-MT. 2008. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2008. doi:10.11606/D.11.2008.tde-11022009-090704. Acesso em: 2024-09-11.
- Brasil, Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2ª edição revista e ampliada. Sistema fitogeográfico. Inventário das formações florestais e campestres. Técnicas e manejo de coleções botânicas. Procedimentos para mapeamentos. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE**. Rio de Janeiro, 2012.
- Delgado-Moreno, D.; Gao, Y. Forest degradation estimation through trend analysis of annual time series NDVI, NDMI and NDFI (2010–2020) using landsat images. In: International Conference on Geospatial Information Sciences. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 149-159.
- Hunt Jr, E. Raymond et al. Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. *Agronomy journal*, v. 103, n. 4, p. 1090-1099, 2011.
- Paranhos, A. C. et al. Geotecnologias para aplicações ambientais. **Uniedusul**. 394p, 2021.
- Polat, Nizar. An investigation of Triangular Greenness Index performance in vegetation detection. **Intercontinental Geoinformation Days**, v. 1, p. 166-168, 2020.
- Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M. Sensoriamento remoto da vegetação. **Oficina de textos**, 2015.
- Ryan, C. M., Hill, T., Woollen, E., Ghee, C., Mitchard, E., Cassels, G., & Williams, M. (2012). Quantifying small-scale deforestation and forest degradation in African woodlands using radar imagery. **Global Change Biology**, 18(1), 243–257.
- SEMA-MT. Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso. **Relatório Técnico Agrotóxicos-Pantanal/CFFL/SUF/SEMA/2023**. Auto de infração 1968000123. Protocolo processo 003530/2023.

## **Análise da dinâmica do uso e cobertura da terra na Bacia do Alto Paraguai por meio da Plataforma Digital TerraClass**

João Francisco Gonçalves Antunes <sup>1</sup>

João Luís dos Santos <sup>2</sup>

Lídia Sanches Bertolo<sup>2</sup>

Victor Pedroso Curtarelli <sup>2</sup>

Adriane Calaboni <sup>2</sup>

Alexandre Camargo Coutinho <sup>1</sup>

Júlio César Dalla Mora Esquerdo <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Agricultura Digital

Av. André Tosello, 209 – Campus da Unicamp, Barão Geraldo

13083-886 – Campinas, SP, Brasil

{joao.antunes, alex.coutinho, julio.esquerdo}@embrapa.br

<sup>2</sup> Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Av. José Rocha Bonfim, 214, Jardim Santa Genebra, Praça Capital, Ed. Frankfurt, Sala 126

13080-650 – Campinas, SP, Brasil

{joao.santos, lidia.bertolo, victor.curtarelli, adriane.calaboni}@giz.de

**Resumo.** A Bacia do Alto Paraguai (BAP) é um ecossistema de importância estratégica para o Brasil, uma vez que abriga o Pantanal, uma das maiores áreas inundáveis do mundo. A planície úmida é bem conservada, mas o planalto tem sofrido o impacto das atividades antrópicas sobre os recursos naturais, devido a rápida conversão da cobertura vegetal nas últimas décadas. Por isso é importante investigar a mudança de uso e cobertura da terra para definir estratégias que estimulem a conservação ambiental e o desenvolvimento regional. A região do planalto da BAP é contemplada pelos mapeamentos do Projeto TerraClass, que oferecem dados oficiais para o monitoramento do uso e cobertura da terra nos biomas Amazônia e Cerrado. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi analisar as mudanças do uso e cobertura da terra em municípios da BAP, utilizando o modernizado GeoPortal TerraClass e a nova coleção dos dados de 2018, 2020 e 2022. A análise espacial mostrou que ocorreu perda da floresta devido ao aumento do desmatamento, a maior parte das áreas de regeneração florestal persistiu nesse período e a área perdida foi convertida em pastagens, onde se expandiu a agricultura, inicialmente com um ciclo de produção, seguido posteriormente pela intensificação de ciclos de produção de safra e safrinha. Os resultados demonstram o potencial dos dados e das ferramentas oferecidas pela Plataforma Digital TerraClass no apoio à gestão territorial.

**Palavras-chave:** BAP, banco de dados geoespaciais, mapeamento, mapa interativo, gestão territorial.

**Abstract.** The Upper Paraguay Basin (BAP in Portuguese acronym) is an ecosystem of strategic importance to Brazil, since it includes the Pantanal, one of the largest floodplains in the world. The plain wetland is well preserved, but the plateau has suffered the impact of anthropic activities on natural resources, due to the rapid conversion of vegetation cover in recent decades. Therefore, it is important to investigate land use and cover changes to define strategies that stimulate environmental conservation and regional development. The BAP plateau region is covered by the mappings of the TerraClass Project, which provides official data for monitoring of land use and cover in the Amazon and Cerrado biomes. In this context, the objective of the work was to analyze changes in land use and land cover in municipalities of the BAP, using the modernized GeoPortal TerraClass and the new data collection from 2018, 2020 and 2022. The spatial analysis showed that forest loss occurred due to increased deforestation, most of the forest regeneration areas persisted during this period and the lost area was converted into pastures, where the agriculture expanded, initially with one cycle production, followed by the intensification of crop and off-season production. The results demonstrated the potential of the data and tools offered by the Digital Platform TerraClass to support territorial management.

**Key-words:** BAP, spatial database, mapping, interactive map, land management..

## 1. Introdução

A Bacia do Alto Paraguai (BAP), cuja porção brasileira engloba parte dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, tem grande importância estratégica para o Brasil devido à diversidade ecológica da paisagem. O Pantanal, uma das maiores planícies inundáveis do mundo com rica biodiversidade de fauna e flora, é bem conservado. Já o planalto tem passado por alterações antrópicas em substituição à vegetação natural pela pecuária, pela agricultura, por reflorestamentos e por edificações urbanas Silva et al., (2011). Nesse contexto, é fundamental que a BAP seja constantemente monitorada, visando apoiar políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável, frente aos impactos ambientais da produção agrícola na região do planalto.

O estado do Mato Grosso teve, nas últimas décadas, uma rápida conversão da cobertura vegetal, na qual as atividades pecuárias, agrícolas e extrativistas de madeira, promoveram grandes dinâmicas econômicas, sociais e ambientais, em detrimento da conservação dos recursos naturais Becker, (2005). A ocupação do Mato Grosso foi fomentada por ações da política federal de colonização dos “espaços vazios” do Centro-Oeste e pela construção dos grandes eixos rodoviários para canalizar o escoamento da produção Chiovetto, (2014).

Nesse mesmo período, o estado de Mato Grosso do Sul passou por um processo semelhante de importantes transformações socioeconômicas, que vão de uma estrutura produtiva de fornecedor de matéria-prima, essencialmente para a região sudeste, para uma economia voltada ao mercado externo Corrêa et. al, (2018). A expansão e a modernização agrícola aceleraram esse processo, fazendo com que o estado se tornasse um grande produtor de grãos e carnes para o mercado nacional e internacional Calixto e Gomes, (2014).

Por isso, as informações sobre a identificação e a qualificação do uso e cobertura da terra são necessárias para definir estratégias que estimulem a conservação ambiental e o desenvolvimento regional Lambin e Geist, (2006).

O Projeto TerraClass é fruto de uma parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), iniciada em 2008, cujo objetivo é mapear o uso e cobertura da terra em áreas desmatadas identificadas pelo Programa de Monitoramento do Desmatamento por Satélite (PRODES) INPE, (2024), como pastagem, agricultura e regeneração florestal Coutinho et al., (2013); Almeida et al., (2016). Esses mapeamentos oferecem subsídios para a definição e monitoramento de políticas públicas e ações governamentais, auxiliando a promoção e a potencialização da produção agrícola com bases sustentáveis, a preservação da cobertura vegetal natural e a manutenção dos serviços ecossistêmicos. Recentemente foram lançados os novos dados oficiais dos anos 2018, 2020 e

2022 para os biomas Amazônia e Cerrado, que recobrem mais de 70% do território nacional, e estão disponíveis no GeoPortal TerraClass. Essa plataforma digital é destinada a facilitar o acesso e a visualização dos dados geoespaciais a partir de um mapa interativo, que permite de forma simples e intuitiva obter informações espaciais dos mapeamentos, assim como executar análises da dinâmica de uso e cobertura da terra INPE e Embrapa, (2024).

## 2. Objetivo

Identificar, quantificar e analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra em municípios da BAP utilizando ferramentas disponíveis na Plataforma Digital TerraClass, com base nos dados dos biomas Amazônia e Cerrado.

## 3. Material e Métodos

No âmbito da BAP, considerando que a planície úmida pantaneira possui algumas especificidades restritivas das formas de uso e cobertura da terra, o planalto tem passado por uma intensa transformação da paisagem, principalmente devido a pecuária de corte, a produção de grãos, a silvicultura e a indústria sucroalcooleira Silva e Carlini, (2015). Com base nisso, a região de estudo compreende os 39 municípios localizados no planalto da BAP que são contemplados inteiramente pelos dados do TerraClass Amazônia e Cerrado, sendo 15 no estado de Mato Grosso do Sul e 24 no estado de Mato Grosso, listados na (Tabela 1).

**Tabela 1.** 39 municípios do planalto da BAP contemplados pelos mapeamentos do TerraClass.

Número	Município	Estado	Área (km <sup>2</sup> )	Número	Município	Estado	Área (km <sup>2</sup> )
1	Acorizal	MT	852,7	21	Jardim	MS	2.201,5
2	Alcinópolis	MS	4.399,7	22	Juscimeira	MT	2.293,6
3	Alto Paraguai	MT	1.844,8	23	Nioaque	MS	3.923,8
4	Anastácio	MS	2.946,3	24	Nova Olimpia	MT	1.367,8
5	Araputanga	MT	1.610,1	25	Pedra Preta	MT	4.049,5
6	Arenápolis	MT	415,6	26	Pedro Gomes	MS	3.651,2
7	Barra do Bugres	MT	5.981,6	27	Reserva do Cabaçal	MT	1.342,1
8	Bela Vista	MS	4.892,6	28	Rio Branco	MT	561,6
9	Bonito	MS	4.934,4	29	Rio Negro	MS	1.807,7
10	Caracol	MS	2.940,3	30	Rochedo	MS	1.561,1
11	Chapada dos Guimarães	MT	6.611,7	31	Rondonópolis	MT	4.686,7
12	Corguinho	MS	2.638,2	32	Salto do Céu	MT	1.754,5
13	Cuiabá	MT	3.293,6	33	Santo Afonso	MT	1.174,2
14	Denise	MT	1.278,5	34	São Gabriel do Oeste	MS	3.864,7
15	Dois Irmãos do Buriti	MS	2.341,7	35	São José do povo	MT	448,3
16	Figueirópolis D'Oeste	MT	888,1	36	São José dos Quatro Marcos	MT	1.287,9
17	Guia Lopes da Laguna	MS	1.210,6	37	São Pedro da Cipa	MT	344,1
18	Indiavaí	MT	592,6	38	Terenos	MS	2.841,7
19	Jaciara	MT	1.675,1	39	Várzea Grande	MT	1.048,4
20	Jangada	MT	1.015,3	<b>TOTAL</b>			<b>92.574,0</b>

A dinâmica do uso e cobertura da terra nos 39 municípios do planalto da BAP foi analisada por meio do modernizado GeoPortal TerraClass (Figura 1) que disponibiliza a nova coleção atualizada dos dados de 2018, 2020 e 2022 para os biomas Amazônia e Cerrado, e oferece um novo mapa interativo (Figura 2) composto por um amplo e poderoso conjunto de ferramentas para análise espacial dos mapas da série histórica.



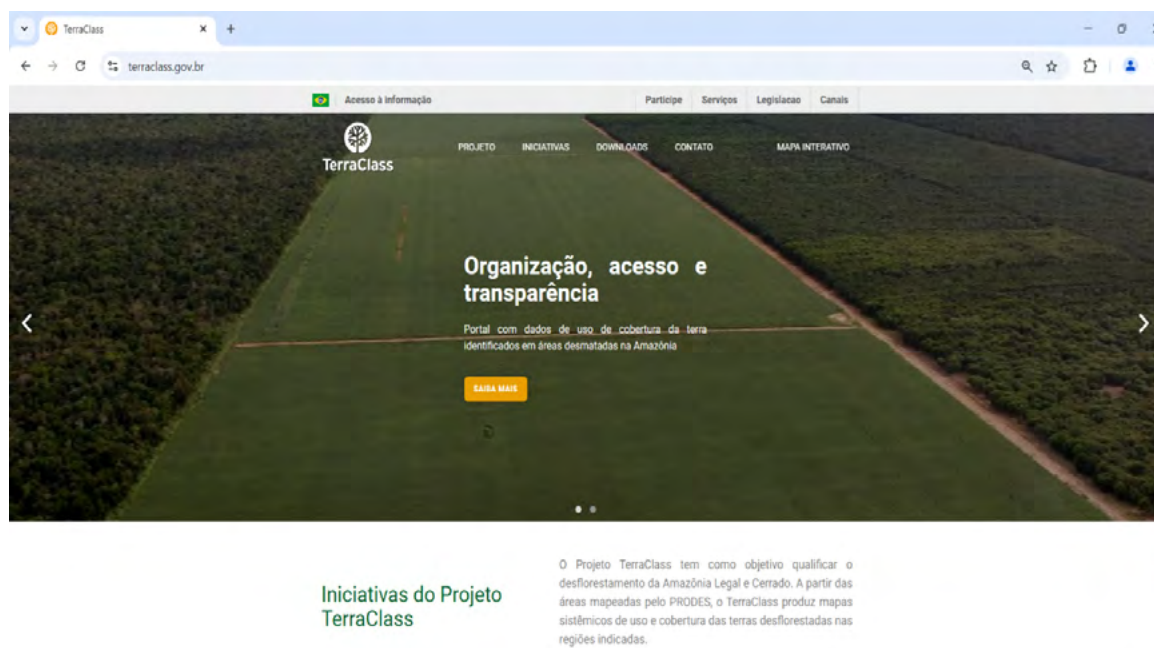


Figura 1. GeoPortal TerraClass.

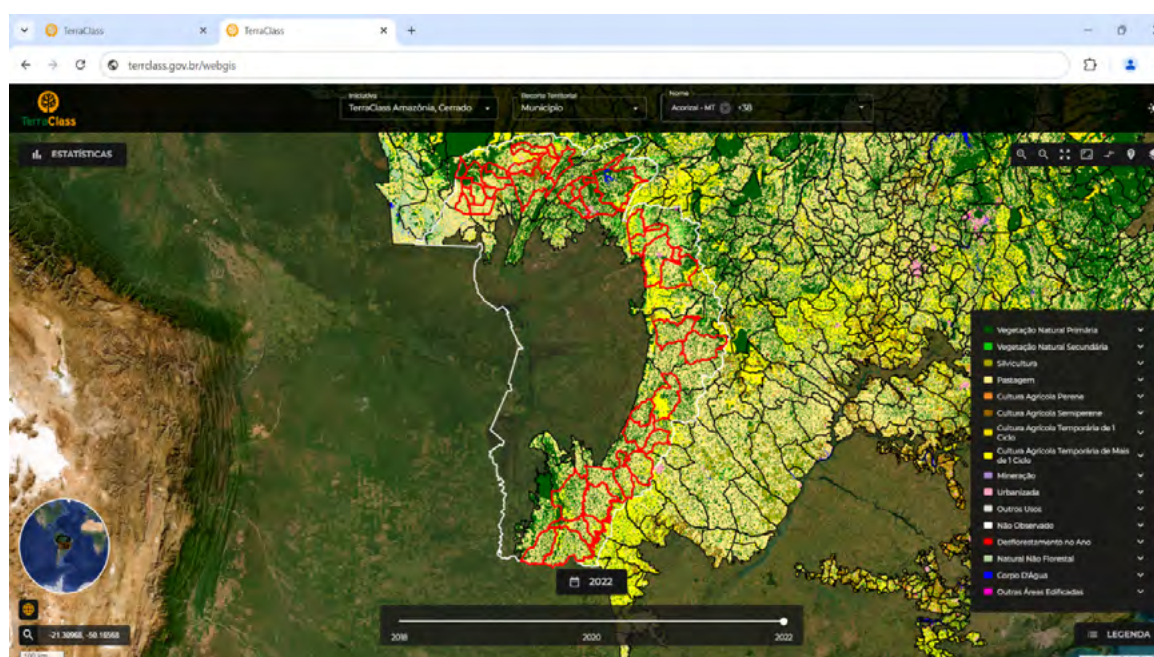


Figura 2. Mapa interativo do TerraClass mostrando a localização dos 39 municípios do planalto da BAP nos biomas Amazônia e Cerrado.

Os novos mapas do TerraClass foram gerados por meio de uma metodologia inovadora no Brasil que utiliza cubos de dados multidimensionais de séries temporais de imagens Sentinel-2, de 10m de resolução espacial e composições de 16 dias de resolução temporal, disponibilizadas pelo projeto *Brazil Data Cube* (BDC) (Ferreira et al., 2020), e do pacote *Satellite Image Time Series Analysis for Earth Observation Data Cubes* (SITS) de código aberto, desenvolvido na linguagem R, para análise, visualização e classificação de séries temporais de imagens de satélite por meio de algoritmos de aprendizado de máquina, e nas versões mais recentes em

especial algoritmos de aprendizado profundo Simões et al., (2021).

Os mapeamentos do TerraClass consideram as seguintes classes temáticas: Vegetação Natural Primária, Vegetação Natural Secundária, Silvicultura, Pastagem, Cultura Agrícola Perene, Cultura Agrícola Semiperene, Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo, Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo, Mineração, Urbanizada, Outras Áreas Edificadas, Outros Usos, Não Observado, Desflorestamento no Ano, Natural Não Florestal, Corpo D'Água.

O GeoPortal TerraClass foi evoluído a partir de ferramentas de código aberto, com os dados armazenados em um banco de dados PostgreSQL, que utiliza as funcionalidades da extensão PostGIS para implementar as consultas espaciais de forma otimizada. O mapa interativo propicia acesso, visualização, sobreposição e manipulação dos dados espaciais da série histórica para diferentes recortes territoriais, de forma rápida e intuitiva, oferecendo ferramentas para geração de gráficos de setores, gráfico de evolução, matriz de transições entre pares de mapas e diagramas de transições por meio de Sankey Schmidt, (2008), combinando múltiplos mapas das classes temáticas ao longo dos anos e possibilitando a visualização das áreas relacionadas à uma transição selecionada Santos, (2022).

#### 4. Resultados e Discussão

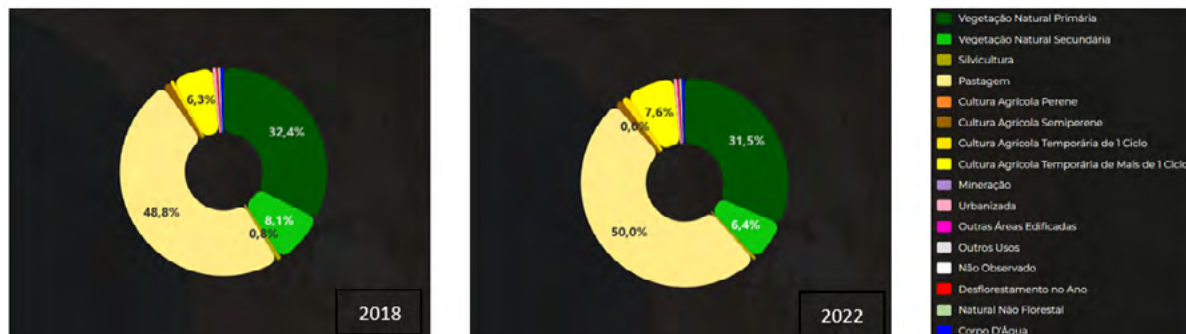
Do total dos 361,6 mil km<sup>2</sup> compreendidos pela porção brasileira da BAP que abrange 91 municípios, cerca de 58% (210,7 mil km<sup>2</sup>) estão localizados fora do bioma Pantanal, sendo 16% no bioma Amazônia e 84% no bioma Cerrado. As análises apresentadas neste estudo referem-se a área dos 39 municípios que se encontram inteiramente inseridos na região do planalto da BAP, totalizando 92,5 mil km<sup>2</sup>, os quais são contemplados pelos dados do TerraClass.

A (Tabela 2) apresenta as áreas (km<sup>2</sup>) das classes temáticas de uso e cobertura da terra nos 39 municípios do planalto da BAP, nos anos de 2018 e 2022, bem como a diferença que representa a dinâmica entre os anos, cujos valores foram exportados por meio do mapa interativo do TerraClass.

**Tabela 2.** Área e a dinâmica das classes temáticas de uso e cobertura da terra nos anos de 2018 e 2022 nos 39 municípios do planalto da BAP.

Classe temática / Ano	39 Municípios da BAP			
	Área (km <sup>2</sup> )		Dinâmica	Dinâmica (%)
	2018	2022		
Vegetação Natural Primária	29.992,83	29.130,74	-862,09	-2,9
Vegetação Natural Secundária	7.536,36	5.894,95	-1.641,41	-21,8
Silvicultura	692,18	481,25	-210,93	-30,5
Pastagem	45.174,96	46.263,75	1.088,78	2,4
Cultura Agrícola Perene	13,84	19,19	5,35	38,6
Cultura Agrícola Semiperene	1.130,15	1.074,06	-56,09	-5,0
Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo	536,86	1.048,03	511,17	95,2
Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo	5.844,11	7.027,48	1.183,38	20,2
Mineração	21,98	21,97	-0,01	-0,1
Urbanizada	528,20	500,89	-27,31	-5,2
Outras Áreas Edificadas	92,23	99,13	6,90	7,5
Outros Usos	1,20	6,25	5,05	421,0
Não Observado	0,00	0,23	0,23	23,0
Desflorestamento no Ano	189,30	207,65	18,36	9,7
Natural Não Florestal	323,74	299,39	-24,35	-7,5
Corpo D'Água	472,90	475,88	2,97	0,6
<b>TOTAL</b>	<b>92.550,85</b>	<b>92.550,85</b>	<b>0,00</b>	<b>0,0</b>

A (Figura 3) exibe os gráficos de setores gerados no mapa interativo do TerraClass, mostrando as frequências relativas mais relevantes das classes temáticas de uso e cobertura da terra nos 39 municípios do planalto da BAP, para os anos 2018 e 2022.



**Figura 3.** Frequências relativas mais relevantes das classes de uso e cobertura da terra nos 39 municípios do planalto da BAP, para os anos 2018 e 2022.

Pelos resultados apresentados na Tabela 2 e na Figura 3, é possível verificar que em 2018 quase 30 mil km<sup>2</sup> (32,4%) dessa região do planalto da BAP eram cobertos por Vegetação Natural Primária e 8,1% (7,5 mil km<sup>2</sup>) por Vegetação Natural Secundária. Já em 2022 ocorreu uma redução de 2,9% (862 km<sup>2</sup>) de Vegetação Natural Florestal, relacionado ao aumento de 9,7% do desmatamento, como também a perda acentuada da Vegetação Natural Florestal Secundária em 21,8% (1.641 km<sup>2</sup>). Nesse período de 4 anos, também pode-se observar o aumento da Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo de 95,2% (511 km<sup>2</sup>), da Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo de 20,2% (1,2 mil km<sup>2</sup>) e a Pastagem de 2,4% (1,1 mil km<sup>2</sup>), que continua predominando em grande extensão nessa região do planalto da BAP.

O crescimento na produção agrícola normalmente está associado à incorporação de áreas que anteriormente eram destinadas a atividades de pecuária. Para propiciar um melhor entendimento dos processos da dinâmica entre as classes temáticas, foi gerada uma matriz de transições a partir do mapa interativo do TerraClass, que cruza os resultados dos mapeamentos de 2018 e de 2022, como mostrado na Figura 4.

	VP	VS	SI	PA	CAP	CAS	CAT1	CAT2	MI	UR	OU	NO	DA	NNF	CA
Vegetação Natural Primária (VP)	29.133,7%	44,04	0,96	569,35	0,03	0,34	3,20	31,56	109	176	169	0,02	0,00	205,76	2,29
Vegetação Natural Secundária (VS)	4.224,71	15,10	3.209,03	1,91	6,89	7,33	6,61	0,96	2,56	4,77	0,14	0,08	0,17	-	2,24
Silvicultura (SI)	23,69	432,49	274,80	0,99	1,40	30,66	6,00	0,00	-	0,02	0,37	-	-	-	0,00
Pastagem (PA)	1.484,89	25,94	41.375,78	9,67	96,25	490,64	1.683,39	4,95	14,16	24,08	3,84	0,34	0,03	-	0,22
Cultura Agrícola Perene (CAP)	-	0,43	0,10	0,20	6,00	-	0,00	0,07	-	-	-	-	-	-	-
Cultura Agrícola Semipereña (CAS)	-	3,43	2,84	42,36	-	816,80	113,00	80,66	-	0,03	0,06	-	0,01	-	0,00
Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo (CAT1)	-	6,90	0,11	61,60	0,00	198,04	58,11	303,30	-	0,08	0,16	-	0,00	-	0,00
Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo (CAT2)	-	80,09	1,14	627,60	0,01	4,94	403,31	4.847,51	0,00	0,77	4,60	-	-	-	0,00
Mineração (MI)	-	1,15	-	5,18	-	-	-	0,00	14,11	-	-	-	0,14	-	0,03
Urbanizada (UR)	-	5,09	0,14	28,22	0,05	-	0,13	2,42	-	473,53	17,82	0,88	-	-	0,03
Outras Áreas Edificadas (OU)	-	1,90	0,18	30,77	-	-	0,04	0,46	0,09	8,38	48,45	0,36	-	-	0,00
Outros Usos (OU)	-	0,07	-	0,97	-	-	-	-	-	-	0,10	-	-	-	0,00
Não Observado (NO)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Desflorestamento no Ano (DA)	-	17,60	0,00	16,34	-	0,07	3,00	3,99	0,40	0,43	0,03	0,04	0,00	0,01	0,07
Natural Não Florestal (NNF)	-	0,14	-	71,91	-	-	0,18	0,07	-	-	-	0,00	1,90	294,19	-
Corpo D'Água (CA)	-	1,56	0,00	0,21	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	-	-	-	-	470,00

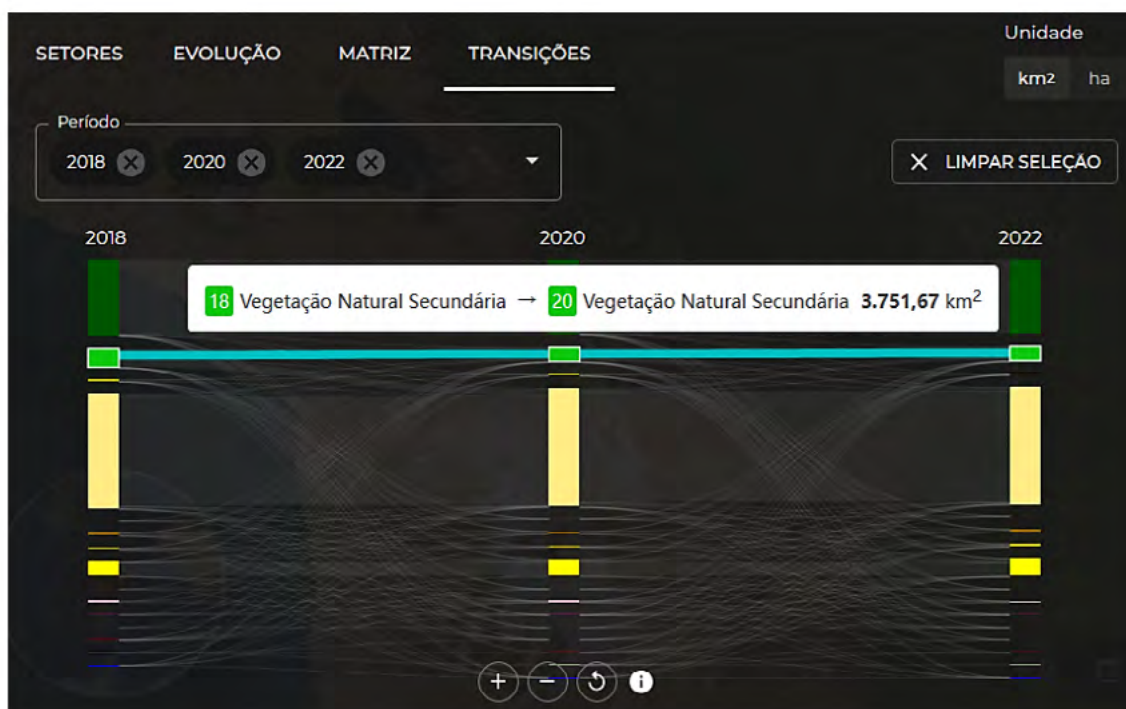
**Figura 4.** Matriz de transições entre as classes de uso e cobertura da terra entre 2018 e 2022 nos 39 municípios do planalto da BAP.

Pela (**Figura 4**) pode-se verificar que a diagonal principal da matriz de transição apresenta as áreas que se mantiveram constantes entre os mapeamentos 2018 e 2022, o que corresponde a 88,8%, enquanto os valores fora da diagonal principal apresentam as transições entre as classes temáticas no período de 4 anos, representando 11,2% do total das áreas.

A transição da Pastagem em 2018 para Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo em 2022 é a dinâmica mais expressiva encontrada nessa região, com 16,3% do total. A Pastagem também perdeu 1.484,9 km<sup>2</sup> de 2018 para Vegetação Natural Secundária em 2020, o que corresponde a 14,4% da dinâmica, apontando uma regeneração florestal relevante nesse período.

Também é possível constatar que a maior parte das novas áreas da Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo em 2022, sendo que 1.683,40 km<sup>2</sup> vieram de áreas que em 2018 eram Pastagem e 302,2 km<sup>2</sup> de áreas que em 2018 eram Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo. Tal fato confirma que o aumento das áreas de cultivo agrícola inicialmente está diretamente associado a conversão de áreas de pastagens, seguido posteriormente pelo processo de intensificação da agricultura, com ciclos de produção de grãos e fibras na safra seguido pela safrinha, inclusive podendo ter dois ou mais ciclos de cultivo.

A (**Figura 5**) exibe o diagrama de transições gerado pelo mapa interativo do TerraClass que possibilita uma análise detalhada das mudanças de uso e cobertura da terra entre múltiplos anos. Neste caso foram selecionados os anos 2018, 2020 e 2022 para análise dos 39 municípios do planalto da BAP e ativada a classe temática Vegetação Natural Secundária nos três anos.



**Figura 5.** Diagrama de transições gerado para os anos 2018, 2020 e 2022 nos 39 municípios do planalto da BAP e ativada a classe temática Vegetação Natural Secundária nos três anos.

Pelos resultados apresentados na **Tabela 2**, pode-se verificar que dos 5,9 mil km<sup>2</sup> (6,4%) da área de Vegetação Natural Secundária em 2022, cerca de 72% já existiam em 2018, apresentando uma diminuição de 21,8%, sendo substituída primordialmente por Pastagem. A **Figura 5** mostra as linhas realçadas na coloração ciano referentes aos fluxos da Vegetação Natural Secundária

nos três anos, em que se pode constatar que 3,7 mil km<sup>2</sup> (64%) da área de 2022 encontram-se, de forma persistente, em processo de regeneração por pelo menos 4 anos.

A (Figura 6) apresenta o diagrama de transições gerado pelo mapa interativo do TerraClass, em que foram selecionados os anos 2018, 2020 e 2022 para análise dos 39 municípios do planalto da BAP e ativada a classe temática Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo em 2022. Neste caso, as linhas destacadas em ciano indicam as áreas por classe que foram convertidas para a classe temática Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo em 2022. Os maiores fluxos em direção a esta classe em 2022 são originários da própria classe em 2018 e 2020, o que indica a sua manutenção nesse período.



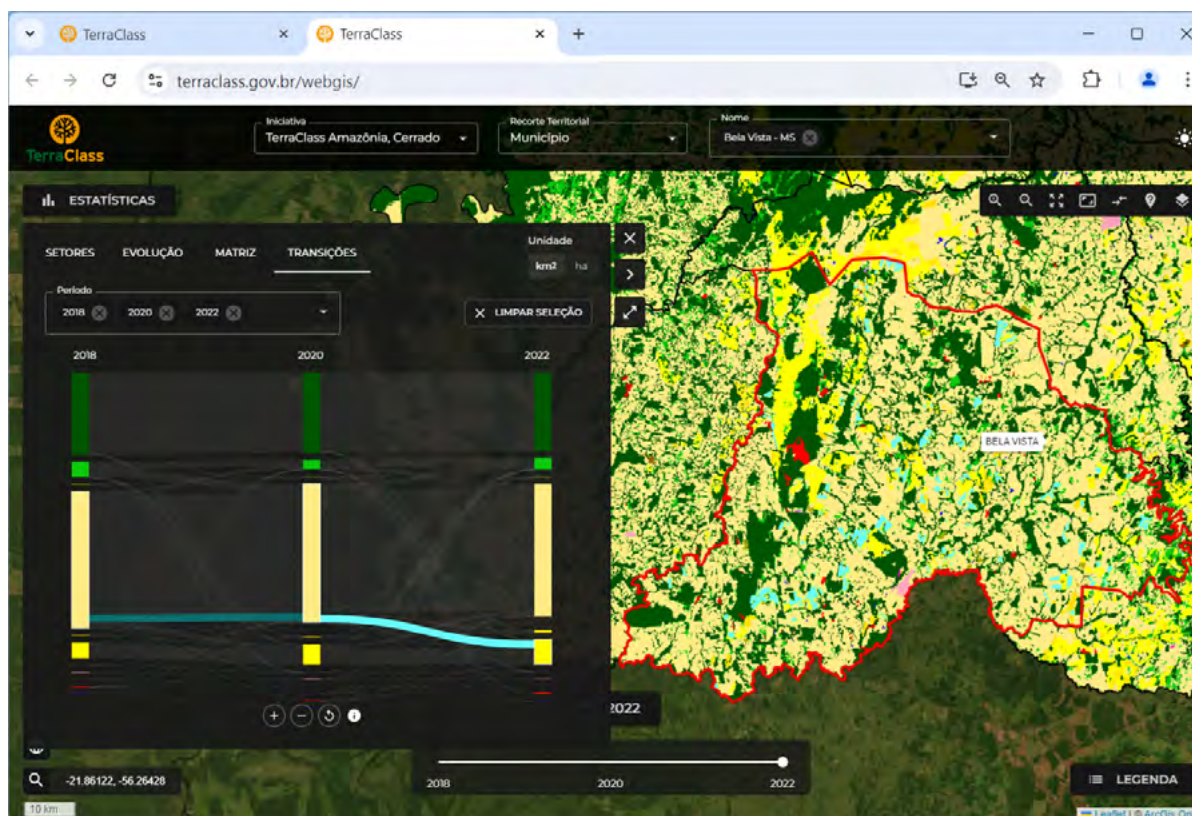
**Figura 6.** Diagrama de transições gerado para os anos 2018, 2020 e 2022 nos 39 municípios do planalto da BAP e ativada a classe temática Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo em 2022.

Ao se desconsiderar os fluxos que se originam na própria classe da Figura 6, pode-se observar que a Pastagem foi a classe cujas transições foram representadas por linhas mais espessas, ou seja, foi a que mais contribuiu para o aumento da Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo, nesse período. Ao posicionar o mouse sobre estas linhas em ciano, pode-se identificar que a área da transição da Pastagem para Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo entre 2018 e 2020 foi de 753,45 km<sup>2</sup>. Já entre 2020 e 2022 a transição foi de 1.163,96 km<sup>2</sup>.

Os municípios de Bela Vista, Terenos, Bonito, Nioaque e Jardim localizados no planalto da BAP no estado de Mato Grosso do Sul, apresentaram em ordem decrescente as maiores áreas de pastagem convertidas para agricultura no período.

A (Figura 7) ilustra a espacialização da maior área de transição, do município de Bela Vista - MS correspondente a 148,68 km<sup>2</sup>, destacada em ciano sobre o mapa, obtida a partir do diagrama de transições, em que é fixada a classe temática Pastagem em 2018 e 2020, ativada a classe temática Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo em 2022 e clicando sobre a linha que liga o ano de 2020 a 2022, que representa o fluxo da transição.

O município de Bela Vista - MS tem se destacado pela expansão do cultivo da soja nos últimos anos, o que pode carregar sedimentos aos rios, causar contaminação nos corpos d'água com agroquímicos e, conseqüentemente, trazer impactos sobre os recursos naturais da planície inundável do Pantanal.



**Figura 7.** Diagrama de transições no município de Bela Vista - MS fixada a classe temática Pastagem em 2018 e 2020, ativada a classe temática Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo em 2022 e clicando sobre a linha que liga o ano de 2020 a 2022.

De forma geral, pode-se dizer que de 2018 a 2022 ocorreu perda da floresta nos 39 municípios do planalto da BAP devido ao aumento do desmatamento nos biomas Amazônia e Cerrado. A maior parte das áreas de regeneração florestal persistiu nesse período e a área perdida foi convertida em pastagens que ainda predominam em grande extensão da região. Com isso, as áreas agrícolas se expandiram principalmente sobre as áreas de pastagens, inicialmente com um ciclo de produção, seguido posteriormente pela intensificação de ciclos de produção de safra e safrinha.

## 5. Conclusões

Por meio de ferramentas computacionais disponíveis no GeoPortal TerraClass e com base nos novos mapeamentos de 2018, 2020 e 2022 dos biomas Amazônia e Cerrado, foi possível gerar informações de maneira rápida sobre o uso e cobertura da terra e suas transições nos 39 municípios do planalto da BAP.

A análise espacial mostrou que a transição da pastagem para agricultura é a dinâmica mais expressiva encontrada na região do planalto da BAP, inicialmente com um ciclo de produção, seguido posteriormente pela intensificação de ciclos de produção de safra e safrinha.

Os resultados mostraram o potencial da Plataforma Digital TerraClass no apoio à gestão territorial, que em breve irá incorporar os mapeamentos do ano de 2024 dos biomas Amazônia e Cerrado. Futuramente os mapeamentos do TerraClass também serão executados nos outros biomas brasileiros, em especial no Pantanal, tornando-se possível avaliar os impactos das mudanças de uso e cobertura da terra sobre os recursos naturais em toda a BAP.

## 6. Referências

- Almeida, C. A.; Coutinho A. C.; Esquerdo, J. C. D. M.; Adami, M.; Venturieri, A.; Diniz, C. G.; Dessay, N.; Durieux, L.; Gomes, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazonica*, v. 46, n. 3, p. 291-302, 2016. doi.org/10.1590/1809-4392201505504
- Becker, B. K. Geopolítica da Amazônia. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 71-86, 2005.
- Calixto, M. J. M. S.; Gomes, I. R. P. Da formação territorial à rede urbana do Mato Grosso do Sul. In: Seminário Internacional América Platina, 5. *Anais...* Dourados, MS, 2014. CD-ROM, p. 1-15, 2014.
- Chioveto, M. O. T. **Desenvolvimento rural no Mato Grosso e seus biomas**. 245 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2014.
- Corrêa, A. de S.; Monteiro, M. A.; Rippel, R.; Rodrigues, E. A. G. Fluxos migratórios no estado de Mato Grosso do Sul (1970-2010). *Interações (Campo Grande)*, n. 19, v. (2), p. 325-341, 2018. doi.org/10.20435/inter.v19i2.1599
- Coutinho, A. C.; Almeida, C. A.; Venturieri, A.; Esquerdo, J. C. D. M.; Silva, M. **Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal: TerraClass 2008**. 1. ed. v. 1. 108p. Brasília-DF, Belém-PA: Embrapa, INPE, 2013.
- Ferreira, K. R.; Queiroz, G. R.; Vinhas, L.; Marujo, R. F. B.; Simoes, R. E. O.; Picoli, M. C. A.; Camara, G.; Cartaxo, R.; Gomes, V. C. F.; Santos, L. A.; Sanchez, A. H.; Arcanjo, J. S.; Fronza, J. G.; Noronha, C. A.; Costa, R. W.; Zaglia, M. C.; Zioti, F.; Korting, T. S.; Soares, A. R.; Chaves, M. E. D.; Fonseca, L. M. G. Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. *Remote Sensing*, v. 12, n. 24, 4033, 2020. doi.org/10.3390/rs12244033
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **TerraBrasilis**. Disponível em: <<https://terra brasilis.dpi.inpe.br>>. Acesso em: 28 jun. 2024.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). **TerraClass**. Disponível em: <<https://www.terra class.gov.br/>>. Acesso em: 28 jun. 2024.
- Lambin, E. F.; Geist, H. J. **Land-Use and Land-Cover Change: local processes and global impacts**. Springer Science & Business Media, 2006. doi.org/10.1007/3-540-32202-7
- Santos, J. L. **Desenvolvimento de uma solução computacional para análise da dinâmica do uso e cobertura da terra**. 2022. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Schmidt, M. The Sankey diagram in energy and material flow management: Part I: History. *Journal of Industrial Ecology*, v. 12, n. 1, p. 82-94, 2008. doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00004.x
- Silva, J. dos S. V. da; Abdon, M. de M.; Silva, S. M. A. da; MORAES, J. A. de. Evolution of deforestation in the Brazilian Pantanal and surroundings in the timeframe 1976 - 2008. *Geografia*, Rio Claro, v. 36, num. esp., p. 35-55, jun. 2011.
- Silva, J. dos S. V. da; Carlini, F. J. Vegetation cover of the upper Paraguai basin in Mato Grosso do Sul State: comparison between Pantanal wetland and the plateau. *Geografia*. Rio Claro. v. 40, Número Especial, p. 211-226, 2015.
- Simões, R.; Camara, G.; Queiroz, G.; Souza, F.; Andrade, P. R.; Santos, L.; Carvalho, A.; Ferreira, K. Satellite Image Time Series Analysis for Big Earth Observation Data. *Remote Sensing*, v. 13, n. 13, 2428, 2021. doi.org/10.3390/rs13132428

## **Aplicação do método VERAH para análise da Baía do Malheiros Cáceres Mato Grosso**

Yara Emy Yoshida <sup>1</sup>  
Joaquim Corrêa Ribeiro <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Av. Santos Dumont, Bloco 1, Sala 09. Bairro: Cidade Universitária.  
78211-260 Cáceres/MT, Brasil.  
yara.emy.yoshida@unemat.br  
jcorrearibeiro@gmail.com

**Resumo.** Esta pesquisa analisou os impactos ambientais da urbanização em Cáceres, Mato Grosso, especialmente ao longo da margem esquerda da Baía do Malheiros, utilizando o método VERAH (Vegetação, Erosão, Resíduos, Água e Habitação) para um diagnóstico ambiental abrangente. Destaca questões significativas como a degradação da vegetação ribeirinha, o aumento da erosão devido à expansão urbana, a gestão inadequada de resíduos que conduz à poluição e a deterioração da qualidade da água. As conclusões sublinham a necessidade urgente de estratégias eficazes de gestão ambiental para mitigar os efeitos adversos do crescimento urbano desregulado. A pesquisa enfatiza a importância do envolvimento comunitário e de ações corretivas para fomentar a conscientização e promover a conservação dos recursos naturais, garantindo ecossistemas urbanos sustentáveis.

**Palavras-chave:** impactos ambientais, ocupação desordenada, análise ambiental, Pantanal.



**Abstract.** This research analyzed the environmental impacts of urbanization in Cáceres, Mato Grosso, especially along the left bank of Malheiros Bay, using the VERAH (Vegetation, Erosion, Waste, Water and Housing) method for a comprehensive environmental diagnosis. It highlights significant issues such as degradation of riparian vegetation, increased erosion due to urban expansion, inadequate waste management leading to pollution and deterioration of water quality. The findings underscore the urgent need for effective environmental management strategies to mitigate the adverse effects of unregulated urban growth. The research emphasizes the importance of community involvement and corrective actions to foster awareness and promote conservation of natural resources, ensuring sustainable urban ecosystems.

**Key-words:** environmental impacts, disorderly occupation, environmental analysis, Pantanal.

## 1. Introdução

Os impactos ambientais decorrentes da evolução da civilização contemporânea, que começou no século XVII, geraram disparidades significativas nos domínios social e ambiental. No entanto, foi no século XX que as ramificações substanciais da expansão urbana se tornaram cada vez mais aparentes. Guedes, (2013)

Para Souza e Ribeiro (2022) o impacto das atividades antrópicas nos ecossistemas naturais em ambientes urbanizados, particularmente na ausência de um planejamento abrangente, serve como um catalisador significativo para uma série de desafios ambientais. Esses desafios abrangem a degradação das matas ciliares localizadas em áreas designadas para preservação permanente (APPs), a ocorrência de fenômenos erosivos, os processos de sedimentação, as práticas inadequadas de descarte de resíduos sólidos, a deterioração da qualidade da água e a proliferação de construções ilegais dentro das APPs, entre várias outras questões.

Os trabalhos de pesquisa que investigam a ocupação urbana são de importância significativa, pois fornecem uma análise das ramificações associadas à ocupação desordenada de ambientes considerados impróprios para habitação, como margens de nascentes, cursos d'água ou encostas íngremes. Essa forma de ocupação leva a alterações na cobertura vegetal, o que posteriormente modifica os elementos do ciclo hidrológico, além de contribuir para o fenômeno da impermeabilidade do solo. Essas ocorrências culminam na degradação dos mananciais, exemplificada pela diminuição da disponibilidade de água para consumo público, juntamente com o lançamento de esgoto não tratado, particularmente em cenários em que o lixo urbano é gerenciado de forma inadequada nos cursos d'água, conforme observado por Araújo et al. (2002).

Neste contexto, tem-se o método VERAH desenvolvido por Oliveira (2008) e aplicado por Lourenço (2009), Santos (2006), Guedes (2010), em estudos geoecológicos, sendo um instrumento vital para enfrentar os desafios socioambientais de maneira prática e integrativa.

O Método VERAH foi estabelecido pelo professor Antonio Manoel dos Santos Oliveira e representa uma estrutura empírica e participativa que visa efetivar mudanças nas circunstâncias socioambientais. A sigla VERAH encapsula cinco elementos críticos: vegetação, erosão, resíduos, água e habitação que são essenciais para entender os aspectos físicos, bióticos e antropogênicos do meio ambiente. Ao utilizar a microbacia hidrográfica como ponto focal de estudo, o método facilita uma análise abrangente das interconexões entre esses componentes, proporcionando assim uma compreensão mais matizada da dinâmica ambiental Guedes, (2010).

Sendo assim, a implementação da metodologia VERAH, em conjunto com a avaliação das repercussões ambientais decorrentes da urbanização não regulamentada, é fundamental para a formulação de estruturas de gestão ambiental no município de Cáceres no Estado de Mato Grosso. O emprego dessa abordagem metodológica facilita uma compreensão abrangente das implicações da invasão urbana em áreas designadas para preservação permanente, bem como suas repercussões na qualidade dos recursos aquáticos, vegetação e integridade do solo.

Portanto, os dados produzidos podem servir como referência fundamental para o planejamento estratégico e a execução de iniciativas que visam aliviar os impactos ambientais, garantindo assim a conservação dos recursos naturais e promovendo a sustentabilidade dos ecossistemas urbanos.

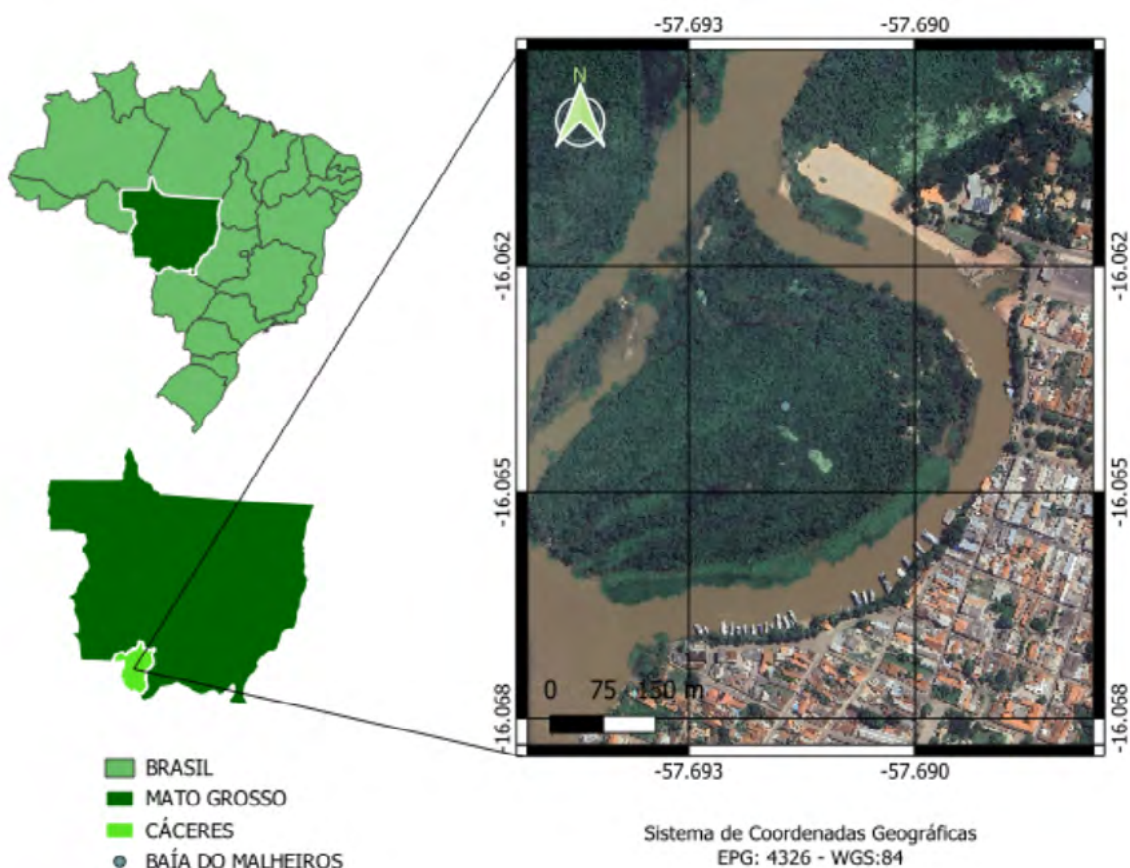
## 2. Objetivo

Realizar diagnóstico dos impactos ambientais na margem esquerda da Baía do Malheiros, utilizando o método VERAH (Vegetação, Erosão, Resíduos, Água e Habitação) com o objetivo de contribuir para o planejamento e a gestão ambiental da área em questão.

## 3. Material e Métodos

### 3.1 Área de estudo

A área de estudo se localiza no município de Cáceres no Estado de Mato Grosso, no trecho do rio Paraguai, a sua margem esquerda. Localizada entre as coordenadas 16°03'44" de latitude Sul e 57°41'20" de longitude Oeste. Com a vegetação toda retirada para um ocupamento desordenado. (Figura 1)



**Figura 1.** Município de Cáceres no contexto Baía do Malheiro em Mato Grosso.

Fonte: Autores (2024).

Atualmente, Cáceres conta com 89.681 habitantes, de acordo com os dados do último censo realizado em 2022 e área de 24.495,51 km<sup>2</sup>. Fundamentada na formação Pantanal, formada no

período quartenário, composta, basicamente, por uma textura argilosa e intercalações de textura mais grosseira (arenoso, siltico-argiloso, argiloso-arenoso e arenoso-conglomerático). Esses sedimentos são facilmente removidos, especialmente durante as cheias, ao se acumularem em outros pontos da planície e do canal, o que pode causar alterações no sistema fluvial. Souza, (2004).

### **3.2 Procedimento metodológicos**

Com base nas observações empíricas realizadas no âmbito desta pesquisa, a metodologia VERAH (V = Vegetação; E = Erosão; R = Resíduos; A = Água; H = Habitação) foi empregada para a avaliação do diagnóstico ambiental da Baía de Malheiros. Essa metodologia, amplamente aplicada em pesquisas ambientais, constitui um instrumento interdisciplinar que facilita a compreensão das interações entre variáveis bióticas, abióticas e socioeconômicas, fornecendo assim insights essenciais para uma gestão ambiental eficaz Mendonça et al., (2008); Oliveira, (2016).

A implementação dessa metodologia começou com observações in loco. Durante essa fase inicial, a documentação fotográfica foi realizada para capturar pontos de interesse relevantes. Posteriormente, uma avaliação abrangente da vegetação local foi realizada, concentrando-se na densidade, diversidade e estado de conservação das espécies para elucidar as interações entre a cobertura vegetal e os fenômenos erosivos, bem como as ramificações da invasão urbana ao longo das margens da baía.

Após o exame dos componentes vegetativos, os fenômenos erosivos predominantes na região foram mapeados sistematicamente. As características erosivas predominantes e suas associações com o uso inadequado da terra e atividades antrópicas foram elucidadas, ressaltando assim as regiões que apresentam a maior vulnerabilidade. Paralelamente, foi realizada uma análise de resíduos sólidos, que implicou a identificação de zonas de descarte ilícito e fontes potenciais de poluição, particularmente na proximidade de ecossistemas aquáticos e estruturas residenciais adjacentes.

As condições hidrológicas da margem esquerda da Baía de Malheiros foram avaliadas por meio de metodologias de observação direta, levando em consideração indicadores visuais como cor, odor e presença de organismos flutuantes e detritos. Embora essa análise tenha sido principalmente de natureza visual, ela rendeu informações significativas sobre a condição ambiental da região. Além disso, foi realizada uma avaliação do impacto das estruturas residenciais no meio ambiente, que levou em consideração a configuração espacial dos edifícios e suas influências diretas na cobertura vegetal, no gerenciamento de resíduos e nos processos erosivos observados.

## **4. Resultados e Discussão**

### **4.1 Vegetação**

Para Poester et al (2012) as matas ciliares são importantes por apresentarem uma série de funções extremamente relacionada à qualidade de vida, principalmente à qualidade de vida da população local e da bacia hidrográfica, e é a base para a proteção da flora e fauna nativas da região, tanto terrestres quanto água. Matas ciliares afetam a qualidade da água, regulação abastecimento de água, estabilizando as margens dos rios, reduzindo o lodo rios e são afetados por inundações, fornecimento de nutrientes e ecossistemas aquáticos circundantes.

De acordo com a pesquisa conduzida por Moreno e Higa (2005), a vegetação natural predominante na região de Cáceres é composta por savana arborizada, savana de capim lenhoso

e floresta sazonal aluvial semidecidual. Essa região apresenta uma gama heterogênea de características, abrangendo ecossistemas de áreas úmidas, savanas e florestas, além das zonas de transição que existem entre esses ambientes distintos.

Silva e Souza (2012) acreditam que ao longo dos anos impulsionada pela rápida progressão da urbanização e expansão demográfica, a cidade de Cáceres invadiu ainda mais a margem do rio sem um planejamento estratégico adequado de entidades governamentais para regular o desenvolvimento urbano de acordo com as particularidades locais. Consequentemente, as pressões antrópicas exercidas sobre o rio se intensificaram, atribuíveis à ineficácia das autoridades públicas na implementação de medidas preventivas e punitivas.

Na margem esquerda do rio Paraguai, situada na região central do município, existe uma acentuada deficiência da vegetação nativa, fenômeno que se torna cada vez mais evidente durante o período de estiagem. A existência de vegetação arbórea é restrita às zonas pavimentadas adjacentes, com a leve presença de gramíneas o que significa deterioração ambiental e estresse antropogênico no ecossistema local. (**Figura 2**).



**Figura 2.** Vegetação encontrada na margem esquerda da Baía do Malheiros.

#### 4.2 Erosão

Entende-se por erosão todo o processo de desgaste do solo, sendo classificada em dois tipos: Erosão geológica ou natural ocorre sob condição natural, ou seja, sem interferência do homem. Sua principal característica é que sua intensidade é sempre menor do que a intensidade com que os solos se formam. Erosão acelerada ocorre sob condições de interferência do homem. Neste caso, quase sempre a intensidade da erosão é muito grande/acelerada, sendo altamente prejudicial por ocorrer num período muito curto.

De acordo com Silva e Souza (2012) os fenômenos de urbanização, expansão demográfica, aumento das atividades turísticas e aumento do número de embarcações que atravessam o rio em Cáceres exacerbaram problemas como sedimentação, poluição da água e erosão das margens. A última questão é particularmente alarmante, pois o esgotamento da cobertura vegetal que antes protegia as margens dos rios as tornou extremamente suscetíveis à dinâmica erosiva. Consequentemente, ocorre a degradação dessas zonas marginais, exacerbando a sedimentação do leito do rio.

Souza (2017) retrata como o uso do rio por via de navegação intensificam sérias implicações sobre os processos de erosão das margens e assoreamento do rio devido ao impacto das ondas formadas sobre os barrancos, promovendo desbarrancamento acelerado.

No local, foi detectada uma vulnerabilidade significativa aos fenômenos erosivos, particularmente acentuada na proximidade do túnel pluvial (**Figura 3**), que canaliza o efluente do córrego Sangradouro, situado no bairro Cavallhada. Além disso, foi verificado que a exposição das raízes arbóreas ao longo das margens é uma consequência direta das atividades erosivas persistentes (**Figura 4**).



**Figura 3.** Processo erosivo na margem da galeria pluvial.



**Figura 4.** Árvores localizadas na beira do asfalto, com suas raízes expostas.

### 4.3 Resíduos

Para Silva et al (2004) o lixo urbano resulta da atividade diária do homem em sociedade e que os fatores principais que regem sua origem e produção são basicamente dois, o aumento populacional e a intensidade de industrialização. O aumento populacional exige maior incremento na produção de alimentos e bens de consumo direto.

A quantidade gerada de resíduos no Município de Cáceres foi estimada em 0,758 kg/hab./dia de acordo com o Plano municipal de saneamento básico de Cáceres (PMSB).

Em avaliações de campo ao longo das margens havia presença de vários pontos de lixeiras, mesmo assim em determinados pontos havia a presença de lixos como copos plásticos, sacolas, garrafas pet, isopor, material de limpeza e higiene pessoal (**Figura 5**).



**Figura 5.** Resíduos sólidos encontrados na margem da galeria pluvial.

Resíduos líquidos também foram observados sendo despejados no próprio rio Paraguai como corrobora Silva e Souza (2011) o município não possui rede de tratamento de esgoto, os dejetos são lançados diretamente nos canais fluviais (córrego Sangradouro, córrego Junco e no rio Paraguai) e nas galerias pluviais do perímetro urbano (**Figura 6**).

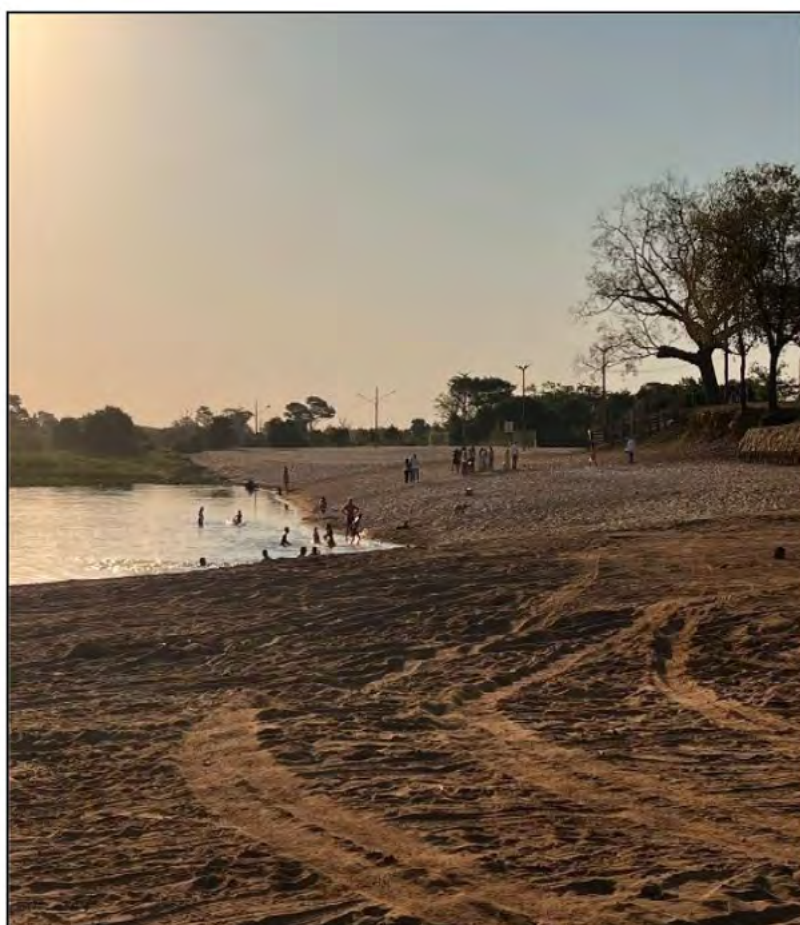
### 4.4 Água

Para Tundisi (2020), a urbanização aumentou o desperdício e contaminação de águas, pois os grandes centros urbanos necessitam de volumes de água tratada em quantidades enormes e produzem resíduos em grande escala, que poluem e contaminam águas subterrâneas, rios, lagos e represas.

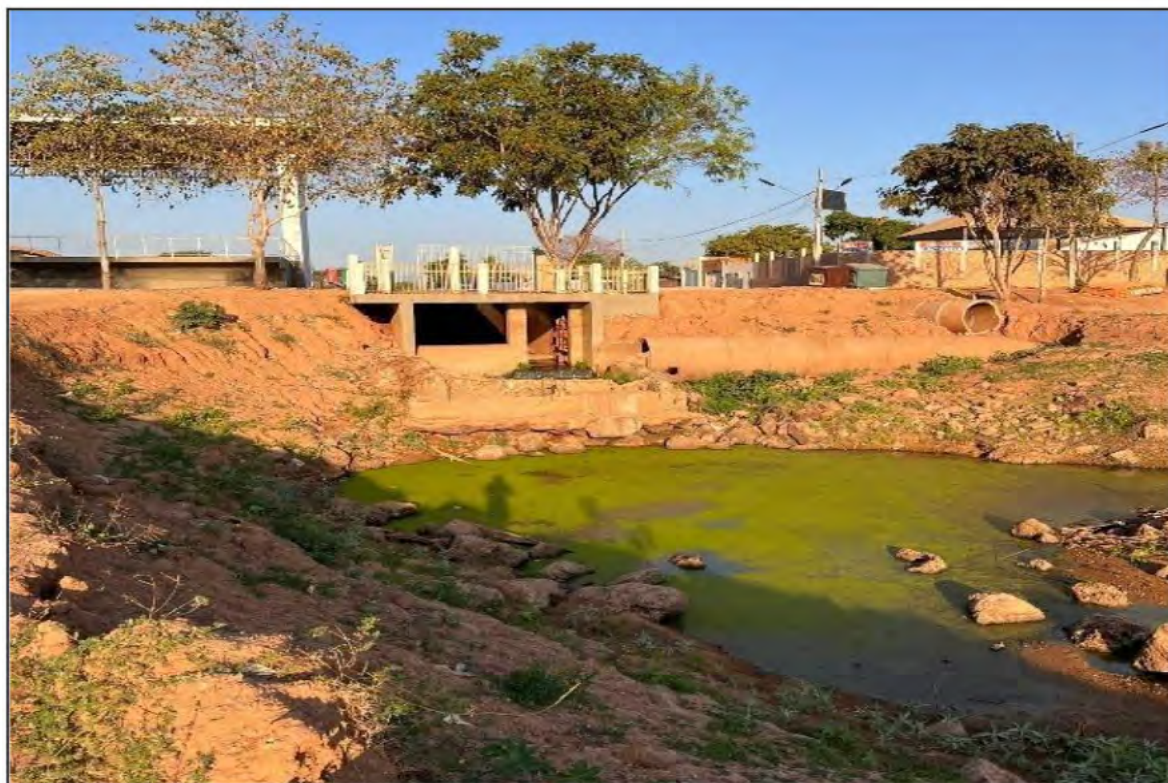
O local por conta de sua paisagem se tornou um ponto turístico para os visitantes e um local de lazer para os habitantes cacerenses, uma vez que utilizam a margem para praticar pesca, banho, e atividades esportivas (**Figura 7**). A suscetibilidade à poluição ficou evidente no local, levando à detecção de alterações tanto no odor desagradável quanto na cor esverdeada, juntamente com a identificação de sólidos em suspensão e o desenvolvimento de espumas. Esses indicadores são típicos da descarga de águas residuais domésticas ou comerciais (**Figura 8**).



**Figura 6.** Resíduos líquidos sendo despejados no rio Paraguai.



**Figura 7.** População cacerense usufruindo pluvial da margem para o lazer.



**Figura 8.** Água advinda da galeria.

#### **4.5 Habitação**

As diversas ocupações humanas tiveram por fator determinante a proximidade com os recursos hídricos, espaços vitais para a sobrevivência de espécies da fauna e da flora, fato que permitiu diversos aproveitamentos realizados pelos seres humanos provendo sua existência desde o início das civilizações.

Porém, essas modificações, realizadas em sua grande maioria pelo poder público trazem consequências, como impactos negativos para esses ambientes. Os reflexos dessas atitudes do passado advêm de decisões políticas de interferências nos sistemas naturais com alegação de benefícios à população do entorno desses ambientes sob a égide de que não se pode evitaras mudanças, perturbações e que elas fazem parte do desenvolvimento da sociedade e do domínio do homem sobre as paisagens naturais Souza et al. (2008)

A região passou por muitas transformações ao longo do tempo, e atualmente “as margens do rio no perímetro urbano de Cáceres é ocupada por residências, ruas, áreas de recreação, comércio, indústrias, ancoradouros e área portuária” Souza, (2004, p. 41).

Na temática habitação podemos concluir que toda a margem esquerda é ocupada por habitações residenciais, bares, restaurantes e pequenos comércios seguindo um padrão de construção de alvenaria (**Figura 9**).





**Figura 9.** Margem esquerda tomada por habitações, comércios.

## 5. Conclusões

A implementação da avaliação dos impactos ambientais por meio do método VERAH produziu resultados positivos, facilitando o diagnóstico relacionadas às cinco áreas (vegetação, erosão, resíduos, água e habitação). Os principais problemas observados foram a falta de cobertura vegetal, o processo erosivo que se torna mais visível em todo período de seca e a contaminação da água.

A intenção é que as conclusões derivadas do emprego da técnica VERAH sejam compartilhadas com a comunidade e os órgãos governamentais, dado o sentimento unânime de todos os participantes da avaliação sobre o imperativo de engajar a sociedade nos esforços para melhorar o meio ambiente deteriorado, que atualmente viola os regulamentos e padrões existentes.

## 6. Referências

Araújo, S. M. V. G. As áreas de preservação Permanente e a questão urbana. Brasília: Câmara dos Deputados (Consultoria Legislativa) 2002. Disponível em: <http://www2.camara.gov.br>. Acesso em: 23 ago.2024.

Guedes, Rosana Cintia de Moraes. Influência da urbanização na qualidade das águas da bacia do córrego Água Comprida - Guarulhos/SP. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2009. Disponível em: <http://tede.ung.br/bitstream/123456789/125/1/Rosana+Cintia+de+Moraes+Guedes.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.

Guedes, Rosana Cintia; Dos Santos Oliveira, Antonio Manoel; Guedes, Ivan Claudio. Análise geoambiental do método de Educação Ambiental Verah. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 8, n. 2, p. 63-76, 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/caceres/panorama>. Acesso em: 17 ago. 2024

Lourenço, W. C. Avaliação qualitativa em educação ambiental: Um estudo de caso do método VERAH. 2009. 36 f. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) – Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão:

Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2009.

Mendonça, R.C. et al. Verah - Diagnóstico Ambiental de Microbacia. Cuiabá: UFMT, 2008.

Moreno, Gislaene; Higa, Tereza C. Souza (Org). Geografia de Mato Grosso: território, sociedade e ambiente. Cuiabá: Entrelinhas, 2005.

Oliveira, A.M.S. O Método Verah . São Paulo: Ícone. São Paulo, 2016.

Oliveira, AMS. Educação ambiental transformadora: O método VERAH. **São Paulo: Ícone**, 2016

PMSB. Secretaria de serviços urbanos de Cáceres. Plano Municipal de Saneamento básico de Cáceres. Disponível em: [https://www.caceres.mt.gov.br/fotos\\_noticias\\_downloads/57.pdf](https://www.caceres.mt.gov.br/fotos_noticias_downloads/57.pdf)

Poester, C G; Mello P S R; Castro D, **Práticas para Restauração da Mata Ciliar Porto Alegre: Catarse –** Coletivo de Comunicação, 2012.

Santos V.M. 2006. Formação de professores para o estudo do ambiente: projetos escolares e a realidade socioambiental local. Campinas: Inst. Geoc., Unicamp. (Tese Dout.)

Silva, M. H. C. Da; Lima, L. N. F. De; Silva, C. S. E; Silva, B. V. Da; Tavares, H. S. De A.; Falcão, W. H. Da R.; Sousa, M. L. P. S.; Lima, S. C. Resíduos sólidos: o uso da gestão ambiental como ferramenta para o manejo adequado do lixo urbano. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/19447>. Acesso em: 06 Ago. 2024.

Silva, R. V. da; Souza, C. A. de. Ocupação e degradação na margem do Rio Paraguai em Cáceres, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, [S. l.], v. 8, n. 1, 2012. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/587>. Acesso em: 12 set. 2024.

Sousa, M. L. P. S.; Lima, S. C. Resíduos sólidos: o uso da gestão ambiental como ferramenta para o manejo adequado do lixo urbano / [S. l.], v. 6, n. 11, p. 85668–85677, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n11-113. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/19447>. Acesso em: 16 jul. 2024.

Sousa<sup>12</sup>, J. B., Pierangeli, M. A., de Souza, C. A., da Silva Cruz, J., & de Oliveira, J. D. Descrição Morfológica E Atributos Do Solo Nas Margens Do Rio Paraguai, Cáceres, Mato Grosso, Brasil. *Ciência Geográfica - Bauru - XXI - Vol. XXI - (1): Janeiro/Dezembro - 2017*

Souza et al., Desafios e oportunidades para a implementação do hidrograma ecológico. REGA, vol.5, nº 1, p. 25-28, 2008

Souza, C. A. Ambiente do Corredor Fluvial do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a Estação Ecológica da Ilha de Taiamã - MT. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/viewFile/14099/8775>. Acesso em 20 jul 2024.

Souza, otoniel nascimento; ribeiro, joaquim corrêa. diagnóstico ambiental da sub-bacia urbana do córrego das garças, em juína, mato grosso: método verah. **revista equador**, v. 11, n. 2, p. 18-43, 2022.

Tundisi, JG. A Água. São Carlos: Scienza, 2020

## **O uso de geotecnologias com a análise de percepções ambientais relacionadas às árvores urbanas: revisão sistemática e estudo de caso**

Luã Gustavo da Silva Tachibana <sup>1</sup>

Jéssica Lima Viana <sup>2</sup>

Roberto Macedo Gamarra <sup>3</sup>

Antonio Conceição Paranhos Filho <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – PGTA/UFMS

Av. Costa e Silva, 1500 - Cidade Universitária, Caixa Postal 549

79070-900 – Campo Grande - MS, Brasil

lua.tachibana@ufms.br

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais – PGRN/UFMS

Av. Costa e Silva, 1500 - Cidade Universitária, Caixa Postal 549

79070-900 – Campo Grande - MS, Brasil

jessica.viana@ufms.br

<sup>3</sup> Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia – FAENG/UFMS

Av. Costa e Silva, 1500 - Cidade Universitária, Caixa Postal 549

79070-900 – Campo Grande - MS, Brasil

{roberto.gamarra, antonio.paranhos}@ufms.br

**Resumo.** É através da percepção ambiental que se aguçam os olhares para as relações socioambientais, e é nesta perspectiva que se garante lugares democráticos e dignos à vida, humana e não humana. Utilizando o mapeamento como método, o estudo propõe elencar estratégias para representar e sintetizar as percepções ambientais de florestas urbanas com ferramenta de geotecnologia livre. Para tal, propõem-se revisão sistemática de artigos indexados na Scopus (Elsevier) e estudo de caso aplicado na arborização viária do Campus Cidade Universitária da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS com uso de software livre QGIS versão 3.22.6 QGIS Development team, (2023). Objetivou o apontamento de estratégias e processos para registrar as relações entre homem e floresta, considerando a transversalidade dos temas que lidam com a natureza e o ambiente. O artigo pretende contribuir principalmente com as pesquisas relacionadas a consciência ambiental, ao planejamento e gerenciamento das cidades, possibilitando maior qualificação espacial através das florestas urbanas. O estudo resultou em um processo para identificar espécies arbóreas notáveis que pode ser replicada em outras realidades.

**Palavras-chave:** psicologia ambiental, arborização urbana, patrimônio ambiental, educação ambiental.

**Abstract.** Environmental perception sharpens our awareness of socio-environmental relationships, and it is within this perspective that democratic and dignified spaces for life, both human and non-human, are ensured. Using mapping as a method, this study proposes to list strategies to represent and synthesize environmental perceptions of urban forests using free geotechnology tools. For this purpose, a systematic review of articles indexed in Scopus (Elsevier) and a case study applied to the road arborization of the Cidade Universitária Campus at the Federal University of Mato Grosso do Sul (UFMS) using the QGIS 3.22.6 software (QGIS Development team, 2023) are proposed. The aim was to point out strategies and processes to record the relationships between humans and forests, considering the cross-cutting nature of topics dealing with nature and the environment. This article intends to contribute mainly to research related to environmental awareness, urban planning, and management, enabling better spatial qualification through urban forests. The study resulted in a process to identify notable tree species that can be replicated in other contexts.

**Key-words:** environmental psychology, urban arborization, environmental heritage, environmental education.

## 1. Introdução

Atualmente a informação desempenha papel essencial na compreensão da complexidade urbana. Sua necessidade tem fomentando novas ferramentas e métodos que atendam às interferências espaciais, como projeto, planejamento, gestão e restauração de sistemas urbanos. Como ferramenta de trato destes dados espaciais, destacam-se as geotecnologias que estão associadas às melhores condições para as tomadas de decisões e aos estudos de cidades inteligentes Souza e Bueno, (2022).

Compreende-se como geotecnologias as técnicas computacionais para obtenção, manipulação, processamento, análise e apresentação de informações com referências territoriais Rosa,(2011); Moura, (2014); Paranhos Filho e Col., (2021). Cabe salientar que a definição não é consensual e que os termos “geoprocessamento”, “GIS” e/ou “sistema de informação geográfica” são por vezes designados como sinônimos. Utilizaremos a terminologia geotecnologias para nomear o conjunto de técnicas mais abrangente, ligadas às geociências, conforme Fitz (2008) também propõem:

“As geotecnologias podem ser entendidas como as novas tecnologias ligadas às geociências e correlatas, as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processo de gestão, manejo e em tantos outros aspectos relacionados à estrutura do espaço geográfico”(Fitz, 2008, p. 11).

Historicamente, as geotecnologias são associadas à prática de mapeamento do meio biofísico, influenciadas pelos interesses geopolíticos e os avanços das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), sob visão tecnicista ocidental após o século XIX. Seu desenvolvimento é marcado por controvérsias, de um lado, grandes avanços nas áreas das geociências, das modelagens computacionais e do desenvolvimento da Geografia Física, do outro, a normatização eurocêntrica das cartas, o esvaziamento da subjetividade das representações territoriais e o menosprezo dos mapas que não atendem os padrões impostos Harley, (1991 e 2005); Moura, (2014); Sá, (2021).

O acesso de geoinformação é comum no cotidiano e ocorre principalmente por meio de plataformas e aplicativos Kneip, (2014); Sá, (2021). Mas, apesar de contribuírem com inúmeras áreas científicas e sociais, pouco se tem disponível de informações acerca da subjetividade espacial. A ausência de dados é intensificada em elementos que são considerados físicos, como os da natureza. Cabe salientar que os estudiosos apontam como imprescindível o uso de programas gratuitos para haja melhores condições de inclusão digital e para o acesso das informações geográficas Silva, (2011).

Buscando propor formas aplicar as geotecnologias em percepções ambientais, o presente trabalho limitou-se às florestas urbanas, elemento que possibilitaria diálogo com os dados de aspectos biofísicos – como localização, espécie e desenvolvimento – e perceptivos sensoriais

– estética, apropriação, valores subjetivos. Sendo, Floresta Urbana – ou Arborização Urbana no Brasil – o indivíduo arbóreo ou o conjunto vegetal não exclusivamente arbóreo, contido ou localizado no perímetro da cidade Miller, (1997); Magalhães, (2006).

A incorporação de diagnósticos de percepções nas alterações espaciais, como afetividades, emoções e sentimentos dos moradores, contribui para o sentido de lugar e pertencimento e influenciam diretamente na qualidade de vida e vitalidade da cidade Okamoto, (1996); Lynch, (2011); Jacobs, (2011). Cabe salientar que as dimensões subjetivas de relacionamento homem e o restante do mundo natural, em uma perspectiva ética ambiental, também são apontadas como elementos essenciais:

“[...] o meio ambiente deve ser gerido e cuidado de tal modo a garantir a maximização e o prolongamento temporal da realização das satisfações humanas, sejam elas de cunho intelectual, estético, moral, espiritual, psicológico ou mesmo fisiológico”  
Lourenço, (2019, p. 53.)

Apesar de limitarmos o estudo as percepções que podem ser codificadas e transmitidas por meio da linguagem, conceituamos percepções segundo David Hume apud. Reale, (2004), como: todo conteúdo da mente humana e em uma perspectiva que não há objetivo ou dicotomia homem-objeto, mas apenas a percepção do mesmo na mente Reale, (2004); Alves, (2015). Assim, as percepções são apreensões do universo, formas de saber, que estão além dos sentimentos e sensações e que exercem influência no comportamento humano Okamoto, (1996).

Considerando a perspectiva histórica controversa, Harley (1991; 2005) propõem um novo olhar sobre a cartografia, despindo das normatizações eurocêntricas e ampliando a definição onde os mapas são uma forma de saber transmitida pela linguagem visual: “[...] são representações gráficas que facilitam a compreensão espacial de objetos, conceitos, condições, processos e fatos do mundo humano” Harley (1991, p.7). O que possibilita tratar de forma direta as ferramentas de geotecnologias como instrumento de representação dos saberes, estruturas, relações de poderes, processos e subjetividades humanas: “[...] Rompido o suposto vínculo da realidade e da representação que domina o pensamento cartográfico e que conduz o caminho da ciência normal” Harley, (2005, p.187) - traduzido pelo autor.

O mapa deixa de ser reflexo ou espelho de uma realidade e passa a ser compreendido como uma simulação dentre as existentes realidades. E as geotecnologias podem ser diretamente tratadas como ferramentas de linguagem visual. Sendo a linguagem visual, a base de criação para o desenho e que lhe é intrínseco propósito, intenção e conceitos de organização visual Wong, (2001, p. 41). Assumindo-se a inexistência da neutralidade de qualquer representação que possa vir a ser representada por meio das geotecnologias, inclusive dos modelos que se propõem a representação geofísica.

Dentre as possíveis contribuições em práticas de cartografias de subjetividades, estão: o estímulo de vínculos com o espaço cartografado aos que realizam a construção dos mapas mentais Lynch, (1960) e Tuan, (1980); a incorporação desejos sociais nas realidades representadas Moura, (2012); possibilidades de construção coletiva, processos colaborativos e dinâmicos por meio das plataformas de sistemas de informações geográficas Moura, (2019).

## 2. Objetivo

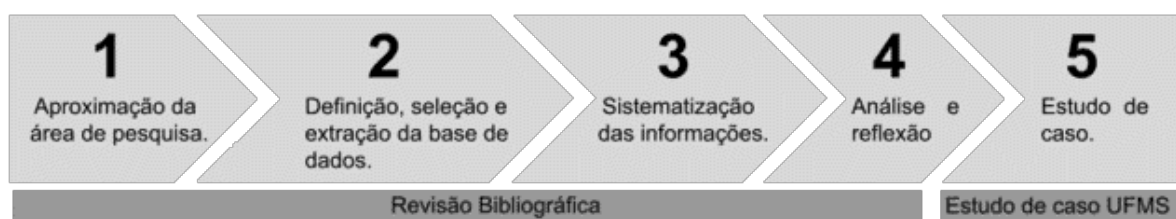
O artigo tem como objetivo geral a compreensão do cenário científico e aproximação sobre o uso de geotecnologias com a análise de percepções ambientais relacionadas às árvores urbanas. Considera-se como objetivos secundários: a) análise bibliométrica e revisão sistemática para compreensão da literatura; b) definição conceitual sobre árvores notáveis através da compreensão da produção acadêmica; c) mapeamento das árvores urbanas que se destacam no Campus Universitário da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, através de percepções

ambientais com ferramentas de geotecnologias, como estudo de caso.

### 3. Material e Métodos

O artigo utiliza métodos de estudos de caso e exploratórios, além do uso de ferramentas livres, principalmente na análise bibliométrica. Sendo este, um exame sistêmico aplicado na base de dados, cujo os parâmetros fundamentais são aspectos métricos de produção acadêmica Araújo e col., (2011). Neste a base de dados utilizada foi a Scopus da empresa Elsevier devido o acesso livre às instituições de pesquisas científicas brasileiras por meio do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Em linhas gerais, percurso metodológico pode ser dividido em cinco etapas: [1] aproximação da área de pesquisa; [2] definição, seleção e extração da base de dados; [3] sistematização das informações; [4] análise e reflexão; e [5] estudo de caso. Conforme (Figura 1) - Processo metodológico.



**Figura 1.** Processo metodológico.

Fonte: Autores (2024).

Antes da investigação de fato, aproximou-se da bibliografia das áreas pesquisadas, de modo a obter informações necessárias para definição e seleção dos arquivos estudados. Na aproximação, percebeu-se que o termo Árvores Notáveis, apesar de ser um termo usado em condições onde as qualidades arbóreas são similares e empregado no ambiente de gestão e planejamento público, não é um consenso sintetizado e difundido no ambiente científico.

Na seleção dos dados, aplicou-se como filtragem básica as palavras-chave, correlatas referentes e as variações gramaticais das temáticas árvores notáveis. Visando afunilar a colheita de dados, acrescentou-se ao filtro de busca parâmetros de seleção para apenas artigos finalizados que tivessem os termos “educação, patrimônio e urbano e mapeamento” orientando a captura de dados para os estudos que envolvessem a percepção ambiental. Cabe salientar que estes termos foram acrescidos por estarem associados ao tema e em alguns contextos serem sinônimos para estudos de percepção de árvores urbanas – à exemplo pesquisas sobre educação e patrimônio com árvores, que pressupõe questões relacionadas a percepção ambiental. Os documentos que estão em processo de publicações para 2023 foram desconsiderados e todos os registros anteriores foram analisados, visando melhor delimitação dos dados.

Os 335 documentos foram extraídos no dia 15 de julho de 2023 em artigos finalizados de formato (língua, tipo acesso) e origem diversificada (país, autor, fonte de publicação e área temática). O filtro utilizou símbolos de truncamentos e operações booleanas: *title-abs-key ( ( notable\* or remarkable ) and ( tree\* ) and ( education or patrimony or urban or mapping ) ) and pubyear < 2023 and ( limit-to ( pubstage , "final" ) ) and ( limit-to ( doctype , "ar" ) )*.

Para a sistematização dos dados e geração da informação, criaram-se os mapas de redes por intermédio do software livre VOSviewer versão 1.6.19. VOSviewer é um software livre e gratuito utilizado para construir e visualizar redes bibliométricas. A análise buscou identificar o cenário e as produções mais relevantes sobre a temática e posteriormente elaborar síntese do

conceito.

O estudo de caso além apresentar um método de pesquisa indicado para incorporar dados qualitativos, reais e lidar com dados fenomenológicos, serve como ferramenta para verificar a aplicabilidade de novos conceitos Eisenhardt, (1989); Yin, (2009). E estas condições dos dados são similares as geradas pelas árvores ditas notáveis.

A prática proposta pode ser dividida em cinco etapas: [1] identificação das espécies; [2] seleção das árvores; [3] mapeamento das árvores; e [4] análise e reflexão.

Para garantir análise abrangente o presente estudo contou com uma equipe multidisciplinar composta por biólogos, arquiteto, geógrafa e acadêmicos de engenharia ambiental e geografia com idades distantes. A diversidade de formação e perfil dos participantes foi fundamental para garantir uma identificação que contemplasse diferentes perspectivas.

Foi na etapa de identificação em que as árvores com potencial foram pré-selecionadas e identificadas segundo os parâmetros de notabilidade – relevância cultural, relação ecológica e aspectos físicos. Estas ações ocorreram em cinco campos, realizados nos anos de 2022 e 2023 e foram consideradas todas as características de destaque presentes nas árvores próximas as vias de acesso do campus. As atividades de identificação das espécies foram realizadas pelo grupo multidisciplinar de seis integrantes nos dias 14 de dezembro de 2022, 11 de fevereiro de 2023, 24 de março de 2023, 08 de abril de 2023 e 10 de março de 2023. Foi identificado, inicialmente 100 espécies, onde o grupo selecionou através dos percursos na universidade as árvores que se destacavam visualmente, debatendo sobre cada indivíduo e registrando as percepções que tornavam o indivíduo notável. Esta é uma etapa essencial no estudo, pois é através do debate que se foi possível coadunar em um senso coletivo e atribuir a notabilidade do elemento analisado. Logo, após, selecionou observando o conjunto, priorizando os indivíduos não repetidos e com mais características notáveis, resultando em 70 (setenta) espécies que foram mapeadas. Para o mapeamento e registro das informações, também utilizou de catálogos para confirmação e reconhecimento visual das espécies.

Para o registro das árvores identificadas no Campus da Cidade Universitária da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, utilizou-se o software de código livre QGIS versão 3.22.6 (QGIS Development team, 2023) e os dados vetoriais disponibilizados pela Semador – Campo Grande (<https://sisgran.campogrande.ms.gov.br/>) com manipulação dos autores. Ressalta-se que toda estratégia visa eficiência e disseminação metodológica e foram prioritariamente propostas com auxílio de softwares livres.

#### **4. Resultados e Discussão**

Subdividimos as discussões em duas partes, a) Análise Bibliométrica e Revisão Sistemática da Literatura e b) estudo de caso Campus Cidade Universitária da UFMS. Na primeira tratamos exclusivamente sobre o conceito e o cenário científico, enquanto na segunda lidamos com um estudo de caso.

##### **4.1 Análise Bibliométrica e Revisão Sistemática da Literatura**

O conjunto de dados extraídos da Scopus, conforme processos e parâmetros já descritos, é apresentado em sua maioria em língua inglesa (88,36% - 296 documentos) e com acesso restrito (50,15% - 168 documentos). Pressupondo a necessidade do conhecimento prévio do idioma inglês para o acesso da informação, e que a maior parte dos dados estão dispostas em um modelo de comercialização do conhecimento, limitando o acesso. As produções estudadas consideraram todo banco de dados da Scopus dos artigos entre os anos de 1927 a 2023.

A hierarquização cronológica das informações, evidenciou o aumento quantitativo de

publicações ao longo dos anos, principalmente a partir da segunda década do século XXI. Sendo em sua maioria documentos ligados a áreas das Ciências da terra e suas Tecnologias.

Em relação a influência dos países, destacam-se a China, os Estados Unidos e o Reino Unido pelo número de pesquisas relatadas na base de dados. Evidencia-se também o autor chinês Jim, C.Y. com o maior número de publicação e maior articulação entre os pesquisadores da área. As pesquisas do Jim, C.Y. Tratam principalmente de mudanças climáticas e serviços ecossistêmicos relacionados à arborização urbana e ao patrimônio ambiental. Eixos presentes entre os principais artigos em destaque no banco de dados, com maior número de citação e/ou relevância, segundo o interesse da pesquisa.

Também é possível observar nas produções a característica ou definição presente no trabalho que confere a árvore sua notabilidade. Esta foi organizada conforme os artigos em destaque pela sua relevância, número de citação e autor entre o banco de dados. Através desta tabulação e análise dos mais importantes dez documentos, foi possível verificar a inexistência de consenso entre os autores do que seria uma árvore notável e no uso de características físicas, biológicas e culturais para atribuir valor a espécie, conforme os artigos: *Effects of urban park design features on summer air temperature and humidity in compact-city milieu* (2022); *Bioreceptivity of buildings for spontaneous arboreal flora in compact city environment* (2011); *Serviceable tree volume: An alternative tool to assess ecosystem services provided by ornamental trees in urban forests* (2021); *Comparing the cooling effects of a tree and a concrete shelter using PET and UTCI* (2018); *Habitat effect on vegetation ecology and occurrence on urban masonry walls* (2010); *Habitat effect on vegetation ecology and occurrence on urban masonry walls* (2010); *Masonry walls as sieve of urban plant assemblages and refugia of native species in Chongqing, China* (2019); *Co-existence between humans and nature: Heritage trees in China's yangtze River region* (2020); *Spatial differentiation and landscape-ecological assessment of heritage trees in urban Guangzhou (China)* (2004); *Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof* (2011); *Legacy effect of trees in the heritage landscape of a peri-urban golf course* (2016).

Apesar de não tratarem conceitualmente como Árvore Notável e usarem o termo notável para qualificar genericamente uma espécie arbórea em destaque, os artigos científicos estudados apresentam características similares as descritas pelos órgãos públicos que usam desta nomenclatura para identificar as árvores e que foram inicialmente citados na introdução deste estudo.

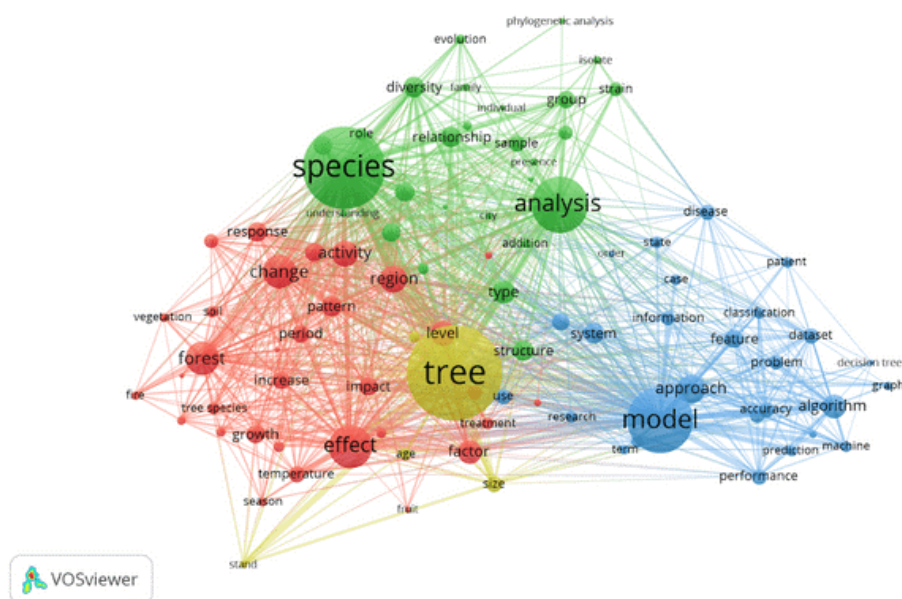
Visando identificar os grupos e relações dos estudos dos artigos e posteriormente localizar os eixos associados as pesquisas das árvores conceituadas como notáveis, criou-se com o software VOSviewer um Mapa de Redes de Conexão de Termos, conforme (**Figura 2**).

O programa identificou 29.499 termos, sendo 106 os que selecionamos os com coocorrem acima de 35 vezes e excluímos tirando termos vazios como: *study, data, area, year, gene, value, site, time, paper, china, work, number, day, total, country*. Desta forma o mapa foi gerado com 91 palavras em 4 clusters. Estes podem ser divididos em: a) Cluster 1 – 32 itens marcados em vermelho – discorre sobre clima, floresta, temperatura; b) Cluster 2 – 27 itens marcados em verde – trata do indivíduo arbóreo e diversidade da espécie; c) Cluster 3 – 27 itens representados em azul – seu grupo apontam termos ligados as técnicas e tecnologias de pesquisa e identificação; e d) Cluster 4 – 5 itens em amarelo – que discorrem sobre as características físicas da árvore.

Estes termos chaves, nos indicam o interesse em técnicas e tecnologias que tratam de mudanças climáticas, serviços ecossistêmicos e riqueza biológica através de dados e informações acerca das condições físicas das árvores. Ressalta-se a não identificação de elementos subjetivos, como estética e beleza nos termos com maior recorrência.

Considerando os artigos identificados que utilizam o termo árvores notáveis e as definições





**Figura 2.** Mapa de Redes de Conexão de Termos.  
Fonte: Scopus. Produzido com VOSviewer Eck e Waltan, (2010).

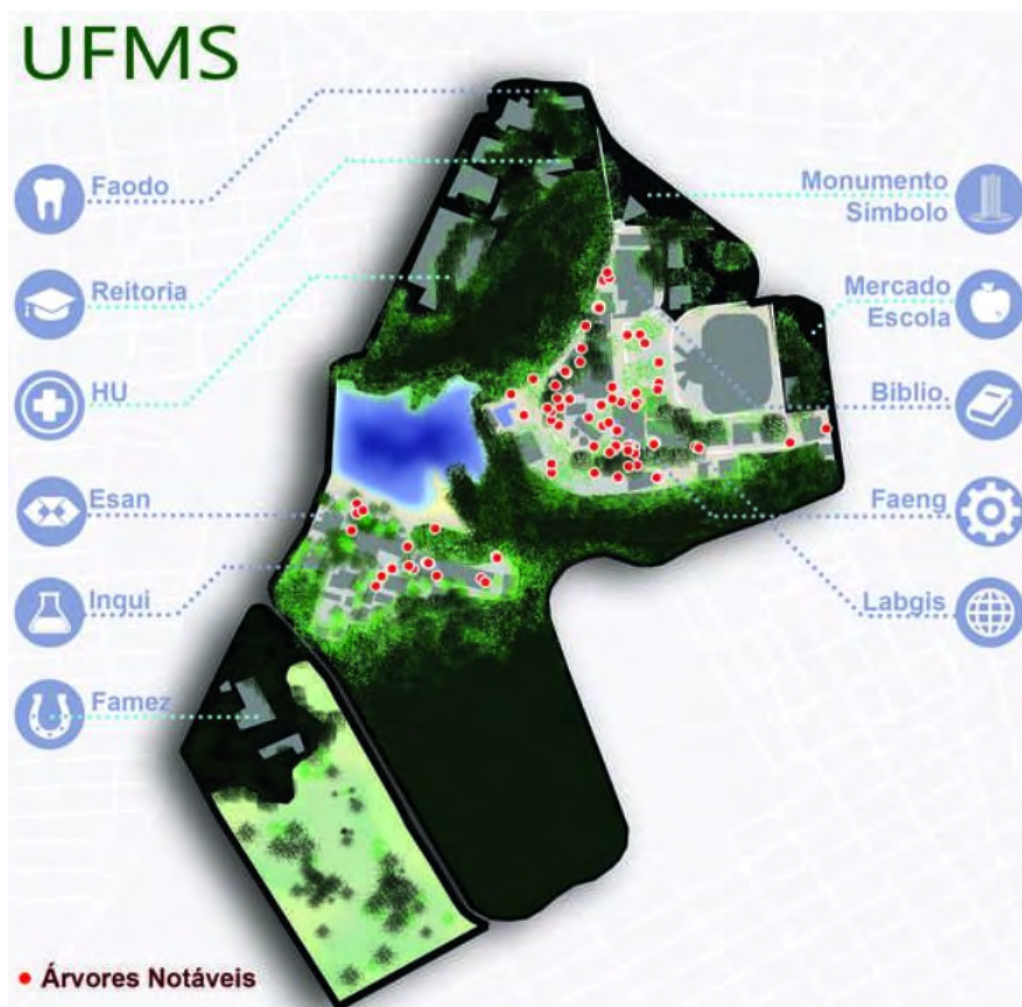
disponíveis dos órgãos públicos, percorridas na introdução deste estudo, definimos Árvore notável como indivíduo ou conjunto arbóreo, inserido no ambiente predominantemente urbanizado e evidenciado pelo agrupamento das percepções ambientais de pessoas relacionadas ao espaço analisado. Para fins de significância, a notabilidade arbórea pode ser dividida em três eixos – relevância cultural, relação ecológica e aspectos físicos – e seu valor é intensificado pela quantidade e recorrência de percepções dadas por pessoas com perfis sociais distintos. E de forma coloquial e simplista, podemos limitá-las como: árvores que chamam a atenção devido sua beleza e valor comercial. Sendo: a) Relevância cultural: valor social, histórica, alimentar, religiosa e cultural atribuído a espécie arbórea ou a algum subproduto de relação direta e pouco processamento industrial; b) Relação ecológica: serviços ecossistêmicos que beneficie diretamente a vida humana e não humana e/ou apresente valor biológico, ou ainda risco e extinção;c) Aspectos físicos: características físicas e químicas os indivíduos arbóreos, como formato, color, dimensão e odor.

#### 4.2 Estudo de caso: Campus Cidade Universitária UFMS

Através da identificação, inicialmente 100 espécies, o grupo debateu cada indivíduo, acordando com cada eixo de notabilidade observada, considerando as árvores vizinhas, o ambiente próximo e a facilidade do acesso. Esta é uma etapa essencial no estudo, pois é através do debate que se foi possível coadunar em um senso coletivo e atribuir a notabilidade do elemento analisado. Nesta etapa resultou 70 (setenta) espécies que foram mapeadas e registradas em banco de dados geográfico, como auxílio do software QGIS, conforme (**Figura 3**) - Mapeamento das espécies.

O registro da localização é importante para o acompanhamento das árvores, além de fornecer dados sobre as espécies como banco de dados que pode ser atualizado. Agindo como um registro das percepções e valores do homem atribuído à vegetação, gerando bases para ações relacionadas a este ambiente.

Com estratégias para disseminação da informação sugere-se ferramentas de educação ambiental, capazes de sensibilizar os indivíduos do ambiente, atentando-os para a preservação



**Figura 3.** Mapeamento das espécies.

Fonte: Dados vetoriais disponibilizados pela Semador – Campo Grande (<https://sisgran.campogrande.ms.gov.br/>), alteradas pelo autor.

das árvores identificadas. No estudo de caso aplicou-se duas estratégias, a primeira de caráter local, com a criação de placas de identificação com o nome científico e popular da árvore e a segunda a produção de um livro didático *Árvore Notável* Editora Amplla, (2023) digital que narra de forma lúdica o processo de identificação das espécies notáveis, perpassando sobre aspectos de relevância cultural, ecológica e aspectos físicos – este foi desenvolvido para que haja disseminação da ciência e a aproximação dos conhecimentos produzidos no ensino superior para o ensino básico.

## 5. Conclusões e Sugestões

As Árvores Notáveis são tanto os indivíduos como os conjuntos arbóreos, inseridos no ambiente predominantemente urbanizado e evidenciado pelo agrupamento das percepções ambientais de pessoas relacionadas ao ambiente em questão. E podem ser identificadas através da identificação e debate das suas características de relevância cultural, relação ecológica e aspectos físicos em um grupo de pessoas. E, apesar de ser um conceito utilizado por órgãos públicos, Árvores Notáveis é uma temática pouco elaborada no cenário acadêmico nacional e não há consenso do

termo no âmbito internacional, apresentando oportunidades de pesquisa nesta área.

O desenvolvimento de pesquisas nas temáticas que tratam das qualidades arbóreas atribuídas pela percepção humana, além de contribuir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis para 2030, especificamente o número 11: Cidades e comunidades sustentáveis, objetiva tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis ONU, (2015). E estas informações, com interfaces a outras áreas, como a Ciência Ambiental, possibilita assertividade em tomadas de decisões relacionadas ao espaço Rosa,(2011), viabilizando ambientes dignos e justos à vida – humana e não humana.

Cabe salientar que de forma coloquial e simplista: as árvores notáveis são em sua maioria aquelas que chamam a atenção devido sua beleza, valor comercial ou uso humano.

Acredita-se que o presente artigo contribui na articulação entre os conhecimentos acadêmicos, criando ponte entre os saberes do mundo do trabalho. Além de ser uma estratégia para criar um inventário com informações de relações homem e natureza no ambiente edificado.

Apesar da dificuldade de agendamento comum, a identificação das espécies com maior número de pessoas é um fator que possibilita contemplar percepções ambientais distintas e deve ser considerado para um levantamento mais inclusivo.

Outro ponto a ser debatido é a necessidade de análise dos conteúdos gerados na bibliometria. Embora o software e o banco de dados forneçam informações sintetizadas, há necessidade de mineração de dados e observação atenta aos itens que compõem o estudo.

O presente trabalho identificou lacunas científicas que podem ser desenvolvidas em estudos futuros, como: a) aprofundamento na conceituação do termo; b) a falta de estratégias de mensurar qualidades perceptivas de objetos da natureza; c) discorrer sobre formas de registro de informações fenomenológicas de patrimônios naturais.

## 6. Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, a Fundect, a Capes e ao CNPq.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) - Código de Financiamento 001. O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/ MEC – Brasil.

## 7. Referências

Alves, M. de S. F. As percepções humanas, segundo David Hume. in: **Revista Sapere Aude**. v. 2, 2015. 31-38p.

Araújo, R. F.; Alvarenga, L. A bibliometria na pesquisa científica da pós-graduação brasileira de 1987 a 2007. **Encontros Bibli**: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação, [S. l.], v. 16, n. 31, p. 51-70, 2011.

Eisenhardt, K.M. Building theories form case study research. **Academy of Management Review**. New York, New York, v. 14 n. 4, 1989.

Fitz, P. R. Geoprocessamento sem complicação. São Paulo - SP: **Oficina de Textos**, 2008. 160 p.

Harley, J. B. A nova história da cartografia. In: UNESCO. O correio da UNESCO. Ano 19, n.8. Paris: UNESCO, 1991. p.4-9.

\_\_\_\_\_. **La nueva naturaleza de los mapas**. México, DF: Fondo de Cultura Económica, 2005. p. 185-208.

Jacobs, J. **Morte e vidas de grandes cidades**. Trad.: Carlos S.Mendes Rosa. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes. 2011. 296 p.

Kneip, A. **Sistemas de Informação Geográfica**: uma introdução prática. Palmas - TO: Editora EDUFT - Universidade Federal de Tocantins, 2014. 198 p.

- Lourenço, D. B. **Qual o valor da Natureza?** Editor Tadeu Braga, São Paulo, 2019. 456 p.
- Lynch, K. A imagem da cidade. Trad.: Jéferson Luis Camargo. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes. 1997. 3ª. Edição 2011. 227 p.
- Magalhães, L. M. S. Arborização e florestas urbanas - terminologia adotada para a cobertura arbórea das cidades brasileiras. *Série Técnica - Floresta e Ambiente*. Rio de Janeiro - UFRRJ, p. 23-26. jan/2006.
- Miller, R. W. *Urban Forestry: Planning and Managing Urban Green Space*. Prentice Hall, 2ªed. Englewood Cliffs - NJ. 1997, p. 502
- Moura, A. C. M. O Geodesign como processo de co-criação de acordos coletivos para a paisagem territorial e urbana. in *Planejamento e Gestão Territorial: o Papel e os Instrumentos do Planejamento Territorial na Interface entre o Urbano e o Rural*. Org. Ladwig, N. I.; Campos, J. B. Criciúma - SC: UNESC, 2019. 534 p.
- \_\_\_\_\_. **Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano**. 3ª ed. Rio de Janeiro - RJ: Interciência, 2014. 312 p.
- \_\_\_\_\_. **Geoprocessamento Aplicado ao Planejamento Urbano e à Gestão do Patrimônio Histórico de Ouro Preto** - MS. Belo Horizonte - MG. Instituto de Geociências - Departamento de Cartografia, 2002. 9 p.
- Okamoto, J. *Percepção Ambiental e Comportamento*. São Paulo - SP: Editora Plêiade, 1996.
- QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. Versão 3.22.6 - Biatowieza. 2023. Disponível em: <[http://www.qgis.org/pt\\_BR/site/index.html](http://www.qgis.org/pt_BR/site/index.html)>.
- Reale, G. *História da filosofia: de Spinoza a Kant*, v. 4. Giovanni Reale, Dario Antiseri. Paulus, São Paulo - SP, 2004. 433 p.
- Rosa, r. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 16, p. 81-90, 2011.
- Sá, A. I. J. A. de. Orçamentos Participativos, Cidadania e Geoinformação: potencialidades e diretrizes metodológicas a partir da experiência de Belo Horizonte. (Tese) **Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFMG da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais**. Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Belo Horizonte - MG, 2021. p. 245.
- Souza, L.; Bueno, C. City Information Modelling as a support decision tool for planning and management of cities: A systematic literature review and bibliometric analysis. in: **Building and Environment**. V. 207, P. A, Janeiro de 2022.
- Silva, J. X; Zaia. Inclusões: digital, social e geográfica. in: *Geoprocessamento & meio ambiente*. Org. Jorge Xavier da Silva e Ricardo Tavares Zaidan. Rio de Janeiro - RJ: Bertrand Brasil, 2011. 17-34 p.
- Tuan, Y.. **Topofilia: um estudo de percepção, atitudes e valores do meio-ambiente**. São Paulo, 1980.
- Wong, W. **Princípios de forma e desenho**. 2ª Ed. São Paulo - SP: Martins Fontes, 2001. 352p.
- Yin, R.K. *Case study research, design and methods (applied social research methods)*. Thousand Oaks. California: **Sage Publications**, 2009.

## O uso de Aeronave Remotamente Pilotada e de MDT (Modelo Digital de Terreno) e MDS (Modelo Digital de Superfície) para análise de área de alagamento

Polyana Oliveira dos Santos Hanse <sup>1</sup>

Beatriz de Azevedo do Carmo <sup>2</sup>

Judite de Azevedo do Carmo<sup>3</sup>

Neumuel da Silva Faria <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT

Av. dos Ingás, 3001 – Jardim Imperial

78555-000 – Sinop-MT, Brasil

Graduada em Geografia

polyana.oliveira@unemat.br

<sup>2,3</sup> Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP

Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT

Av. dos Ingás, 3001 – Jardim Imperial

78555-000 – Sinop-MT, Brasil

{beatriz.carmo, judite.carmo} @unemat.br

<sup>4</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso- UNEMAT

Av. São João, 563, Cavanhada I

78211-260 – Cáceres-MT, Brasil

neumuel.faria@unemat.br

**Resumo.** Os casos de enchentes, inundações e alagamentos são recorrentes em todo o território nacional, principalmente em áreas urbanas. Segundo levantamentos do Ministério Público da Integração Nacional, entre 1990 e 2012 o Brasil sofreu mais de 30 mil desastres, isto é uma média de 1.363 eventos por ano Brasil, (2013). Segundo Amen et al. (2023), há inúmeras causas para se apontar quando o assunto é alagamento ou enchentes, tanto naturais como provocadas pela sociedade, além das mudanças climáticas. Na busca de explicações para os casos de inundações em centros urbanos, Pruski, Brandão; Silva (2003), relatam que elas são problemas recorrentes devido ao acelerado processo de urbanização e as consequentes ações antrópicas como o desmatamento, a canalização de trechos hídricos e à impermeabilização do solo, que são fatores que facilitam e intensificam os casos nas localidades. Enchentes, inundações e alagamentos são recorrentes em todo o território nacional, principalmente em áreas urbanas. Segundo levantamentos do Ministério Público da Integração Nacional, entre 1990 e 2012 o Brasil sofreu mais de 30 mil desastres, isto é uma média de 1.363 eventos por ano Brasil, (2013).

**Palavras-chave:** espaço urbano, fenômenos hidrometeorológicos, geotecnologia.

**Abstract:** The process of settlement in the municipality of Sinop (Mato Grosso State/ Brazil) has positioned the city as an important regional center, resulting in dense population and significance in the regional urban hierarchy. However, the expansion of the urban area has led to environmental problems, such as recurrent flooding in the city center during the rainy season. It is highly relevant to implement initiatives that utilize tools for the planning and monitoring of these events. Therefore, the research aims to identify the elements causing the flooding incidents in the central area of Sinop, focusing on sections of Governador Júlio Campos and Embaúbas avenues, using the DTM (Digital Terrain Model) and DSM (Digital Surface Model). The study areas were selected due to the frequent occurrence of flooding, addressing the locations through the following methodological procedures: bibliographic research; fieldwork; data acquisition and cartographic production with the compilation of geographic information and map creation. The results showed that in both areas, soil impermeability and lack of vegetation, when combined with the flat terrain and insufficient drainage system, lead to water accumulation, causing inconvenience and material losses for those frequenting the analyzed points. It is noteworthy that there are no public initiatives for monitoring extreme events, nor is there a civil defense presence, making it necessary to enforce the master plan that provides for such measures.

**Key words:** urban space, hydrometeorological phenomena, geotechnology.

## 1. Introdução

Quando se trata de enchentes e alagamentos, Amen et al. (2023) aponta inúmeras causas, tanto naturais quanto provocadas pela sociedade (além das mudanças climáticas). Na busca por explicações para os casos de inundações em centros urbanos, Pruski et. al (2003) relata que são problemas recorrentes devido ao acelerado processo de urbanização e as consequentes ações antrópicas como o desmatamento, a canalização de trechos hídricos e à impermeabilização do solo, que são fatores que facilitam e intensificam os casos nas localidades.

Inundações, enxurradas e enchentes, apesar de serem fenômenos relacionados, possuem diferenças entre si que precisam ser ressaltadas. Sobre as enchentes, Kobiyama et al. (2011), e Lima (2021) conceituam como sendo fenômenos que dizem respeito à elevação natural do nível da água de um canal fluvial, ou seja, o aumento do volume de água na calha do rio. Entretanto, quando o nível da água do rio extravasa o limite de seu canal (considerando a vazão máxima), tem-se então a ocorrência de inundações.

Conforme explica Tucci (2012), as inundações ocorrem quando há excesso de chuva que não consegue ser drenada, inundando a várzea de acordo com a topografia das áreas próximas aos rios. Assim, as inundações acontecem em áreas urbanas, principalmente pela falta de drenagem da água excessiva da chuva, e pela ocupação da várzea e da planície de inundação dos canais fluviais urbanos.

As enxurradas se formam em decorrência de chuvas intensas e concentradas, especialmente em localidades que apresentam relevo acidentado. Elas contribuem para a ocorrência de enchentes dos rios, e, de acordo com a magnitude da enchente, pode provocar inundações Castro, (2003).

O alagamento, em conformidade com o autor citado a cima, refere-se à água acumulada no leito das ruas em decorrência de fortes precipitações pluviométricas em localidades onde o sistema de drenagem é ineficiente. Lima (2021), ao afirmar que os alagamentos são comuns após as precipitações, faz a ressalva de que eles não possuem relação direta com a chuva, porque eles ocorrem por problema de infraestrutura do sistema de drenagem. Grilo (1992) explana que os alagamentos ocorrem geralmente em locais com relevos planos, ou em fundos de vale, onde o escoamento superficial fica comprometido por conta das características topográficas, em conjunto com a falta ou a insuficiência de um sistema de drenagem pluvial na área urbana.

Dessa forma, os fenômenos hidrometeorológicos mencionados são recorrentes em todo o território nacional, com consequências negativas para a população. Estes acontecimentos reforçam a relevância da adoção e testagem de instrumentos para a identificação e diagnóstico

das áreas atingidas por esses fenômenos.

Diante do exposto, o estudo que se apresenta pautou-se nos alagamentos recorrentes na cidade de Sinop (MT), visando demonstrar que as geotecnologias podem ser instrumentos indispensáveis no processo de identificação e diagnósticos das áreas mais problemáticas, viabilizando estudos que visam analisar os alagamentos, no intuito de auxiliar no processo de tomadas de decisões, para que os desastres sejam reduzidos ou minimizados.

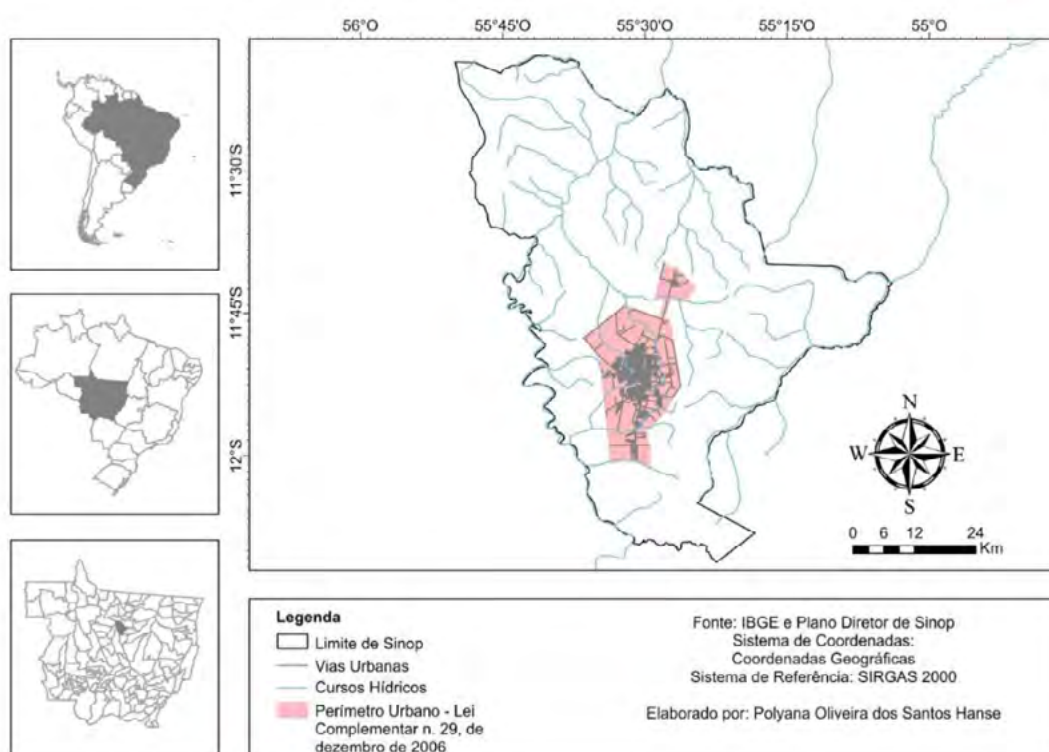
## 2. Objetivo

O objetivo geral do estudo realizado foi analisar e identificar os fatores causadores dos casos de alagamentos na área central da cidade de Sinop, no estado de Mato Grosso, a partir de trechos das avenidas governador Júlio Campos e Embaúbas, utilizando o MDT e o MDS para auxiliar na identificação. Para atingir o objetivo geral foram elencados como objetivos específicos: identificar a estrutura do relevo e identificar o padrão de uso e ocupação do relevo.

## 3. Material e Métodos

### 3.1 A área de estudo

A área selecionada para estudo foi a cidade de Sinop, no estado de Mato Grosso, localizada nas coordenadas geográficas 11°50'53" latitude sul; 55° 38'57" longitude oeste, distante 505 km da capital Cuiabá, com população de 196.312 pessoas IBGE, (2022). (Figura 1).



**Figura 1.** Localização de Sinop, Mato Grosso.

Fonte: Autores (2024).

A escolha dessa área para estudo decorreu-se das constantes notícias veiculadas sobre alagamentos na cidade, que ocorrem frequentemente no período de novembro a março, quando a precipitação fica próximo aos 300mm mensais INMET, (2024).

Santos e Carmo (2023), assim como Hurtado; Santos; Zanin (2022) colocam que na área urbana de Sinop há incidência recorrente de alagamentos, os últimos autores especificam ainda que apesar de ser uma cidade modelo na região norte do estado, sua urbanização acelerada indica que episódios como estes podem tornar-se cada vez mais frequentes.

### 3.2. Procedimentos metodológicos

Para o desenvolvimento da pesquisa recorreu-se aos seguintes procedimentos metodológicos: pesquisa bibliográfica; trabalho de campo; aquisição de dados e produção cartográfica com a compilação de informações geográficas e elaboração de mapas.

A pesquisa bibliográfica com as suas etapas: levantamento e revisão, foram importantes para buscar os conceitos, as teorias e as metodologias que foram empregadas. O trabalho de campo foi realizado para o levantamento de imagens aéreas dos pontos de alagamento (avenida governador Júlio Campos e avenida Embaúbas), com a utilização de uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP - Phantom 4 PRO V. 2) para capturar imagens com alto nível de resolução espacial. Esse levantamento teve o objetivo de identificar a geomorfologia da área, gerando os Modelos Digitais de Superfície e de Terreno (MDS e MST).

As imagens, especificamente as obtidas com a ARP, no mês de maio de 2024, foram processadas em um software de processamento digital de imagens, o Agisoft Metashape (licença educacional do grupo de pesquisa Desenvolvimento e Gestão do Território- DEGET), gerando os ortomosaicos. Posteriormente, foram gerados a partir do ortomosaico, os MDS e MDT. Já os produtos cartográficos foram gerados no software ArcGIS PRO (versão trial).

Sobre o MDS e o MDT Cruz et al. (2011) explicam que o primeiro representa a superfície do terreno incluindo quaisquer objetos presentes sobre ele que influenciem no valor da refletância do pixel. Em outras palavras, se houver árvores ou construções, a superfície representada corresponde ao topo desses objetos. Por outro lado, o MDT representa a superfície real do terreno, desconsiderando quaisquer elementos sobrepostos.

### 4. Resultados e Discussão

Souza (2017) categoriza Sinop como uma cidade projetada, planejada e desenvolvida com os atributos de um centro urbano de relevância regional. Seu povoamento inicia-se nas décadas de 1970 e 1980. O crescimento urbano de Sinop pode ser considerado vertiginoso, quando se observa os dados do Censo Demográfico de 2022. Como pode ser observado na (Tabela 1) abaixo, a população teve um crescimento entre 1980 e 1991 de 93,9%, de 1991 para 2000 de 95,0%, de 2000 para 2010 de 51,1% e de 2010 para 2022 de 73,6%.

**Tabela 1.** População de Sinop (MT).

Ano	1980	1991	2000	2010	2022
População	19.891	38.374	74.831	113.099	196.312

Fonte: Censos Demográficos do IBGE.

O modelo de crescimento adotado trouxe consigo vários problemas no cotidiano, tanto de cunho social como também os relacionados à natureza. Davis (2006, p. 134) afirma que “enquanto riscos naturais são ampliados pela pobreza urbana, riscos novos e totalmente



artificiais são criados pela interação entre pobreza e indústrias poluentes, trânsito anárquico e infraestrutura em colapso. [...]”. Ou seja, podemos observar problemas estruturais nas cidades, que são decorrentes da forma de ocupação, sendo, no caso desse estudo, os alagamentos.

Por meio do trabalho de campo foram feitos registros fotográficos de dois pontos de alagamento na cidade, como pode ser visualizado na **(Figura 2)** abaixo.

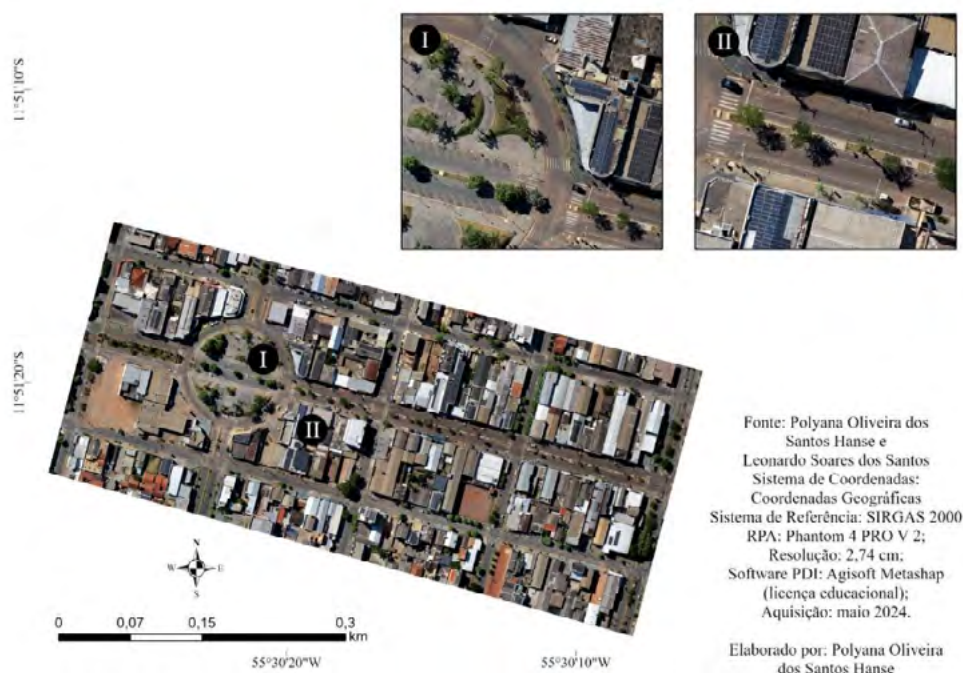


**Figura 2.** Alagamento nas avenidas governador Júlio Campos e Embaúbas, Sinop, MT.  
Fonte: Autores (2024).

O alagamento retratado nos pontos referidos na **Figura 2**, apresentam desafios significativos para a população e o setor comercial da cidade. Além das dificuldades imediatas como interrupções no tráfego e impactos na mobilidade, há consequências potencialmente graves que merecem atenção. A segurança pública é ameaçada pela possibilidade de acidentes e perdas de vidas decorrentes das condições precárias das vias inundadas, além dos danos materiais causados em veículos, motocicletas e demais automóveis.

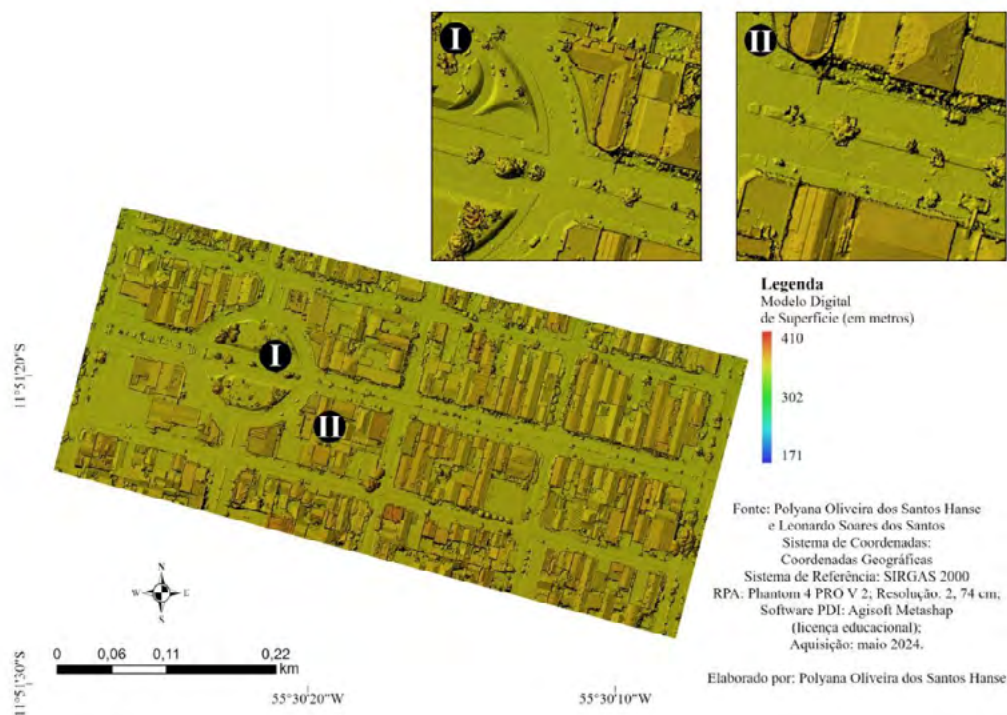
O município de Sinop localiza-se na unidade geomorfológica do Planalto dos Parecis, que possui como características altimetrias homogêneas com espessa drenagem fluvial Brasil, (1980), com pequenas diferenças de altitude identificadas nas áreas de alagamento nas avenidas governador Júlio Campos e Embaúbas. Os dados foram coletados a partir do imageamento com a ARP e pela elaboração do MDS e do MDT em ambas as avenidas.

A análise começou pela avenida governador Júlio Campos (**Figura 3**). Como pode ser verificado, a avenida é amplamente impermeabilizada, sem áreas verdes. Os dois pontos destacados na figura, referem-se as áreas onde há a ocorrência de alagamentos intensos.



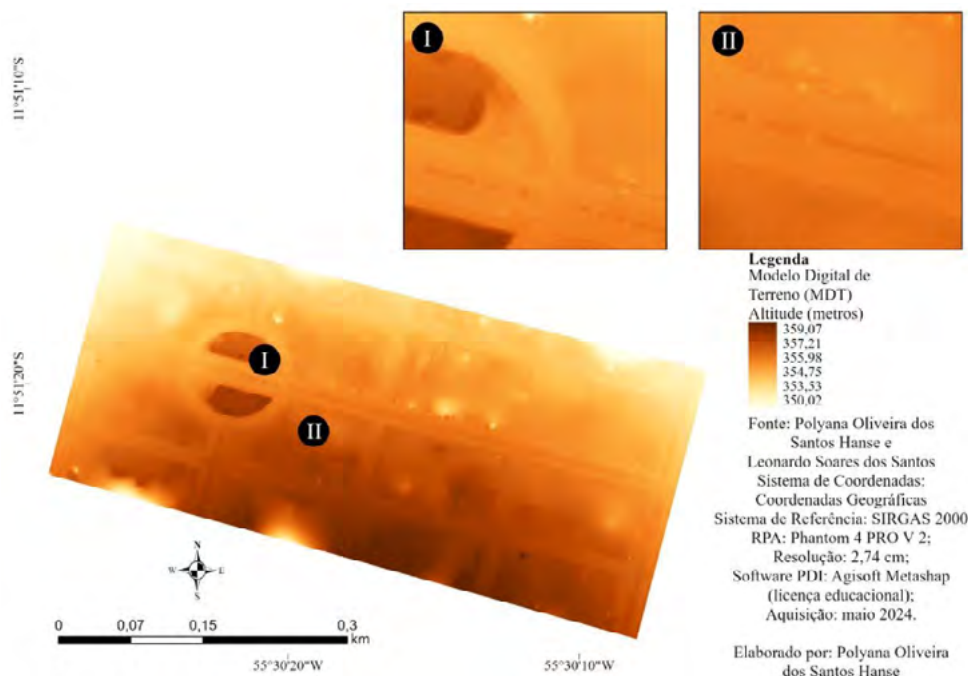
**Figura 3.** Avenida governador Júlio Campos, Sinop (MT).  
Fonte: Arquivo do Laboratório DEGET – Unemat/Sinop.

Na (Figura 4), visualiza-se o MDS da área, evidenciando como as construções e o próprio relevo se relacionam. É possível verificar que não há uma grande variação do relevo, a variação de altimetria que se verifica é relacionada às construções.



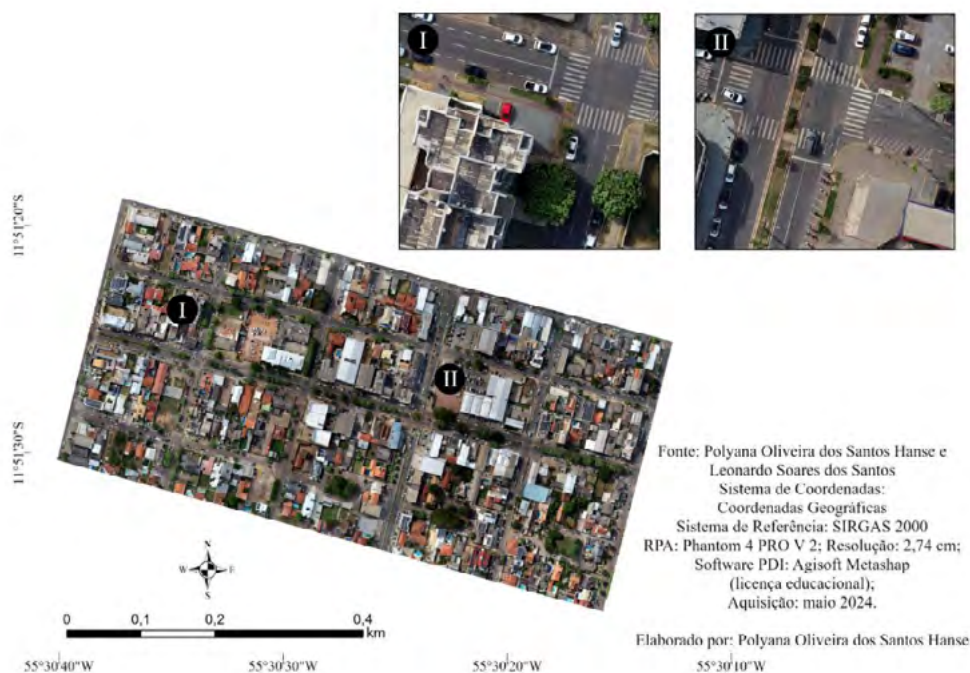
**Figura 4.** Modelo Digital de Superfície da avenida governador Júlio Campos, Sinop (MT).  
Fonte: Arquivo do Laboratório DEGET – Unemat/Sinop.

Em relação ao MDT, a (Figura 5) demonstra que há uma variação de nove metros no relevo da área, o classificando como plano em decorrência da pouca variação de altitude. Tal fator não impede a drenagem da água no sentido norte-sul, o que favorece o acúmulo de água nos pontos I e II.



**Figura 5.** Modelo Digital de Terreno da avenida governador Júlio Campos, Sinop (MT).  
Fonte: Arquivo do Laboratório DEGET – Unemat/Sinop.

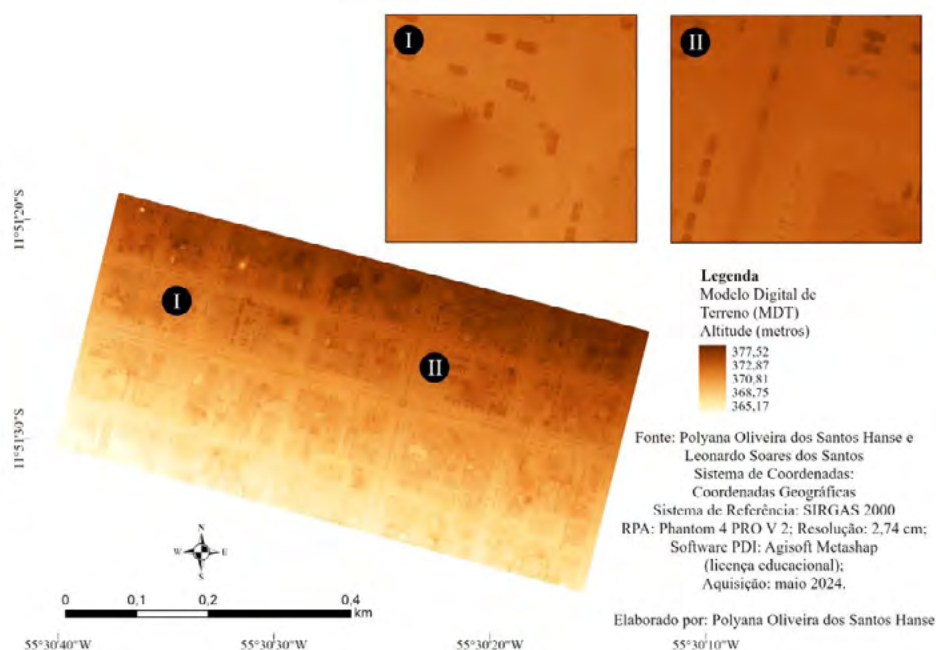
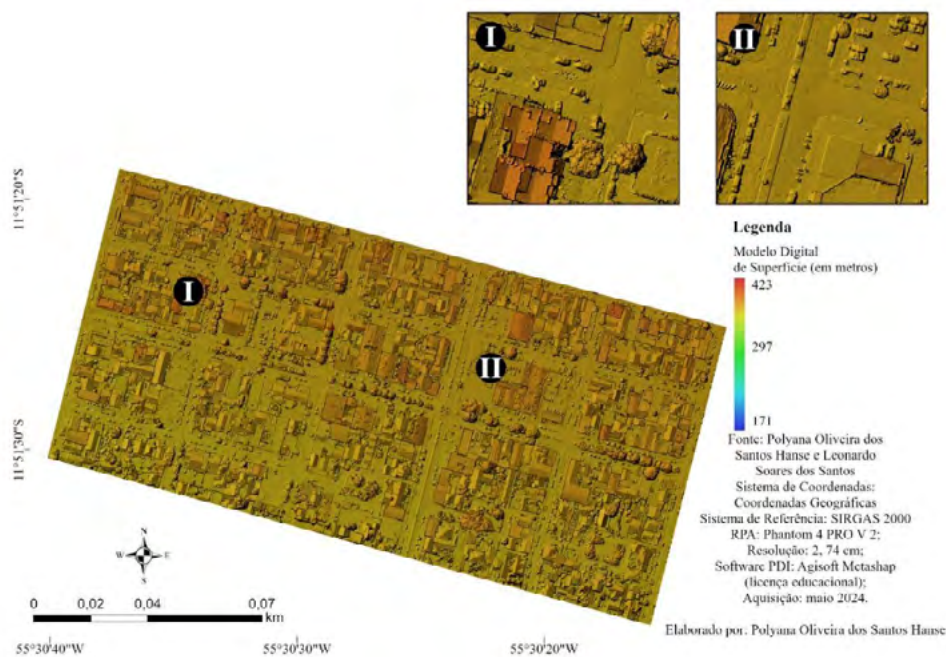
A avenida das Embaúbas (Figura 6), assim como o local observado anteriormente, encontra-se na região central da cidade, porém, o foco em questão possui menor concentração



**Figura 6.** Avenida Embaúbas, Sinop, MT.  
Fonte: Arquivo do Laboratório DEGET – Unemat/Sinop.

de estabelecimentos comerciais. Na **Figura 6** é possível notar um solo impermeabilizado, com pouca arborização (apesar de possuir mais de árvores em comparação com a avenida governador Júlio Campos).

No que se refere ao MDT e MDS da avenida, esses podem ser visualizados nas (**Figuras 7 e 8**) abaixo.



A partir do MDS (**Figura 7**) observa-se que a área apresenta pouca variação de altitude, sendo as construções as responsáveis pelo contraste visualizado na figura. No que se refere ao MDT da **Figura 8**, novamente se observa a pouca variação do relevo.

Na **Figura 8** há uma variação de 12 metros no relevo, valor maior quando comparado com a área anterior. Novamente o escoamento superficial ocorre na direção norte-sul, favorecendo o acúmulo de água nos pontos em destaque, principalmente em decorrência da existência das construções e alto nível de impermeabilização.

Os mapas ilustram que os pontos analisados são predominantemente planos com baixa declividade, o que contribui para a acumulo de água dificultando sua chegada aos locais de saída. Somados a esse fator, a intensa impermeabilização do solo, combinada com as chuvas intensas no período de outubro a abril e a ineficiência do sistema de drenagem pluvial urbano, provocam os alagamentos nas áreas analisadas.

Damo; Almeida (2017) consideram que o crescimento da área urbanizada em Sinop, gerou o aumento nos números das vias (ruas/avenidas) e impermeabilização do solo na região, dificultando a infiltração da água da chuva no solo, aumentando o acúmulo e intensificando o escoamento superficial, que por sua vez é redirecionado para centrais de drenagem (boca de lobo/ bueiros/ valetões). Os elementos culminaram em uma sobrecarga no sistema de drenagem pluvial urbano, principalmente nas partes com menor altitude, majorando a incidência de alagamentos.

Os casos de alagamentos em Sinop vão em direção ao que Grilo (1992) aponta, onde a pouca extensão de áreas verdes nas cidades influencia na diminuição da infiltração da água no solo, causando uma dupla problemática: o surgimento dos problemas com as águas e a dificuldade de alimentação dos aquíferos suspensos; se a situação fosse inversa e houvesse áreas verdes que cumprissem todas as suas funções (social, cultural e ambiental) esses casos poderiam ser minimizados.

## 5. Conclusões

O estudo realizado demonstrou que os alagamentos em Sinop são ocasionados em decorrência das características de seu relevo, que é plano com pouca variação altimétrica, sendo esse tipo de relevo mais a ter problemas no escoamento superficial, contudo quando as áreas urbanas possuem uma boa cobertura vegetal e uma rede de drenagem pluvial suficiente para suportar o fluxo da água, os alagamentos podem ser minimizados, o que não é o caso das localidades estudadas, uma vez que o levantamento aéreo deixou clara a intensa impermeabilização do solo e poucas áreas verdes.

Algumas medidas podem ser realizadas para reduzir o problema na cidade, como a utilização de pavimentos permeáveis, aumentar a cobertura arbórea nas avenidas, assim como implantar e realizar a manutenção de parques e reservas, calçadas ecológicas com vegetação rasteira, dentre outros. Um ponto crucial que deve ser atendido é a elaboração de um plano diretor de drenagem eficiente, como também a implantação da Defesa Civil para auxiliar na notificação, registro e atendimento à população atingida.

## 6. Referências

Amen, M.A.R. et.al. Mapping of Flood-Prone Areas Utilizing GIS Techniques and Remote Sensing: A Case Study of Duhok, Kurdistan Region of Iraq. **Remote Sensing**, v. 15, 2023, p. 01-20. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/4/1102>. Acesso em: 10 jan. 2023.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL** –Folha SC.21, Juruena: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1980.

Castro, Antônio Luiz Coimbra de. Manual de Desastres. Brasília: Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2003. Disponível em: [https://www.campinas.sp.gov.br/governo/secretaria-de-governo/defesa-civil/desastres\\_naturais\\_voll.pdf](https://www.campinas.sp.gov.br/governo/secretaria-de-governo/defesa-civil/desastres_naturais_voll.pdf). Acesso em: 22 jan. 2020.

Damo, K. B. ; Almeida, G. R. Expansão de Sinop e o mercado imobiliário. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 05, n. 34, p.01-13, 2017. Disponível em: [https://www.academia.edu/35852550/Expans%C3%A3o\\_de\\_Sinop\\_e\\_o\\_mercado\\_imobili%C3%A1rio](https://www.academia.edu/35852550/Expans%C3%A3o_de_Sinop_e_o_mercado_imobili%C3%A1rio). Acesso em: 16 nov. 2023.

Davis, Mike. Planeta Favela. São Paulo: Boitempo, 2006.

Ruz, C. B. M. et al. Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do Lidar. In: Xv Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto – Sbsr. **Anais [...]**, Curitiba, PR: INPE,2011. Disponível em: <http://mar.te.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/06.27.14.49/doc/p1096.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

Grilo, R. C. **A precipitação pluvial e o escoamento superficial na cidade de Rio Claro/SP**. 1992. 103 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

Hurtado, J. G.; Santos, F. L. Zanin, R. B. Proposta metodológica para o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos no município de Sinop – MT utilizando- Analytic hierarchy process. In: Iv Seminário Nacional Do Profágua. **Anais [...]**. Brasília, outubro, 2022, p. 01-03. Disponível em: [https://www.feis.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/profagua/jonatas-garcia-hurtado\\_resumo-expandido---seminarios-ii.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/profagua/jonatas-garcia-hurtado_resumo-expandido---seminarios-ii.pdf). Acesso em: 15 nov. 2023.

IBGE. **Cidades e estados: Sinop (MT)**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mt/sinop.html> Acesso em: 29 mar 2024.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas (1991-2020)**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 20 jul. 2023.

Kobiyama, M.; et. al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba – PR. 1ª ed. Editora: Organic Trading, 2006. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/prevencaodedesastresnaturaisconceitosbasicos.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

Lima, G. **Desastres hidrometeorológicos: uma análise sobre como a mídia divulga os eventos de enchentes, inundações, enxurradas e alagamentos - o exemplo de Belo Horizonte (MG) e São Paulo (SP)**. 2021. 207 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade de Campina-Unicamp, Campinas, 2021.

Pruski, F.F.; Brandão, V.S., Silva, D.D. **Escoamento superficial**. Viçosa: UFV, 2003.

Santos, L. S.; Carmo, B. A. As geotecnologias na análise espacial em áreas de risco socioambiental a alagamentos na cidade de Sinop (MT). **Revista Geoaraguaia**. n. 13, (Especial), p. 45-69, 2023. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/15475>. Acesso em: 15 nov. 2023.

Souza, E. A. Reflexões acerca da história de Sinop/MT: imigração e fronteira agrícola. **História e Diversidade**. v. 9, n. 1, p. 96-109, 2017. Disponível em: <https://periodicos.unemat.br/index.php/historiaediversidade/article/view/2749>. Acesso em: 16 nov. 2023.

Tucci, Carlos Eduardo Morelli. **Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos**. Agência Nacional de Águas: Câmara Temática sobre Recursos Hídricos - Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. 2002.

Tucci, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/0202366b-45a3-4786-aedb-81da9c5c5231/content>. Acesso em: 15 nov. 2023.

## **Análise multitemporal de uso e ocupação do solo dos municípios de Dourados e Caarapó em Mato Grosso do Sul**

Chern Jenn Yuan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Geotecnologia - Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD  
Rodovia Dourados - Itahum, Km 12 –  
Cidade Universitária, Cx Postal 533 – 79804-970  
Dourados – MS, Brasil

**Resumo.** O presente trabalho visa estudar os processos ocorridos ao longo dos anos, nos municípios de Dourados e Caarapó, onde poderá auxiliar no monitoramento e planejamento mais sustentável. Com isso, o sensoriamento foi importante para realizar tal estudo. O objetivo deste artigo é verificar e avaliar a evolução histórica do uso e ocupação do solo de todo o limite do município de Dourados e Caarapó, utilizando dados do MapBiomias, dentre os anos de 2005, 2010, 2015 e 2022. Os dados utilizados no respectivo trabalho foram mosaicos gerados pelo satélite Landsat, com resolução espacial de 30 metros, baseado na coleção 8. Os resultados demonstram que as áreas agrícolas e pastagem aumentaram significativamente ao longo dos anos, e a área urbana também obteve avanços consideráveis. Por mais que as áreas agrícolas foram avançadas, a Formação Florestal também sofreu um leve aumento, dentre os períodos 2005 a 2022. Esta pesquisa permitirá tomar decisões, elaborar e planejar mais sustentável para o uso e ocupação do solo.

**Palavras-chave:** ocupação do solo, sustentabilidade, Landsat, MapBiomias e sensoriamento remoto.

**Abstract.** The present work aims to study the processes that have occurred over the years, in the municipalities of Dourados and Caarapó, where it can assist in monitoring and more sustainable planning. Therefore, sensing was important to carry out such a study. The objective of this article is to verify and evaluate the historical evolution of land use and occupation of the entire boundary of the municipality of Dourados and Caarapó, using data from MapBiomass, between the years 2005, 2010, 2015 and 2022. The data used in the respective work were mosaics generated by the Landsat satellite, with a spatial resolution of 30 meters, based on collection 8. The results demonstrate that agricultural and pasture areas have increased significantly over the years, and the urban area has also made considerable advances. As much as agricultural areas were advanced, Forestry Formation also suffered a slight increase, between the periods 2005 and 2022. This research will allow us to make decisions, prepare and plan more sustainable land use and occupation.

**Key-words:** Land occupation, Sustainability, Landsat, MapBiomass and Land Use and Occupation.

## 1. Introdução

O Brasil apresenta umas das maiores biodiversidades que existem em todo o mundo, devido à sua ampla cobertura da terra com a presença de diferentes biomas N. Gorelick, et al. 2017. Dentre eles, os principais biomas são: o Cerrado, Amazônia, Pantanal, Pampa e Caatinga. Segundo Walther, G. (2010), Entre os anos de 2013 a 2022, a perda de vegetação nativa no Brasil acelerou significativamente. Esse período coincide com a alteração do Código Florestal, aprovado pelo Congresso em 2012. De acordo com uma análise inédita do MapBiomass, que utiliza dados atualizados de uso e cobertura da terra, abrangendo o intervalo de 1985 a 2022, houve um aumento substancial na degradação. A análise das imagens de satélite revela que, nos cinco anos anteriores à aprovação do Código Florestal (2008-2012), a perda foi de 5,8 milhões de hectares. Nos cinco anos subsequentes à aprovação (2013-2018), essa perda subiu para 8 milhões de hectares. Já nos últimos cinco anos (2018-2022), a perda atingiu 12,8 milhões de hectares, representando um aumento de 120% em relação ao período de 2008-2012. (MAPBIOMAS,2022).

Esses processos ocorrem de forma intensa em várias partes do país, não sendo diferente no Estado de Mato Grosso do Sul, que possui 61% do seu território composto pelo bioma Cerrado (IBGE, 2018) e que vem sofrendo constantes mudanças na dinâmica do uso da terra e intensificando mais as atividades antrópicas que causam impactos negativos ao meio ambiente. De acordo com Lima et al., (2019) a vegetação original que cobria a região meridional de Mato Grosso do Sul está profundamente alterada devido às atividades humanas, resultado do processo de colonização que ocorreu na região.

A constante supressão da vegetação pode causar alterações na cobertura do solo, redução dos habitats e, conseqüentemente, resultar na perda de biodiversidade. Além disso, também pode afetar comunidades tradicionais que dependem dos recursos naturais para sua subsistência, como a pesca de subsistência (ANDRADE et al.,2020). Estas transformações de paisagens naturais em áreas agrícolas decorrentes de supressões vegetais podem ser acompanhadas por técnicas de sensoriamento remoto, utilizando métodos de detecção de mudanças com dados coletados em diferentes períodos. Esse processo de detecção de mudanças ajuda a identificar e analisar as alterações no uso e na cobertura do solo, baseando-se em informações multitemporais de sensoriamento remoto (DIALLO,2009).

O Estado de Mato Grosso do Sul está situado na região Centro-Oeste do Brasil e é reconhecido como um importante produtor de soja, milho, açúcar, celulose e carne bovina. A região se destaca principalmente pela alta produção agropecuária voltada para exportação, beneficiada por seus solos férteis, vastas áreas planas e clima tropical e subtropical favoráveis. (TETILA et al., 2020.) Historicamente, a estrutura fundiária de Mato Grosso do Sul tem sido marcada pela predominância de grandes propriedades rurais, o que é um fator crucial para o



sucesso das monoculturas em larga escala. (FACCIN, 2018).

Nas últimas décadas, a soja tornou-se cada vez mais importante no Estado de Mato Grosso do Sul, O estado passou a desempenhar um papel significativo no agronegócio brasileiro, destacando-se tanto pelo volume de exportações quanto pela produtividade (Binotto et al., 2017). Em Dourados, município localizado na porção sul do estado, é fortemente ligado ao agronegócio. A agricultura de precisão praticada na região tem registrado sucessivos recordes de produção a cada safra, posicionando o município como um destaque no cenário nacional (ARAGÃO et al., 2022). Em Caarapó, conforme o Portal da cidade (2023) o município teve sua história profundamente ligada à exploração da erva-mate nativa, exploração madeireira, seguidos pelo desenvolvimento da agricultura e pecuária, impulsionados pela chegada de agricultores do Sudeste, Sul do Brasil e imigrantes paraguaios. Atualmente, possui sua economia diversificada, com destaque para um pujante setor industrial, além da agricultura, pecuária, que são pilares do seu desenvolvimento econômico.

Os municípios de Dourados e Caarapó possuem sua economia pautada nas atividades agrícolas e apresentam um intenso processo de expansão de suas lavouras em espaços que eram destinados a pastagens. Entretanto, ambos municípios apresentam conflitos e impactos socioambientais cujas atividades geradoras desses conflitos são a agricultura e a pecuária (FIOCRUZ, 2024). Considerando que a expansão agrícola é um processo recente e intenso nos municípios de Dourados e Caarapó, este trabalho tem por objetivo analisar a dinâmica da utilização da terra, e seus avanços, verificando quais os tipos de uso e seus possíveis impactos e qual a proporção desta conversão. Para responder a essas questões faremos um estudo da evolução do uso do solo, na abordagem multitemporal, a partir de mapas de uso e cobertura da terra, obtidos através do Mapbiomas, que permite a obtenção de dados da superfície terrestre e a ferramenta no programa do (Qgis, 3.28.8) Landscape Ecology, que permite a obtenção de dados individuais de cada cobertura. Sem a necessidade de se ter o contato direto com o alvo.

## **2. Materiais e Métodos**

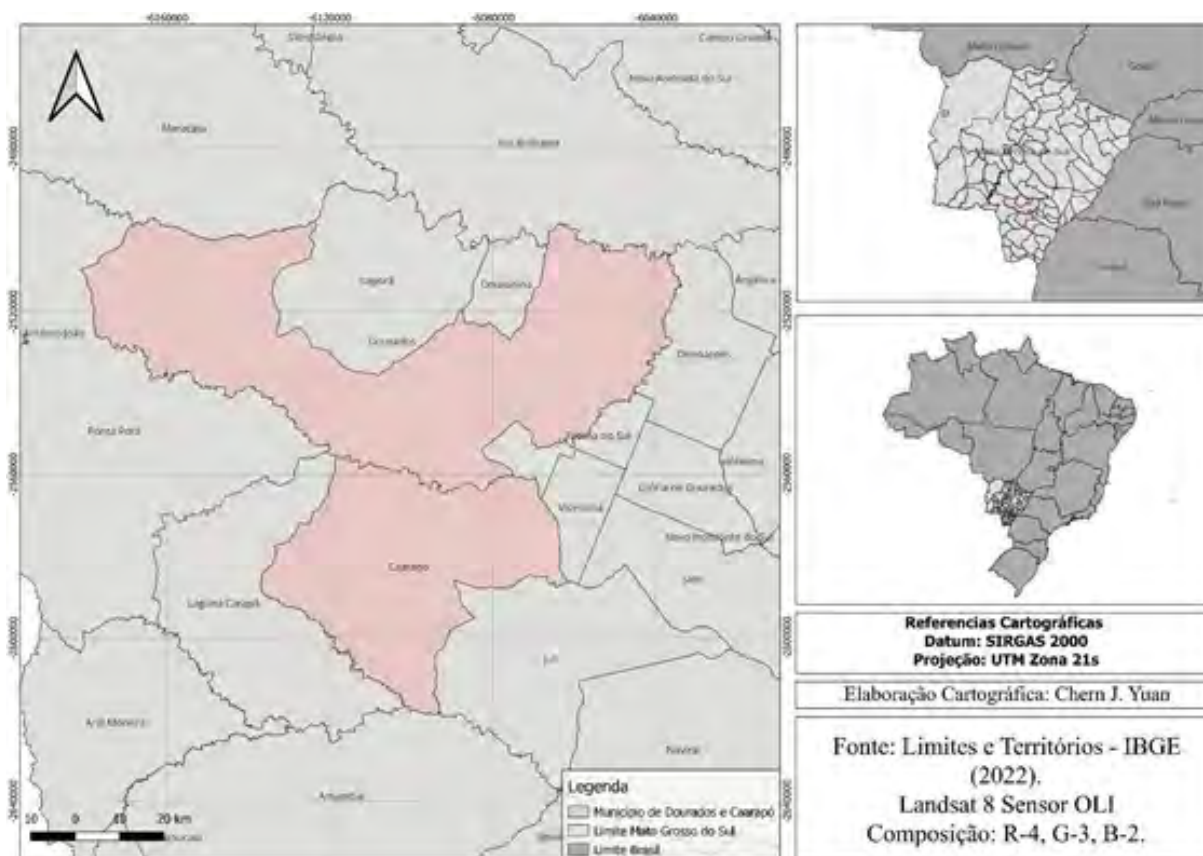
### **2.1 Área de Estudo**

Os municípios de Dourados e Caarapó estão localizados no estado de Mato Grosso do Sul, onde Dourados possui cerca de 229 km de distância da capital sul-mato-grossense e possui uma extensão 4.062,236km<sup>2</sup>. Já Caarapó possui cerca de 273 km de distância da capital, e possui uma extensão de 2.115,730km<sup>2</sup>, inserido dentro da Mesorregião de sudoeste de Mato Grosso do Sul e Microrregião que leva o mesmo nome para cada respectivos municípios (IBGE, 2022). Em Dourados, prevaleciam as culturas anuais, como, milho, soja e a pecuária de gado leiteiro até os dias atuais, igualmente para o município de Caarapó, em que se iniciou a introdução da cultura de cana-de-açúcar nos anos de 2010 para adiante. A economia de Dourados era baseada principalmente na agropecuária e lavouras de soja e milho, e no município de Caarapó da mesma forma era esta dinâmica, entretanto devido a uma rápida expansão da produção de cana-de-açúcar nas últimas décadas, a economia passou a introduzir o cultivo intensivo da cana-de-açúcar nos dois municípios, pois com a entrada forte do setor sucroalcooleiro, dando aos municípios a economia totalmente baseada na agricultura. (IBGE, 2024).

Diante dessa abordagem, o conhecimento da cobertura das terras evoluiu ao mesmo tempo que as tecnologias foram avançando, em que uma delas destaca-se o sensoriamento remoto, que possui vantagens para monitorar extensas áreas e seus manejos.

Os anos escolhidos para realizar os estudos foram de 2005 a 2022, onde todas as áreas dos dois municípios eram predominantemente de pastagem, com a chegada de grandes

empreendimentos como a usina São Fernando, inaugurada em 23 de junho de 2008, onde gerou uma grande demanda na região do plantio ofertando cana-de-açúcar para as empresas, mudando drasticamente o uso do solo, onde grande parte da pastagem foram convertidas para cultivo de cana-de-açúcar (**Figura 1**).



**Figura 1.** Localização do Município de Dourados e Caarapó.

## 2.2 Análise e tratamento dos dados

Para viabilizar este trabalho foram utilizados os mapas de uso e cobertura da terra elaborados pelo MapBiomas – Coleção 8 (2022), disponibilizados através da plataforma de análise geoespacial Google Earth Engine. Os dados vetoriais dos limites territoriais foram obtidos do Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (IBGE). Após, os dados foram importados para o software QGIS 3.28.8, para organização das classes da legenda e elaboração das figuras, para facilitar as análises das mudanças ocorridas.

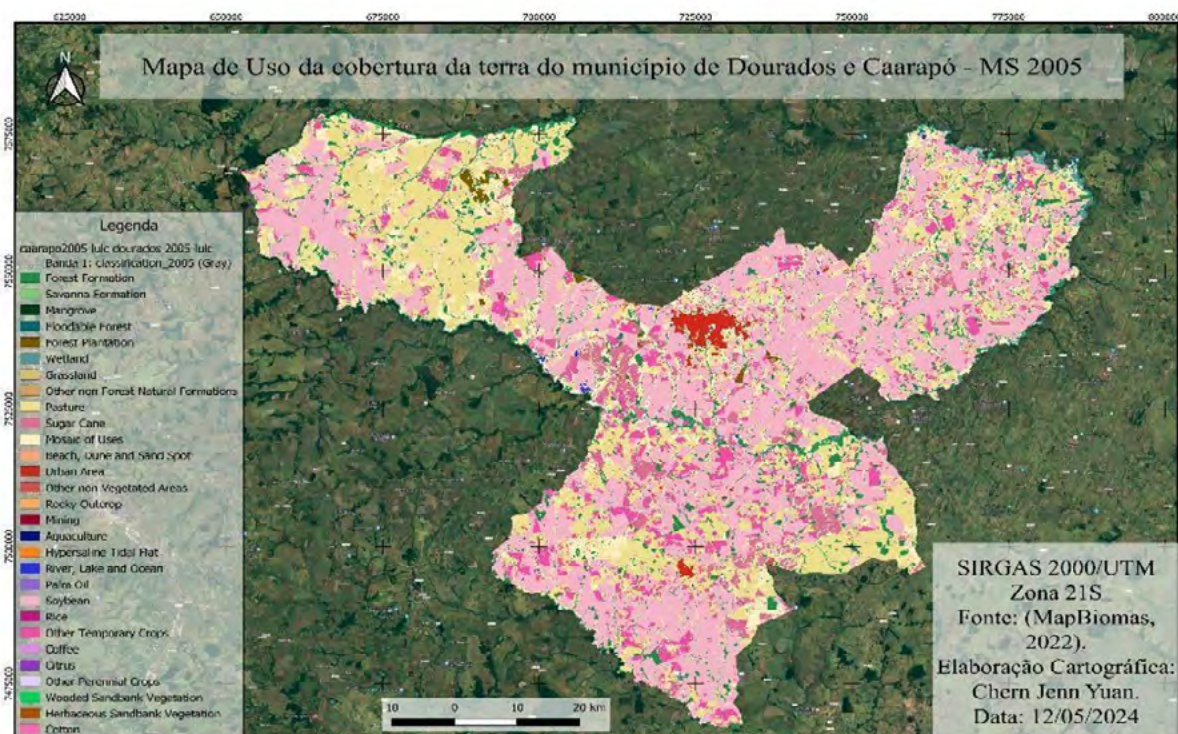
## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Uso e cobertura da Terra

O ano inicial para analisar as mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra nos municípios de Dourados e Caarapó é de 2005, na qual a classe predominante durante as análises é de pastagem e de lavouras de soja e milho, cerca de 33,40% de todo o município de Caarapó, em 2005 era

composto de pastagem, enquanto de Dourados chegava em torno de 24,80% (**Figura 2**).

Em 2005, a ocupação da terra era voltada principalmente de pastagem e lavouras de soja, onde o Dourados havia cerca de 100.890 ha de pastagem, enquanto em Caarapó é de 70.722 ha. Seguindo de pastagem, em Dourados o que predominava era lavouras de soja, que beirava 152.923,3 ha, onde foi considerada em 2003 no ranking dez de maior produtor de grãos do Brasil (IEA, 2003). Em Caarapó, a soja também foi a principal atividade agrícola, chegando a 73.252 ha, que representa 34,60% do uso da terra para o cultivo deles. Seguindo de mosaico de uso, classe designada quando não é possível diferenciar entre agricultura e pastagem.



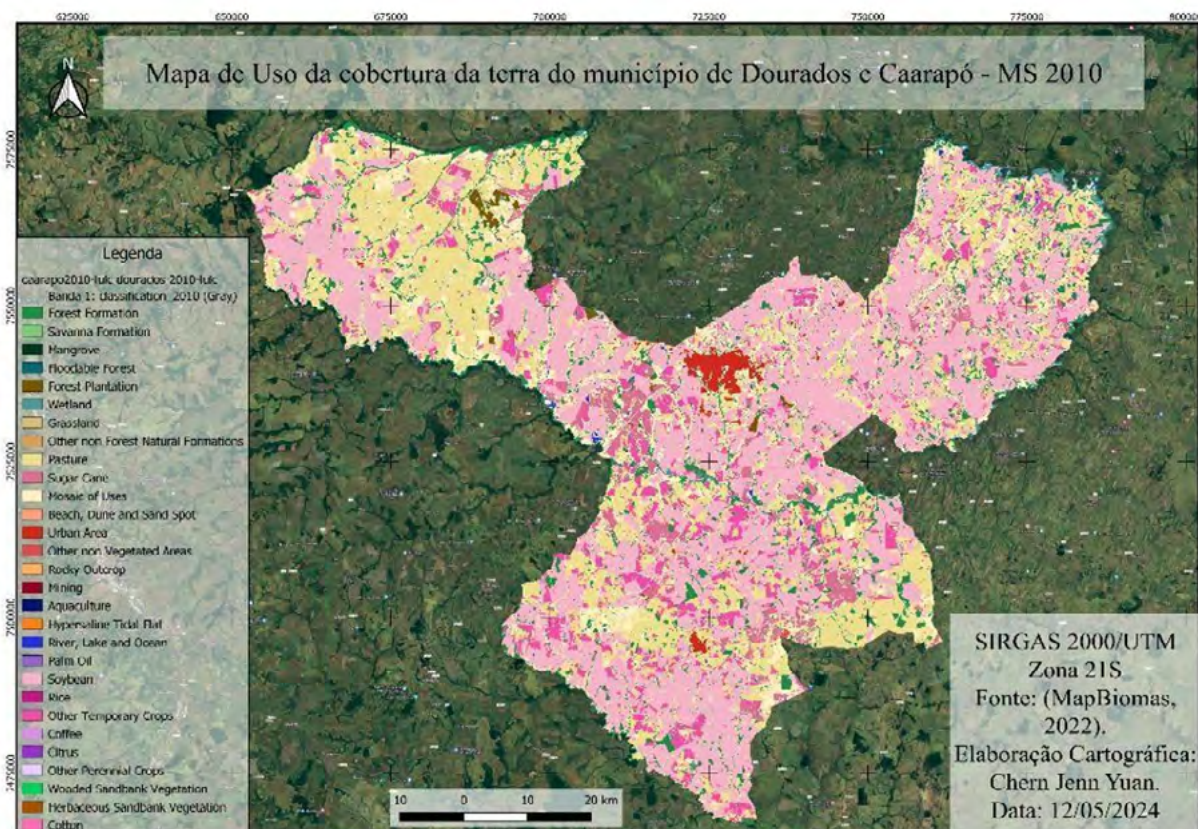
**Figura 2.** Uso e cobertura da terra de 2005.

Já em 2010, houve uma queda nas áreas de pastagem nos dois municípios, cerca de 15,01% foram perdidos em Dourados, uma perda de 15.143 ha, enquanto em Caarapó perdeu-se 15.694 ha, uma perda de 22,19%. O arranjo espacial (**Figura 3**) aponta que a ocupação da cana começou a ser cultivado sobre as áreas de produção de soja, no caso de Dourados, a cana começou a ser cultivada a 10525,59 ha, e em Caarapó, 7776,18 ha.

O rápido crescimento do cultivo da cana pode ser associado a novas aberturas de empresas sucroalcooleiras, como é o caso em Dourados a usina São Fernando, inaugurada em 2009.

Em 2015, as áreas de pastagem em Caarapó, passaram a ocupar cerca de 52,30% a menos em relação a 2005, onde a área de pastagem era aproximadamente 70 mil ha, e em 2015, chegou a 37.023 ha. Enquanto em Dourados a área de pastagem era aproximadamente 100 mil ha, e passou a ser 53.967 ha, uma diminuição de 53,49% em relação a 2005.

Um ponto a considerar no município de Dourados é as lavouras de soja, em 2005 já contava com mais de 150 mil ha de cultivo, onde se manteve nesta média até os anos de 2015, que prevaleceu uma área de 153.664 ha, um crescimento de apenas 0,5%, esse aumento pode estar relacionada apenas à metodologia utilizada na geração dos mapas de uso e cobertura da terra do MapBiomias. Já em Caarapó foi diversa, houve um crescimento de 15,21% em 2015, de áreas cultivadas de soja em relação ao ano de 2005.



**Figura 3.** Uso e cobertura da terra de 2010.

A cana-de-açúcar nos dois municípios houve um rápido crescimento, pois várias empresas começaram as suas atividades no estado de Mato Grosso do Sul, como, por exemplo, a Consan S.A., que foi inaugurada no dia 22/10/2010, onde naquela época se estimava a produção de até 90 milhões de litros de etanol e 185 mil toneladas de açúcar por safra (Agrolink, 2010). Em 2015, as áreas de cultivo da cana-de-açúcar no município de Caarapó foram de 23.595 ha plantadas, enquanto em 2010 foi apenas de 7776 ha, um aumento consideravelmente grande na produção de cana de 2015 para de 2010 foi 303,4%, pelas presenças das empresas sucroalcooleiras. No município de Dourados não foi diferente, as áreas de cultivos de cana superou ainda mais o município vizinho, chegando a 355,8% a mais da área de 2015 em relação a 2010, onde em 2015 (**Figura 4**) cultivava cerca de 37,451 ha de cana e em 2010, uma área de 10.525 ha.

No último ano analisado, o ano de 2022, indicou novamente a diminuição das áreas de pastagem nos ambos os municípios.

A soja em Dourados passou a ocupar cerca de 50,54% de todo o território do município, cerca de 205.341 ha de plantação, atingindo novos recordes de produção e de área cultivada. Um dado importante foi a formação florestal de todo território de Dourados ter crescido, onde em 2005 era aproximadamente 28.452 ha, que passou em 2022 ser de 31.457 ha, um aumento de 10,61% em toda a área florestal. Vale ressaltar que nos municípios de Dourados e Caarapó estão nos biomas de Cerrado e Mata Atlântica, onde a conservação e das áreas protegidas são asseguradas conforme o tipo de bioma e as propriedades de lavouras devem cumprir a destinação da área de conservação aos tipos de biomas. A área urbana de Dourados em 2005, era apenas de 5056 ha, e passou em 2022 (**Figura 5**) a ser 7328 ha, um aumento de 31%. Isso se deve pelos novos loteamentos das áreas onde em 2005 as áreas eram de cultivo de soja e de lavouras temporárias que passou a ser o loteamento.

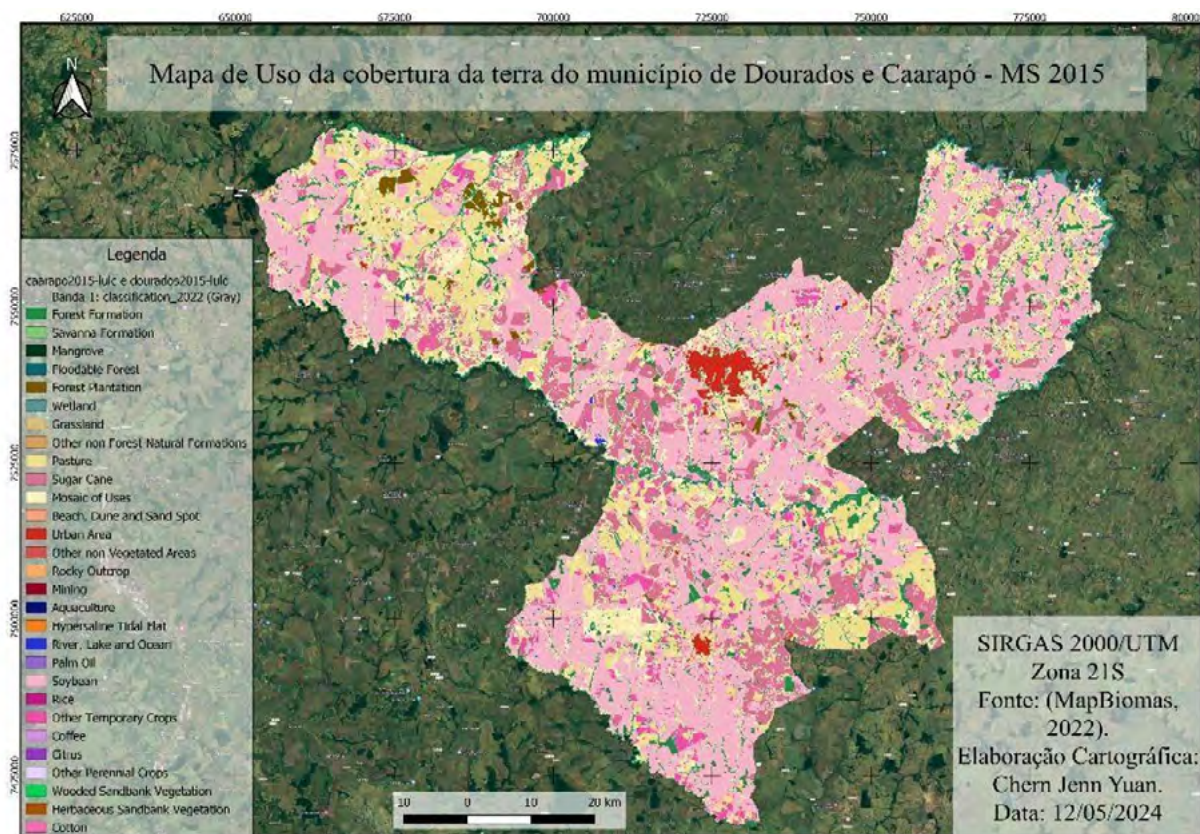


Figura 4. Uso e cobertura da terra de 2015.

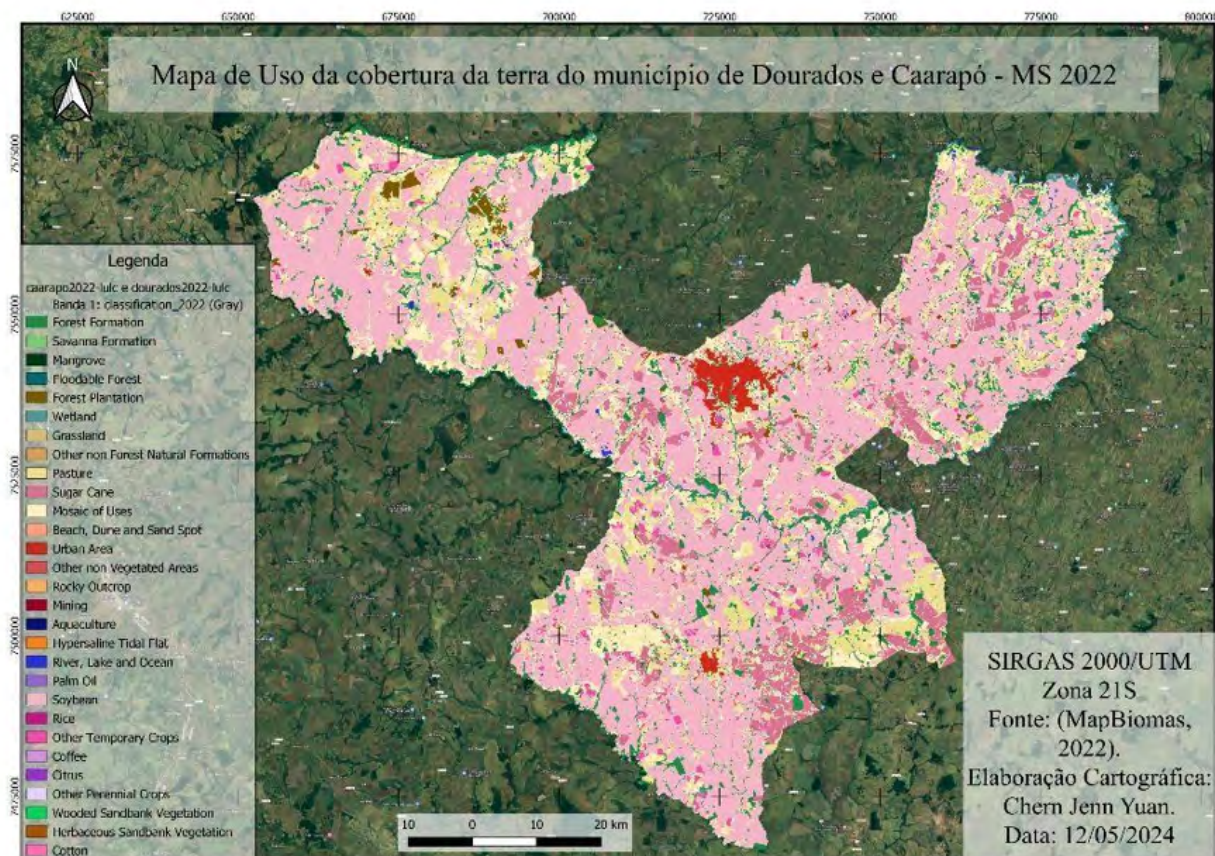


Figura 5. Uso e ocupação da terra de 2022.

No município de Caarapó, a pastagem seguiu diminuindo, para 21.681 ha de área para pastagem. A soja passou a ter 103.385 ha de cultivo de todo o município de Caarapó, representando 48,8% de cultivo da soja em todo o território do município de Caarapó. A área urbana do município de Caarapó também obteve um aumento, onde era de 541 ha, em 2005, e passou a ser de 801 ha, um aumento de 32,45%.

#### 4. Conclusão

No período analisado de 2005 a 2022, houve um crescimento considerável da produção da cana-de-açúcar, devido à implantação de novas matrizes industriais de sucroalcooleiras e o crescimento do setor sucroenergético, que necessitam a matéria-prima para processar e produzir os seus produtos como álcool e açúcar, suprindo a demanda do mercado de etanol. Após a investigação, Dourados seguia no ranking da ocupação da terra, as lavouras de soja, seja por condições climáticas, geológicas do local e disponibilidade hídrica, que permite cultivar extensamente as áreas. Caarapó seguiu a mesma linha de Dourados, onde nos anos de 2010 e 2015 cresceu as áreas de cultivos da cana-de-açúcar pelos mesmos motivos de Dourados.

Nesse período de análise, foi possível observar que as áreas de soja e mosaicos de usos representaram acima de 50% das áreas dos dois municípios, na qual as atividades econômicas são de grandes lavouras de cana-de-açúcar, soja e milho. Ao analisar os gráficos, foi possível observar que possíveis propriedades rurais não estejam respeitando as reservas legais, onde é obrigatório a conservação de uma porcentagem para gerar menos impactos na produção. Partindo deste ponto de vista, a grande parte da paisagem dos dois municípios estudados é completamente tomado pelas atividades agrícolas, onde pode impactar não só na economia positivamente, como pode trazer outros impactos ambientais como o solo, a mudança na qualidade dos rios e a qualidade do ar.

#### 5. Referências

- A. R. Falcão, L. M. S. Teixeira. Expansão da cana-de-açúcar no município de Quirinópolis entre 2006 e 2021. 2023. 1388 p.
- A. C. T. M. Faccin. O complexo soja e o quadro natural de Mato Grosso do Sul: Características naturais e centralidade do cultivo. GeoAmbiente on-line. Jataí-GO | n 31 | Maio-Agos/2018. Disponível em: <http://www.revistas.ufg.br/geoambiente> Acesso em: 12 set. 2024.
- B. S. Andrade, M. H. S. Silva, A. K. M. Oliveira, C. J. R. Alho, Análise espaço-temporal das mudanças na cobertura vegetal e uso da terra de 1995 a 2015 no pantanal aboral, Mato Grosso do Sul, Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n.2, v3, p. 101-121, jul./dez. 2020. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/7000/5722> Acesso em: 10 set. 2024.
- Caarapó (MS) | Cidades e Estados | **IBGE**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ms/caarapo.html>. Acesso em: 01 de Jul. 2024.
- D. C. Silva, J. S. Santos, A. L. S. Santos, J. T. Filho, evolução do uso e cobertura das terras utilizando produtos do MapBiomas (1986-2021): o caso da sub-bacia no alto rio do itapecuru, Maranhão. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2023. 1572-1675 p.
- Dourados (MS) | Cidades e Estados | **IBGE**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ms/dourados.html>. Acesso: 01 de Jul. 2024.
- E. Berenguer; J. Ferreira; T. A. Gardner, L. E. O. C. Aragão, P. B. De Camargo, C. E. Cerri, M. Durigan,
- R. C. De Oliveira, I. C. G. Vieira, J. Barlow. A large-scale field assessment of carbon stocks in human- modified tropical forests. Global Change. Biology. v. 20: pp. 3713-3726, 2014.
- E. F. O. Junior, E. L. Casarotto, J. C. A. Mendonça, E. Binotto, M. V. A. P. Silva., Exportação de soja no estado de Mato Grosso do Sul: Características da comercialização. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá

(PR) DOI: <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n1p71-97>.

História de Caarapó - MS. Disponível em: <https://caarapo.portaldacidade.com/historia-de-caarap%C3%B3-ms> . Acesso em: 09 set. 2024.

JAYARAMAN, S.; DALAL, R. C.; LAL, R. **Sustainable Soil Management**. [s.l.] Cambridge Scholars Publishing, 2023.

N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, R. Moore. Google Earth Engine: Planetary- scale geospatial analysis for everyone, *Remote Sensing of Environment*, v. 202: pp. 18-27,2017.

MARIANNA, A. **Cosan inaugurou usina de açúcar e etanol em Caarapó/MS**. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/noticias/cosan-inaugura-usina-de-acucar-e-etanol-em-caarapo-ms\\_118238.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/cosan-inaugura-usina-de-acucar-e-etanol-em-caarapo-ms_118238.html)>. Acesso em: 21 Jun. 2024.

MS - Povos indígenas Guarani-Kaiowá lutam por demarcação da TI Guyraroká. Disponível em: <<https://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/conflito/ms-povos-indigenas-guarani-kaiowa-lutam-por-demarcacao-da-ti-guyraroka/>>.

MEADOWS, D. H; RANDERS, J.; MEADOWS, D. L. *The limits to growth: the 30-year update*. Vermont: Chelsea Green, 2004. 309 p.

P. A. Lima, A. J. T. Guerra., *degradação do Solo em Municípios do Sul do Estado de Mato Grosso do Sul Decorrente da Implantação da Colônia Agrícola Nacional de Dourados – CAND*. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 42 - 1 / 2019 p. 402-412.

ROCHA, H. A.; SOARES, I. G.; ARAÚJO, E. P. DE; ALMEIDA JUNIOR, E. B. DE; MARQUES, A. R. Detecção de mudança no uso e cobertura da terra ao longo de 10 anos (2007 e 2017) do Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão. *Boletim de Geografia*, v. 39, p. 195-210, e58256, 31 jan. 2022.

S. C. Aragão et al., *O agronegócio no município de Dourados e sua importância para o estado de Mato Grosso do Sul*. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)* ISSN: 2349-6495(P) | 2456-1908(O) Vol-9, Issue-12; Dec, 2022. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.912.17>. Acesso em: 13 set. 2024.

T. R. Azevedo, C. C. Junior, A. B. Junior, H. Martins, M. Sales, T. Galuchi, A. Rodrigues, R. Morgado, K. Costal, K. Borges. *Data Descriptor: SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015*. *Scientific Data*, v. 5: pp. 1-43, 2018.

Tetila, E. C., Tetila, J. L. C., Pistori, H., & Silva, M. A. B. F. da .. (2020). *Desafios do modelo de desenvolvimento agrícola do estado de Mato Grosso do Sul: uma proposta para o desenvolvimento sustentável*. *Interações (campo Grande)*, 21(3), 615–632. <https://doi.org/10.20435/inter.v21i3.2430>

Y. Diallo, G. Hu, X. Wen., *Applications of Remote Sensing in Land Use/Land Cover Change Detection in Puer and Simao Counties, Yunnan Province*. Marsland Press. *Journal of American Science* 2009;5(4):157-166.

## **Análise da cobertura do solo e configuração socioeconômica do bioma Chaco no Brasil**

Jô Vinícius Barrozo Chaves <sup>1</sup>  
João dos Santos Vila da Silva <sup>2</sup>  
Eduardo Antonio Speranza <sup>2</sup>

<sup>1</sup> UNESP de Sorocaba – ICTS  
Av. Três de Março, 511 – 18087-180  
Sorocaba - SP, Brasil  
jovb.chaves@gmail.com

<sup>2</sup> Embrapa Agricultura Digital - CNPTIA  
Av. André Toselo, 209 - Caixa Postal 6041  
13083-886 - Campinas - SP, Brasil  
{joao.vila, eduardo.speranza}@embrapa.br

**Resumo.** O Gran Chaco é um bioma único da América do Sul, presente em quatro países, incluindo o Brasil, onde enfrenta desafios de conservação devido à falta de reconhecimento legal e ao desmatamento. Há uma necessidade crescente de mais pesquisas e políticas públicas voltadas à sua proteção. Dessa forma, o estudo tem como objetivo analisar a alteração da cobertura do solo e o cenário socioeconômico no Chaco brasileiro. Para isso, foi realizado um recorte temporal no período de 1985 a 2022, a partir dos mapas pré-classificados da coleção 8 do MapBiomas. A elaboração dos mapas socioeconômicos foi baseada nas informações do Censo Agropecuário de 2017, a nível dos setores censitários. Os resultados obtidos possibilitaram visualizar a substituição da cobertura de vegetação natural por pastagem, totalizando aproximadamente 4.832,617 km<sup>2</sup> de área consolidada, o que equivale a 32% do território chaquenho brasileiro. Essa área desmatada está relacionada à atividade econômica majoritariamente associada à pecuária. Observou-se, ainda, um acervo de tratores disponível e pouco maquinário agrícola, como semeadoras e colhedoras, destacando o baixo uso agrícola do solo. Por fim, conclui-se que a disponibilização de bancos de dados espaciais, classes pré-classificadas e projetos de pesquisa contribuem de maneira significativa para o entendimento da dinâmica de uso e cobertura da terra da região, podendo dar suporte a políticas públicas, angariar fomentos e promover uma gestão sustentável do Chaco brasileiro.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, mudança na cobertura da terra, vegetação natural, Chaco brasileiro, pecuária, monitoramento ambiental.



**Abstract.** The Gran Chaco is a unique biome in South America, spanning four countries, including Brazil, where it faces significant conservation challenges due to a lack of legal recognition and widespread deforestation. There is an increasing need for comprehensive research and public policies dedicated to its protection. This study aims to analyze land cover change and the socio-economic dynamics within the Brazilian Chaco. To achieve this, we conducted a temporal analysis from 1985 to 2022, utilizing pre-classified maps from the MapBiomas Collection 8. Socio-economic maps were developed based on data from the 2017 Agricultural Census at the census sector level. The results revealed a substantial replacement of natural vegetation cover with pasture, amounting to approximately 4,832.617 km<sup>2</sup> of consolidated area, equivalent to 32% of the Brazilian Chaco territory. This deforestation is primarily linked to economic activities associated with livestock farming. Additionally, the region shows a prevalence of tractors with limited agricultural machinery, such as seeders and harvesters, underscoring the low intensity of agricultural land use. In conclusion, the availability of spatial databases, pre-classified land cover classes, and research initiatives significantly contribute to understanding the dynamics of land use and coverage in the region, by supporting public policies, attracting funding, and promoting sustainable management of the Brazilian Chaco.

**Keywords:** remote sensing, land cover change, natural vegetation, Brazilian Chaco, livestock farming, environmental monitoring.

## 1. Introdução

O bioma Gran Chaco é um ambiente com características únicas, encontrado apenas na América do Sul e com uma área de 1.141.000 km<sup>2</sup> que abrange Argentina, Paraguai, Bolívia e uma pequena parcela no Brasil. O bioma possui uma variação de características climáticas a depender da região à qual está associada ao relevo e características físicas e químicas (Hueck et al., 1972; Naumann, 2006).

A extensão do Chaco no Brasil tem uma área de 22.488,6km<sup>2</sup>, equivalente a 0,26% do país Silva et al., (2024). Está localizado no Sudoeste do Mato Grosso do Sul, fazendo fronteira com Bolívia e Paraguai. A parcela ligada pelo Paraguai se conecta Chaco brasileiro através do Chaco Úmido paraguaio, que contém características de áreas alagáveis e com dificuldade de drenagem. Os biomas da Amazônia, Pantanal, Pampa e o Cerrado fazem contato com a região, influenciando e contribuindo para a riqueza da flora, fauna e morfologia do solo da região Prado, (1993); Prado e Gibbs, (1993); Coutinho, (2016).

No Brasil, devido à extensão não ser expressiva como a dos demais biomas, o Chaco ainda sofre com a ausência de reconhecimento legal como bioma IBGE, (2004); IBGE, (2019), entretanto encontra-se localizado e incorporado nas fitofisionomias dos biomas Pantanal e Cerrado ,Carvalho e Sartori, (2015); Lima et al., (2017). A ausência de definição legal e generalização das características da região em outros biomas traz uma preocupação relacionada à conservação, seja na não contemplação por reserva legal de 20%, ou pela falta de políticas públicas direcionadas aos aspectos ambientais e socioeconômicas da região Silva et al.,(2008); Ratter et al., (1978); Ratter et al., (1988).

Além do suporte legal, o uso de ferramentas de aquisição de dados, análises espaciais e pesquisas dedicadas à região permite um acompanhamento dedicado às dinâmicas da biodiversidade, clima, uso e ocupação do solo. Atualmente, ferramentas web e bancos de dados gratuitos auxiliam na elaboração de análises e na qualificação do uso da terra, monitoramento do desmatamento, cobertura vegetal, monitoramento de incêndios e corpos d'água, entre outros aspectos. Por exemplo, projetos como MapBiomas e TerraClass disponibilizam coleções e/ou produtos de qualificação anual dos usos do solo por bioma, o que contribui para pesquisas, estudos e suporte para políticas públicas e análises Souza et al., (2020); Antunes et al., (2019); IBGE, (2017); Macário et al., (2020).

Assim como nos outros biomas brasileiros, a vegetação e dinâmica natural do Chaco brasileiro também tem passado por processos de alteração da cobertura do solo. De 1980 em

diante a substituição do Chaco por pastagens cultivadas foi intensificada, no entanto o período com maior desmatamento ocorreu entre 1977 e 2002, sendo que em 2017 a área desmatada alcançou quase 1/3 do Chaco no Brasil Silva et al., (2008); Dias et al., (2021).

Dessa forma, estudos e bancos de dados dedicados à região e particularidades do Chaco brasileiro em plataformas como MapBiomas e TerraClass podem contribuir e subsidiar projetos de pesquisa, políticas públicas e financiamentos focados no bioma.

## **2. Objetivo**

Este estudo tem como objetivo analisar a alteração do uso e cobertura do solo no Chaco brasileiro, apresentar um panorama do cenário socioeconômico da região e propor uma discussão frente à importância de ferramentas de análise, disponibilização de dados e pesquisas dedicadas ao Chaco no Brasil.

## **3. Material e Métodos**

### **3.1. Área de estudo**

O Chaco brasileiro encontra-se localizado ao sul do bioma Pantanal e ao sudoeste do estado do Mato Grosso do Sul, fazendo fronteira com a Bolívia e o Paraguai. Os processamentos e elaboração de mapas foram desenvolvidos no QGIS 3.22 e com o projeto definido em Datum Sirgas 2000 UTM 21 S.

O limite do bioma Chaco no Brasil utilizado nesse estudo foi baseado no produto final de Silva et al., (2024), delimitado a partir de uma avaliação sobre projetos de mapeamento de classes de uso da região e trabalhos de campo em 2021 e 2023.

### **3.2. Classificação do uso do solo**

Os mapas de uso e cobertura da região de estudo foram obtidos a partir da Coleção 8 do MapBiomas e da Coleção 4 do MapBiomas Chaco MapBiomas, (2024). A ferramenta Google Earth Engine foi utilizada para preparação dos dados em três etapas. Inicialmente, as 19 classes do MapBiomas presentes na região de estudo, para as duas coleções supracitadas, foram agrupadas em apenas 9, considerando as necessidades desse estudo.

A classe original “Campo Alagado e Área Pantanosa” foi agregada à classe “Formação Campestre”; as classes originais “Lavoura Temporária”, “Cana”, “Mosaico de Usos”, “Lavoura Perene”, “Soja”, “Arroz” e “Outras Lavouras Temporárias” foram agregadas à classe “Agricultura”; as classes “Área Urbanizada” e “Outras Áreas Não Vegetadas” foram agregadas à classe “Área não Vegetada”; e a classe “Rio, Lago e Oceano” foi agregada à classe “Corpo D’água”. Em seguida, foi realizada uma seleção de 7 bandas de cada coleção, considerando os anos utilizados no estudo: 1985, 1995, 2005, 2015 e 2022. Finalmente, foi realizado um mosaico entre as duas coleções reclassificadas e com os anos selecionados, com o objetivo de produzir uma coleção espacialmente contínua.

Para elaboração do mapa de desmatamento foi realizada a soma das classes “Pastagem”, “Agricultura”, e “Área não vegetada”, que formou a classe de “Área desmatada e/ou consolidada”. Para compor a classe “Vegetação natural” foram unidas as classes “Formação Florestal”, “Formação Savânica”, “Formação Campestre” e “Área inundável natural – Lenhosas”.

### **3.3 Dados Socioeconômicas**

Para a produção dos mapas socioeconômicos foi utilizada a base de dados publicados pelo

Censo Agropecuário de 2017. Esses dados foram adquiridos tendo como referência dados em nível de setores censitários, portanto a criação de mapas temáticos em escalas menores e com visualização para além dos limites municipais da região de interesse. Nesse sentido, para esse estudo foram elaborados mapas temáticos utilizando as seguintes variáveis por setor disponibilizadas pelo Censo Agropecuário: Total Estabelecimentos, Estabelecimentos com atividade pecuária, Estabelecimentos com pastagem plantada, Total de cabeças de bovino, Total de tratores, Total de Colhedoras e Total de semeadores e/ou plantadoras IBGE, (2017).

Importante ressaltar que houve ausência de informações em setores devido a não permissão ao acesso, que só pode ser fornecido conforme um número de propriedades mínimo.

#### 4. Resultados e Discussão

Os dados adquiridos possibilitaram uma leitura das classes de uso e ocupação sobre o Chaco brasileiro no período de 1985 a 2022, totalizando 37 anos. Ao analisar a cobertura do solo chaquenho atual, verificou-se as principais alterações nas classes de Corpos d'água e áreas efetivas da Pecuária e Formação Campestre (**Figura 1**).

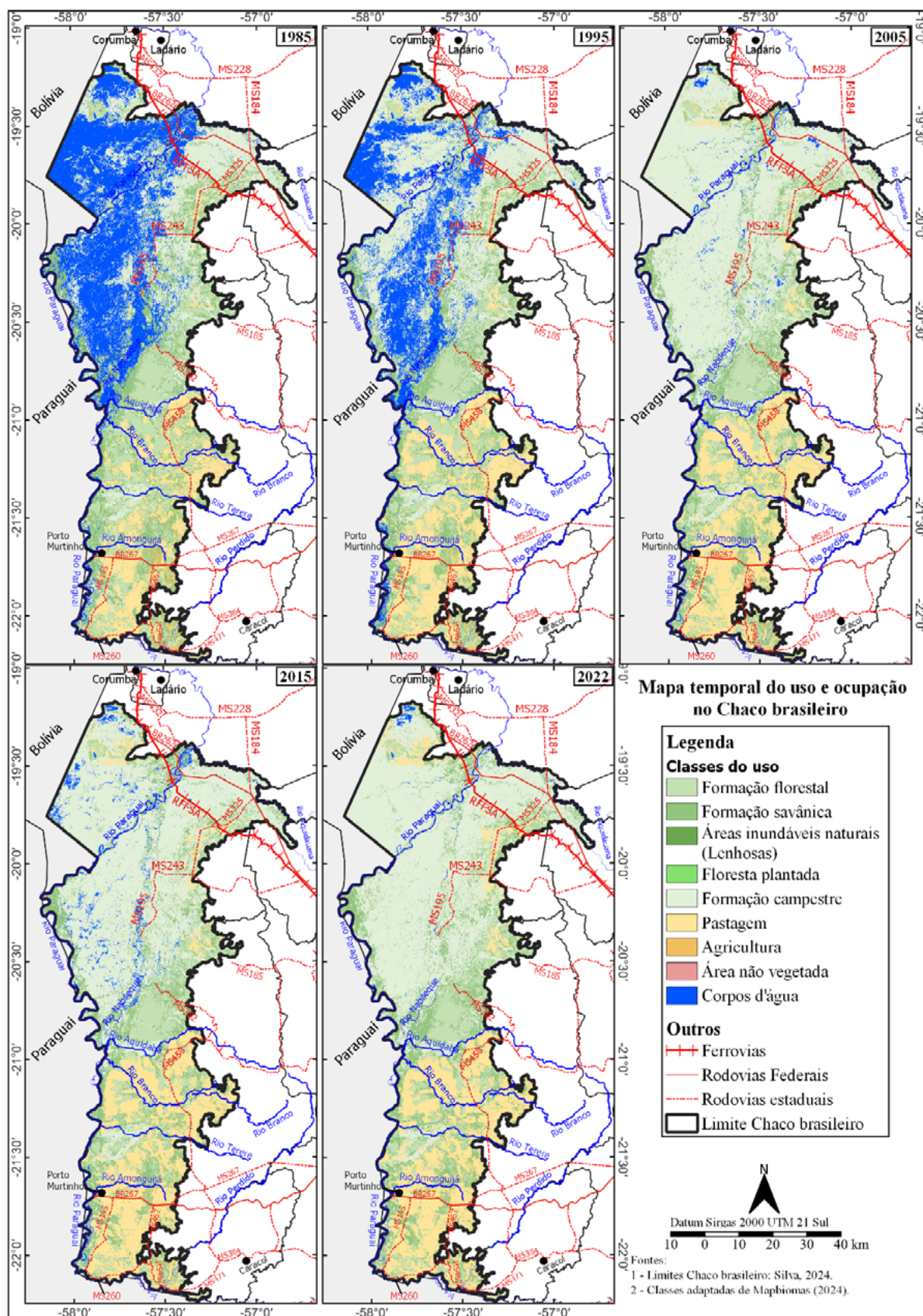
O volume de corpos d'água identificado nos anos de 1985 e 1995 (**Figura 1**) na região úmida, localiza-se numa região com características do Chaco Úmido paraguaio, portanto sendo uma área inundável por apresentar baixa capacidade de drenagem Pennington et al., (2000). Sendo assim, para os anos seguintes estariam em épocas não inundadas, assim estando associados apenas à um recorte da coleção do MapBiomas em diferentes épocas.

O Chaco Úmido brasileiro apresenta uma característica florística campestre, sendo caracterizado por espécies das famílias *Leguminosae*, *Malvaceae*, *Cactaceae*, *Asteraceae* e *Bromeliaceae* (Freitas et al., 2013). As espécies herbáceas, juntamente com subarbustos, exibem uma florística que favorece a eficiência no uso da água. Além disso, sob condições de altas temperaturas, essas espécies otimizam o processo de fotossíntese Monasterio e Sarmiento, (1976). Dessa forma, toda essa dinâmica ocorre em planícies associadas à região de Formação Campestre.

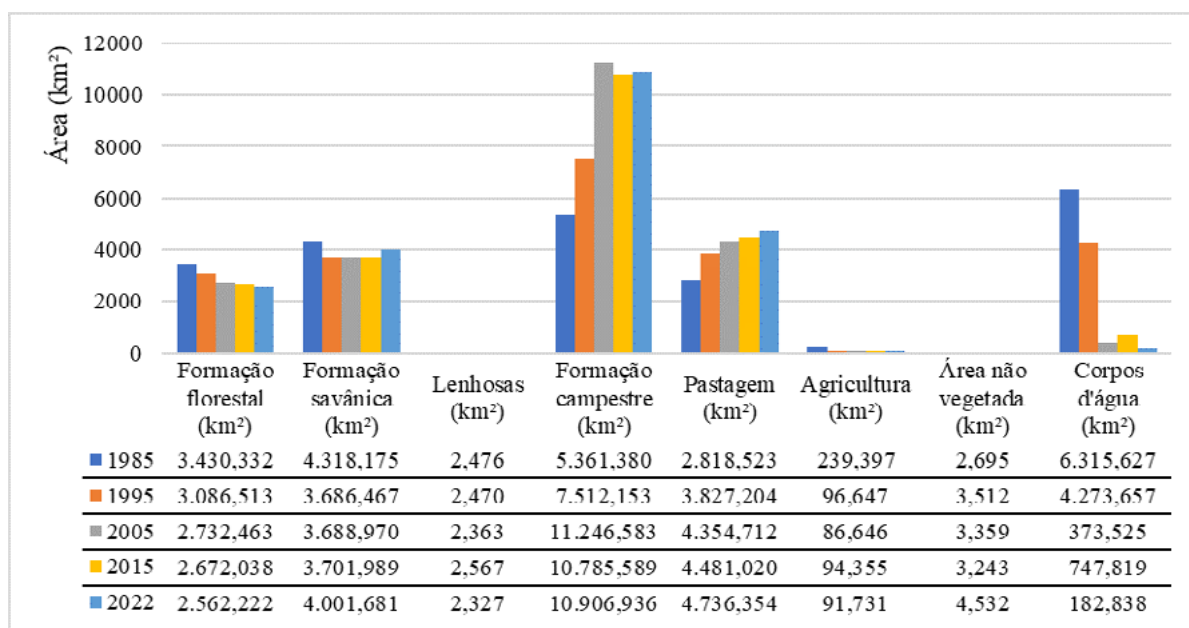
Já ao sul, em Porto Murtinho, observa-se uma atividade econômica ativa e predominante de pastagem em decorrência do manejo ser dedicado à pecuária. A vegetação natural está enquadrada como Savana Estépica e subgrupo, geralmente com plantas arbustivas, espinescentes e micrófilas. Segundo Noguchi et al., (2009) as principais famílias são de leguminosas e *binociaceae*, tendo contato com as espécies de *Anacardiaceae*, *Myrtaceae* e *Sapindaceae*. Como é possível observar (**Figuras 2 e 3**), a vegetação ao sul tem sofrido pressão antrópica desde antes de 1985, e ainda aumentando.

Na (**Figura 2**), observa-se o comportamento gráfico e numérico da área (em km<sup>2</sup>) das classes no Chaco brasileiro. Nota-se uma relação inversamente proporcional entre a redução dos Corpos D'água e o aumento da Formação Campestre. Não se pode aferir se há pressão da pecuária, portanto a alteração drástica observada pode ser explicada por uma transição natural entre os períodos de cheia e seca.

Outra correlação observada está associada à queda da Formação Florestal e Formação Savânica, localizada ao sul, leste e uma pequena porção ao norte do território chaquenho brasileiro, que pode ser inversamente proporcional ao aumento da pastagem nessas regiões. Essa interação é possível ser observada graficamente na (**Figura 2**) e sua distribuição espacial no mapa de desmatamento (**Figura 3**). A área efetiva da pastagem avançou de 2.818,533km<sup>2</sup> para 4.736,354km<sup>2</sup>, totalizando um aumento 1.917,821km<sup>2</sup> no período analisado, enquanto os níveis de vegetação natural reduziram cerca de 1.184,604km<sup>2</sup> no mesmo período.



**Figura 1.** Mapa temporal do uso e ocupação no Chaco brasileiro.  
 Fonte: Adaptado de MapBiomas (2024); Silva et al., (2024).



**Figura 2.** Dinâmica temporal das classes do uso do solo.

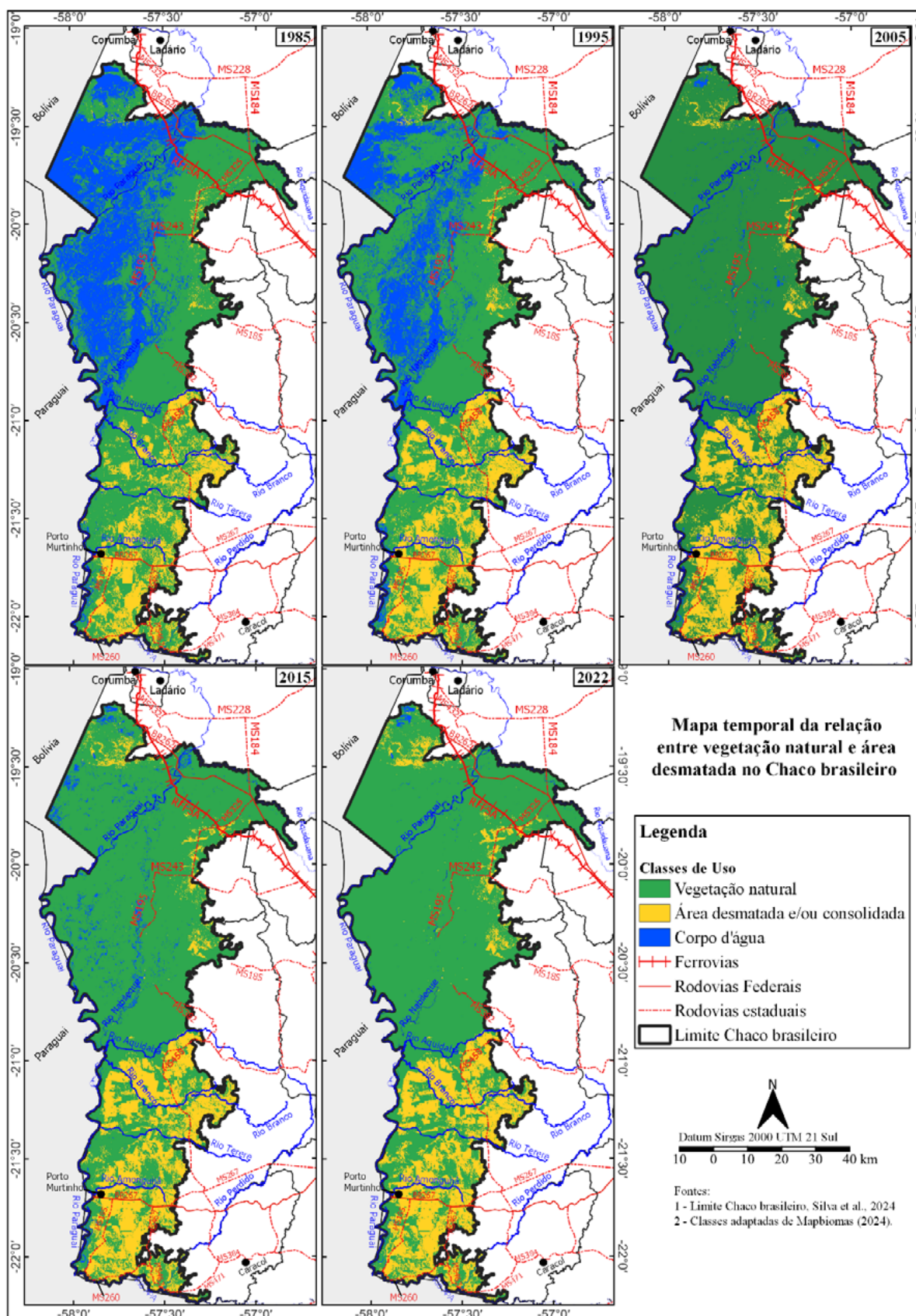
Fonte: Adaptado de MapBiomias (2024).

Entre 1985 e 2005, observou-se um desmatamento intensivo no Chaco brasileiro. Segundo estudos de Silva et al. (2008) e Dias et al. (2021), no período de 1977 a 2017, aproximadamente 1/3 da cobertura natural da região foi alterada. A consolidação do uso do solo ocorreu principalmente na região sul, com uma expansão que se estendeu do Sudeste para o Sudoeste do Chaco. No período de 2015 a 2022, além da expansão ao sul, observou-se um aumento significativo ao leste, nordeste e norte da região (**Figura 3**: 2015 e 2022)

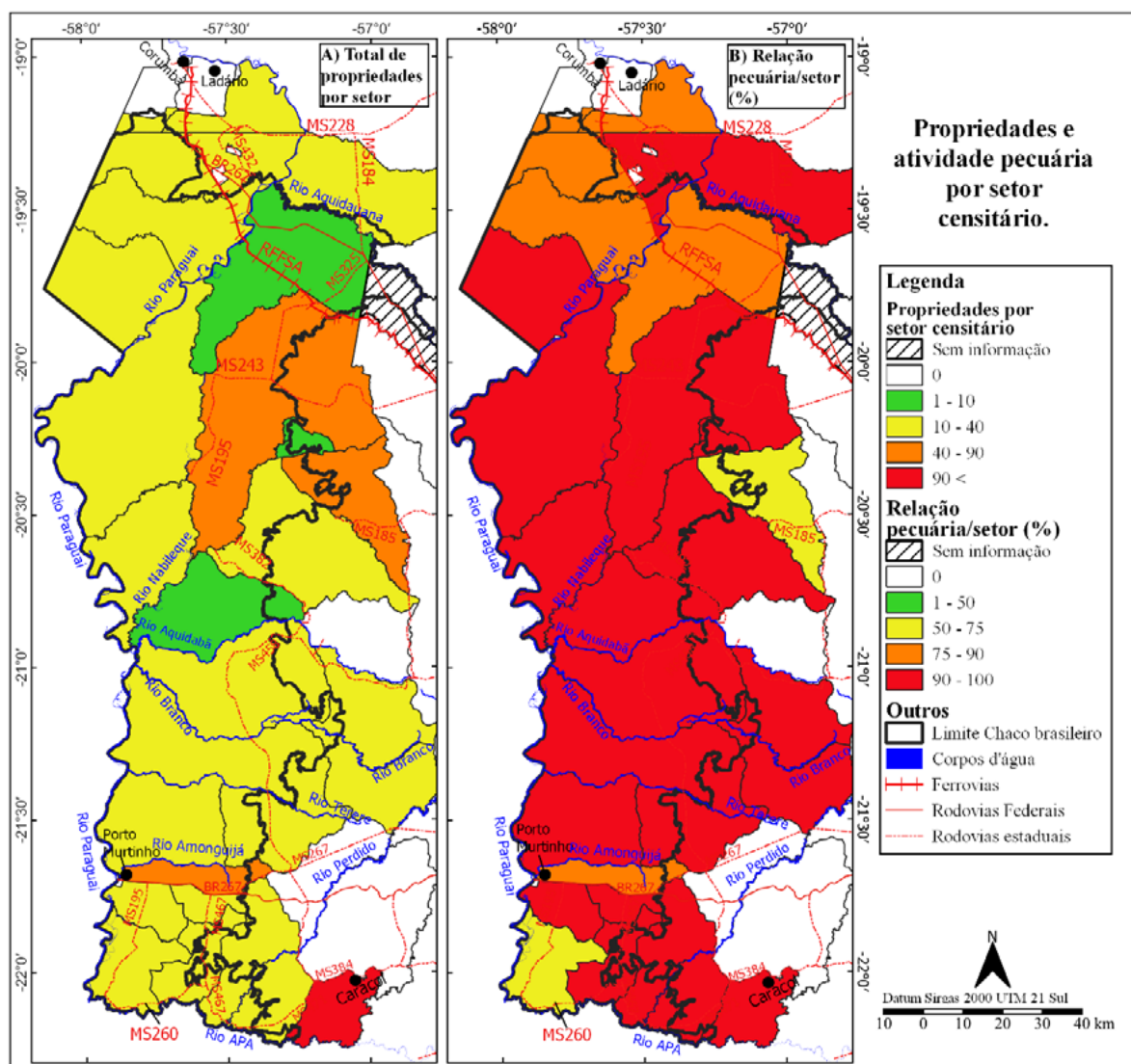
A pecuária é a principal atividade econômica no Chaco brasileiro, conforme os dados obtidos pelos Censo Agropecuário de 2017 IBGE, (2017). A (**Figura 4**) ilustra um recorte diferente das classes de uso e ocupação, pois destaca que na média mais de 90% dos setores censitários analisados contém propriedades com atividade pecuárias. No entanto não é possível afirmar se a maioria está relacionado a produção de subsistência ou de produção de grande capital. Na (**Figura 4**) demonstra-se a quantidade de propriedades por setor censitário (**Figura 4A**) e qual a proporção de propriedades com atividades agrícolas (**Figura 4B**).

Ainda que a ocorrência de propriedades com atividade pecuária seja majoritária e pulverizada por toda parte, sua intensidade não atua da mesma forma, pois a proporção de cabeças de bovinos pelo Chaco brasileiro não é homogênea. Nesse sentido, percebe-se que não há grande intensidade, o que é ilustrado a partir do número de cabeça de bovinos na (**Figura 5**).

Ao centro-leste do Chaco brasileiro observa-se maior intensidade do uso e alcançando um total de 162.254 cabeças de bovinos, corroborando, portanto, com a informação da região a qual tem apresentado aumento de pastagens desde 2015 (**Figura 1 e 2**). Logo abaixo, colorido em laranja, encontram-se dois setores com faixas entre 85 e 90mil cabeças de bovinos, sendo a segunda parcelas com atividade econômica ativa e que também está localizada na região com extensão expressiva desmatada (**Figura 2**). Já a distribuição das cores verdes e amarelas foram identificadas ao noroeste e sudoeste do Chaco brasileiro, com quantidades que variam de 25 a 45 mil cabeças de bovino.



**Figura 3.** Mapa temporal da vegetação natural e área desmatada no Chaco brasileiro.  
Fonte: Adaptado de MapBiomias (2024); Silva et al., (2024).

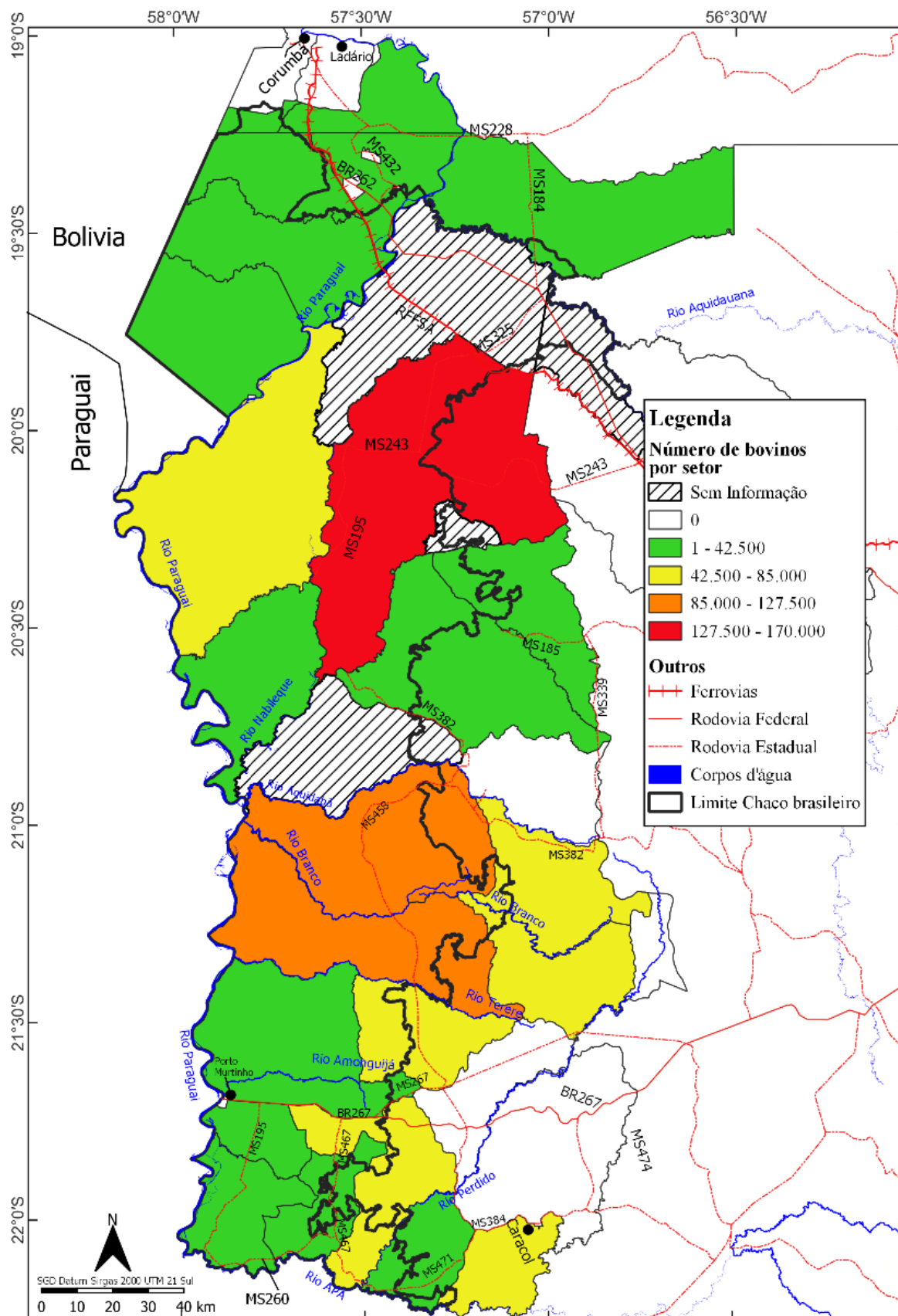


**Figura 4.** Mapa temático: Propriedades e atividade pecuárias por setor censitário.  
Fonte: Adaptado de IBGE (2017); Silva et al., (2024).

Tendo em vista a capacidade produtiva do local, percebe-se a necessidade de uso de maquinários para desenvolvimento das áreas produtíveis e equipamentos para suporte na manutenção do manejo dos solos, mas que também pode ser utilizado para desmatamento. Atualmente, o uso de tratores é o mais expressivo, conforme a (Figura 6<sup>a</sup>) ilustra IBGE, (2017). Dessa forma, destaca-se a importância de tratores para o suporte à pecuária devido à distribuição de cabeça de bovinos, tratores e a condição de necessidade de pastagem plantada (Figura 5, 6<sup>a</sup> e 6C, respectivamente), que em conjunto reafirmam os principais setores com atividades econômicas.

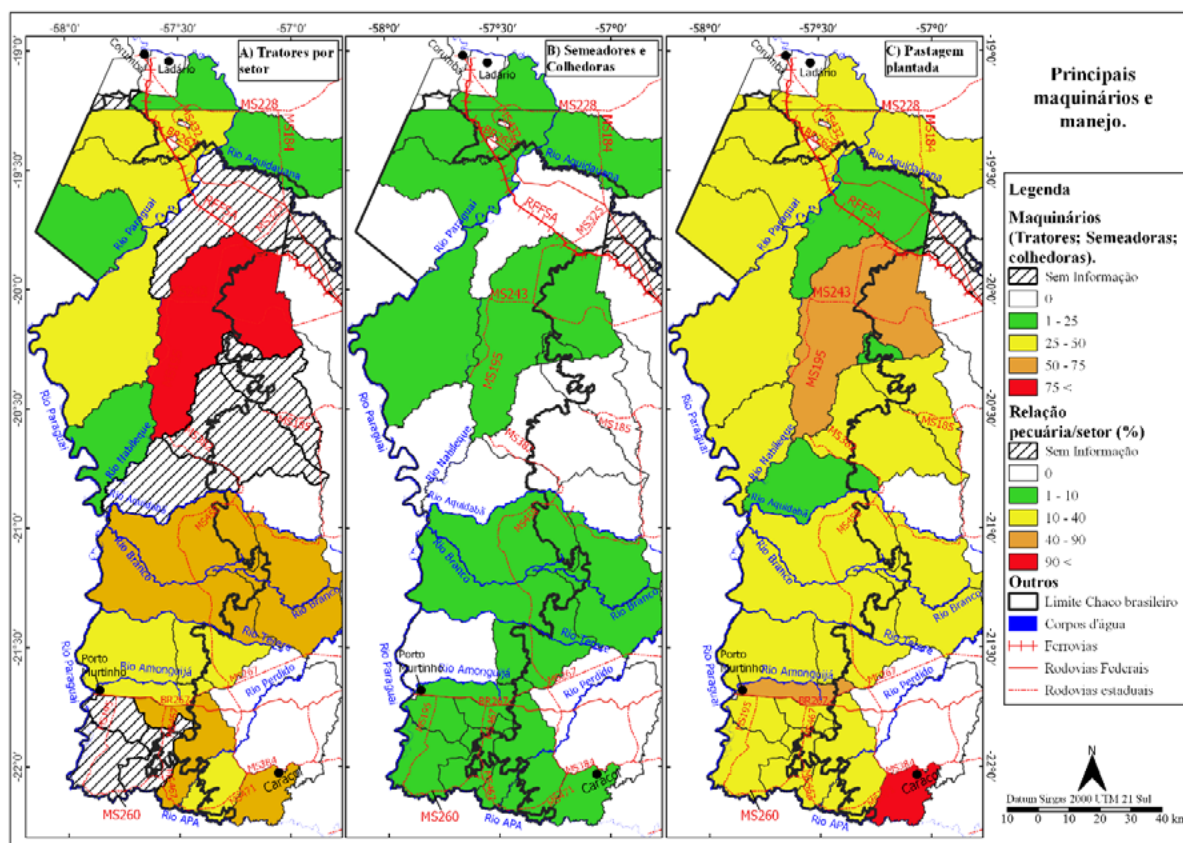
Como esperado, a região sul apresentou maior disponibilidade de setores com tratores. Entretanto o setor com maior volume se encontra localizado ao leste conforme o setor avermelhado ilustra (Figura 6A), região essa que tem apresentado um grande foco de desmatamento segundo a última atualização em 2022, ilustradas na (Figura 4).

O uso de maquinários agrícolas demonstrou conformidade similar nos setores, porém há poucos maquinários agrícolas como semeadoras, plantadoras e colhedoras nos setores, o que evidencia de forma geral o baixo suporte e pouca dependência da agricultura (Figura 6A e 6B).



**Figura 5.** Mapa temático: Cabeça de bovinos por setor censitário.  
Fonte: Adaptado de IBGE (2017); Silva et al., (2024).





**Figura 6.** Mapa temático: Principais maquinários e manejo no Chaco brasileiro.  
Fonte: Adaptado de IBGE (2017); Silva et al., (2024).

## 5. Conclusão

A elaboração dos mapas temporais e recortes socioeconômicos permitiram elucidar as principais classes de usos e cobertura do solo, assim como a importância da pecuária em áreas já consolidadas. Foi possível, também, visualizar o avanço do desmatamento no Chaco brasileiro nos últimos 37 anos, com principais expansões ao sul e progressão do desmatamento do leste em direção ao oeste.

Nesse sentido, destaca-se a importância de estudos detalhados e direcionados à região do Chaco brasileiro, seja com apoio de ferramentas de sensoriamento remoto e processamento de dados espaciais, mas também com projetos de pesquisas.

## 6. Referências

- Antunes, J. F. G.; Esquerdo, J. C. D. M.; Coutinho, A. C.; Santos, J. L.; Parizzi, T. N. T.; Bertolo, L. S. Análise das mudanças do uso e cobertura da terra no estado de Mato Grosso por meio do GeoPortal TerraClass. In: XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Santos-SP, Brasil, 2019
- Carvalho, F. S.; Sartori, A. L.B.. Reproductive phenology and seed dispersal syndromes of woody species in the Brazilian Chaco. **Journal Of Vegetation Science**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 302-311, 12 set. 2014. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jvs.12227>.
- Coutinho, L, M. **Biomass Brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016
- Dias, J.V.S.; Dias, F.A.; Scremin-Dias, E.; Sartori, A.L.B. Delimitação do Chaco em território brasileiro: uso e ocupação. In: Sartori, A.L.B.; Souza, P.R.; Arruda, R.C.O. (org.) **Chaco: caracterização, riqueza, diversidade, recursos e interações**. Campo Grande, Editora UFMS, 2021. Cap. 3, p. 49-98.

Freitas, Tiago Green de; Souza, Camila Silveira De; Aoki, Camila; Arakaki, Luan Marcell Mitsuo; Stefanello, Thiago Henrique; Sartori, Ângela Lúcia Bagnatori; Sigrist, Maria Rosângela. Flora of Brazilian humid Chaco: composition and reproductive phenology. **Check List**, [S.L.], v. 9, n. 5, p. 973, 1 out. 2013. Pensoft Publishers. <http://dx.doi.org/10.15560/9.5.973>.

Hueck K. **As regiões de matas do Chaco e áreas marginais**. In: Azevedo J. C. A.; Anjos, C.V.; Gomes, L.C.; Lyra Filho, R.; Moraes, R.B.; Paraense, W. L.; Fonseca, E. N. (eds.). *As florestas da América do Sul: ecologia, composição e importância econômica*. Brasília, Editora Polígono. p. 240-275. 1972.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Mapa de Biomas do Brasil: primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

\_\_\_\_\_. IBGE. **Censo agropecuário 2017**. 2017. Disponível em: < <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>>. Acesso em: fev. 2024.

\_\_\_\_\_. IBGE. **Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250 000. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

Lima, T. E.; Sartori, A. L. B.; Rodrigues, M. L. M.. Plant antiherbivore defenses in Fabaceae species of the Chaco. **Brazilian Journal of Biology**, [S.L.], v. 77, n. 2, p. 299-303, 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.12815>.

Macário, C.G.N.; Esquerdo, J.C.D.M.; Coutinho, A.C.; Speranza, E.A.; Silva, J.S.V; Antunes, J.F.G.; Vandrúsculo, L.G.; Cruz, S.A.B.. Geotecnologias na agricultura digital. In: **Agricultura Digital: Pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2020. cap. 4, p. 94-117.

MapBiomas. Mapbiomas Brasil. 2024. Disponível em: < <https://brasil.mapbiomas.org/>>. Acesso em: fev. 2024

Monasterio, M. and G. Sarmiento. 1976. Phenological strategies emspecies of seasonal savana and semideciduous forest in the Venezuelan Llanos. **Journal of Biogeography** 3(4): 325-355.

Naumann M. **Atlas del Gran Chaco Sudamericano**. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). 92 pp. ErreGé & Asoc. Buenos Aires. 2006.

Nogushi, D. K.; Nunes, G. P.; Sartori, A. L. B.. Florística e síndromes de dispersão de espécies arbóreas em remanescentes de Chaco de Porto Murinho, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Rodriguésia**, v. 60(2), p. 353-365. 2009.

Prado, D. E.; Gibbs, P. E. Patterns of Species Distributions in the Dry Seasonal Forests of South America. **Annals Of The Missouri Botanical Garden**, [S.L.], v. 80, n. 4, p. 902, 1993. JSTOR. <http://dx.doi.org/10.2307/2399937>.

Prado D. E. What is the Gran Chaco vegetation in South America? A review. Contribution to the study of flora and vegetation of the Chaco. **V. Candollea** 48 (1): 145-172. Genève. 1993.

Ratter, J. A., Askew, G. P.; Montgomery, R.; Gifford, D. R. Observations on forests of some mesotrophic soils in central Brazil. **Revista Brasil. Bot.** 1: 47-58. 1978.

Ratter, J. A.; Pott, A.; Pott, V.J.; Nunes da Cunha, C.; Haridasan, M. Notes on woody vegetation types of the Pantanal and around Corumbá. **Notes Royal Botanic Garden Edinburgh** 45: 503-525. 1988.

Silva, M.P.; Mauro, R.A.; Abdon, M.; Silva, J.S.V. Estado de conservação do Chaco (Savana Esteépica) brasileiro e suas sub-regiões. In: Simpósio Nacional do Cerrado e Simpósio Internacional Savanas Tropicais, 9., 2., 2008, Brasília. Anais... Brasília DF, 2008.

Silva, J. V. S.; Pott, A. Chaves, J.V.B.. Delimitação do Bioma Chaco no Brasil. In: 8º Geopantanal – Simpósio de Geotecnologia no Pantanal. 8.2024. Poconé, MT. 2024.

Souza, Carlos M.; Shimbo, Julia Z.; Rosa, Marcos R.; Parente, Leandro L.; Alencar, Ane A.; Rudorff, Bernardo F. T.; Hasenack, Heinrich; Matsumoto, Marcelo; Ferreira, Laerte G.; Souza-Filho, Pedro W. M.. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 17, p. 2735, 25 ago. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12172735>.

## **Acurácia de modelos digitais de elevação derivados do SRTM em planícies de inundação no Pantanal**

Larisse Rodrigues de Jesus  
Rejane Ennes Cicerelli  
Tati de Almeida

<sup>1</sup> Universidade de Brasília – Campus Darcy Ribeiro - UnB  
Av. L3 Norte - Caixa Postal 04465  
70910-900 - Brasília - DF, Brasil  
larisseerodrigues@gmail.com  
{rejaneig, tati\_almeida}@unb.br

**Resumo.** A quantidade de informações topográficas disponíveis para usuários de geoinformação tem aumentado consideravelmente. Devido ao seu uso em múltiplas aplicações, os erros verticais do Modelos Digitais de Elevação (MDE) podem se propagar ao longo de todo o processamento dos dados, impactando negativamente os resultados. Em regiões como as planícies do Pantanal, esses erros são ainda mais críticos, pois, em áreas de baixa declividade, grande parte da variação de altura registrada pelos MDEs está associada à cobertura vegetal ou ao ruído. Desta forma, o objetivo do presente estudo é comparar a qualidade dos diferentes MDEs gratuitos derivados do SRTM na área de influência de uma planície de inundação, localizada na sub-bacia do rio Taquari, Corumbá/MS. Foram testados os modelos SRTM, NASADEM, TOPODATA, Alos Palsar e Aster GDEM. A avaliação da acurácia altimétrica desses MDEs foi realizada aplicando a amostragem de pontos de controle obtidos no Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e no Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF), nos modelos a serem avaliados. Dentre os MDEs globais testados, o Alos Palsar apresentou a melhor acurácia, sendo um pouco melhor que o TOPODATA, SRTM e Aster GDEM, e duas vezes mais preciso que o NASADEM. Alos Palsar se ajustou melhor às informações de referência ao ser analisado no gráfico Box-Plot. Este resultado mostra que na falta de um mapeamento no próprio local, o uso de um modelo com resolução espacial menor que 30m é o mais adequado para se utilizar em estudo envolvendo planícies.

**Palavras-chave:** acurácia vertical, planície de inundação, modelagem hidrologia, geoestatística.

**Abstract.** The amount of topographic information available to geoinformation users has increased considerably. Due to its use in multiple applications, the vertical errors in Digital Elevation Models (DEMs) can propagate throughout data processing, negatively impacting the results. In regions like the Pantanal plains, these errors are even more critical, as in low-slope areas, much of the height variation recorded by DEMs is associated with vegetation cover or noise. Therefore, the objective of this study is to compare the quality of different free DEMs derived from SRTM in the area of influence of a floodplain, located in the Taquari River sub-basin, Corumbá/MS. The SRTM, NASADEM, TOPODATA, Alos Palsar, and Aster GDEM models were tested. The vertical accuracy of these DEMs was evaluated by applying control point sampling obtained from the Brazilian Geodetic System (SGB), and Land Management System (SIGEF) to the models to be assessed. Among the tested global DEMs, Alos Palsar presented the best accuracy, being slightly better than TOPODATA, SRTM, and Aster GDEM, and twice as accurate as NASADEM. Alos Palsar better matched the reference information when analyzed in the Box-Plot graph. This result shows that in the absence of local mapping, the use of a model with spatial resolution smaller than 30m is most suitable for studies involving plains.

**Key-words:** vertical accuracy, floodplain, hydrological modeling, geostatistics.

## 1. Introdução

A quantidade de informações topográficas disponíveis para usuários de geoinformação tem aumentado consideravelmente. Modelos Digitais de Elevação (MDE) de abrangência global, gerados por diversas técnicas, tornaram-se fundamentais para a pesquisa em áreas como geomorfologia, climatologia, hidrologia, ciência do solo, ciências agrárias, cartografia e biodiversidade. Devido ao seu uso em múltiplas aplicações, os erros verticais dos MDEs podem se propagar ao longo de todo o processamento dos dados, impactando negativamente os resultados Cremon et al., (2022).

Em regiões como as planícies do Pantanal, esses erros são ainda mais críticos, pois, em áreas de baixa declividade, grande parte da variação de altura registrada pelos MDEs está associada à cobertura vegetal ou ao ruído Reis, (2023). O SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) é um dos modelos mais utilizados, no entanto, assim como outros modelos obtidos por sensores espaciais, ele descreve objetos naturais ou artificiais acima do solo. Contudo, muitos estudos geocientíficos exigem a identificação da superfície do terreno, o que só é possível com um modelo de terreno (MDT) Reis, (2023).

O MDE SRTM foi desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), em colaboração com a *National Geospatial Intelligence Agency* (NGA). Esse projeto mapeou a superfície terrestre em latitudes abaixo de 60° e possui uma resolução espacial de 30 metros. Na América do Sul, 90% dos pontos analisados pelo SRTM apresentaram um erro altimétrico inferior a 9 metros Viel et al., (2020).

Como resultado do lançamento dos dados SRTM, várias versões do modelo foram desenvolvidas para aprimorar suas características funcionais, utilizando técnicas de reprocessamento e amostragem dos dados coletados. Exemplos desses modelos incluem NASADEM, Alos Palsar e TOPODATA. Este último foi lançado em 2008 e revisado em 2011, com a limitação do uso de uma base de dados com resolução espacial de 90 metros, resolução da primeira disponibilização de dados SRTM para América do Sul. Para alcançar a resolução espacial de 30 metros, os dados do SRTM foram interpolados por krigagem, onde os coeficientes geoestatísticos aplicados foram selecionados empiricamente entre diversas condições topográficas, com o objetivo de melhorar a representação das formas e feições geomorfológicas em esquemas de relevo sombreado e transectos Girão et al., (2019).

O Alos Palsar é produzido a partir da correção radiométrica do terreno de outros MDE, em que, remove as distorções geométricas e radiométricas dos modelos selecionados, para a região do Brasil foi usado o SRTM GL1 de resolução de 30 metros. Este foi reamostrado por *upsampling*, técnica de processamento digital para aumentar artificialmente a taxa de

amostragem em N vezes, para a obtenção da resolução de 12,5 metros ASF, (2015).

O modelo Aster GDEM, apesar de não ser oriundo do SRTM, foi utilizado para gerar outras versões do SRTM. Foi desenvolvido por meio de uma parceria entre a NASA e o Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão (METI) e foi obtido a partir de pares estereoscópicos do sensor VNIR, que captura dados na faixa do infravermelho próximo. O Aster GDEM possui uma resolução espacial de 30 metros, e diferente do radar, as imagens ASTER são obtidas por satélites passivos e estão sujeitas a interferências atmosféricas causadas por nuvens Pereira et al., (2019).

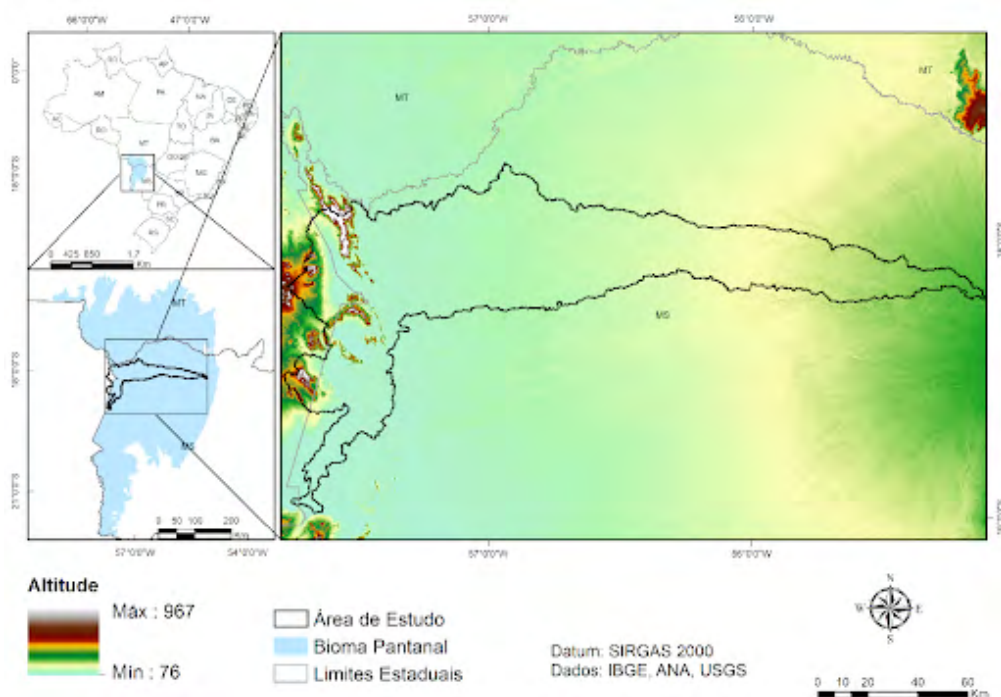
Portanto, é crucial identificar qual modelo gratuito derivado do SRTM é mais próximo de representar a realidade altimétrica de terrenos em planícies, especialmente em áreas úmidas como o Pantanal. Essa região abriga ecossistemas de planícies de inundação altamente dinâmicos, que sustentam uma vasta diversidade biológica Bertoncin et al., (2022). No entanto, o Pantanal enfrenta atualmente uma grave crise hídrica, com níveis de água atingindo recordes históricos de baixa Ana, (2024).

## 2. Objetivo

Comparar a qualidade dos diferentes MDEs gratuitos derivados do SRTM, NASADEM, TOPODATA e Alos Palsar incluindo o próprio SRTM e o Aster GDEM na área de influência de uma planície de inundação, localizada na sub-bacia do rio Taquari, Corumbá/MS.

## 3. Material e Métodos

A área de estudo está localizada ao norte do município de Corumbá-MS, e consiste em uma sub-bacia do Rio Taquari, na área de influência da Serra do Amolar (**Figura 1**). A Serra do Amolar tem características peculiares, por ser uma área de fronteira com o Chaco boliviano e devido à presença de grandes baías permanentemente inundadas, constitui um dos maiores ativos de diversidade biológica do Brasil Pessi et al., (2022).

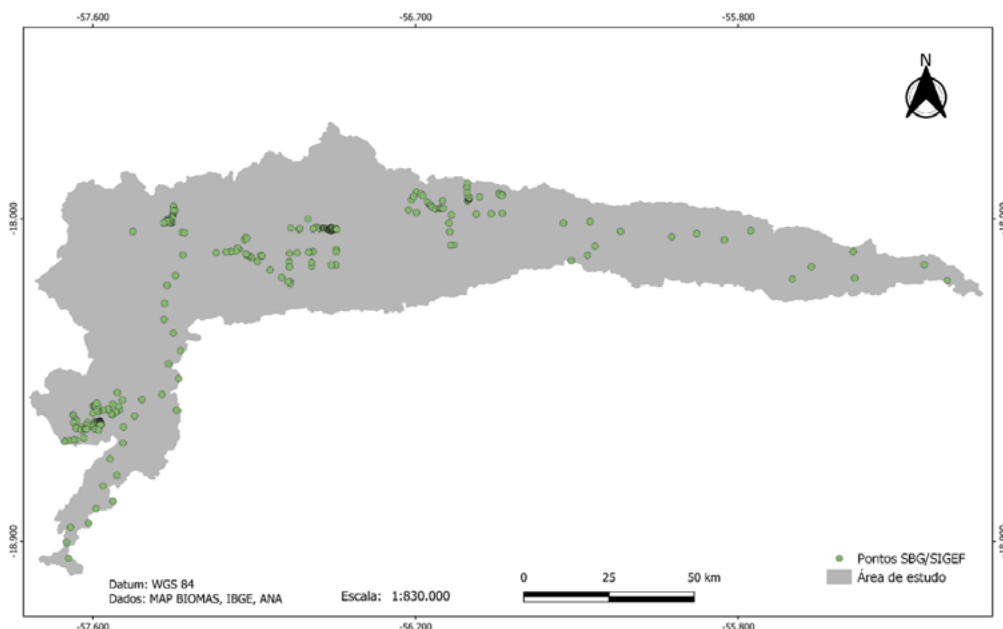


**Figura 1.** Localização da área de estudo com representação altimétrica do SRTM GL1.

Foram testados os modelos SRTM, NASADEM, TOPODATA, Alos Palsar e Aster GDEM. A avaliação da acurácia altimétrica desses MDEs foi realizada aplicando a amostragem de pontos de controle nos modelos a serem avaliados. Idealmente, os pontos de controle devem ser obtidos em campo em locais estratégicos com receptores GNSS geodésicos, porém, alternativamente, utilizam-se dados altimétricos de fontes secundárias. Para este estudo, foram utilizados dois conjuntos de dados para obter os pontos de referência: o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e o Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF).

O SGB, mantido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é a infraestrutura geodésica essencial para atividades de posicionamento, mapeamento e cadastro em todo o país. O SGB é composto por uma série de redes com vértices materializados no terreno, incluindo as redes planimétrica, altimétrica e planialtimétrica, que possuem estações com coordenadas geodésicas conhecidas (latitude, longitude e altitude). Os dados dessas estações geodésicas estão disponíveis por meio do Banco de Dados Geodésicos (BDG) IBGE, (2021); Cremon et al., (2022).

Desenvolvido pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), o SIGEF possui dados altimétricos com alta precisão vertical, bastante próximos da realidade. Isso se deve ao uso de equipamentos de alta tecnologia para os georreferenciamentos, garantindo a máxima precisão dos dados coletados Pereira et al., (2019). Desta forma, a partir da rede planialtimétrica do BDG, foi possível encontrar 41 pontos dentro da bacia. Foram coletados 227 pontos de imóveis rurais cadastrados no SIGEF, somando assim 268 pontos para validação (**Figura 2**). O sistema de referência de coordenadas destes pontos de controle é o SIRGAS 2000.



**Figura 2.** Pontos de controle SBG/SIGEF.

Girão et al. (2019) observam que não foram encontradas diferenças significativas ao comparar MDEs com altitude ortométrica referenciada em Imbituba com MDEs cujas altitudes são referenciadas no EGM96. As diferenças médias são de 0,54 m a 0,30 m. Desta forma, decidiu-se não realizar a compatibilização entre os modelos geoidais dos MDEs e os pontos de controle.

Foram extraídos usando o software *ArcMap* 10.8, os valores altimétricos dos pixels dos MDEs correspondentes aos pontos de controle. As normalidades dos conjuntos amostrais das diferenças altimétricas foram avaliadas em todos os modelos por meio do teste de Shapiro-Wilk com 95% de nível de confiança. A análise do viés foi feita pelo teste t de Student e pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney. A qualidade dos modelos foi avaliada pelo Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) para acurácia posicional vertical, que se baseia em métricas que avaliam o erro entre o produto cartográfico em análise e um dado de referência cuja precisão seja, no mínimo, três vezes superior à do produto avaliado Cremon et al., (2022). A avaliação pelo PEC-PCD ocorre em duas etapas: inicialmente, calcula-se o RMSE dos modelos, que é então comparado com o Erro Padrão (EP) correspondente à escala de interesse Barbosa et al., (2020).

Desta forma, foram calculadas a raiz do erro quadrado médio (RMSE), erro médio absoluto (MAE) e erro padrão (EP) entre os pontos de controle e os MDEs. O estimador RMSE foi utilizado para calcular a magnitude do erro ou discrepância entre as coordenadas, uma vez que o RMSE é amplamente aceito como o principal parâmetro para avaliar a acurácia posicional de mapas Simões et al., (2021). Primeiramente, foram calculadas as diferenças altimétricas ( $\Delta Z$ ) entre os pontos de referência e seus correspondentes nos MDEs, conforme a Equação 1, e posteriormente, os respectivos RMSE, conforme a Equação 2.

$$\Delta Z = Z_{mde} - Z_{ref} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Z_i)^2}{n}} \quad (2)$$

Em que:

$\Delta Z$  = diferença altimétrica do MDE em relação a altimetria do ponto de controle;

$Z_{mde}$  = valor de altitude do MDE;

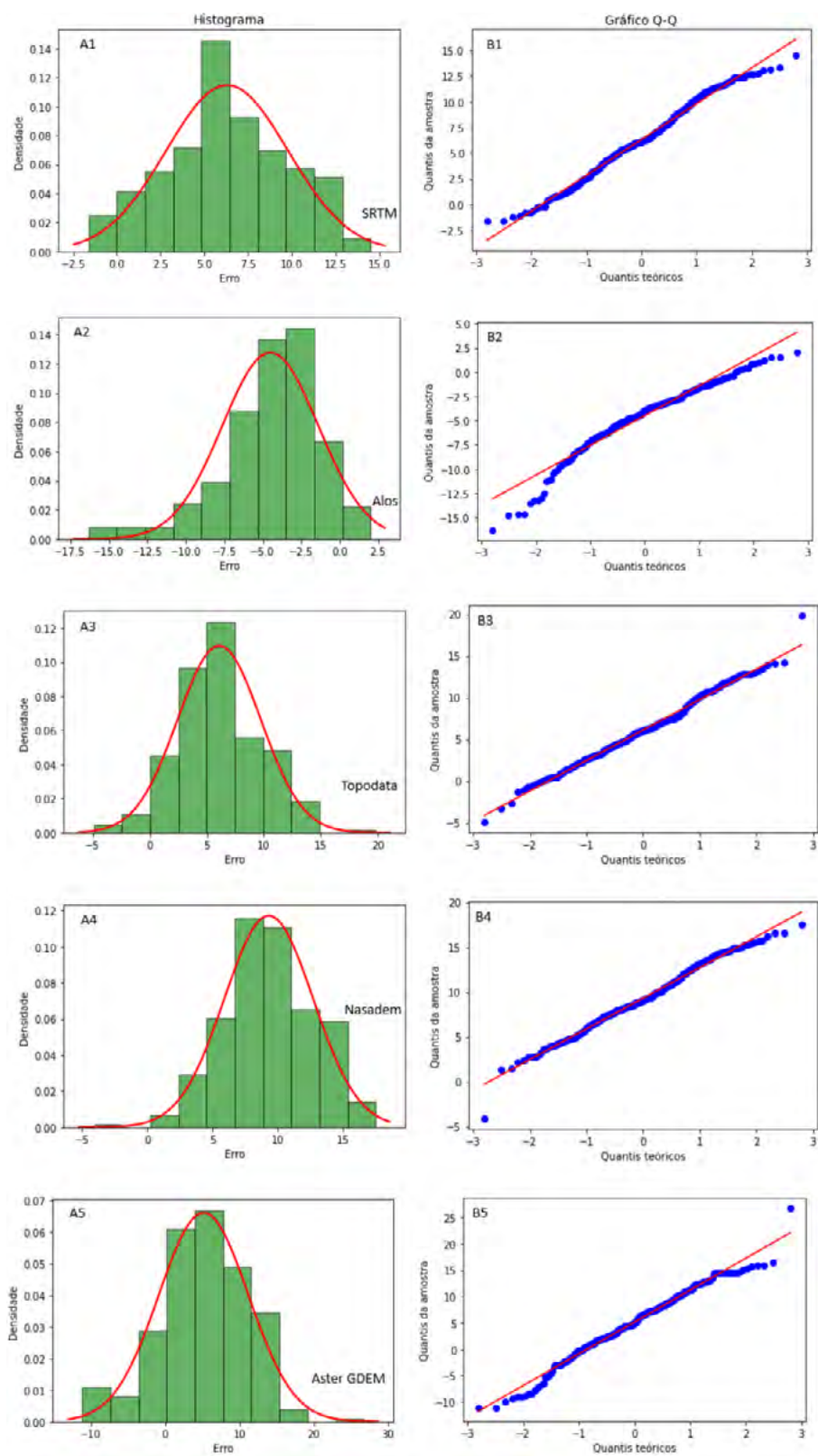
$Z_{ref}$  = valor de altitude do ponto de controle;

$n$  = número de observações.

#### 4. Resultados e Discussão

O teste de Shapiro-Wilk aplicado aos dados de erro indica que a distribuição dos modelos TOPODATA e NASADEM tem distribuição normal, no entanto os demais não tendem normalidade, apesar do histograma e o gráfico quantil-quantil sugerir uma aproximação com a normalidade, como mostrado na **Figura 3**. É possível inferir a existência de tendência (viés) nos pontos analisados, uma vez que os valores calculados para os MDEs superaram o valor tabelado para os testes de tendência. Isso indica a presença de erro sistemático, possivelmente relacionados a erros ocasionados por fatores técnicos.

Em relação a avaliação dos modelos pelo PEC-PCD, ao testar a escala 1:50.000 o modelo Alos Palsar foi único que se adequou a classe B, os demais modelos apresentaram desempenho inferior. Na escala 1:100.000 os modelos SRTM, Alos Palsar, TOPODATA e Aster GDEM se enquadraram na Classe A, apenas NASADEM ficou de fora dessa classe, pertencendo a classe B (**Tabela 1**).



**Figura 3.** Visualização da distribuição estatística do erro entre os dados de referência do SBG/ SIGEF e os MDEs. a) histograma de densidade; b) Gráfico quantil-quantil, em que: A1 e B2 = SRTM, A2 e B2 = Alos Palsar, A3 e B3 = TOPODATA, A4 e B4 = NASADEM e A5 e B5 = Aster GDEM.



**Tabela 1.** Avaliação da precisão dos modelos em relação ao PEC-PCD.

	SRTM	Alos Palsar	TOPODATA	NASADEM	Aster GDEM
PEC-PCD 1:50.000	C	B	C	D	D
PEC-PCD 1:100.000	A	A	A	B	A

Este resultado é similar ao observado por Barbosa et al. (2020), que ao avaliar os modelos SRTM, Alos Palsar e Aster GDEM pelo PEC-PDC no planalto central, verificaram que todos os modelos em escala 1:100.000 se enquadraram na classe A.

Observa-se na **Tabela 2** e na **Figura 4**, que há diferenças significativas entre os modelos digitais de elevação SRTM, NASADEM, TOPODATA, Alos Palsar e Aster GDEM em relação aos pontos de controle, para a sub-bacia do rio Taquari.

O modelo que melhor descreve a altimetria da planície é o Alos Palsar. Os modelos em ordem decrescente de acurácia são: Alos Palsar; TOPODATA, SRTM, Aster GDEM e NASADEM, respectivamente. Desta forma, o modelo com menor acurácia vertical é o NASADEM, com RMSE de 9,92m na avaliação com pontos de controle SGB/SIGEF, conforme **Tabela 2**. O erro médio absoluto (MAE) também se manteve menor no produto Alos Palsar e, o desvio padrão, deste MDE apresentou menor variação em torno da média.

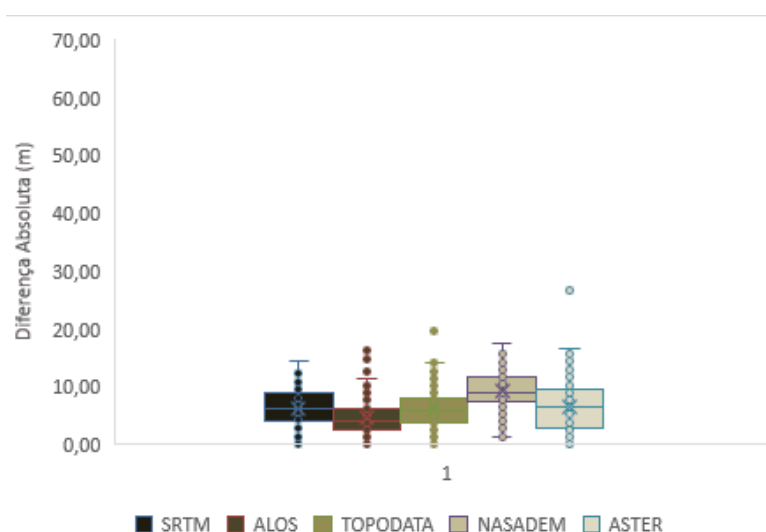
**Tabela 2.** Valores do desvio padrão, mínimos, máximos, raiz do erro quadrado médio (RMSE), erro médio absoluto (MAE) e erro padrão (EP), entre os pontos de controle e os MDEs.

	Desvio Padrão (m)	Mínimo (m)	Máximo (m)	Média (m)	RMSE (m)	MAE (m)	EP (m)
SRTM	20,41	86,00	214,00	108,65	7,20	6,37	3,48
Alos Palsar	20,03	99,00	229,00	119,45	5,48	4,58	3,12
TOPODATA	20,44	81,37	220,88	108,85	7,10	6,21	3,64
NASADEM	20,16	83,00	208,00	105,63	9,92	9,35	3,41
Aster GDEM	20,48	74,00	214,00	109,78	7,95	6,59	6,03

O TOPODATA, apesar de ser o segundo melhor modelo, possui um RMSE de 7,10 metros, sendo 1,62 metros a mais que o primeiro modelo, quando comparado ao conjunto de dados SGB/SIFEG. De modo geral, os dados TOPODATA, SRTM e Aster GDEM tiveram valores de acurácia semelhantes em si, quando comparados com os demais modelos testados, pois seus respectivos RMSE variaram em ordem centimétrica.

A **Figura 4**, apresenta a distribuição do erro absoluto dos modelos, e mostra claramente o Alos Palsar com os menores valores e o NASADEM com os maiores, corroborando a métrica RMSE. Esse resultado pode estar relacionado a resolução espacial do Alos Palsar, que é de aproximadamente 12,5 metros, os demais modelos tem resolução de 30 metros.

Ao avaliar a influência da declividade na acurácia de modelo de elevação, Satgé et al. (2017) também observaram que em áreas planas o Alos Palsar é mais preciso que o SRTM. Os autores afirmam que as diferenças são mais acentuadas ao se considerar a acurácia relativa, especialmente em zonas planas de declividade inferior a 2°, em que os demais modelos comparados são até 5% menos precisos em relação ao Alos Palsar.



**Figura 4.** *Boxplot* do erro absoluto entre os MDEs e as altitudes do conjunto de pontos de controle SGB e SIGEF.

Grohmann (2018), analisando a acurácia horizontal sob superfícies inundadas e planas, observou RMSE de 6,75m e 9,20m para o SRTM e o Aster GDEM, respectivamente, no Pantanal. Este autor destaca que o Aster GDEM apresenta superfície ruidosa e fortes diferenças de elevação entre cenas adjacentes.

Desta forma, é evidente que o uso de dados com maior acurácia é essencial para a caracterização de regiões planas, especialmente em áreas suscetíveis a inundações como o Pantanal, onde pequenas variações na elevação podem afetar estudos hidrológicos e ambientais.

## 5. Conclusões

Dentre os MDEs globais testados, o Alos Palsar apresentou a melhor acurácia, sendo um pouco melhor que o TOPODATA, SRTM e Aster GDEM, e duas vezes mais preciso que o NASADEM. O Alos Palsar se ajustou melhor às informações de referência ao ser analisado no gráfico Box-Plot. Este resultado mostra que na falta de um mapeamento no próprio local, o uso de um modelo com resolução espacial menor que 30m é o mais adequado para se utilizar em estudo envolvendo planícies.

## 6. Referências

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. **Diretoria Colegiada da ANA aprova Declaração de Escassez Quantitativa dos Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Paraguai. Meio Ambiente e Clima**, 2024. Disponível em URLib: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/diretoria-colegiada-da-ana-aprova-declaracao-de-escassez-quantitativa-dos-recursos-hidricos-da-regiao-hidrografica-do-paraguai>>. Acesso em: 18 mai. 2024.

ASF. **Alaska Satellite Facility**. Radiometrically Terrain Corrected ALOS PALSAR products. Disponível em: <[https://asf.alaska.edu/wp-content/uploads/2023/06/rtc\\_product\\_guide\\_v1.2-1.pdf](https://asf.alaska.edu/wp-content/uploads/2023/06/rtc_product_guide_v1.2-1.pdf)>. Acesso em: 01 set. 2024.

Barbosa, V. R. F., Cicerelli, R. E., Almeida, T. de, Marotta, G. S., & Rodrigues, S. W. P. (2020). ALOS PRISM (AW3D05 STANDARD) and Sentinel-1: Evaluation of New Sources of Digital Elevations Models. **Revista Brasileira De Geografia Física**, 13(5), 2319–2331. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2319-2331>

Bertoncin, A. P. S.; Tramonte, R. P.; Pinha, G. D.; Gentilin-Avanci, C.; Oliveira, M. V. C.; Mormul, R. P. On the significance of wetlands: three decades of aquatic macroinvertebrate monitoring programs in a Neotropical floodplain. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 34, e10. 2022. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X4721>

Cremon, E. H.; Bettiol, G. M.; Júnior, J. P. M.; Macedo, F. C.; Rabelo, M. W. O. Avaliação da altimetria do MDE COP-30 no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, vol. 74, n. 3, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv74n3-60846>

Girão, R. S.; Fernandes, P. J. F.; Vicens, R. S.; Barbalho, L. V. Avaliação da acurácia vertical de modelos digitais de elevação (MDEs) para o estado do rio de janeiro através de algoritmos de automatização. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 20, n. 70, p. 72–92, 2019. DOI: 10.14393/RCG207042221.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Reajustamento da rede altimétrica com números geopotenciais**. 2 Ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Banco de dados geodésicos - BDG: O que é?. Disponível em URLib:<<https://bit.ly/2PuSr8i>>. Acesso em: 08 ago. 2024.

Pereira, H. L., Catalunha, M. J., Borges Jr., C. R., & Sousa, P. T. G. (2019). Qualidade de Modelos Digitais de Elevação Utilizando Dados do SIGEF: Estudo de Caso para as Sub-Bacias do Ribeirão dos Mangues e Rio Soninho no Estado do Tocantins. **Revista Brasileira De Geografia Física**, 12(1), 187–200. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p187-200>

Reis, L. N. **Caracterização morfológica de planícies inundáveis na costa do amapá: uma análise a partir de modelos digitais de elevação**. 2023. 86p. Dissertação (Mestrado em Geologia Marinha e Costeira) - Universidade Federal do Pará, Belém. 2023.

Satgé, F.; Ferreira, A.; Pillco, R.; Molina, J.; Timouk, F.; Pinel, S.; Garnier, J.; Bonnet, M. Primeira avaliação da acurácia absoluta e relativa do novo ALOS DEM com base na medição do ICESat em região descoberta. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR**. INPE Santos - SP, Brasil. 2017.

Simões, P. S., Guimarães, U. S., & Caldeira, C. R. T. Avaliação da Acurácia Vertical de MDEs de Fonte Aberta na Região Amazônica a Partir de Dados LIDAR. **Revista Brasileira De Geografia Física**, 14(5), 2806–2821. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p2806-2821>

Viel, J. A.; Rosa, K. K.; Junior, C. W. M. Avaliação da Acurácia Vertical dos Modelos Digitais de Elevação Srtm, Alos World 3d E Aster Gdem: Um Estudo de Caso no Vale dos Vinhedos, RS – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.13, n.05 (2020) 2255-2268.

## **Evolução da Regularização Ambiental e Fundiária do Vale do Guaporé, Mato Grosso.**

Eloyl Aparecido Cintra Franco <sup>1</sup>  
João dos Santos Vila da Silva <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mestrando do Programa de Pós Graduação em GEOGRAFIA pela UNEMAT  
Rua E, Quadra 12, Bloco 01, Apto 404  
78.048-248 - Cuiabá - MT, Brasil  
eloyl.adv@gmail.com

<sup>2</sup> Embrapa Agricultura Digital - CNPTIA  
Av. André Toselo, 209 - Caixa Postal 6041  
13083-886 - Campinas - SP, Brasil  
joao.vila@embrapa.br

**Resumo.** Este artigo buscou investigar a complexa história dos conflitos de terra no Vale do Guaporé, Mato Grosso, desde o período colonial até os dias atuais. A pesquisa analisou as dinâmicas sociais, econômicas e políticas que moldaram a ocupação e o uso do território, com foco especial nos processos de regularização fundiária. Através de uma revisão bibliográfica e da análise de dados de diversos bancos de dados, como o Incra, Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF) e Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA), o estudo revela que o Vale do Guaporé é marcado por uma longa história de disputas pela terra, envolvendo indígenas, colonos, fazendeiros e outras populações tradicionais. A busca por recursos naturais e a expansão da fronteira agrícola impulsionaram esses conflitos, gerando uma grande diversidade cultural e social, mas também intensificando as disputas territoriais. A regularização fundiária é identificada como um desafio crucial na região, devido à complexidade da situação fundiária e à presença de diversas populações tradicionais com direitos territoriais específicos. O estudo destaca a importância do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e de outros instrumentos de gestão fundiária para garantir a segurança jurídica e o desenvolvimento sustentável da região.

**Palavras-chave:** regularização fundiária. gestão fundiária. terra.

**Abstract.** This article sought to investigate the complex history of land conflicts in Vale do Guaporé, Mato Grosso, from the colonial period to the present day. The research analyzed the social, economic and political dynamics that shaped the occupation and use of territory, with a special focus on land regularization processes. Through a bibliographical review and data analysis from several databases, such as Incra, the Land Management System (SIGEF) and the State Secretariat for the Environment of Mato Grosso (SEMA), the study reveals that the Guaporé Valley is marked by a long history of disputes over land, involving indigenous people, settlers, farmers and other traditional populations. The search for natural resources and the expansion of the agricultural frontier drove these conflicts, generating great cultural and social diversity, but also intensifying territorial disputes. Land regularization is identified as a crucial challenge in the region, due to the complexity of the land situation and the presence of diverse traditional populations with specific territorial rights. The study highlights the importance of the Rural Environmental Registry (CAR) and other land management instruments to guarantee legal security and sustainable development in the region.

**Key-words:** Land regularization. Land management. Earth.

## 1. Introdução

A história das relações no campo brasileiro é marcada por conflitos pela terra, identidade e poder, e muito embora o contexto histórico tenha evoluído, esses conflitos persistem, revelando a complexidade e a continuidade das disputas por esse vasto território, uma vez que, a questão agrária no Brasil, envolve a concentração de terras, a grilagem e a violência no campo.

Neste contexto, destaca-se ainda que as mudanças nas formas de organização dos trabalhadores rurais e o crescente protagonismo do agronegócio têm reconfigurado as disputas fundiárias, tornando-as ainda mais complexas Medeiros, (2021). Esses fatores demonstram que, apesar das transformações ao longo do tempo, as tensões e os desafios no campo brasileiro continuam a ser uma realidade presente.

Devido a sua grande extensão, o estado de Mato Grosso constitui-se a partir de diversos biomas: Amazônia, Cerrado e Pantanal, exibindo biodiversidade e características geomorfológicas distintas. A convergência desses fatores, juntamente com as dimensões políticas, sociais e econômicas, aumenta a natureza intrincada da situação agrária, caracterizada por inúmeras disputas envolvendo várias partes interessadas, como proprietários de terras, agricultores, comunidades indígenas e populações tradicionais. Assim, a formação do espaço agrário na região de Mato Grosso foi moldada por várias dimensões das políticas nacionais e estaduais, impactadas por investimentos públicos e privados Rosseto, (2015).

O povoamento de Mato Grosso começou no início do século XVIII com o movimento bandeirante, que descobriu minas de ouro nos rios Coxipó e Cuiabá. Para consolidar este território, a Coroa Portuguesa desmembrou as minas cuiabanas da Capitania de São Paulo, criando a Capitania de Mato Grosso. A missão da nova capitania era proteger a fronteira oeste do Brasil, pois o Tratado de Madrid, baseado na posse pelo uso, estava em negociação. Nessas expedições também capturavam indígenas para serem utilizados como mão de obra escrava e se apoderar das riquezas naturais, especialmente minérios Rosseto e Girardi, (2015). Já no final do século XVIII, as minas se enfraqueceram, levando mineiros, latifundiários e comerciantes a diversificarem suas atividades produtivas. Muitos solicitaram ao governo a concessão de sesmarias para expandir suas operações Alves et al, (2009).

Uma das regiões de interesse nesse processo, é o Vale do Guaporé, que segundo os estudos de Lemos de Souza e de Oliveira (2019, p. 111), até 1950 grande parte dessa região “era quase que exclusivamente povoada pelos Nambikwara”, aponta ainda que esta área tem sido habitada por populações indígenas há mais de 12.000 anos (Miller, 1983). Sendo que, naquela época, havia aproximadamente 20.000 indígenas, distribuídos em um território que se estendia do rio Guaporé até os rios Papagaio, Comemoração, Roosevelt e Tenente Marques. Sendo um território que tinha uma abrangência de cerca de 5.500.000 hectares, localizado entre os municípios de

Vila Bela da Santíssima Trindade e Pontes e Lacerda, em Mato Grosso, e Vilhena, em Rondônia (Price, 1972).

A ocupação da região do vale do Guaporé teve início a partir de 1734, e foi efetivada pelos bandeirantes paulistas, os irmãos Fernando e Arthur Paes de Barros, descobriram ouro no rio Guaporé, nos arraiais de Santana e São Francisco Xavier, onde se formou um núcleo de povoamento (Teixeira, 2004). E com o passar do tempo e devido a necessidade de proteger suas fronteiras dos espanhóis, foi que ocorreu a transferência da capital para a cidade de Vila Bela da Santíssima Trindade.

A ocupação do território em questão seguiu um padrão histórico: a partir das margens dos rios, ponto estratégico para o acesso à água e à navegação, a colonização se expandia para o interior da floresta. Essa dinâmica, observada em diversas regiões do Brasil. Conforme Oliveira (2010), a escolha das margens dos rios como ponto de partida para os projetos de colonização era justificada pela necessidade de garantir o abastecimento de água, meio de transporte e comércio, e também para a construção de infraestrutura básica para os colonos.

Deve-se ressaltar que a população do Vale do Guaporé apresenta uma diversidade de identidades, englobando remanescentes de quilombos, populações tradicionais como seringueiros, indígenas, pescadores e ribeirinhos, além de camponeses agroextrativistas. Nesse cenário destaca-se também a identidade quilombola, cuja ancestralidade negra e os vínculos com o passado escravo e quilombola da região são fundamentais para sua caracterização. Essa identidade é crucial, pois confere aos seus detentores um conjunto específico de direitos e possibilidades que não se aplicam a outras categorias sociais, como seringueiros e ribeirinhos Souza, (2022).

Um elemento relevante, pois conforme a compreensão de Souza (2022), é de como a identidade ribeirinha da população da região do Guaporé é marcada por uma profunda conexão com o rio e a floresta, expressa em práticas como a pesca, a agricultura de subsistência e a coleta de produtos da floresta. Os saberes tradicionais sobre as plantas medicinais, os ciclos da natureza e os costumes ancestrais são transmitidos de geração em geração, fortalecendo os laços comunitários e a identidade cultural.

Ao longo do tempo, a população do Vale do Guaporé vivenciou um intenso processo de miscigenação, com a confluência de quilombolas, indígenas, agricultores tradicionais e migrantes. Essa dinâmica resultou em uma identidade ribeirinha singular, caracterizada por um conjunto de elementos socioculturais específicos. Entre eles, destacam-se as práticas produtivas tradicionais, as estruturas familiares, as crenças religiosas, os conhecimentos sobre o meio ambiente e as formas de manejo dos recursos naturais. A territorialidade, entendida como um espaço de vida, trabalho e espiritualidade, constitui um elemento central dessa identidade, demarcando um território próprio e ancestral Souza, (2022).

A identificação de características socioculturais específicas auxilia na compreensão da identidade e da ocupação territorial das populações tradicionais. A ocupação territorial, em particular, é um indicador relevante para o reconhecimento desses grupos. No entanto, a complexidade do cenário fundiário brasileiro exige uma flexibilização desse critério. Embora as características tradicionalmente utilizadas para identificar populações tradicionais sejam válidas, a dinâmica social e os conflitos fundiários impõem a necessidade de uma análise mais flexível e contextualizada Rodrigues et al., (2015).

É importante ressaltar os fatores que transformaram essa região ao longo do tempo. A ocupação do território resultou de um conjunto de elementos interligados, como a busca por recursos minerais, a expansão da fronteira agrícola, as políticas governamentais e os fluxos migratórios. Essa dinâmica complexa moldou de maneira significativa tanto a paisagem quanto a sociedade local, gerando oportunidades e também desafios.

Desta maneira, ao explorar tais aspectos esperamos elucidar parte do processo de ocupação desse território, sem necessariamente esgotar o tema, uma vez que são permeados por aspectos conflituosos que revelam a disputa e a necessidade urgente de soluções eficazes para resguardar as populações.

## **2. Objetivo**

Analisar a complexa história dos conflitos de terra no Vale do Guaporé, em Mato Grosso, passando o período colonial aos dias atuais, com foco especificamente na regularização fundiária.

## **3. Material e Métodos**

A pesquisa se pautou em uma revisão bibliográfica sobre a história da região, com destaque para estudos sobre a ocupação indígena e quilombola, a colonização, a expansão da fronteira agrícola e os processos de regularização fundiária. Além disso, foram utilizados dados de diversos bancos de dados, como o INCRA, SIGEF e SEMA, para mapear a situação atual da regularização fundiária na região.

## **4. Resultados e Discussão**

O Vale do Guaporé apresenta uma história marcada por conflitos pela terra, envolvendo indígenas, colonos, fazendeiros e outras populações tradicionais, como é o caso de povos quilombolas. A ocupação da região foi impulsionada pela busca por recursos naturais, como ouro e terras férteis, e pela expansão da fronteira agrícola, essa dinâmica gerou diversidade cultural e social, mas também intensificou os conflitos pela posse da terra.

A regularização fundiária é um desafio crucial na região, devido à complexidade da situação fundiária e à presença de diversas populações tradicionais com direitos territoriais específicos. Assim sendo, este estudo destacou a relevância do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e de outros instrumentos de gestão fundiária para garantir a segurança jurídica e o desenvolvimento sustentável da região.

Diante da importância da regularização fundiária para a segurança jurídica e o desenvolvimento sustentável percebemos que a garantia de direitos territoriais é um tema fundamental para a sustentabilidade ambiental e social.

Para que esse processo atinja seus objetivos, principalmente em relação a áreas rurais, é necessário o acesso a um sistema ou documento essencial para a organização e gestão das informações sobre imóveis rurais, sendo eles: o CAR (Cadastro Ambiental Rural), CAR Migrado (versão atualizada do CAR, que também é utilizada para a regularização fundiária), SIGEF (Sistema de Gestão Fundiária), SNCR (Sistema Nacional de Cadastro Rural). Portanto, essas siglas estão interligadas e desempenham um papel fundamental no processo de regularização fundiária, garantindo a segurança jurídica e a gestão ambiental dos imóveis rurais Almeida, (2021).

As áreas rurais desmatadas e em uso até 22 de julho de 2008 são classificadas como de uso consolidado pelo Código Florestal. Essa é uma das categorias de uso do solo que pode ser declarada no Cadastro Ambiental Rural (CAR), um instrumento obrigatório para a regularização ambiental, cuja informação foi posteriormente validada pelos órgãos ambientais competentes Arvor et al, (2021).

A pesquisa realizada no ano de 2021, traz à tona a relevância do mapeamento como referência para políticas públicas que visam assegurar a regularidade ambiental da produção agropecuária, principal economia do estado, sendo que o mapeamento das áreas de uso consolidado, no estado

de Mato Grosso, foi realizado pelo Instituto Centro de Vida (ICV) sob revisão da SEMA/MT. Os autores afirmam que, para a implementação eficiente do CAR, um dos maiores desafios é mapear áreas rurais consolidadas em Mato Grosso, sendo que, o mapeamento detalhado é um processo complexo, tendo em vista a dimensão territorial do estado, com três biomas distintos (Amazonia, Cerrado e Pantanal), considerando ainda que, as “áreas rurais consolidadas” incluem muitas subclasses (por exemplo, edifícios, pastagens, terras agrícolas) que dificultam a classificação automática baseada em sensoriamento remoto Arvor et al, (2021).

A regularização fundiária rural em Mato Grosso é conduzida pelo Intermat (Instituto de Terras de Mato Grosso), que atua em quatro modalidades distintas, abrangendo desde a regularização de pequenas propriedades até a de grandes áreas, adaptando-se às diversas realidades do campo Almeida, (2021, p. 15). E essas modalidades são:

- I. doação de terra pública de até 100 hectares;
- II. venda de terra pública para imóveis até 2.500 hectares;
- III. venda especial de terras públicas;
- IV. emissão de certidão para fins de usucapião

Criado em 1975 pela Lei Estadual nº 3.681, o Instituto de Terras de Mato Grosso é a autarquia responsável pela gestão das áreas públicas estaduais, vinculado à Secretaria de Agricultura, substituiu o antigo Departamento de Geografia e Geologia, assumindo um papel central na regularização fundiária e no planejamento territorial de Mato Grosso Almeida, (2021).

A história da ocupação do Vale do Guaporé é marcada por um intenso processo de miscigenação e troca cultural entre diferentes grupos étnicos. Essa diversidade, que constitui a maior riqueza da região, resultou em um mosaico de relações sociais, com momentos de cooperação, conflito e negociação, que moldaram a identidade local e a ocupação, além das disputas territoriais do território ao longo dos séculos.

Conforme Barrozo (2018), a disputa pela terra nessa região teve como consequência muitos conflitos e violência, para solucionar essa problemática o Incra começou a “desapropriar as áreas em disputa, regularizando a situação dos posseiros”. Dentro dessa região encontram-se os seguintes municípios: Conquista d'Oeste, Nova Lacerda, Pontes e Lacerda, Vale do São Domingos, Vila Bela da Santíssima Trindade.

Através da análise de dados georreferenciados disponíveis nos repositórios do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), do Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF) e da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA), foi possível elaborar um mapeamento preciso da situação atual das áreas em estudo, fornecendo informações detalhadas sobre a regularização das terras da região em estudo. Conforme exposto na **Tabela 1**:

**Tabela 1.** Quantidade de imóveis rurais sem identificação nos sistemas de cadastro fundiário no Vale do Guaporé, distribuídos pelos sistemas SIGEF, CAR, CAR Migrado e SNCI.

MUNICÍPIO	SIGEF	CAR	CAR MIGRADO	SNCI
Pontes e Lacerda	1291	3023	1634	111
Vila Bela da Santíssima Trindade	1094	2717	1450	169
Vale do São Domingos	656	951	585	11
Nova Lacerda	309	1114	452	53
Conquista do Oeste	116	450	198	12



Os dados referem-se aos municípios de Pontes e Lacerda, Vila Bela da Santíssima Trindade, Vale do São Domingos, Nova Lacerda e Conquista do Oeste. A **Tabela 1** apresenta a quantidade de registros que ainda não possuem identificação completa nos referidos sistemas de regularização fundiária e gestão territorial.



**Figura 1.** [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MatoGrosso\\_Micro\\_AltoGuapore.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MatoGrosso_Micro_AltoGuapore.svg)

## 5. Conclusões e Sugestões

Concluiu-se que a compreensão da história e das dinâmicas sociais do Vale do Guaporé é fundamental para a elaboração de políticas públicas eficazes para a resolução dos conflitos fundiários e para a promoção da justiça social e ambiental na região.

Notou-se que a relevância da regularização fundiária no Vale do Guaporé revela a complexidade das relações socioambientais na região, demandando uma abordagem interdisciplinar que englobe aspectos históricos, sociais, econômicos e ambientais. A implementação do Cadastro Ambiental Rural (CAR) representa um avanço significativo, mas é preciso prosseguir na integração desse instrumento com outras políticas públicas, como a reforma agrária e a demarcação de terras indígenas. A construção de soluções duradouras para os conflitos fundiários exige a articulação entre diferentes atores sociais, o fortalecimento das instituições públicas e a promoção do diálogo entre os diversos segmentos da sociedade.

**Tabela 2.** Ausência de enumeração, título e descrição dessa tabela'

<b>PONTES E LACERDA</b>				
	Até 100 ha	Até 500 ha	Até 1.000 ha	Acima de 1.000
<b>CAR</b>	1900	727	155	241
<b>CAR MIGRADO</b>	947	430	102	155
<b>SNCI</b>	7	22	27	55
<b>SIGEF</b>	682	404	90	115

<b>VILA BELA DA SANTÍSSIMA TRINDADE</b>				
	Até 100 ha	Até 500 ha	Até 1.000 ha	Acima de 1.000
<b>CAR</b>	1509	739	155	314
<b>CAR MIGRADO</b>	736	422	87	205
<b>SNCI</b>	19	46	20	84
<b>SIGEF</b>	332	465	136	161

<b>VALE DO SÃO DOMINGOS</b>				
	Até 100 ha	Até 500 ha	Até 1.000 ha	Acima de 1.000
<b>CAR</b>	762	97	35	57
<b>CAR MIGRADO</b>	498	54	10	23
<b>SNCI</b>	2	2	2	5
<b>SIGEF</b>	541	70	23	22

<b>NOVA LACERDA</b>				
	Até 100 ha	Até 500 ha	Até 1.000 ha	Acima de 1.000
<b>CAR</b>	699	198	59	158
<b>CAR MIGRADO</b>	223	96	34	99
<b>SNCI</b>	8	5	12	28
<b>SIGEF</b>	121	75	45	68

<b>CONQUISTA DO OESTE</b>				
	Até 100 ha	Até 500 ha	Até 1.000 ha	Acima de 1.000
<b>CAR</b>	310	47	15	78
<b>CAR MIGRADO</b>	136	22	7	33
<b>SNCI</b>	1	2	0	9
<b>SIGEF</b>	42	26	23	25

## 6. Referências

Almeida, Jeferson. Leis e práticas de regularização fundiária no Estado do Mato Grosso / Jeferson Almeida; Brenda Brito; Pedro Gomes; Ana Paula Valdiones. – Belém, PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia; Instituto Centro de Vida, 2021.

Alves, J., Figueiredo, A.M.R., & Bonjour, S. C. M. (2009). Os Assentamentos Rurais em Mato Grosso: Uma Análise dos Dados do Censo da Reforma Agrária. *Panorama Socioeconómico*, 27(39),152-167.

Arvor, D. , Silgueiro, V., Manzon Nunes, G., Nabucet, J. & Pereira Dias, A. The 2008 map of consolidated rural areas in the Brazilian Legal Amazon state of Mato Grosso: Accuracy assessment and implications for the

environmental regularization of rural properties, *Land Use Policy*, Volume 103, 2021.

Barrozo, J. C. A questão agrária em Mato Grosso. In: *Nova História do Mato Grosso Contemporâneo*. (Orgs.) Rodrigues & Joanoni Neto. Cuiabá, EdUFMT, 2018.

Lemos de Souza, R.; De Oliveira, J. E. Etnoarqueologia e processo de territorialização entre os indígenas Wasusu do vale do Rio Guaporé, estado de Mato Grosso, Brasil. *Tellus*, [S. l.], v. 19, n. 39, p. 105–138, 2019.

Medeiros, Leonilde Servolo de. Atores, Conflitos E Políticas Públicas Para O Campo No Brasil Contemporâneo. *Caderno CRH* [online]. 2021, v. 34 [Acessado 8 Agosto 2024], e021003.

Miller, Eurico Theófilo; Kern, Arno Alvarez. História da cultura indígena do Alto-Médio Guaporé (Rondônia e Mato Grosso). 1983. Dissertação (Mestrado em História) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1983.

Oliveira, José Lopes de. *Rondônia: Geopolítica e Estrutura Fundiária*. Porto Velho: Grafel, 2010.

Price, Paul David. *Before the Bulldozer: the Nambikwara Indians and the World Bank*. Washington: Seven Locks Press, 1989.

Rodrigues, L. da C.; Neves, R. J.; Carniello, M. A.; Silva, J. dos S. V. da. Caracterização Sociocultural da Região do Taquaral: comunidade Nossa Senhora da Guia, Cáceres/MT, Brasil. *Revista de Geografia (UFPE)* V. 32, No. 3, 2015.

Rossetto, O. C. Produção do espaço agrário no estado de Mato Grosso e o processo de concentração de terras no Pantanal Norte mato-grossense. In: Rossetto, O. C.; Tocantins, N. (Org.). *Ambiente agrário do Pantanal brasileiro: socioeconomia e conservação da biodiversidade*. Porto Alegre: Imprensa Livre, Compasso Lugar Cultura, 2015. p. 25-76

Souza, William, K. do A. (2022). Trabalho-Educação, Economia E Cultura Em Povos E Comunidades Tradicionais: A (Re)Afirmação De Modos De Vida Como Formas De Resistência. *Revista Trabalho Necessário*, 20(41), 01-05. <https://doi.org/10.22409/tn.v20i41.52619>

Teixeira, Marco Antônio Domingues. *Campepinato negro de Santo Antônio do Guaporé: identidade e sustentabilidade*. Belém/PA: NAEA/UFPA, 2004.

## **Monitoramento da biodiversidade na região da Rede Amolar, Pantanal, MS**

Mariana Alves Carvalho Queiroz  
Geovani Vinco Tonolli  
Franciele Oliveira  
Wener Hugo Arruda Moreno  
Igor Pinho Souza  
Rayssa Aparecida Pinheiro Noveli  
Sergio Eduardo Barreto de Aguiar  
Grasiela Edith de Oliveira Porfirio Petry

Instituto Homem Pantaneiro - IHP  
Ladeira José Bonifácio, 171  
79304-010 - Corumbá - MS, Brasil  
{mariana, geovani, franciele, wener, tecnologia,  
rayssa, sergio, grasiela}@institutohomempantaneiro.org.br

**Resumo.** A Rede Amolar compreende um mosaico de áreas protegidas e privadas localizadas na borda oeste do Pantanal, em Mato Grosso do Sul, gerida pelo Instituto Homem Pantaneiro, e que abrange aproximadamente 300 mil hectares. O objetivo deste estudo é abordar a utilização de geotecnologias para a identificação e listagem das espécies da fauna na região da Rede Amolar, a fim de embasar estratégias para a conservação. Este estudo foi realizado mensalmente ao longo do ano de 2023, em campanhas de quatro dias consecutivos de amostragens, em que as metodologias de busca ativa e armadilhagem fotográfica foram utilizadas para identificar a riqueza e composição de espécies da mastofauna, avifauna e herpetofauna. Todas as localizações foram georreferenciadas através do uso de aplicativo GPS e por meio do método de geração de mapas de calor no software QGIS, e foram identificadas áreas com maior riqueza de espécies ameaçadas nas áreas que compõem a Rede. Em 12 campanhas mensais de monitoramento, totalizando um esforço amostral de 5.363,26 km percorridos por via fluvial e 39.292 cameras/dia de esforço amostral por armadilhagem fotográfica foram obtidos 2.774 registros independentes da fauna, totalizando 164 espécies identificadas. O mapa de calor demonstrou que a maior riqueza de espécies está localizada nas áreas protegidas, destacando a importância da manutenção dessas áreas para a conservação da biodiversidade no Pantanal.

**Palavras-chave:** áreas úmidas, conservação, fauna, sensoriamento remoto.

**Abstract.** Biodiversity monitoring in the Amolar Network region, Pantanal, MS. The Amolar Network comprises a mosaic of protected and private areas located on the western Brazilian border of the Pantanal, in Mato Grosso do Sul, managed by the Instituto Homem Pantaneiro, and covering approximately 300 thousand hectares. The objective of this study is to address the use of geotechnologies for the identification and listing of fauna species in the Amolar Network region, to support conservation strategies. This study was carried out monthly throughout 2023 in campaigns of four consecutive sampling days of active search and camera trapping methodologies to identify the richness and species composition of mastofauna, avifauna, and herpetofauna. All locations were georeferenced using a GPS application and the heat map generation method in the QGIS software to identify areas with higher species richness of threatened species in the Network. In 12 monthly monitoring campaigns, totaling a sampling effort of 5,363.26 km traveled by river and 39,292 cameras/day of sampling effort by camera traps, 2,774 independent records of fauna were obtained, totaling 164 identified species. The heat map demonstrated that the highest species richness is located in protected areas, highlighting the importance of maintaining these areas for biodiversity conservation in the Pantanal.

**Key-words:** *wetlands, conservation, fauna, remote sensing.*

## 1. Introdução

Pela sua biodiversidade, o Ministério do Meio Ambiente classifica a região da Serra do Amolar como área de “Prioridade Extremamente Alta” para a conservação MMA (2023). Ainda, pelo potencial hídrico, o Parque Nacional do Pantanal Matogrossense – vizinho à Serra do Amolar, é considerado um Sítio de Importância Internacional pela Convenção de Ramsar. Essa convenção prioriza e classifica as zonas úmidas que devem ser conservadas em todo o planeta.

Desde 2000, o Complexo de Áreas Protegidas do Pantanal (Parque Nacional, RPPNs Acurizal e Penha, Dorochê e Rumo ao Oeste) carrega o título de Patrimônio da Humanidade pela UNESCO. Em 2008, instituições privadas, governamentais e da sociedade civil uniram suas forças para atuar de forma conjunta na proteção da região da Serra do Amolar, em uma área que compreende aproximadamente 300 mil hectares.

Assim, surge a Rede de Proteção da Serra do Amolar (RPCSA), doravante Rede Amolar, que abrange um complexo formado pelo Parque Nacional do Pantanal Matogrossense, pelas RPPNs Reserva Acurizal e Penha, Dorochê, Rumo ao Oeste, Engenheiro Eliezer Batista e pelas fazendas Santa Teresa, Jatobazinho, Vale do Paraíso, São Gonçalo, Santa Rosa, Morro Alegre e Sítio Serra Negra. Portanto, a Rede Amolar é um grande e contínuo mosaico de áreas protegidas e privadas localizado na borda oeste do Pantanal brasileiro.

Sob gestão do Instituto Homem Pantaneiro (IHP) desde 2008, a Rede Amolar representa uma excelente e ímpar estratégia de conservação por englobar em uma só região uma grande quantidade de paisagens, ecossistemas e biodiversidade do Pantanal. A região é formada pela Planície Pantaneira e a Serra do Amolar na divisa dos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, e junto à fronteira com a Bolívia compõem um dos maiores patrimônios de diversidade biológica no território transfronteiriço do bioma Pantanal.


O Monitoramento Ambiental da Rede Amolar é uma das ações desenvolvidas pelos pesquisadores e técnicos que atuam na Rede, cujo principal objetivo é subsidiar ações estratégicas para a conservação da região. O Monitoramento Ambiental da Rede Amolar também apoia ações de conservação no Parque Nacional do Pantanal Matogrossense, o projeto Conexão Jaguar, a Brigada Alto Pantanal e o Programa Felinos Pantaneiros, todos desenvolvidos pelo IHP. No presente estudo, abordamos a utilização de geotecnologias para o monitoramento da fauna na região da Rede Amolar. Com essa ação, espera-se contribuir para o ODS 15 (Vida Terrestre) da Agenda 2030 proposta pela Organização das Nações Unidas e subsidiar ações de conservação da biodiversidade, principalmente face às atuais mudanças climáticas, que no Pantanal se reverberam sob a forma de longas estiagens e grandes incêndios florestais.

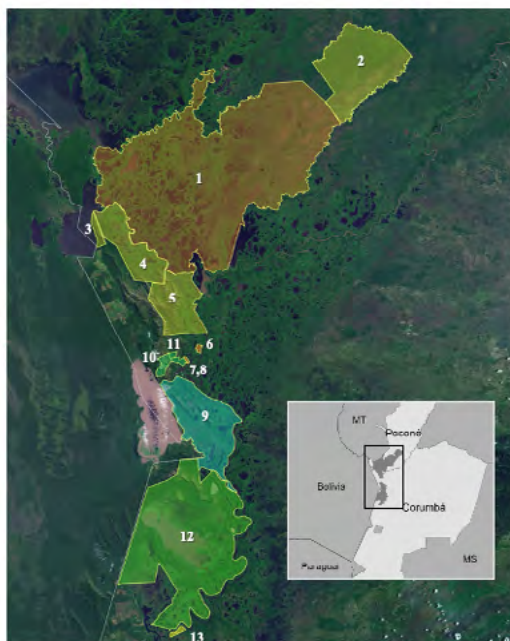
## 2. Objetivo

Abordar a utilização de geotecnologias para o monitoramento da diversidade de espécies da fauna na região da Rede Amolar, a fim de embasar estratégias para a conservação.

## 3. Material e Métodos

O monitoramento da biodiversidade foi realizado mensalmente, em campanhas consecutivas de quatro dias ao longo de 2023, abrangendo um trecho que engloba o Rio Paraguai desde a cidade de Corumbá até a região da Baía Gaíva, na Serra do Amolar, as áreas protegidas da Rede Amolar e o Parque Nacional do Pantanal Matogrossense (**Figura 1**). As atividades foram realizadas pela via fluvial e terrestre.

	PROPRIEDADES	Área Legalmente Protegida	Área de Abrangência da Rede
	1. Parque Nacional do Pantanal Matogrossense	135.581	135.581
	2. RPPN Dorochê	26.518	26.718
	3. RPPN Rumo ao Oeste	900	990
	4. RPPN Acurizal	13.200	13.665
	5. RPPN Penha	13.100	13.409
	6. Fazenda São Gonçalo	-	180
	7. Fazenda Santa Rosa	-	78
	8. Sítio Serra Negra	-	16
	9. RPPN Engenheiro Eliezer Batista	12.680	20.259
Pessoa Física	10. Fazenda Vale do Paraíso	-	184
	11. Fazenda Morro Alegre	-	1.351
FAZENDA Santa Tereza	12. Fazenda Santa Tereza	-	90.119
	13. Fazenda Jatobazinho	-	360
TOTAL (hectares)		201 979	302 910



**Figura 1.** Áreas que compõem a Rede Amolar, no Pantanal de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, Brasil.

Na parte fluvial foram percorridos de barco os rios, corixos, baías e campos alagados. E no percurso terrestre foram percorridas a pé ou de trator, diferentes trilhas, estradas, áreas de mata fechada e campo. Nesses ambientes, por meio de busca ativa, registramos as localizações geográficas de todas as espécies da fauna observadas, compreendendo mamíferos, aves, répteis e anfíbios de forma direta (visualizações) ou indireta (vocalizações, rastros, fezes, tocas e outros vestígios) utilizando o aplicativo gratuito Wikiloc (<https://pt.wikiloc.com/>). As vocalizações e cantos das aves foram identificados por meio de guias e aplicativos gratuitos, como o e-bird (<https://ebird.org/home>) e Merlin Bird ID (<https://merlin.allaboutbirds.org/>). A fim de complementar as amostragens, foram amostrados 22 diferentes pontos com armadilhas fotográficas, do modelo Bushnell Trophy Cam®.

As armadilhas fotográficas foram instaladas em habitats distintos, como matas de galeria, mata ciliar, savanas secas e alagadas, florestas decíduas e semidecíduas. Todas as unidades foram programadas para operar continuamente durante 24 horas/dia com intervalo de cinco segundos entre os registros de foto e vídeo (15-20 segundos de duração), e foram checadas mensalmente para a troca de baterias e download dos registros de fotos e vídeos.

O esforço amostral foi determinado multiplicando o número de armadilhas fotográficas pelo número de dias amostrados (1 dia=24 h) Srbek-Araujo e Chiarello (2005). Para garantir a independência amostral foi considerado um intervalo de 1 hora entre diferentes registros da mesma espécie, a menos que indivíduos pudessem ser identificados pelo padrão de pelagem, sexo, faixa etária ou mesmo cicatrizes Negrões et al. (2010). Os registros das armadilhas fotográficas foram identificados de acordo com o guia especializado Borges e Tomas (2004).

As listas de espécies foram geradas e o status de conservação de cada uma foi mencionado de acordo com a classificação do Ministério do Meio Ambiente, por meio da plataforma Salve (<https://salve.icmbio.gov.br/#/>) e IUCN, por meio da plataforma IUCN Red List (<https://www.iucnredlist.org/>).

Com as coordenadas geográficas e riqueza de espécies ameaçadas observada foi gerado um mapa de calor, utilizando o software livre QGis, versão 3.34.1 (QGis Development Team). Nesse método, cada uma das observações (pontos) é ponderada pela distância em relação a um valor central, o núcleo, compreendendo a análise de densidade Kernel Marques e Sobrinho (2020). Nas geotecnologias, esse é um método estatístico de estimação de curvas de densidades, utilizando pontos contados, e que permite a visualização dos dados a partir da magnitude de um fenômeno por meio de cor em diferentes dimensões. A variação de cor pode demonstrar a intensidade, gerando interpretações de como o fenômeno é agrupado ou varia no espaço.

#### 4. Resultados e Discussão

Foram realizadas 12 campanhas mensais de monitoramento, totalizando um esforço amostral de 5.363,26 km percorridos por via fluvial, 288,47 km de estradas, 468 horas empenhadas e 39.292 cameras/dia de esforço amostral por armadilhagem fotográfica, com 22 pontos de amostragem nas áreas protegidas da Rede Amolar.

Com isso foram obtidos 2.774 registros independentes da fauna, totalizando 164 espécies identificadas, das quais 71,3% correspondem às aves, 18,2% aos mamíferos e o restante (10,5%) à herpetofauna (répteis e anfíbios). De fato, o último grupo é o mais difícil de ser monitorado com metodologias baseadas somente nas visualizações e vocalizações, devido aos hábitos majoritariamente noturnos de grande parte das espécies. Dentre as aves, destacamos que 25 delas são migratórias na Rede Amolar. Pouco se conhece a respeito das espécies que utilizam a planície do Pantanal como sítio de invernada durante seus deslocamentos migratórios, quer sejam migrantes em larga escala ou regionais Nunes e Tomas, (2004), e por isso a continuidade do monitoramento é tão importante. Com relação aos mamíferos, foram registradas 93% das espécies de médios e grandes mamíferos que ocorrem nas áreas Porfirio et al. (2014).

Dentre as 30 espécies de mamíferos identificadas, 11 são ameaçadas em algum nível segundo a IUCN e MMA (Salve ICMBio). Dentre as 117 espécies de aves, três são ameaçadas de extinção, e das 17 espécies da herpetofauna (anfíbios e répteis) nenhuma delas encontra-se ameaçada.

Portanto, no total foram detectadas 14 espécies da fauna sob algum grau de ameaça de extinção, segundo a classificação do MMA (Salve ICMBio) e da IUCN (**Tabela 1**). Aproximadamente 80% desse total corresponde a espécies de mamíferos. Dentre as espécies de mamíferos ameaçadas, chamamos a atenção para a ariranha (*Pteronura brasiliensis*), a onça-pintada (*Panthera onca*) e o tatu-canastra (*Priodontes maximus*), e dentre as aves, o mutum (*Crax fasciolata*). Dentre as espécies raras no Pantanal destacamos o gato mourisco (*Herpailurus yagouaroundi*), a tiriba-de-cara-suja (*Pyrrhura molinae*), e o macaco zogue-zogue (*Plecturocebus pallescens*), de distribuição restrita à borda oeste do Pantanal, cuja taxonomia encontra-se sob análise de especialistas Tomas et al. (2022). Com exceção dessa revisão

**Tabela 1.** Espécies da fauna ameaçadas de extinção detectadas na Rede Amolar em 2023, Pantanal, MS, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN).

Espécie	Nome comum	MMA	IUCN
<i>Urubitinga coronata</i> (Vieillot, 1817)	Águia-cinzenta	EN	LC
<i>Crax fasciolata</i> Spix, 1825	Mutum	CR	VU
<i>Pyrrhura molinae</i> Massena & Souancé, 1854	Tiriba-da-cara-suja	VU	LC
<i>Tayassu pecari</i> (Link, 1795)	Queixada	VU	VU
<i>Herpailurus yagouaroundi</i> (É. Geoffroy, 1803)	Gato-mourisco	VU	LC
<i>Panthera onca</i> (Linnaeus, 1758)	Onça-pintada	VU	NT
<i>Pteronura brasiliensis</i> (Gmelin, 1788)	Ariranha	VU	EN
<i>Tapirus terrestris</i> Linnaeus, 1758	Anta	VU	VU
<i>Sapajus cay</i> (Illiger, 1815)	Macaco-prego	VU	VU
<i>Mico melanura</i> (É. Geoffroy, 1812)	Mico	LC	NT
<i>Alouatta caraya</i> (Humboldt, 1812)	Bugio	NT	NT
<i>Priodontes maximus</i> (Kerr, 1792)	Tatu-canastra	VU	VU
<i>Myrmecophaga tridactyla</i> Linnaeus, 1758	Tamanduá-bandeira	VU	VU
<i>Sylvilagus brasiliensis</i> (Linnaeus, 1758)	Tapeti	DD	EN

CR: Criticamente em Perigo; DD: Dados deficientes; VU: Vulnerável; EN: Endangered; NT: Near Threatened

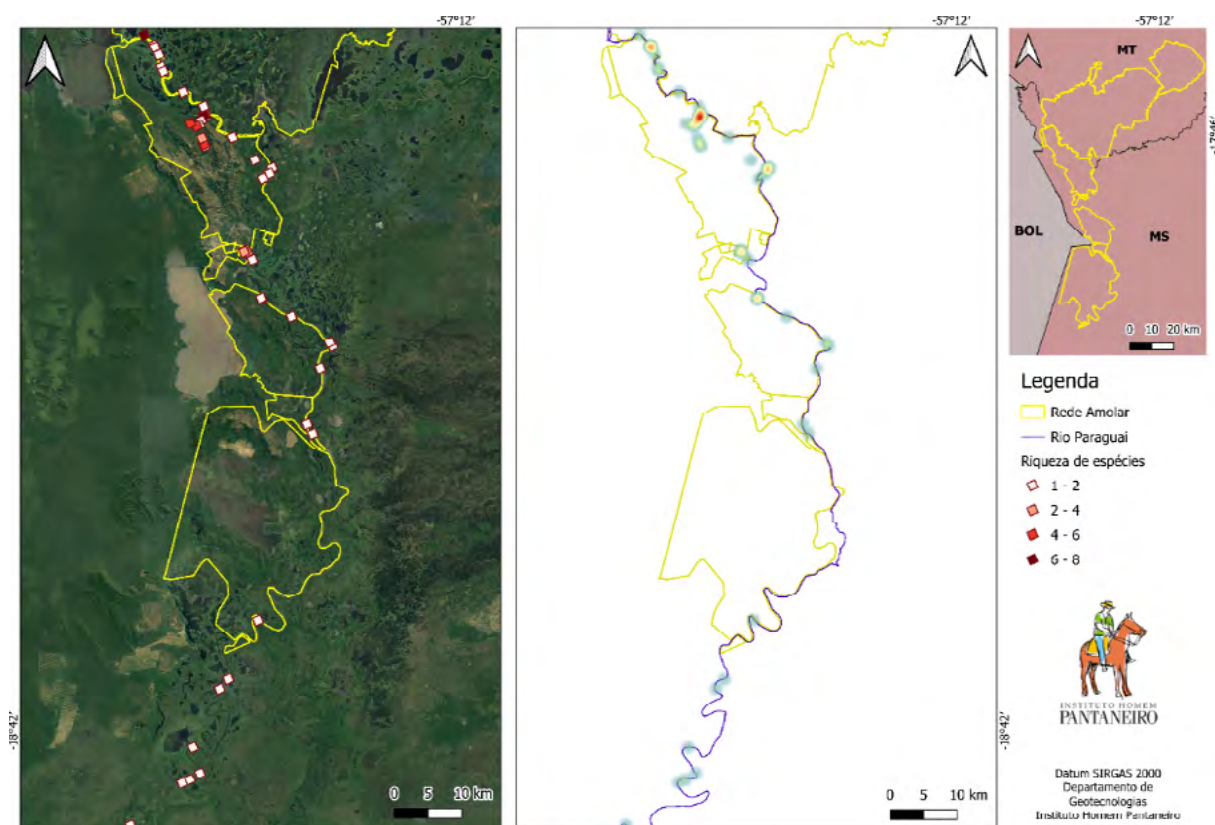
taxonômica, todas as espécies identificadas já foram previamente registradas pela ciência para a área de estudo.

O mapa de calor ou “mapa de Kernel” demonstrou que a maior riqueza de espécies ameaçadas nas áreas protegidas (**Figura 2**). Nesse sentido, evidenciamos o papel relevante das áreas protegidas da Rede Amolar para manutenção do patrimônio genético e conservação da biodiversidade, principalmente face às mudanças do clima e os grandes incêndios que têm o potencial de afetar significativamente as espécies da fauna na região, sobretudo as ameaçadas de extinção Bardales et al. (2024).

Dentre as ferramentas de geoestatística existentes, destacamos que este tipo de mapa é uma alternativa para análise geográfica do comportamento de padrões. Por meio do método de interpolação, a intensidade pontual de determinado fenômeno em toda a região de estudo permite uma visão geral da intensidade do processo Marque e Sobrinho (2020). Análises como essa, possibilitam a tomada de decisões relacionadas à conservação de maneira mais eficiente e assertiva.

Por fim, a biodiversidade evidenciada no presente estudo também representa um grande atrativo, que somado às belezas cênicas da Serra do Amolar, potencializam o programa de ecoturismo desenvolvido pela organização e elencado como uma das principais estratégias de sustentabilidade institucional. Ainda, destaca-se a oportunidade que a biodiversidade representa dentro da iniciativa REDD+ (mecanismo que objetiva evitar as emissões de gases de efeito estufa associadas ao desmatamento de florestas, permitindo a remuneração daqueles que mantém as florestas em pé), e dentro do mercado de biocréditos (proposta de financiamentos para proteger a biodiversidade).





**Figura 2.** Mapa de calor das espécies ameaçadas na região da Rede Amolar em 2023, demonstrando os trajetos monitorados ao longo do Rio Paraguai, Município de Corumbá, MS. O Mapa 1 aponta a riqueza de espécies por ponto de amostragem e o mapa 2 com a análise de Kernel.

## 5. Conclusões

A utilização de geotecnologias otimiza esforços e possibilita uma análise espacial em larga escala dos dados coletados, possibilitando a tomada de decisões mais assertivas no que se refere à conservação da biodiversidade, em especial as espécies da fauna ameaçadas de extinção.

## 6. Agradecimentos

Agradecemos a BrazilFoundation pelo financiamento a esse estudo, por meio do Fundo do Meio Ambiente & Mudanças Climáticas, Chamada de 2023. A Wilson Malheiros e a Brigada Alto Pantanal pelo apoio às ações do Monitoramento Ambiental da Rede Amolar.

## 7. Referências

- Bardales, R. et al. Neotropical mammal responses to megafires in the Brazilian Pantanal. *Global Change Biology*, v. 30, n. 4, p. e17278, 2024.
- Borges, P. A. L. Tomas, W. M. **Guia de rastros e outros vestígios de mamíferos do Pantanal**. Embrapa Pantanal, 2004. 148 p.
- Marques, R. J. Sobrinho, W. F. R. C. Detecção das ocorrências de focos de queimadas e produção de mapas de calor em Timon, MA. *Revista Geonorte*, v. 11, n. 37, p. 210-228, 2020.
- Ministério do Meio Ambiente. **Áreas prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade**. 2ª Atualização. Série Biodiversidade 56, 2023. 404 p.

Negrões, N. Sarmiento, P. Cruz, J.; Eira, C.; Revilla, E. Fonseca, C. Sollmann, R. Torres, N. M. Furtado, M. M.; Jácomo, A. T. A.; Silveira, L. (2010). Use of camera-trapping to estimate puma density and influencing factors in central Brazil. **The Journal of Wildlife Management**, v. 74, n. 6, p. 1195-1203, 2010.

Porfirio, G. et al. Medium to large size mammals of southern Serra do Amolar, Mato Grosso do Sul, Brazilian Pantanal. *Check List*, p. 473-482, 2014.

Srbek-Araujo, A. C.; Chiarello, A. G. Is camera-trapping an efficient method for surveying mammals in Neotropical forests? A case study in south-eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 21, n. 1, p. 121-125, 2005.

Tomas, W. M. et al. Primatas ocorrentes na Bacia do Alto Paraguai e Pantanal, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 17, n. 3, p. 701-724, 2022.

## **Uso de geotecnologias para mapeamento de comunidades tradicionais no Pantanal do Paraguai**

Wanessa Rodrigues  
Jessyka Karolaine da Fonseca Alvares  
Vinicius Lacerda da Silva Oliveira  
Rayssa Aparecida Pinheiro Noveli  
Grasiela Edith de Oliveira Porfirio Petry

Instituto Homem Pantaneiro - IHP  
Ladeira José Bonifácio, 171  
79304-010 - Corumbá - MS, Brasil  
{setorcultural, jessyka, vinicius, rayssa, grasiela}@institutohomempantaneiro.org.br

**Resumo.** A Rede Amolar compreende um mosaico de áreas protegidas e privadas localizadas na borda oeste do Pantanal, em Mato Grosso do Sul, gerida pelo Instituto Homem Pantaneiro, e que abrange aproximadamente 300 mil hectares. O objetivo deste estudo é abordar a utilização de geotecnologias para a identificação e mapeamento das comunidades tradicionais localizadas no Alto Pantanal. A construção do mapa social das comunidades da região do Alto Pantanal foi realizada em duas etapas: a primeira etapa, que envolveu a coleta de dados no campo por meio do questionário, ocorreu de outubro de 2022 a julho de 2023, e a segunda etapa envolveu a utilização de aplicativos fornecidos pela empresa Agrottools para a geração dos mapas interativos. Com esse estudo foi possível identificar 211 pessoas, compondo 58 famílias, mapeadas em quatro comunidades ribeirinhas no entorno das áreas que compõem a Rede Amolar, no Alto Pantanal. Concluímos que as geotecnologias contribuíram para um melhor entendimento espacial das famílias que compõem essas comunidades tradicionais. A criação de um banco de dados espacial pode servir como um modelo para outras regiões e contribuir para o desenvolvimento sustentável e inclusivo, por meio da formulação e implementação de políticas públicas.

**Palavras-chave:** conservação, dados sociais, Pantanal, políticas públicas.

**Abstract.** The Amolar Network comprises a mosaic of protected and private areas located on the western edge of the Pantanal, in Mato Grosso do Sul, managed by the Instituto Homem Pantaneiro, and covering approximately 300 thousand hectares. The objective of this study is to address the use of geotechnologies to identify and map traditional communities located in the Upper Pantanal. The construction of the social map of the communities in the Upper Pantanal region was carried out in two stages: the first stage, which involved data collection in the field through the questionnaire, took place from October 2022 to July 2023, and the second stage involved the use of applications provided by the company Agrottools to generate interactive maps. With this study, it was possible to identify 211 people, making up 58 families, mapped in four riverside communities surrounding the areas that make up the Amolar Network, in the Upper Pantanal. We conclude that geotechnologies contributed to a better spatial understanding of the families that make up these traditional communities. The creation of a spatial database can serve as a model for other regions and contribute to sustainable and inclusive development through the formulation and implementation of public policies.

**Key-words:** conservation, social data, Pantanal, public policies.

## 1. Introdução

O Pantanal, reconhecido como uma das maiores e mais diversas áreas úmidas do planeta, possui um ecossistema complexo que abriga uma rica biodiversidade e comunidades humanas que dependem diretamente dos recursos naturais para sua subsistência. Essas comunidades, destacam-se pelo papel crucial na manutenção da sustentabilidade ambiental e cultural da região. No entanto, a falta de dados precisos e atualizados sobre a localização e a condição das mesmas representa um desafio significativo para a conservação e o desenvolvimento sustentável Junk et al. (2006).

As tecnologias ambientais, que incluem o uso de satélites e drones, uso de aplicativos de mapeamento e localização emergiram como uma ferramenta poderosa para o mapeamento de áreas difíceis de acessar, como o Pantanal. Essas tecnologias permitem a obtenção de imagens e dados essenciais para identificação e implementação de diálogos com as comunidades ribeirinhas, bem como para avaliar as mudanças no uso do solo e nas condições ambientais ao longo do tempo Ponzoni e Shimabukuro (2010). O uso de ferramentas, como o sensoriamento remoto não só proporciona uma visão ampla e detalhada da paisagem, mas também possibilita a coleta contínua de dados, o que é fundamental para a análise temporal e atualização dos dados.

O Instituto Homem Pantaneiro (IHP), através do programa interno denominado Rede Amolar, realiza a gestão de um mosaico de áreas protegidas e privadas na borda oeste do Pantanal, em Mato Grosso do Sul, totalizando aproximadamente 300 mil hectares. As áreas circundantes dessas áreas são habitadas por comunidades ribeirinhas que dependem diretamente dos recursos naturais para sua subsistência. Reconhecendo a importância dessas comunidades, torna-se essencial integrá-las em projetos de desenvolvimento sustentável. A escassez de registros e trabalhos científicos sobre essas comunidades no Pantanal foi identificada através de um levantamento bibliográfico, destacando a necessidade de um estudo aprofundado e a criação de um mapa social para a incorporação dessas comunidades em futuros projetos e operações.

## 2. Objetivo

Abordar a utilização das ferramentas de geotecnologia para a identificação e mapeamento das comunidades tradicionais localizadas no Alto Pantanal, a fim de desenvolver um banco de dados espacial que integre os dados geográficos e as informações culturais, facilitando a visualização e análise espacial das comunidades próximas a região da Rede Amolar.

## 3. Material e Métodos

O estudo foi iniciado em outubro de 2022 e abrangeu as comunidades ribeirinhas tradicionais

localizadas na região do Alto Pantanal, entorno da Serra do Amolar. A identificação e caracterização das comunidades foi realizada através da aplicação de um questionário, que envolveu quatro comunidades: Paraguai-Mirim, Amolar, Aterro do Binega e Barra do São Lourenço (Figura 1).

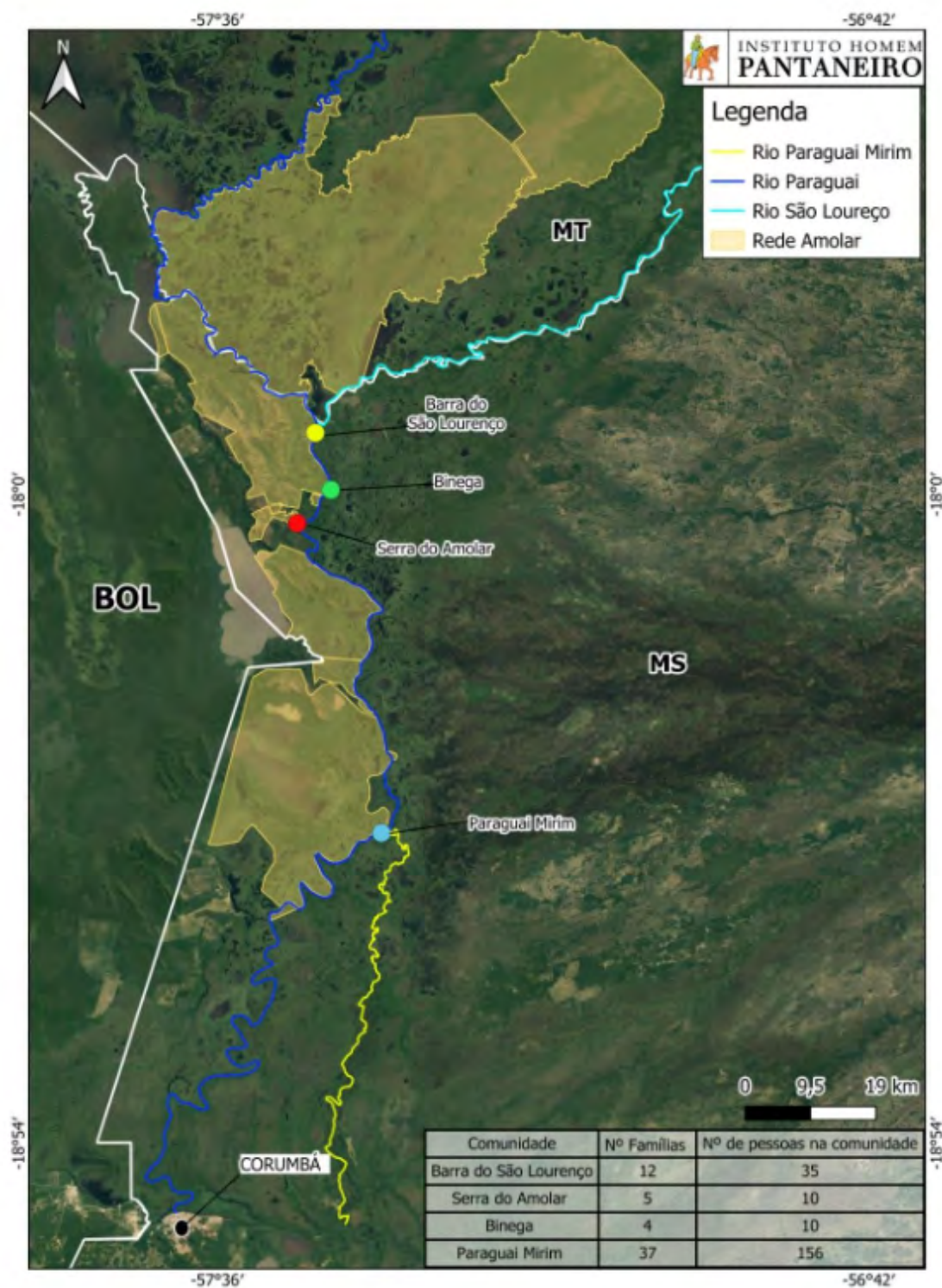


Figura 1. Mapa de localização das comunidades mapeadas.

A pesquisa adotou um caráter qualitativo-quantitativo e os locais mencionados são acessíveis apenas por via aérea ou fluvial. As distâncias fluviais das comunidades até a área urbana de Corumbá-MS são as seguintes: Paraguai-Mirim (123 km), Amolar (193 km), Aterro do Binega (198 km) e Barra do São Lourenço (205 km). A abordagem foi realizada de forma conjunta em cada unidade familiar, com entrevistas durando de 15 a 20 minutos.

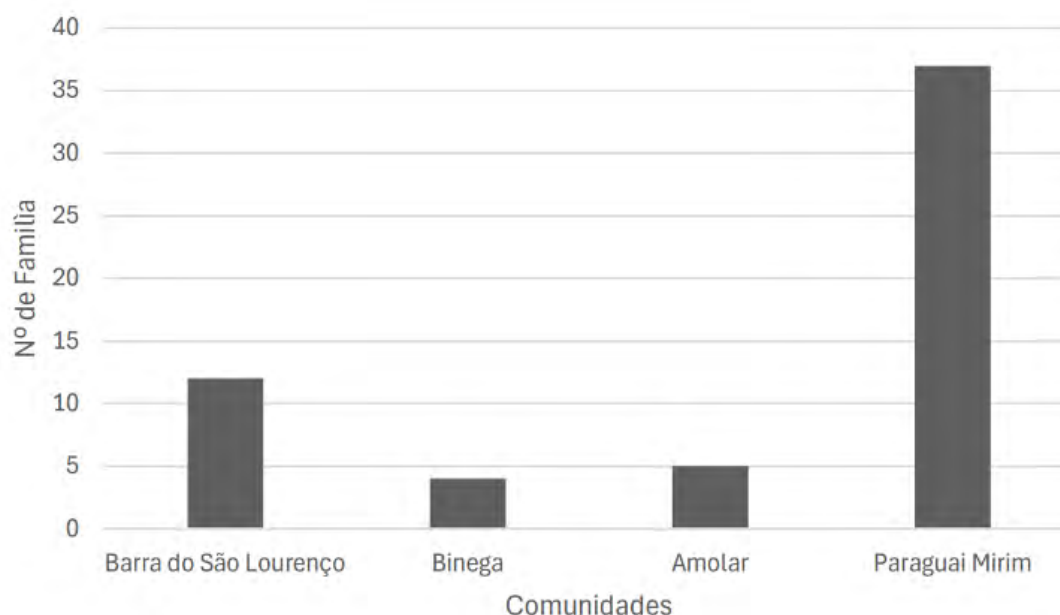
A construção do mapa social das comunidades da região do Alto Pantanal foi realizada em duas etapas: a primeira etapa, que envolveu a coleta de dados no campo por meio do questionário, ocorreu de outubro de 2022 a julho de 2023. O questionário continha 20 perguntas, dividido em cinco aspectos: identificação, aspectos socioeconômicos, aspectos socioculturais, aspectos de saúde e informações adicionais. As perguntas foram estrategicamente formuladas para gerar dados que possibilitassem a produção de um mapa detalhado das relações sociais, ocupação territorial, conflitos, perspectivas de luta e produtos que as comunidades produzem ou têm interesse em produzir (como mel, alimentos e artesanato).

A segunda etapa do trabalho foi realizada no escritório do IHP e contou com a parceria da empresa Agrottools®, que atua na área de soluções geoambientais. Por meio dos aplicativos gerenciados pela empresa foi possível produzir um mapa social interativo em um banco de dados espacial, que descreve os símbolos, relações sociais, ocupação territorial, conflitos e perspectivas de desenvolvimento das comunidades.

#### 4. Resultados e Discussão

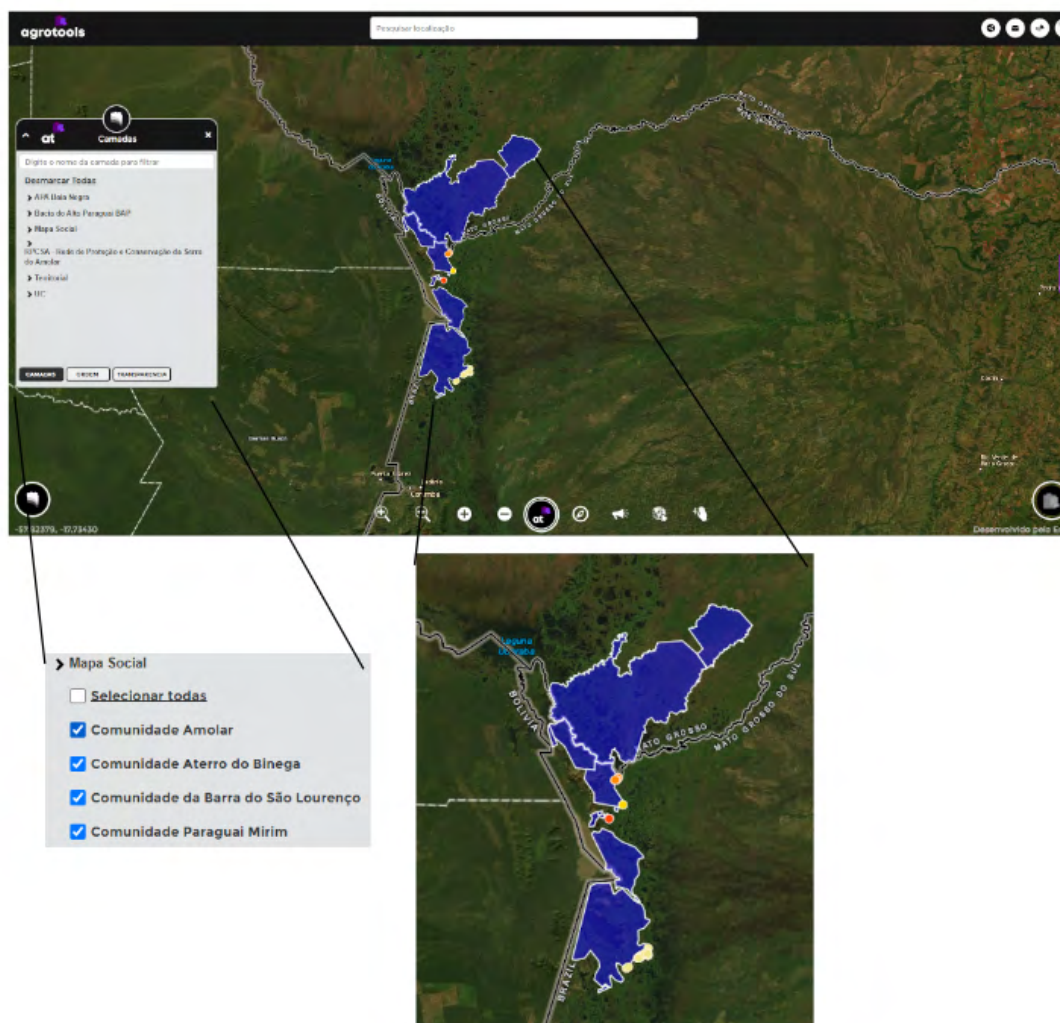
Com esforço amostral de 410 km percorridos por via fluvial pelo Rio Paraguai foram identificadas 211 pessoas compondo 58 famílias em quatro comunidades mapeadas.

Dentre as comunidades, identificou-se que Paraguai Mirim é a mais populosa, abrigando 62,06% das famílias mapeadas. Em seguida, destacam-se Barra do São Lourenço com 20,6%, Amolar com 8,6% e, por fim, Aterro do Binega, com a menor porcentagem, contabilizando 6,8% (**Figura 2**).



**Figura 2.** Distribuição do número de famílias inseridas em quatro comunidades ribeirinhas localizadas na região do Alto Pantanal, entorno da Serra do Amolar, Pantanal, MS.

O mapa social, que forma um banco de dados espacial, permitiu a visualização e análise da distribuição espacial das famílias e a localização das comunidades tradicionais (Figura 3). A espacialização das comunidades revelou que todas as quatro estão situadas nas áreas circunvizinhas às áreas protegidas, compostas por unidades de conservação e algumas propriedades rurais conhecidas como Rede de Amolar (área em azul).



**Figura 3.** Representação do mapa Social na interface do banco de dados criado na plataforma Agrottools.

De acordo com Metzger e Casatti (2006), a localização das comunidades próximas aos corredores de proteção é crucial para a preservação ambiental e a manutenção da biodiversidade local. Além disso, foi observado que a comunidade mais próxima à área urbana do município é também a mais populosa entre as mapeadas, abrigando mais de 50% das famílias. Estudos de Macedo (2008) corroboram essa observação, indicando que a proximidade com áreas urbanas tende a influenciar a densidade populacional das comunidades rurais.

Outro ponto relevante é a criação de um banco de dados contendo informações sobre as famílias ribeirinhas. No Pantanal, até a data deste estudo, não foi identificada nenhuma plataforma que reúna informações geográficas integradas a dados econômicos, sociais e de identificação das comunidades. A criação de tal plataforma representa um avanço significativo

na organização e acessibilidade dessas informações. A disponibilização de dados integrados facilitaria a formulação de políticas públicas mais eficazes e direcionadas às necessidades específicas das populações ribeirinhas.

Em uma revisão bibliográfica sobre o tema, utilizando palavras-chave na plataforma Scopus®, constatou-se que a temática ainda é pouco explorada. A falta de estudos abrangentes sobre as comunidades ribeirinhas no Pantanal evidencia uma lacuna significativa na literatura acadêmica. Além disso, não há disponibilidade acessível e online de informações espaciais sobre essas comunidades.

Este cenário, destaca a necessidade urgente de mais estudos e investimentos na área, visando preencher essa lacuna de conhecimento público, a fim de facilitar a elaboração de políticas públicas adequadas.

## **5. Conclusões**

A construção e a implementação de uma plataforma que integre dados geográficos e socioeconômicos das comunidades ribeirinhas no Pantanal são essenciais, para termos um diagnóstico das comunidades locais no que tange às suas composições sociais, econômicas e potencialidades nelas existentes. Desta forma, conclui-se que as geotecnologias utilizadas contribuíram para um melhor entendimento dessas comunidades. A criação desse banco de dados pode servir como um modelo para outras regiões, promovendo um desenvolvimento sustentável e inclusivo.

## **6. Agradecimentos**

Esse mapeamento foi possível graças ao Termo de Parceria celebrado entre o Instituto Homem Pantaneiro e o SEBRAE MS (contrato nº 102/2022).

## **7. Referências**

- Junk, W. J., da Cunha, C. N., Wantzen, K. M., Petermann, P., Strüssmann, C., Marques, M. I., & Adis, J. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Aquatic Sciences*, 68(3), 278-309. (2006).
- Ponzoni, Flávio Jorge; Shimabukuro, Yosio Edemir. *Sensoriamento remoto no estudo da vegetação*. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2010.
- Metzger, Jean Paul; Casatti, Lilian. O papel dos corredores de biodiversidade na conservação da fauna e flora. In: Rocha, C. F. D.; Bergallo, H. G.; Van Sluys, M.; Alves, M. A. S. (Orgs.). *Biologia da conservação: essências*. São Carlos: Rima, 2006. p. 135-149.
- Macedo, José Rogério. *Influência das áreas urbanas na densidade populacional das comunidades rurais: um estudo de caso*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2008. (Dissertação de Mestrado).



## Projeções de mudanças climáticas para o Pantanal - uma análise dos cenários do CMIP6

Vânia Rosa Pereira  
Daniel de Castro Victoria  
Aryeverton Fortes de Oliveira  
Santiago Vianna Cuadra  
José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro  
Rafael Galib  
Arthur Welle

Embrapa Agricultura Digital - CNPTIA  
Av. André Tosello, 209 - Caixa Postal 6041  
13083-886 - Campinas - SP, Brasil  
{vania.pereira, rafael.galib, arthur.welle}@colaborador.embrapa.br  
{daniel.victoria, ary.fortes, santiago.cuadra, eduardo.monteiro}@embrapa.br

**Resumo.** Alterações das médias e da variabilidade climática na temperatura do ar e, conseqüentemente, da evapotranspiração e da precipitação afetam o balanço hídrico dos ecossistemas agrícolas e naturais. A avaliação do balanço hídrico, em diferentes cenários de emissão de gases de efeito estufa, mais especificamente do déficit hídrico, está relacionada ao potencial de risco de fogo e às quedas na produção agrícola. Dada a dimensão de impactos e riscos nas áreas antrópicas e naturais, é essencial que as projeções sejam avaliadas para tomada de decisão tanto em relação ao manejo agrícola quanto à prevenção de incêndios florestais. Os cenários de mudanças climáticas do CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6), principal conjunto internacional de projeções dos impactos das mudanças climáticas, indicam alterações significativas nos componentes do balanço hídrico, em especial do déficit hídrico. Especificamente para a região do Pantanal brasileiro, os cenários projetam o clima mais seco na primavera, o que pode favorecer, ainda mais, incêndios de grandes proporções e perdas significativas na produção agrícola regional. Conseqüentemente, faz-se necessário avaliar os impactos de maneira mais detalhada e propor alternativas de adaptação para as projeções futuras do clima no Pantanal.

**Palavras-chave:** Balanço Hídrico, mudanças climáticas, CMIP6, Pantanal.

**Abstract:** Increases in air temperature and variability in precipitation affect evapotranspiration and, consequently, the water balance. Evaluating the water balance under different greenhouse gas emission scenarios, specifically the water deficit, is related to the potential risk of fire and declines in agricultural production. Given the extent of impacts and risks in both anthropogenic and natural areas, it is essential that projections be assessed for decision-making regarding both agricultural management and forest fire prevention. CMIP6 climate change scenarios indicate significant changes in water balance components, particularly in water deficit. The scenarios suggest a drier climate in spring, which may further favor large-scale fires and significant losses in regional agricultural production. Research indicates that progress is needed in creating impact indicators and adaptation scenarios for regional conditions in the Pantanal.

**Key-words:** water balance, climate change, CMIP6, Pantanal.

## 1. Introdução

Desastres e perdas significativas têm sido associados com mudanças nos padrões climáticos decorrentes do aquecimento do planeta. Em 2020, incêndios florestais severos afetaram o Pantanal, queimando, inclusive, áreas onde incêndios de grandes proporções são raros. A extensão da área queimada no Pantanal em 2020 foi excepcionalmente maior que as queimadas dos anos anteriores Silva et al., (2024). O ano de 2020 foi atípico devido a condições meteorológicas extremas, como uma seca prolongada e ondas de calor, agravadas por mudanças climáticas que têm aumentado as temperaturas e diminuído a umidade e a precipitação ao longo das últimas quatro décadas. Em 2020, a gravidade dos incêndios foi atribuída a diversos fatores tais como a seca severa, localização em áreas críticas, limitações dos bombeiros e falta de estratégias e políticas públicas de prevenção contra queimadas.

Em 2024, a área queimada alcançou 627 mil ha, ultrapassando 2020 para o mesmo período, 258 mil ha Libonati et al., (2024). O clima excepcionalmente quente e seco do ano de 2024 criou condições altamente inflamáveis mais cedo do que o habitual Libonati et al., (2024), levando à rápida propagação de incêndios florestais. Essas condições tornaram difícil controlar os incêndios, resultando em danos generalizados. A combinação de altas temperaturas, baixa umidade e ventos fortes intensificou a situação, tornando os esforços de combate ao fogo mais desafiadores. Essa tendência de aumento de queimadas a cada estação seca gera um cenário de insegurança e uma evidente demanda para revisar a efetividade da capacidade de resposta a tais eventos extremos.

Desde 2019, o Pantanal tem enfrentado uma seca prolongada que resultou em desastres para a região. Nos verões de 2019 e 2020, o fluxo de umidade oriundo da Amazônia reduziu consideravelmente e favoreceu os incêndios de grandes proporções que devastaram centenas de milhares de hectares. A navegação do Rio Paraguai ficou comprometida e o transporte de soja e minerais foi afetado. A combinação deste episódio com altas temperaturas, gerou impactos em cascata que se estenderam, também, para outros países vizinhos, como Bolívia, Paraguai e Argentina. O Pantanal vem sofrendo com incêndios que se configuram como sem precedentes, ano após ano e que estão causando destruição em larga escala. O ecossistema, a saúde e a economia foram seriamente impactados. A combinação de seca extrema às altas temperaturas aumentam o déficit hídrico, especialmente durante a primavera e o verão. Os atrasos na estação chuvosa afetam o funcionamento das zonas úmidas e a sobrevivência das populações biológicas.

O impacto econômico do fogo no estado do Mato Grosso do Sul foi estimado em US\$10.000,00 por quilômetro quadrado queimado e se estendeu para outros estados brasileiros, como Paraná e São Paulo Scur et al., (2024). No total, foi estimado impacto monetário significativo de até 200 milhões de dólares, com estimativas consideradas subestimadas Scur et al., (2024).

Também podem ser contabilizados impactos na saúde das populações locais e até de

regiões mais distantes. O transporte de fumaça dos incêndios, resultantes da combinação de episódios de secas mais ondas de calor, elevaram os níveis de poluição atmosférica na área mais populosa da América do Sul, superando em 600% as diretrizes da OMS Santos, (2024). Essa poluição, combinada com ondas de calor, aumentou os riscos à saúde, resultando em 2.150 mortes prematuras, um aumento de 21% sobre os níveis esperados Santos, (2024).

As ondas de calor durante a estação seca explicam 82% da variabilidade interanual da área queimada Silva et al., (2022) e os cenários de mudanças climáticas indicam aumento nos episódios de ondas de calor.

Mudanças no uso das terras em larga escala na Amazônia e no Cerrado têm contribuído para a redução das chuvas no Pantanal Bergier et al., (2018); Marques et al., (2021). As mudanças climáticas estão criando condições cada vez mais favoráveis para a ocorrência de incêndios de grandes proporções no Pantanal, uma vez que aumentos na temperatura do ar e aumento na variabilidade da precipitação afetam a evapotranspiração e, conseqüentemente, o balanço hídrico. A avaliação do balanço hídrico em diferentes cenários de emissão, mais especificamente do déficit hídrico, está relacionado ao potencial de risco de fogo e às quedas na produção agrícola, especialmente em cultivos de ciclo curto. Dada a dimensão de impactos e riscos nas áreas antrópicas e naturais, é essencial que as projeções sejam avaliadas para tomada de decisão tanto em relação ao manejo agrícola quanto à prevenção de incêndios florestais.

## 2. Objetivo

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos das projeções das mudanças climáticas no balanço hídrico sequencial, no bioma Pantanal brasileiro, considerando o novo conjunto de cenários de emissões impulsionados por diferentes premissas socioeconômicas, os SSPs (*Shared Socio-Economic Pathways* - Trajetórias Socioeconômicas Compartilhadas), associados com cenários de concentração de gases na atmosfera, do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) utilizados no sexto relatório (AR6).

## 3. Material e método

### 3.1 Área de estudo

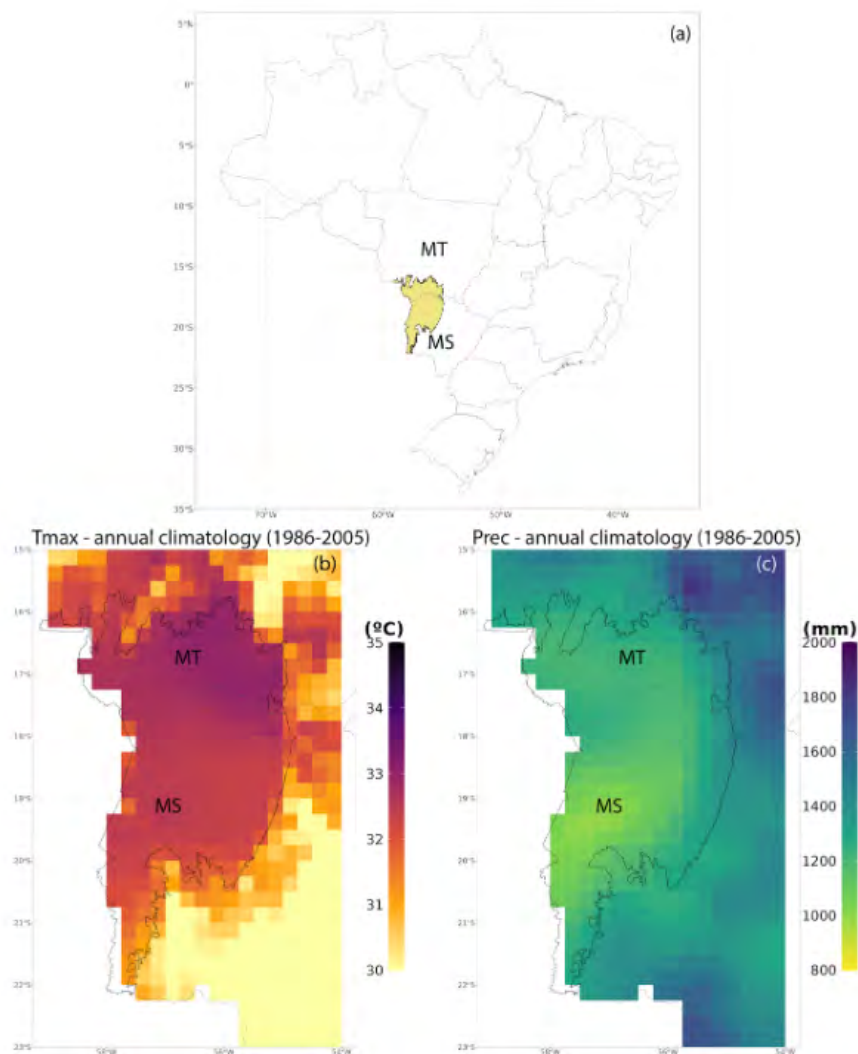
O Pantanal (**Figura 1**), localizado na Bacia do Alto Rio Paraguai, tem uma precipitação anual média de 1.400 mm, com chuvas que concentram-se entre dezembro e fevereiro e um período seco entre junho e agosto.

Estudos mostram uma leve diminuição na precipitação desde 1977 Marcuzzo et al., (2020); Bergier et al., (2018), com aumento na variabilidade das chuvas e um crescimento no número de dias secos, especialmente no Pantanal norte, que agora tem 13% mais dias sem chuva do que na década de 1960 Lázaro et al., (2020).

As inundações sazonais submergem até 70% da planície alagável por 4 a 8 meses, e mudanças nesses pulsos de inundação associadas a aumentos nas temperaturas e diminuição da umidade e da precipitação têm impactos no funcionamento desse ecossistema, afetando de forma intensa a biodiversidade e as atividades humanas.

### 3.2 Base de dados do CMIP6

Utilizamos os modelos climáticos globais (MCGs) com disponibilidade de dados na escala diária, para as variáveis de precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima, disponíveis no portal da Amazon Web Service (AWS). A base de dados bruta foi filtrada e selecionamos para pós-processamento os MCGs que tinham coerência de variáveis, variantes e cenários (SSPs).



**Figura 1.** Localização da área de estudos. A Figura 1.a Mostra o bioma do Pantanal no contexto dos estados brasileiros. A Figura 1.b Mostra a climatologia anual da temperatura máxima, para o período de 1986 a 2005. A Figura 1.c Mostra a climatologia anual de 1986-2005 para a precipitação.

Fonte: Base de dados climáticos: Xavier et al. (2022).

Base de dados de referência: Utilizamos a base de dados meteorológicos BR-DWGD Xavier et al., (2022) com resolução espacial de 10 x 10 km como referência de dados observados. A base BR-DWGD foi reamostrada para 25 km de resolução para reduzir o armazenamento e tempo de processamento das bases do CMIP6 e recortada para o intervalo de 1986 a 2005.

Utilizamos o diagrama de Taylor para selecionar os modelos com melhor performance para as três variáveis em relação às climatologias anuais e sazonais. Trata-se de um resumo estatístico conciso, em formato de estrutura gráfica, para avaliar quão bem os padrões climáticos coincidem Taylor (2001). O resumo considera três critérios de avaliação de desempenho, i.e., via correlação linear, sua diferença quadrática média e a razão de suas variâncias.

### 3.3 Correção de viés da base de dados do CMIP6

Os modelos climáticos globais são considerados elementos centrais para estudos de mudanças

climáticas Eyring et al., (2016). Porém, para sua utilização, é necessário um pós-processamento para reduzir os erros sistemáticos embutidos e, também, melhorar a sua baixa resolução espacial. Para disponibilizar uma base de dados para os estudos de impactos de mudanças climáticas livre de erros sistemáticos em relação à base de dados observados, utilizamos o método de downscaling estatístico Empirical Quantile Map (EQM), considerado na literatura um método simples, robusto e amplamente utilizado para tal finalidade Enayati et al., (2021), Themeßl et al., (2011), Lafon et al., (2013). O EQM consiste em um método que utiliza a Função de Distribuição Acumulada (CDF) de dados climáticos observados e simulados para produzir uma função de correção de viés.

### **3.4 Abordagem GWL Boyles et al., (2024)**

Buscamos subsidiar avaliações de impacto relacionadas ao desenvolvimento sustentável e ao desenvolvimento resiliente ao clima. Sendo assim, utilizamos a abordagem de avaliar os impactos em relação à exposição, vulnerabilidade e adaptação, conforme os relatórios do IPCC. Existem muitos caminhos de níveis de emissões e cenários socioeconômicos que são consistentes com um determinado resultado de aquecimento global. Isso representa uma ampla gama de possibilidades que afetam a exposição e vulnerabilidade às mudanças climáticas futuras WGII -AR6, (2022). De acordo com o IPCC, há 50% de probabilidade ou mais de que o aquecimento global alcance ou exceda 1,5°C no curto prazo, mesmo nos cenário de emissões de gases de efeito estufa muito baixas. O Acordo de Paris tem como objetivo manter o aquecimento global bem abaixo de 2,0 °C e idealmente abaixo de 1,5 °C em comparação com os níveis pré-industriais de 1850 a 1900 UNFCCC (2015), Seneviratne et al (2018), Meinshausen et al (2022). Com um aquecimento global superior a 1,5 °C, há maior chance de atingir pontos de não retorno no clima. Assim, utilizamos a abordagem de níveis comuns de aquecimento médio global (Global Warming Levels - GWL) relativos a 1850-1900 (período pré-industrial). Utilizamos os GWLs de 1,5oC, 2,0oC e 3,0oC. Os períodos de tempo representativos de cada GWL, para cada modelo e cenário se baseou nos trabalhos do Atlas do IPCC.

### **3.5 Balanço Hídrico**

O balanço hídrico sequencial foi calculado na escala mensal, com o método do Thornthwaite & Matter (1955), seguindo a simplificação proposta por Pereira (2005). A evapotranspiração potencial foi calculada pelo método de Hargreaves & Samani, ajustado para uso do ZARC (Monteiro et al., 2018).

### **3.6 Impacto das mudanças climáticas**

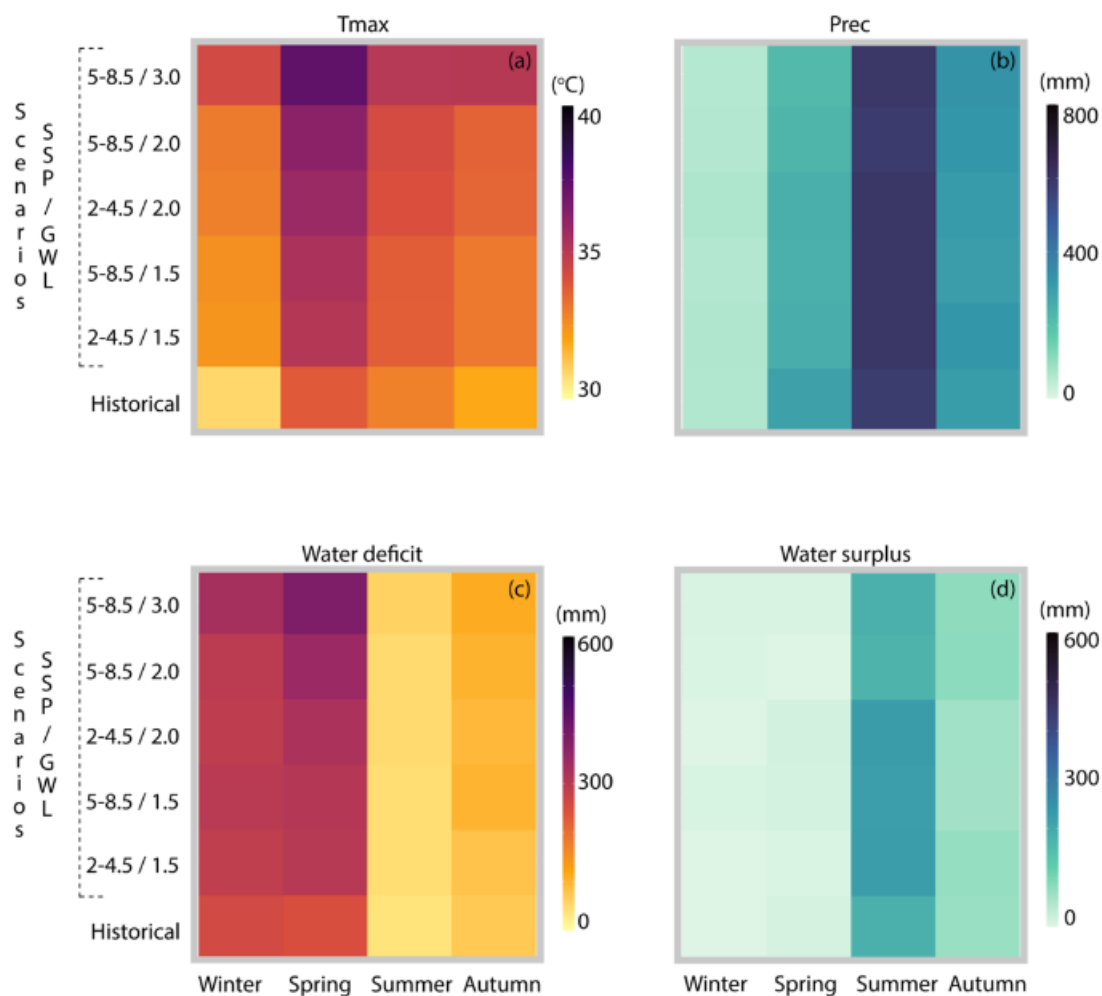
Avaliamos as climatologias do déficit e excedente hídrico para todos os modelos e cenários selecionados. Para reduzir a dimensão dos cenários, calculamos o *ensemble* dos resultados do balanço hídrico dos modelos climáticos a partir da mediana.

## **4. Resultados e Discussão**

Os modelos MRI-ESM2-0, NorESM2-MM, GFDL-ESM4, MPI-ESM1-2-HR, INM-CM5-0 e MIROC6 foram os que obtiveram as melhores performances para representar o clima no Brasil e, sendo assim, passaram pelo processo de correção de viés (EQM). Na sequência, os dados diários correspondentes aos períodos de tempo de cada GWL foram selecionados e utilizados como entrada no balanço hídrico sequencial. Por fim, um *ensemble* baseado na mediana dos 6 modelos foi realizado para cada combinação de cenário de emissão (SSP) e nível de aquecimento (GWL) resultando em 5 combinações: 1) SSP 2-4.5 - GWL 1,5; 2) SSP 2-4.5 - GWL 2,0; 3) SSP

5-8.5 - GWL 1,5; 4) SSP 5-8.5 - GWL 2,0; 5) SSP 5-8.5 - GWL 3,0.

A **Figura 2** apresenta os resultados das análises dos componentes do balanço hídrico para o Pantanal: temperatura máxima (**Figura 2a**), precipitação (**Figura 2b**) e déficit hídrico (**Figura 2c**) e excedente hídrico (**Figura 2d**), para o histórico e para os cenários de mudanças climáticas (SSP 2-4.5 e SSP 5-8.5) combinados com os GWLs (1,5 oC, 2,0 oC, e 3,0 oC). Os resultados estão apresentados para cada estação do ano, i. e. inverno (JJA), primavera (SON), verão (DJF) e outono (MAM).



**Figura 2.** Resultados da mediana dos componentes do balanço hídrico para o Pantanal. A Figura 2.a apresenta a temperatura máxima, a Figura 2b a precipitação, a Figura 2c o déficit hídrico e a Figura 2.d o excedente hídrico. Os resultados estão organizados conforme a combinação de cenários e GWLs, para o Pantanal, para cada estação do ano.

A **Figura 2a** indica aumento da temperatura máxima, em todas as estações do ano, quando compara-se histórico versus os cenários avaliados. A primavera indicou a mudança mais intensa de temperatura máxima para o cenário ssp5-8.5-GWL 3,0 oC.

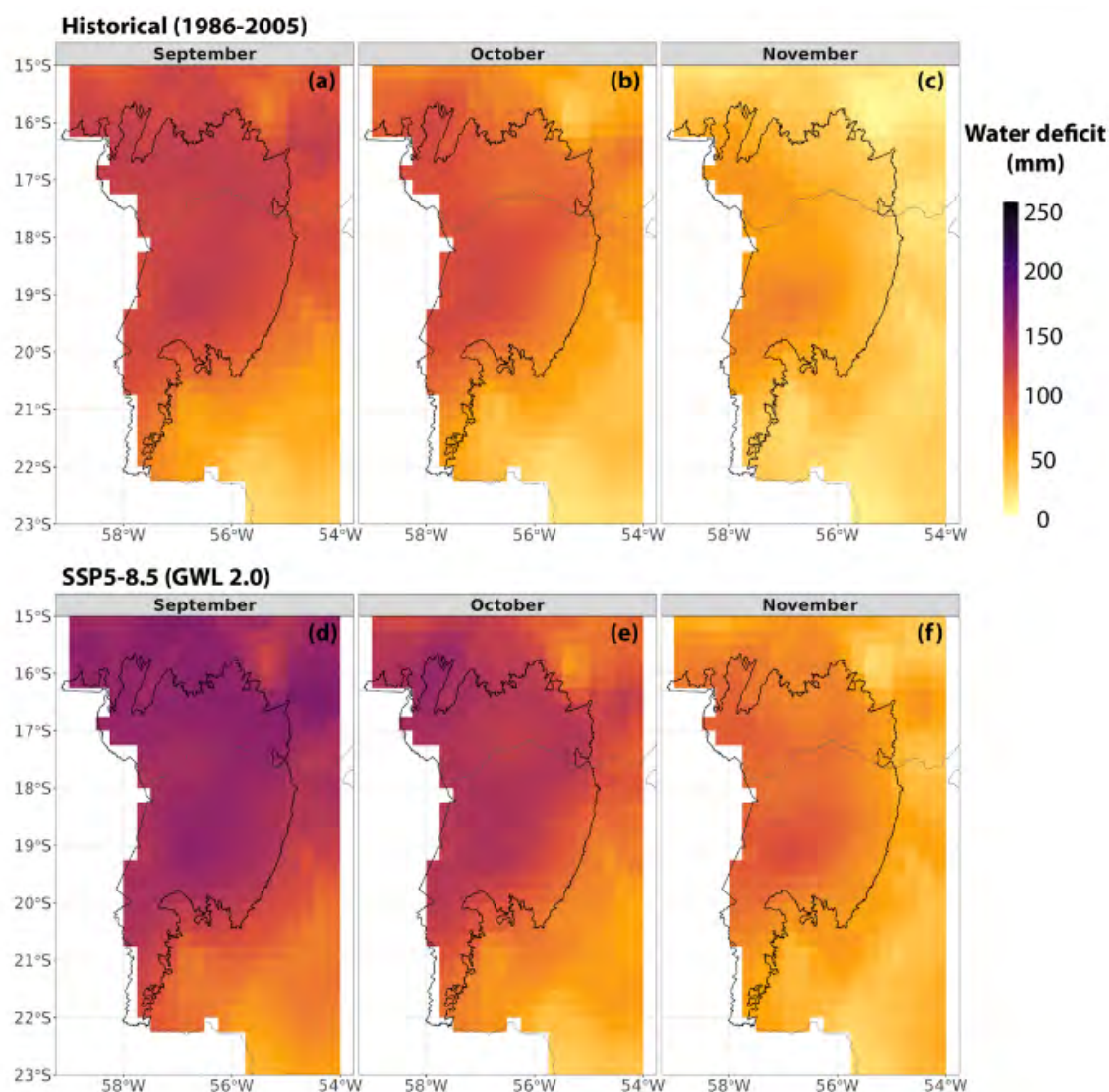
A **Figura 2b** indica redução na precipitação para as estações, porém, com sinal mais intenso na primavera e no outono.

A **Figura 2c** mostra um aumento do déficit hídrico em todas as estações do ano, com destaque para a primavera (SON). O aumento do déficit hídrico é diretamente proporcional às

emissões de gases de efeito estufa nos cenários, i. e., quanto maior a emissão e o GWL, maior será o déficit hídrico, indicando cenários mais quentes e secos para todas as estações do ano.

A **Figura 2d** mostra uma ligeira redução do excedente hídrico na primavera e no outono. O cenário de maior emissão, o SSP5-8.5 no GWL 3,0 oC indica a maior redução do excedente em relação ao período histórico.

A **Figura 3** apresenta o déficit hídrico, na escala mensal, para os meses da primavera (SON), para o histórico e para o cenário SSP5-8.5 - GWL 2,0 oC.



**Figura 3.** Déficit hídrico mensal para os meses da primavera (SON) para o histórico(1986-2005) e para o ensemble dos modelos no cenário SSP5-8.5-GWL 2,0 °C.

A **Figura 3** indica mudanças no déficit hídrico, quando compara-se histórico (1986) versus cenário (SSP5-8.5/GWL 2,0 oC). De acordo com o cenário avaliado, as mudanças mais proeminentes ocorrem no mês de setembro, com aumento de déficit hídrico em toda a extensão do Pantanal. Nas porções mais altas do bioma, os aumentos no déficit chegam a aproximadamente 100 mm/mês. Tais mudanças estão associadas à combinação de aumentos de temperatura máxima com prolongamento da estação seca.

Tais alterações estão coerentes com análise de clima presente que investigaram a ocorrência de secas, ondas de calor e seus eventos combinados no Pantanal Costa et al., (2023); Cunha et al. (2024). Costa et al. (2023) identificaram que a redução das chuvas, o aumento das temperaturas e mudanças nos padrões atmosféricos em larga escala foram os fatores climáticos chave que contribuíram para a severidade dos eventos combinados de seca e calor que ocorreram entre 2019 a 2021. O trabalho destaca o impacto severo dos eventos combinados de seca e calor no Pantanal entre 2019 e 2021, impulsionados pelas mudanças climáticas e anomalias climáticas. Cunha et al. (2024) examinaram o aumento da ocorrência e intensidade de eventos simultâneos de seca e ondas de calor no Pantanal, utilizando dados de sensoriamento remoto e vários indicadores de seca. Cunha et al. (2024) identificaram uma crescente frequência de eventos combinados de seca e calor no Pantanal, impulsionada pelas mudanças climáticas. Os resultados enfatizam o papel das mudanças climáticas na intensificação desses eventos combinados, sugerindo que cenários futuros podem trazer eventos de seca-calor ainda mais frequentes e intensos.

E, de fato, os cenários de mudanças climáticas corroboram essa situação para o Pantanal, uma vez que os modelos climáticos globais utilizados neste trabalho e, também, os utilizados por Silva et al. (2024) com modelos climáticos regionais, projetam aumentos de eventos de secas extremas para o Pantanal.

## 5. Conclusões

Os cenários de mudanças climáticas indicam alterações significativas nos componentes do balanço hídrico, em especial no déficit hídrico, para o Pantanal brasileiro. A primavera é a estação que deverá apresentar mudanças mais significativas em relação ao clima atual. Em todos os cenários avaliados, houve aumento do déficit hídrico na primavera, ou seja, indicam clima mais quente e seco nessa época do ano. O cenário de maior emissão, o SSP5-8.5 no GWL 3,0 foi o que registrou a maior diferença em relação ao período histórico. Os resultados indicam que as maiores diferenças do balanço hídrico em relação ao histórico estão nos cenários mais tecnificados porém, menos sustentáveis, de maiores emissões.

Os resultados, com os novos cenários do IPCC, com modelos de última geração, estão coerentes com estudos prévios. Os cenários indicam que as mudanças climáticas podem interferir no balanço hídrico, alterando a demanda atmosférica, via aumentos de temperatura do ar no Pantanal, o que pode favorecer, ainda mais, incêndios de grandes proporções e perdas significativas na biodiversidade e na produção agrícola regional. A pesquisa indica que se deve evoluir na criação de indicadores de impactos e cenários de adaptação para as condições regionais do Pantanal, pois há sinais de elevação de riscos e esforços de mitigação dos mesmos devem ser envidados.

## 6. Referências

- Bergier, I., Assine, M. L., McGlue, M. M., Alho, C. J. R., Silva, A., Guerreiro, R. L., et al. (2018). Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. **Sci. Total Environ.** 619, 1116–1125. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.163
- Boyles, R., Nikiel, C.A., Miller, B.W., Littell, J., Terando, A.J., Rangwala, I., Alder, J.R., Rosendahl, D.H., and Wootten, A.M., 2024, Approaches for using CMIP projections in climate model ensembles to address the 'hot model' problem: **U.S. Geological Survey Open-File Report 2024–1008**, 14 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20241008>.
- Costa, CM; Marengo, JA; Alves, LM; Cunha, AP, 2023. Multiscale analysis of drought, heatwaves, and compound events in the Brazilian Pantanal in 2019–2021. **Theoretical and Applied Climatology.** 661-677. V-155/IS-1. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04655-2>.
- Cunha, APMA;Buermann, W; Marengo, JA. 2024. Changes in compound drought-heat events over Brazil's



Pantanal wetland: an assessment using remote sensing data and multiple drought indicators. **Climate Dynamics**. V62. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06937-x>

Enayati, M.; Bozorg-Haddad, O.; Bazrafshan, J.; Hejabi, S.; Chu, X.; Bias correction capabilities of quantile mapping methods for rainfall and temperature variables. **Journal of Water and Climate Change** 2021; 12 (2): 401–419. doi: <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.261>

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., and Taylor, K. E.: Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization, **Geosci. Model Dev.**, 9, 1937–1958, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>, 2016.

Lafon, T.; Dadson, S.; Buys, G.; Prudhomme, C. 2013 Bias correction of daily precipitation simulated by a regional climate model: a comparison of methods. **Int. J. Climatol.** 33(6), 1367–1381.

Lázaro, W. L., Oliveira-Júnior, E. S., Silva, C. J. D., Castrillon, S. K. I., and Muniz, C. C. (2020). Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: an overview of the Northern Pantanal water regime. **Acta Limnol. Bras.** 32:104. doi: 10.1590/s2179-975x7619

Libonati, Renata & Rodrigues, Julia & Belém, Liz & Lemos, Filipe & Sena, Caio & menezes, lucas & Peres, Leonardo & Dacamara, Carlos & Santos, Djacinto. (2024). **NOTA TÉCNICA** 01/2024: Avaliação da situação atual do fogo no Pantanal -Junho 2024. 10.13140/RG.2.2.23069.12003/2.

Marcuzzo, F. F. N., Faria, T. G., Cardoso, M. R. D., and Melo, D. C. R. (2020). “Chuvas no Pantanal brasileiro: análise histórica e tendência futura,” in **Proc. 3º Simp. Geotecnologias no Pantanal**, Caceres 170–180.

Marengo JA., Cunha AP., Cuartas LA., Deusdará LKR., Broedel E., Seluchi ME., Michelin CM, Baião CFP, Chuchón AE, Almeida EK., Kazmierczak ML., Mateus NPA, Silva RC., Bender F. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts. **Frontiers in Water** V3 2021. URL=<https://www.frontiersin.org/journals/water/articles/10.3389/frwa.2021.639204> DOI=10.3389/frwa.2021.639204 ISSN=2624-9375

Monteiro, J. E. B. DE A. et al. Estimativa da evapotranspiração diária baseada apenas em temperatura. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, 29 nov. 2018.

Pereira, A. R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 311–313, 2005.

Riahi, Keywan; van Vuuren, Detlef P.; Kriegler, Elmar; Edmonds, Jae; O’Neill, Brian C.; Fujimori, Shinichiro; Bauer, Nico; Calvin, Katherine; Dellink, Rob; Fricko, Oliver; Lutz, Wolfgang. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview, **Global Environmental Change**, Volume 42, 2017, Pages 153-168, ISSN 0959-3780, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>.

Scur, Mayara & Centurião, Daniel & Berlinck, Christian & Batista, Eugênia & Libonati, Renata & Rodrigues, Julia & Nunes, André & Garcia, Letícia & Wilson, Geraldo & Damasceno-Junior, Geraldo & Pereira, Alexandre & Anderson, Liana & Ochoa-Quintero, Jose & Oliveira, Maxwell & Ribeiro, Danilo & Roque, Fábio. (2024). Economic losses and cross border effects caused by Pantanal catastrophic wildfires. 10.21203/rs.3.rs-3982900/v1.

Silva, PS; Rodrigues, JA; Nogueira, J; Moura, LC; Enout, A; Cuiabália, C; DaCamara, CC; Pereira, AA; Libonati, R. Joining forces to fight wildfires: Science and management in a protected area of Pantanal, Brazil. **Environmental Science & Policy**, Volume 159, 2024, 103818, ISSN 1462-9011, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2024.103818>.

Silva, VO.; Mello, CR; Chou, SC; Guo, L; Viola MR. Characteristics of extreme meteorological droughts over the Brazilian Pantanal throughout the 21st century. **Frontiers in Water**. Vol6, 2024. <https://www.frontiersin.org/journals/water/articles/10.3389/frwa.2024.1385077>

Taylor, K. E. 2001. “Summarizing Multiple Aspects of Model Performance in a Single Diagram.” **Journal of Geophysical Research: Atmospheres** 106 (D7): 7183–7192. doi:10.1029/2000jd900719.

Thiemeßl, M. J.; Gobiet, A.; Leuprecht, A. 2011 Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models. **Int. J. Climatol.** 31(10), 1530–1544.

Xavier, A. C., Scanlon, B. R., King, C. W., & Alves, A. I. (2022). New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, 42(16), 8390–8404. <https://doi.org/10.1002/joc.7731>

## **Políticas públicas de Turismo na Faixa de Fronteira em Mato Grosso, Brasil: uma análise voltada para o planejamento**

Bruno de Souza Lima<sup>1</sup>  
Renato Fonseca de Arruda<sup>1</sup>  
Sandra Mara Alves da Silva Neves<sup>1</sup>  
João Henrique da Silva Massavi<sup>2</sup>  
Jordi Alcântara Ferreira<sup>1</sup>  
Edgar Aparecido da Costa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
<sup>1</sup>Laboratório de Geotecnologias UNEMAT (LabGeo UNEMAT)  
{bruno.souza.lima, renato.fonseca, ssneves}@unemat.br

<sup>2</sup>Laboratório de Pesquisas e Estudos em Geomorfologia Fluvial (LAPEGEOF - UNEMAT)  
Av. Santos Dumont, s/n – Cidade Universitária. Bairro: Lobo  
78211-298 – Cáceres/MT, Brasil  
{joao.henrique, jordi.ferreira}@unemat.br

<sup>3</sup>Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS  
<sup>3</sup>Núcleo de Estudos em Agroecologia e Produção Orgânica do Pantanal (NEAP / UFMS)  
Campus Pantanal, Avenida Rio Branco, 1.270, Bairro Universitário  
79304-902 - Corumbá/MS – Brasil  
edgar.costa@ufms.br

**Resumo.** O estudo aborda as políticas públicas municipais de turismo na Faixa de Fronteira do Estado de Mato Grosso, tendo como objetivo discutir os direcionamentos das referidas políticas de turismo nos municípios da Faixa de Fronteira do estado de Mato Grosso, evidenciando fragilidades e potencialidades de maximização da promoção da atividade. A atividade turística e as políticas públicas nessa região são investigadas para identificar fragilidades e potencialidades que podem maximizar a promoção do turismo. A pesquisa justifica-se pela necessidade de criar diagnósticos precisos sobre o turismo na fronteira de Mato Grosso, uma área com grande potencial ainda não totalmente explorado. Metodologicamente, a investigação inclui pesquisa bibliográfica, elaboração de um mapa das regiões turísticas, aplicação de questionários via Google Forms aos gestores municipais e análise gráfica das respostas obtidas. Os resultados mostram que os municípios apresentam poucas legislações específicas para o turismo, baixa participação em instâncias de governança regional e estadual, redes de parcerias limitadas e quase nenhuma participação em programas e projetos do Ministério do Turismo. As principais atividades econômicas na região são a pecuária e o comércio, deixando o turismo em segundo plano. Concluiu-se que há uma necessidade urgente de maximizar as políticas públicas de turismo na faixa de fronteira para aproveitar melhor as potencialidades locais e promover o desenvolvimento sustentável da região.

**Palavras-chave:** Pantanal, diagnóstico turístico, atividade turística, planejamento turístico, instâncias de governança, Sudeco.

**Abstract.** The study addresses municipal public tourism policies in the Border Strip of the State of Mato Grosso, with the objective of discussing the directions of these tourism policies in the municipalities within the Border Strip of Mato Grosso. The study highlights the weaknesses and potentials for maximizing tourism promotion. Tourism activity and public policies in this region are investigated to identify weaknesses and opportunities that can enhance tourism promotion. The research is justified by the need to create accurate diagnostics on tourism in the Mato Grosso border area, which has great but underexplored potential. Methodologically, the investigation includes bibliographic research, the development of a map of tourist regions, the application of questionnaires via Google Forms to municipal managers, and graphical analysis of the responses obtained. The results show that the municipalities have few specific tourism legislations, low participation in regional and state governance bodies, limited partnership networks, and almost no involvement in Ministry of Tourism programs and projects. The main economic activities in the region are livestock farming and commerce, with tourism being a secondary focus. The study concludes that there is an urgent need to strengthen public tourism policies in the border strip to better leverage local potential and promote sustainable development in the region.

**Key-words:** Pantanal, tourism diagnosis, tourism activity, tourism planning, governance bodies, Sudeco.

## 1. Introdução

Considerado o terceiro maior estado brasileiro em extensão territorial (903.537 km<sup>2</sup>), Mato Grosso, que compõe parte da região Centro-Oeste do Brasil, se apresenta com uma privilegiada localização geográfica, no centro geodésico da América do Sul. Sua grande proporção territorial particionada entre áreas de produção de alimentos e diversidade de atributos naturais está associada a fronteiras internacionais, além de estar posicionalmente entre as costas marítimas do Pacífico e Atlântico, fatores que colocam Mato Grosso em vantagens competitivas em comparação a outros estados brasileiros no que tange as transações com o comércio exterior Melo, (2005); Moreno e Higa, (2005).

De acordo com Moreno e Higa (2005, p. 8), a condição de “território fronteiriço internacional e que faz parte da Amazônia brasileira – confere-lhe a condição de espaço estratégico, ao qual tem sido atribuído relevante papel nos planos de desenvolvimento nacional e de integração sul-americana”. Neste contexto, de acordo com os autores op. cit., considerando sua importância econômica e geopolítica desde o século XVIII, Mato Grosso passou por um recorrente processo de exploração extrativista, a partir da segunda metade do século XX, recebendo incentivos de reocupação territorial na década de 1970, estimulados por diferentes políticas e programas federais e estaduais, as quais transformaram rapidamente o Estado em um dos protagonistas na produção agropecuária do Brasil.

Silva e Nora (2021) destaca a condição fronteiriça de Mato Grosso, o qual conta com quatro municípios lindeiros, ou seja, aqueles que se encontram na linha de fronteira, sendo eles: Cáceres, Porto Esperidião, Vila Bela da Santíssima Trindade e Comodoro. Dentre estes, Cáceres se destaca no cenário regional Centro-Sul como um dos principais municípios na prestação de serviços a população de outros municípios da Faixa de Fronteira, dentre esses destacam-se os serviços de comércio, saúde e educação. Apesar da relevante condição fronteiriça, os autores op. cit. lembram que os municípios lindeiros possuem baixos índices populacionais e poucas políticas públicas de incentivo à saúde, educação, infraestrutura e tecnologia. Em suma, Silva e Nora (2021, p. 87) destacam que o “território de Mato Grosso é formado através destes movimentos de avanço da fronteira oeste, onde além de fronteira geopolítica, também é uma fronteira de mineração, já que grandes quantidades de ouro são encontradas neste espaço”.

Na tentativa de ordenamento e organização do processo de desenvolvimento da Faixa de Fronteira brasileira, após a extinção da SUDECO e fim do incentivo as políticas regionais na década de 1990, a partir de 2003 a Política Nacional de Desenvolvimento Regional (PNDR) é retomada com a finalidade de formular políticas de integração nacional e desenvolvimento

regional. Isso resultou na institucionalização da PNDR em 2007 Brasil, (2007), seguida pela criação da Superintendência de Desenvolvimento do Centro-Oeste (SUDECO) e do Fundo de Desenvolvimento do Centro-Oeste (FDCO) em 2019 Brasil,( 2009; 2013). A partir disso, em termos de planejamento territorial, a Faixa de Fronteira de Mato Grosso passou a ser dividida em sub-regiões, das quais estão inseridas em: Sub-região IX: Comodoro, Conquista D'Oeste, Campos de Júlio, Sapezal, Nova Lacerda e Tangará da Serra; Sub-região X: Araputanga, Barra do Bugres, Curvelândia, Figueirópolis D'Oeste, Glória D'Oeste, Indiavaí, Jauru, Lambari D'Oeste, Mirassol D'Oeste, Pontes e Lacerda, Porto Esperidião, Porto Estrela, Reserva do Cabaçal, Rio Branco, Salto do Céu, São José dos Quatro Marcos, Vale de São Domingos e Vila Bela da Santíssima Trindade; Sub-região XI: Barão de Melgaço, Cáceres, Nossa Senhora do Livramento e Poconé.

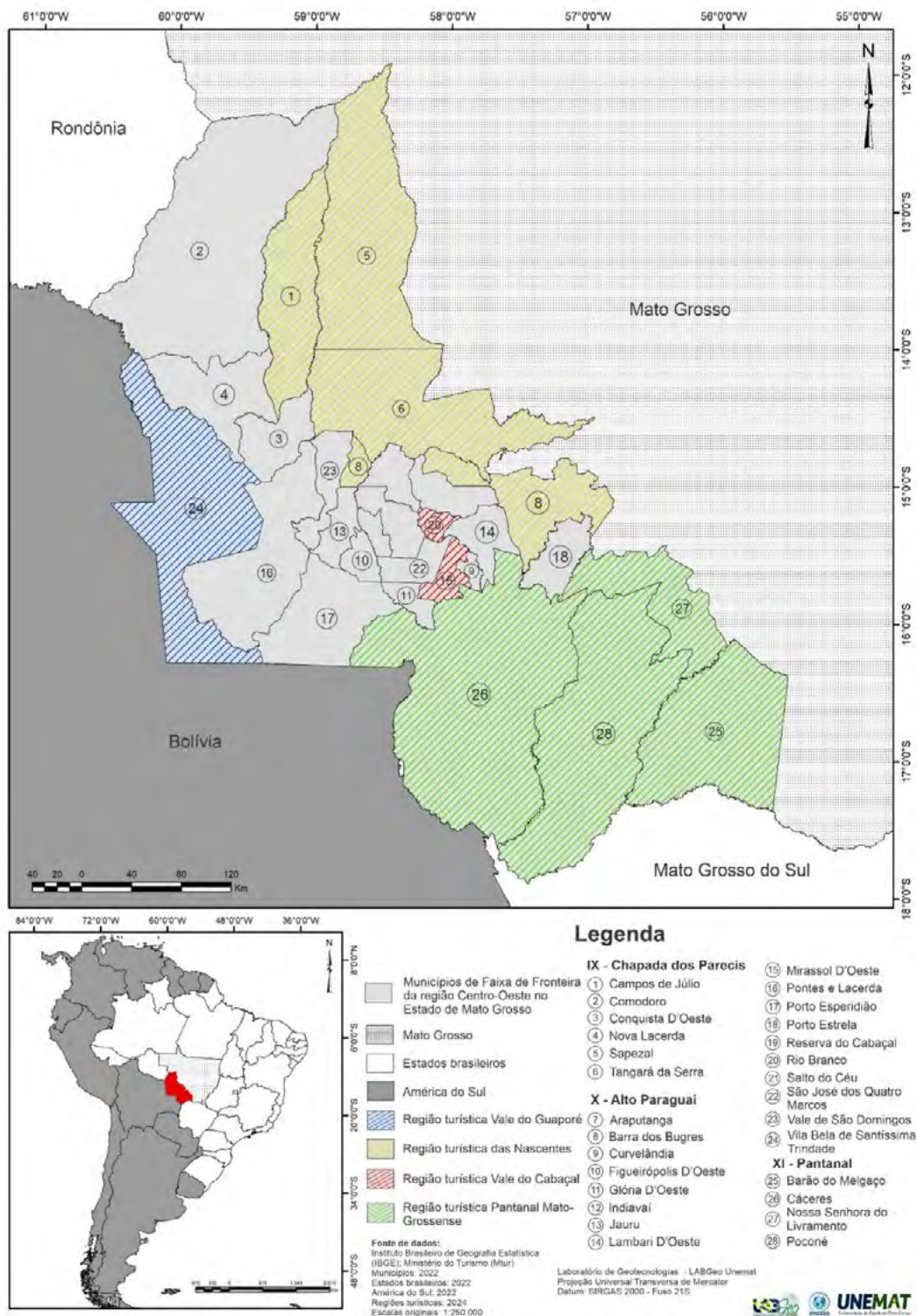
Tais áreas estão associadas ao Plano Desenvolvimento Integrado da Faixa de Fronteira (PDIFF) da região Centro-Oeste do Brasil, desenvolvido pela Superintendência de Desenvolvimento do Centro-Oeste - Sudeco, que visa o desenvolvimento regional sustentável, com redução de desigualdades, incentivos à inovação e tecnologia e melhoria do desenvolvimento humano Silva e Abrita, (2018). Além da condição de proximidade com países vizinhos, a Faixa de Fronteira mato-grossense apresenta uma outra singularidade: o bioma Pantanal. Sobre a região do Pantanal e sua relação fronteiriça, Moreira (2022) indica que:

No Brasil, o Pantanal se estende por 150 mil km<sup>2</sup>. São outros 30 mil km<sup>2</sup> nas regiões dos países vizinhos Bolívia e Paraguai, daí a denominação Pantanal transfronteiriço. Ainda cabe destacar que é uma região caracterizada por um período de cheias dos rios, entre os meses de novembro a março e que registrou, uma das piores secas dos rios ao longo do ano de 2020, o que resultou em aumento das queimadas e focos de incêndio, consumindo árvores, florestas, animais, ou seja, uma típica cena de degradação ambiental  
- Moreira (2022, p. 168).

No que tange às atividades econômicas desenvolvidas no Pantanal, destacam-se a pecuária extensiva, considerada a base da economia regional; a agricultura, tida como uma atividade complementar a pecuária, principalmente a partir dos cultivos de mandioca, arroz e milho; o extrativismo mineral; a pesca comercial e esportiva; e o Ecoturismo, praticado principalmente em função das paisagens naturais que atraem um número relevante de turistas ao longo do ano na região Gonçalves, (2020).

Neste contexto, a geotecnologia se apresenta como uma relevante ferramenta de mapeamento e, consequentemente, planejamento territorial. Na investigação em questão, ressalta-se a aplicação da geotecnologia em mapeamentos que auxiliam na gestão e organização da atividade turística em um determinado destino. Dentre as possibilidades, a criação de mapas temáticos das paisagens, espacialização de regiões turísticas, mapeamento de rotas turísticas, identificação de pontos de interesse, dentre outras aplicações, permitem oferecer suporte ao processo de ordenamento turístico Rezende e Xavier, (2008); Arruda et al.,( 2011); Silva et al. (2016); Lima, (2021).

Assim sendo, a geotecnologia pode facilitar os diagnósticos e prognósticos da atividade turística na região de Faixa de Fronteira da região Centro-Oeste. Entretanto, além da potencialidade turística atrelada ao Pantanal mato-grossense, outros municípios das sub-regiões delimitadas na Faixa de Fronteira da região Centro-Oeste também buscam se posicionar quanto ao desenvolvimento de políticas voltadas para o fomento e fortalecimento das atividades turísticas enquanto setor econômico. No âmbito da política pública federal de Turismo, a supracitada faixa está associada a quatro regiões turísticas do estado de Mato Grosso: Vale do Guaporé; Das nascentes; Vale do Cabaçal; e Pantanal Mato-Grossense (**Figura 1**).



**Figura 1.** Municípios da Faixa de Fronteira da região Centro-Oeste no estado de Mato Grosso e as regiões turísticas.  
 Fonte: Autores (2024).

No âmbito deste posicionamento relacionado ao desenvolvimento da atividade turística, Serra (2020) destaca a importância da articulação de políticas públicas voltadas ao Turismo. Entretanto, o autor op. cit. (2020) lembra que a atividade turística está inserida num contexto

mais amplo, ou seja:

[...] o resultado dos esforços despendidos pelo Estado complementa outras demandas da sociedade, a construção de estradas, hotéis, iluminação pública ou melhorias dos espaços coletivos são exemplos. Tudo isso não tem como finalidade, exclusivamente, a recepção de turistas, mas estes sujeitos usam os fixos espaciais assim como os não-turistas, mesmo que estes últimos utilizem numa relação desproporcional às pessoas residentes do lugar turístico  
- Serra (2020, p. 1575).

Considerando tal pressuposto, a atividade turística se apresenta para além da geração de divisas, mas também enquanto indutor de melhorias estruturais de uma determinada localidade. Assim sendo, ressalta a importância do envolvimento das esferas pública, privada e comunidade local no planejamento e organização da atividade turísticas, de maneira a maximizar os benefícios tanto para turistas, quanto para aqueles que residem nos destinos turísticos e seu entorno.

Neste sentido, Lopes e Panosso-Netto (2021) indicam uma crescente nas discussões de políticas públicas de Turismo no Brasil, as quais são tomadas como possibilidade de reduzir as desigualdades sociais, gerar empregos e renda, estimular o desenvolvimento sustentável dos destinos turísticos, bem como promover a geração de divisas na economia do Brasil. No entanto, os autores *op. cit.* (p. 203) discorrem sobre um problema ligado às políticas públicas de Turismo no Brasil: a descontinuidade das ações; tais continuidades e descontinuidades estariam associadas a “[...] mudanças de regime, mudanças de governo, formatação das políticas, as instituições responsáveis por criar e executar tais políticas entre outros fatores”.

Assim sendo, a simples existência de políticas de Turismo por si só não é suficiente para promover a atividade de maneira planejada, havendo assim a necessidade de planos contínuos de ações voltadas aos atores e elementos associados ao funcionamento do sistema turístico de um determinado destino. Sobre o fortalecimento do Turismo no Brasil é possível compreender que:

O Brasil tem um grande potencial turístico, mas para que esse potencial seja desenvolvido de forma eficaz e sustentável, gerando benefícios para a economia e para a população, as políticas de turismo devem ocupar lugar de destaque no planejamento federal, assim como a sua execução não deve ser negligenciada, prática que se mostrou bastante presente em especial nas políticas que propõe descentralização de estratégias e ações as unidades subnacionais  
- Lopes; Panosso-Netto (2021, p. 221).

Portanto, pensar no fortalecimento da atividade turística perpassa pelo estabelecimento e implementação de políticas públicas de Turismo, as quais se caracterizam pelo conjunto de fatores e diretrizes básicas que permitem orientar e planejar os objetivos globais para o desenvolvimento do País, estabelecendo as prioridades de ação executiva, supletiva ou complementar do Estado. Entretanto, não cabe apenas ao Estado o direcionamento das políticas públicas, uma vez que, o setor privado e a sociedade civil também possuem importância no processo de estabelecimento das políticas públicas Beni, (2003); Candioto e Bonetti, (2015). Para Cruz (2005), a regulação estatal sobre o Turismo atrela-se a necessidade de indução ao desenvolvimento da atividade, podendo assim oferecer respaldo legal para o desenvolvimento de ações necessárias para o planejamento turístico dos destinos.

No trato específico desta investigação, destaca-se as ações da Superintendência de Desenvolvimento do Centro-Oeste – Sudeco que, segundo Brasil (2023), tem se destacado enquanto catalisador e coordenador de atores nacionais e internacionais, os quais atuam diretamente no desenvolvimento de diferentes setores da região centro-oeste, inclusive, no âmbito do Turismo.

## 2. Objetivo

A presente investigação tem como objetivo discutir os direcionamentos das políticas públicas de turismo nos municípios da Faixa de Fronteira do estado de Mato Grosso, evidenciando fragilidades e potencialidades de maximização da promoção da atividade.

## 3. Materiais e Métodos

Na construção teórica da pesquisa, foram utilizados artigos científicos, documentos oficiais e livros com temáticas que permeiam a presente discussão. Além disso, utilizou-se Sistema de Informação Geográfica QGIS 3.36 QGIS, (2024) e ArcGIS 10.8 ESRI, (2020) para espacialização do tema investigado nos municípios, evidenciando a região de Faixa de Fronteira, bem como sua relação com a classificação do mapa de regionalização do Turismo brasileiro.

Para o desenvolvimento da pesquisa em questão, adotou-se a abordagem quantitativa, de maneira que, foi elaborado um questionário estruturado via plataforma google forms, estes que foram direcionados via e-mail aos gestores responsáveis pelas ações ligadas ao Turismo nos municípios da Faixa de Fronteira mato-grossense. Os questionários foram aplicados durante o período de 05/05/2023 a 20/08/2023. Além do envio dos e-mails, foram efetuados também contatos por telefone, pedido de informação, via ouvidoria dos municípios.

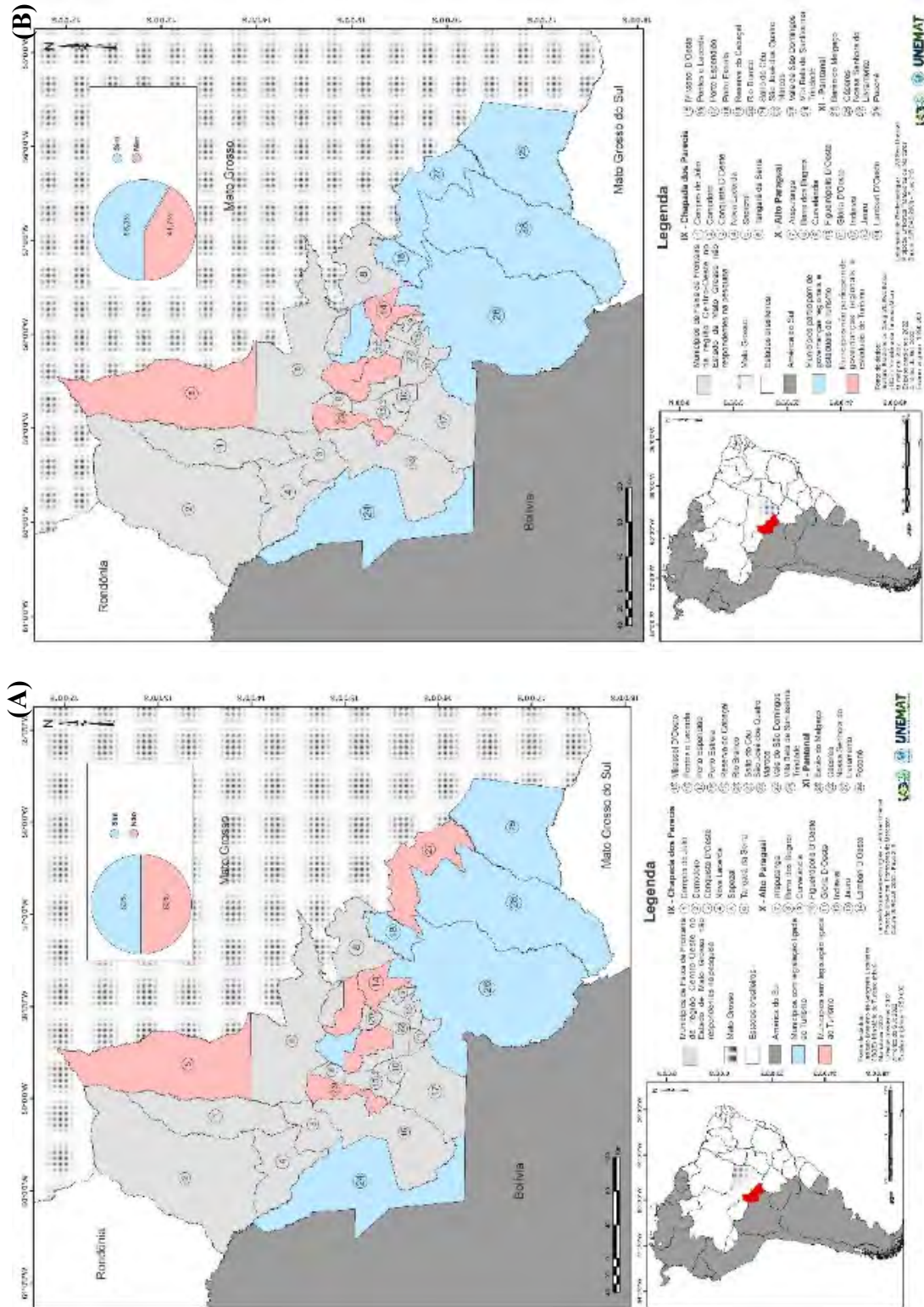
Para a elaboração das discussões, os dados coletados foram organizados em gráficos, que possibilitaram a apresentação e análise das informações coletadas com os gestores públicos dos municípios que responderam o questionário enviado.

## 4. Resultados e Discussões

Destaca-se que, dos 28 municípios da Faixa de Fronteira da região Centro-Oeste no estado de Mato Grosso, 12 (42%) responderam ao questionário disponibilizado. Na perspectiva de planejamento e organização da atividade turística na Faixa de Fronteira, tal falta de engajamento do poder público municipal apresenta-se como uma fragilidade na busca pela maximização da atividade turística nestes municípios.

No que tange a existência de legislações municipais voltadas ao Turismo, 50% dos gestores (6 municípios) indicaram a que adotam algum mecanismo voltado ao fomento da atividade turística, seja a existência de um Fundo de Turismo, Conselho municipal de Turismo ativo ou Plano de Turismo implementado (**Figura 2A**). Quanto a importância dessas legislações municipais, Fontes (2016) destaca que as políticas públicas têm o papel de regulamentar e aprimorar a atividade turística. Neste sentido, ressalta-se a necessidade dos municípios da Faixa de Fronteira mato-grossense em empenhar maiores esforços no estabelecimento de legislações que fomentem o Turismo nos referidos municípios. Considerando as regiões turísticas, destaca-se os municípios das regiões Vale do Guaporé e Pantanal Mato-Grossense, em que apenas Nossa Senhora do Livramento não possui legislações voltadas a atividade turística.

Quanto a participação dos municípios da faixa de fronteira mato-grossense em governanças regionais e estaduais de Turismo, 58,3% (7 municípios) indicaram estar inseridos em alguma instância, dentre elas a Região Turística Vale do Guaporé, CONTUR Pró Pantanal, IGR - Pantanal Mato-grossense, Instância de Governança IGR Regional e Região Turística Vale do Cabaçal (**Figura 2B**). Do ponto de vista organizacional da atividade turística, a participação ativa em instâncias de governança estimula a colaboração entre os municípios envolvidos, bem como facilita a criação de políticas e tomadas de decisões em prol do planejamento e desenvolvimento da atividade turística nos destinos. Das regiões turísticas, todos os municípios das regiões Vale do Guaporé e Pantanal Mato-Grossense participam de alguma instância de governança regional ou estadual de Turismo.



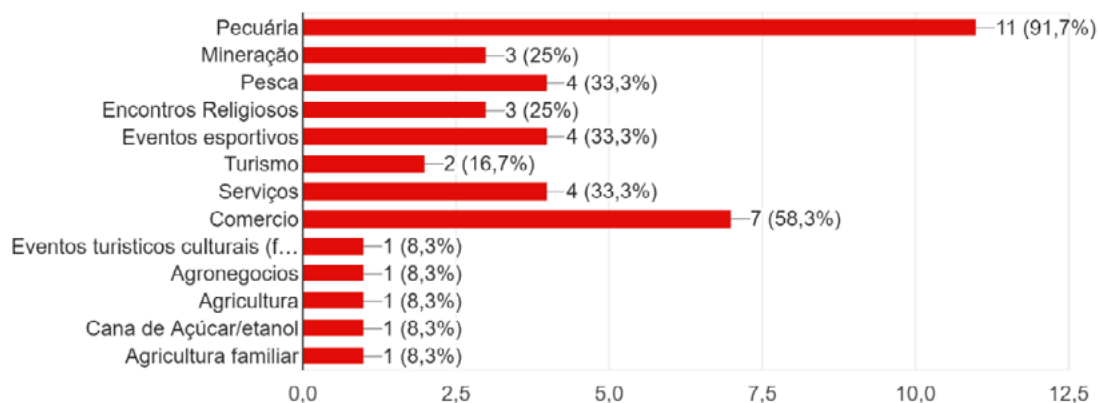
**Figura 2.** Municípios que possuem legislação ligada ao Turismo (A); Municípios que participam de governanças regionais e estaduais de Turismo (B).  
 Fonte: Autores (2024).



Na investigação das parcerias, redes de cooperação e intercâmbios desenvolvidas pelos municípios para o desenvolvimento do Turismo, 41,7% (5 municípios) indicaram não haver nenhuma parceria ativa, enquanto 58,3% (7 municípios) ressaltaram a existência de algum tipo de parceria estabelecida, tais como a rede Pró Pantanal, Unemat, Secitec, Sebrae, Senar e Empaer. Conforme apontado por Rocha (2006), as parcerias entre poder público, privado, comunidade local e terceiro setor são fundamentais para a maximização da atividade turística nos destinos.

Outro importante fator a ser considerado no planejamento e organização do Turismo nos municípios é a participação dos entes municipais em programas e projetos federais disponibilizados pelo Ministério do Turismo. Entretanto, ao analisar a participação dos municípios em ações federais de Turismo, percebe-se que apenas 25% destes (3 municípios) participam de alguma ação desenvolvida pelo Ministério do Turismo. Tal premissa indica que, apesar dos esforços empreendidos pelo governo federal, ainda há necessidade de maior envolvimento das instâncias municipais nas políticas nacionais de Turismo. Dos municípios inseridos em regiões turísticas, apenas Nossa Senhora do Livramento (Pantanal Mato-Grossense) participa de programas federais de Turismo.

Considerando a importância de reconhecer a vocação econômica dos municípios arrolados na pesquisa, questionou-se os gestores municipais sobre as principais atividades econômicas desenvolvidas em suas municipalidades. Como principal atividade desenvolvida 91,7% dos respondentes (11 municípios) apontaram a pecuária e 58,3% (7 municípios) destacaram o comércio. O Turismo é apontado por apenas 16,7% respondentes (2 municípios). Tais números evidenciam duas questões: a primeira que a região de faixa de fronteira possui uma economia consolidada nas atividades de pecuária e comércio; e segundo que nos municípios investigado, o Turismo ainda se apresenta como uma atividade pouco explorada (**Figura 3**).



**Figura 3.** Principais atividades econômicas nos municípios da Faixa de Fronteira mato-grossense.

Fonte: Autores (2024).

Quanto ao panorama econômico dos municípios, o Turismo se caracteriza como uma atividade que possibilita a diversificação econômica local, conforme indicado por Vieira, Hoffmann e Alberton (2018). Neste sentido, considerando a prevalência da pecuária e comércio na região de fronteira mato-grossense, a atividade turística pode ser potencializada enquanto uma atividade complementar a dinâmica produtiva posta, possibilitando o desenvolvimento de

diferentes segmentos nos âmbitos natural e cultural dos municípios investigados.

## 5. Conclusões

A Faixa de Fronteira mato-grossense ainda apresenta fragilidades no trato da atividade turística, uma vez que, as instâncias públicas investigadas demonstraram que existem diferentes lacunas a serem preenchidas no trato das políticas direcionadas a atividade turística, fato que incide diretamente no fluxo turístico dessa região, bem como reflete nos investimentos ligados a oferta turística, carência de serviços públicos de infraestrutura básica, bem como na falta de marketing turístico eficiente que potencialize a demanda de turistas com interesses nas diferentes potencialidades naturais e culturais dos municípios supracitados.

Deve ser priorizada no âmbito das ações de fortalecimento da atividade turística na Faixa de Fronteira de Mato Grosso a “superestrutura” do sistema turístico, a qual possui papel fundamental na organização, normatização e regulamentação do Turismo. No cenário observado, os municípios inseridos nas regiões turísticas do Vale do Guaporé e do Pantanal Mato-Grossense demonstram maiores articulações no âmbito das políticas públicas voltadas a atividade turística, evidenciando a necessidade dos municípios das demais regiões empenhar maior envolvimento neste tipo de articulação relacionada ao Turismo.

Para que a maximização da atividade turística aconteça é necessário maior envolvimento dos gestores nas discussões e investigações acerca das temáticas em seus municípios, inclusive na participação de diagnósticos como ora apresentado nesta investigação.

## 6. Agradecimentos

A Superintendência de Desenvolvimento do Centro-Oeste – Sudeco pelo financiamento do projeto de pesquisa “Diagnóstico e elaboração do Plano de Desenvolvimento e Integração da Faixa de Fronteira do Centro-Oeste do Brasil – PDIF” desenvolvido em parceria com a Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS/Campus Pantanal e a Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/ Campus Jane Vanini, Cáceres;

À CAPES pela concessão de bolsa de pós-doutorado do segundo autor, bem como ao Laboratório de Geotecnologias UNEMAT (LabGeo UNEMAT) pela infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta pesquisa.

## 7. Referências

Arruda, R. F.; Neves, S. M. A. S.; Neves, R. J. Geotecnologias aplicadas no estudo do Centro Histórico de Cáceres, Mato Grosso - Brasil. Revista GeoPantanal, v. 6, p. 139-154, 2011.

Beni, M. C. Análise Estrutural do Turismo. 8ª ed. São Paulo: SENAC, 2003.

Brasil. Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional. Plano Regional de Desenvolvimento do Centro-Oeste PRDCO 2024 -2027. Brasília, 2023. 198p.

BRASIL. Lei Complementar n. 129, de 08 de janeiro de 2009. Institui, na forma do Art. 43 da Constituição Federal, a Superintendência do Desenvolvimento do Centro Oeste - SUDECO, estabelece sua missão institucional, natureza jurídica, objetivos, área de atuação, instrumentos de ação, Altera a Lei N. 7.827, de 27 de setembro de 1989, e dá outras Providências. Diário Oficial da União (DOU), de 09 de janeiro de 2009. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional - MI, 2009.

Brasil. Decreto n. 8.067, de 14 de agosto de 2013. Aprova o regulamento do Fundo de Desenvolvimento do Centro-Oeste. Diário Oficial da União (D.O.U), de 15 de agosto de 2013, p. 5. Brasília - DF: Ministério da Integração Nacional (MI), 2013.

Candiotto, L. Z. P.; Bonetti, L. A. Trajetória das políticas públicas de turismo no Brasil. TURYDES: Revista sobre Turismo y Desarrollo local sostenible, v. 8, n. 19, p. 1-22, 2015.

Cruz, R. C. A. Políticas públicas de turismo no Brasil: território usado, território negligenciado. *Geosul*, v. 20, n. 40, p. 27-43, 2005.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. ArcGis advanced: release 10.8. Redlands: ESRI, 2020.

Fontes, V. R. P. O direito do turismo e as estruturas organizacionais do setor. *Revista da Faculdade de Direito*, v. 37, n. 1, p. 33-53, 2016.

Gonçalves, K. B. O Pantanal transfronteiriço e suas diádes: uma análise a partir das áreas protegidas na zona de fronteira. *GEOFRONTER*, v. 6, n. 1, p. 1-26, 2020.

Lima, B. S. Ícones de paisagem de Mato Grosso do Sul: análise funcional e de qualidade visual para o Turismo de Natureza. Tese – (Doutorado em Geografia). Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2021.

Lopes, M. M.; Panosso-Netto, A. Análise das políticas federais de turismo no Brasil (1930 a 2020). *Ateliê do Turismo*, v. 5, n. 2, p. 200-224, 2021.

Melo, S. C. Mato Grosso e os eixos de integração no centro oeste sul-americano. In: Encontro de Geógrafos da América Latina, 10., 2005, São Paulo Anais... São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005. p. 9117–9145. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Geografiasocioeconomica/Ordenamientoterritorial/29.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2024.

Moreira, G. V. Pantanal Transfronteiriço. *Revista GeoPantanal*, v. 17, n. 33, p. 167-179, 2022.

Moreno, G.; Higa, T. C. S. (Orgs.). *Geografia de Mato Grosso: território, sociedade, ambiente*. Cuiabá: Entrelinhas, 2005. 296 p.

QGIS. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project, Versão 3.36. 2024 Disponível em: [https://www.qgis.org/pt\\_BR/site/](https://www.qgis.org/pt_BR/site/).

Resende, L. A.; Xavier, H. As contribuições das geotecnologias à atividade turística. *Caderno de Geografia*, v. 18, n. 29, p. 137-144, 2008.

Rocha, R. S. Parcerias entre setor público e privado no desenvolvimento turístico de Piracicaba-SP. *Revista Turismo em Análise*, v. 17, n. 1, p. 47-63, 2006.

Serra, H. R. H. O planejamento das políticas públicas de Turismo no Estado do Pará e dos (d)efeitos da regionalização. *Ciência Geográfica - Bauru* - v. 24, n. 3, p. 1572-1589, 2020.

Silva, W. G.; Abrida, M. B. A segunda Sudeco no desenvolvimento da região da faixa de fronteira do Centro-Oeste brasileiro. *CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária*, v. 13, n. 31, p. 145-159, dez., 2018.

Silva, G. M. S.; Nora, G. D. Espaços da fronteira em Mato Grosso: olhares geográficos. *Terra Livre*, v. 2, n. 57, p. 61-95, 2021.

Silva, M. A.; Neves, S. M. A. S.; Neves, R. J.; Arruda, R. F. Percurso interpretativo do centro histórico Cáceres/MT, para fins turísticos e de educação patrimonial. *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, v. 10, p. 435-458, 2016.

Vieira, D. P.; Hoffmann, V. E.; Alberton, A. Investimentos públicos, competitividade e desenvolvimento: um estudo em destinos turísticos brasileiros. *Revista de Administração Pública*, v. 52, p. 899-917, 2018.

## **Expansão da pastagem no pantanal de Cáceres/MT, Brasil**

Helibera Rita Ramos Capistrano Aquino<sup>1</sup>  
Sandra Mara Alves da Silva Neves<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - IFMT  
Rua Zulmira Canavarros – Centro, 95 - Caixa Postal 78005-390- Cuiabá - MT, Brasil  
helibera.aquino@unemat.br/ helibera.capistrano@ifmt.edu.br

<sup>2</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Laboratório de Geotecnologias Unemat (LabGeo Unemat)  
Av. Santos Dumont S/. Bairro: Lobo – Cidade Universitária  
78211-260 – Cáceres/MT, Brasil  
ssneves@unemta.br

**Resumo.** O Pantanal é o mais extenso ambiente inundável do planeta, representa uma área úmida de importância, caracterizada pelo pulso de inundação e rica biodiversidade, promovendo importantes serviços ecossistêmicos. O objetivo desse estudo é realizar análise espaço-temporal, por meio de imagens de satélites, da expansão da pastagem Pantanal de Cáceres/MT. No Spring foram processadas as imagens dos satélites Landsats 5, 8 e 9, dos anos de 1984, 1994, 2004, 2014 e 2024 e no ArcGis foram efetuados a pós-classificação, elaboração de layouts dos mapas e quantificações. Houve mudança no cenário ambiental do Pantanal de Cáceres, considerando as classes de Água, Cobertura Vegetal e Pastagem. Ocorreu decréscimo da superfície de água (37,25%), supressão da Cobertura Vegetal (18,55%) e a expansão da Pastagem (384,95%), com destaque de crescimento de 160% no período de 2014 a 2024. Concluiu-se que fatores locais e globais afetaram os ecossistemas e podem comprometer os processos ecológicos importantes.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, Pantanal, pecuária.

**Abstract.** The Pantanal is the most extensive floodable environment on the planet, representing an important wetland, characterized by a flood pulse and rich biodiversity, promoting important ecosystem services. The objective of this study is to carry out a spatio-temporal analysis, using satellite images, of the expansion of the Pantanal de Cáceres/MT pasture. In Spring, images from Landsats 5, 8 and 9 satellites, from the years 1984, 1994, 2004, 2014 and 2024, were processed and post-classification, map layouts and quantifications were carried out in ArcGis. There were changes in the environmental scenario of the Cáceres Pantanal, considering the classes of Water, Plant Cover and Pasture. There was a decrease in the water surface (37.25%), suppression of Vegetation Cover (18.55%) and expansion of Pasture (384.95%), with a highlight of growth of 160% in the period from 2014 to 2024. He concluded - if local and global factors affect ecosystems and can compromise important ecological processes.

**Key-words:** remote sensing, wetlands, livestock.

## 1. Introdução

O Pantanal é o mais extenso ambiente inundável do planeta, conceituado como uma planície aluvial arenosa antiga Ab'Saber, (2006), o bioma representa uma das áreas úmidas de importância internacional de acordo com a Convenção de Ramsar Brasil, (2008).

O pulso de inundação que caracteriza o bioma Pantanal, confere uma dinâmica diferenciada que interfere em sua fitofisionomia, promovendo uma ecologia complexa composta por uma rica biodiversidade Junk et al., (1989); Junk; Silva,(1999).

A relevância do Pantanal não se restringe a um berço de rica biodiversidade, o bioma também presta importantes serviços ecossistêmicos a nível local, regional e global. Junk et al. (2014), descreveram processos ecológicos importantes que beneficiam o ser humano, que vão desde abastecimento e recarga, que provem serviços ambientais, quanto de provisão de processos essenciais para o desenvolvimento de atividades econômicas.

Dos serviços ecossistêmicos de ordem econômica que se destacam para o Pantanal é possível descrever a provisão de pastagem para o desenvolvimento da atividade pecuária. As condições edafoclimáticas favoráveis aliadas a uma vegetação composta por uma variedade de gramíneas, relevo e clima tornam o ambiente propício para o desenvolvimento da pecuária bovina Mato Grosso, (2010).

O pulso de inundação provê diversidade vegetal, com predominância da Savana Estépica Gramíneo-Lenhosa, que formam campos naturais com conjunto de espécies de gramíneas nativas diferentes Silva et al., (2011), e esse domínio de pastagens nativas favorece o desenvolvimento da pecuária extensiva Santos et al., (2009).

No caso do Pantanal de Cáceres, este apresenta destaque no Ranking regional, o desenvolvimento da pecuária faz com que ocupe uma posição econômica expressiva para região e para o Estado Mato Grosso, (2010).

Ao mesmo tempo que o bioma favorece o desenvolvimento da pecuária, essa atividade é apontada como responsável por sua degradação. A pecuária desenvolvida no Pantanal é a maior responsável pela alteração da planície Crispim et al., (2001). Aquino et al. (2017) avaliaram a expansão da Pastagem no Pantanal de Cáceres e constataram que houve aumento de 33,85% em detrimento da vegetação natural. Corroborando com a ideia, Pott (2007) descreveu que a supressão do ambiente nativo do Pantanal representa uma ameaça que interfere em seu ciclo natural.

Dessa forma, a conservação do bioma vem ganhando destaque em discussões ambientais Junk et al, (2006), sua complexidade o torna sensível aos processos de intervenção antrópica e aos adventos das mudanças climáticas que interferem em suas funções ecológicas.

O IPCC 2023, apontou que as mudanças dos usos da terra e climáticas, as ações antropogênicas, a falta de garantia de proteção legal, incipientes inventários descritivos de sua

estrutura e importância, contribuem para a perda desses importantes serviços ecossistêmicos.

Nesse contexto, o monitoramento das transformações do uso da terra, por meio das ferramentas de geoprocessamento, torna-se uma forma eficiente e precisa de avaliar o estado do ambiente Santos et al., (2009). Da mesma forma Ruhoff et al. (2005) descreveram que o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o Sensoriamento Remoto permitem a obtenção e análise de dados em um contexto espaço-temporal do uso da terra, possibilitando a avaliação dos impactos e a obtenção de conhecimento acerca da área estudada.

## 2. Objetivo

O objetivo desse estudo é realizar análise espaço-temporal, por meio de imagens de satélites, da expansão da pastagem Pantanal de Cáceres/MT.

## 3. Material e Métodos

### 3.1 Área de estudo

A área de estudo é o Pantanal de Cáceres, uma das onze sub-regiões do Pantanal Mato-grossense Silva e Abdon, (1998), localizado na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraguai (BHARP), no Mato Grosso (**Figura 1**). Ocupa 50,87% da área territorial do município de Cáceres-MT (Neves et al., 2008), apresenta uma área de 12.412,56 km<sup>2</sup>, dos quais 12.371 km<sup>2</sup> (99,66%) fazem parte do município de Cáceres, 4,48 km<sup>2</sup> (0,04%) do município de Curvelândia e 37,08 km<sup>2</sup> (0,3%) do município de Lambari D'Oeste Neves et al., (2009). Situa-se entre as coordenadas geográficas 15°31'15" e 17°37'45" Latitude Sul e 58°32'30" e 57°21'55" Longitude Oeste.



**Figura 1.** Pantanal de Cáceres nos contextos nacional, estadual e intermunicipal.

A vegetação é composta por Savana Arborizada, Savana Florestada, Savana Gramíneo-Lenhosa e Floresta Aluvial IBGE, (2012), apresenta a temperatura média anual variando entre 26° e 24° C e o clima é caracterizado como Tropical quente e úmido com inverno seco Neves et al.; (2011), com o índice pluviométrico de 1200 a 1500 mm anual Santos et al., (2012) e altitude variando entre de 90 a 200 metros Radambrasil, (1982). Litologicamente caracteriza-se por apresentar solos de baixa fertilidade que sofrem influências de processos hidromórficos, sendo caracterizado pelas classes: Plintossolo (PL), Plantossolo (PT) e Areias Quartzosas (AQ) Embrapa, (2006).

### 3.2 Procedimentos metodológicos

Para geração dos mapas de cobertura vegetal e uso da terra, foram utilizadas as imagens com a resolução espacial de 30 metros das órbitas/pontos 227/71, 227/72, 228/71 e 228/72, que recobrem a área de estudo, relativo ao período seco (junho a agosto) dos anos de 1984, 1994, 2004, 2014 e 2024 foram geradas pelos satélites: Landsat 5, sensor Thematic Mapper (TM), Landsat 8, sensor Operational Land Imager (OLI) e Landsat 9, sensor Operational Land Imager 2 (OLI2), disponibilizadas gratuitamente no catálogo de imagens do Serviço de Levantamento Geológico Americano USGS, (2024).

As imagens foram processadas no Sistema de Informações Geográficas Spring, versão 5.5.6 Câmara et al., (1996), tendo sido criado um Bando de Dados Geográficos – BDG, utilizando o sistema de coordenadas métricas (UTM) e o Datum SIRGAS 2000 da área de estudo, compreendida no fuso 21 Sul.

Para os anos de 1984, 1994, 2004 foi realizado o georreferenciamento, a partir dos pontos de controle obtidos das cenas do ano de 2024 e para os anos de 2014 e 2024 não foi necessário devido as imagens serem disponibilizadas com georreferenciamento.

Após a importação para o BDG, as imagens foram mosaicadas; recortada pela máscara da área de estudo, no caso o arquivo vetorial do Pantanal de Cáceres; segmentadas, utilizando os parâmetros de similaridade e área 10 e 10, respectivamente; e classificadas, considerando os elementos: localização, padrão, cor, forma e textura Florenzano, (2011).

A classificação foi a supervisionada com o treinamento (atividade que consiste na identificação de amostras das classes), utilizando o classificador *Bhattacharya*, com o limiar de aceitação em 99,9%. Após foi executado o mapeamento para as classes temáticas e a conversão matriz-vetor.

Os arquivos vetoriais dos anos de estudo da cobertura vegetal e uso da terra criado no Spring foi exportado e no SIG ArcGIS, versão 10.8 Esri, (2020), procedeu-se a pós-classificação, para a correção de erros, elaboração dos layouts dos mapas e a quantificação dos valores de área que cada classe mapeada apresentou em cada data.

### 4. Resultado e Discussão

A análise realizada no estudo demonstrou que, o cenário ambiental do Pantanal de Cáceres -MT sofreu alteração no uso e ocupação da terra ao longo dos anos investigados, conforme pode ser demonstrado na descrição de área ocupada por cada categorias (**Tabela 1**).

Os dados permitiram descrever que ao longo do período avaliado, houve decréscimo das classes de Cobertura Vegetal, de Água enquanto que, a classe de Uso da terra o acréscimo foi expressivo. O percentual calculado por período expresso na **Tabela 2**, possibilita avaliar os desdobramentos evolutivos do bioma ao longo dos 40 anos.

A classe de Água teve um decréscimo para o período estudado de 37,25%, a Cobertura Vegetal obteve o decréscimo médio de 6,68% por período e o uso da terra sofreu expansão de

**Tabela 1.** Área ocupada em km<sup>2</sup> por categoria: Água, Cobertura Vegetal e Uso da terra da área de estudo, no período de 1984 a 2024.

Categorias	km <sup>2</sup>				
	1984	1994	2004	2014	2024
Água	1.065,58	864,21	926,40	1,226,88	668,56
Cobertura Vegetal	10.446,54	10.428,46	10.092,40	9.608,04	7.824,41
Uso da terra	785,01	1.004,47	1.278,34	1.462,22	3.804,16
<b>Total</b>	<b>12.297,15</b>	<b>12.297,15</b>	<b>12.297,15</b>	<b>12.297,15</b>	<b>12.297,15</b>

**Tabela 2.** Percentual de ocupação das categorias Água, Cobertura Vegetal e Uso da terra da área de estudo, no período de 1984 a 2024.

Categorias	Área (%)				
	1984	1994	2004	2014	2024
Água	8,67	7,03	7,53	9,98	5,44
Cobertura Vegetal	84,95	84,80	82,07	78,13	63,63
Uso da terra	6,38	8,17	10,40	11,89	30,94
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

384,95%. Os percentuais descritos nas categorias acima podem ser apresentados de acordo com cada componentes analisados (**Tabela 3**).

O decréscimo registrado na classe de Água é explicado por períodos de estiagem prolongada e alteração no regime das chuvas, ambos ocasionados pelo El Niño, associados a intervenção antrópica. O declínio da classe está diretamente relacionado ao aumento do desmatamento na porção norte do Pantanal, aliados aos fenômenos das mudanças climáticas. Segundo o projeto MapBiomass (2023) houve redução da superfície de água da planície pantaneira associada as ações antrópicas.

Os resultados ainda demonstraram que, a redução expressiva na classe de Água no período de estudo, com destaque para os anos de 2014 a 2024, em que houve um decréscimo de 45,4% para o período, está diretamente associado ao agravamento do clima no planeta. As mudanças climáticas, o aquecimento global, o aumento de emissões de CO<sub>2</sub> entre outros fenômenos de alteração ambiental foram descritos no relatório emitido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) que registrou um crescimento alarmante nas taxas e intensidade das mudanças climáticas entre os anos de 2011 e 2020.

A categoria de Uso da terra é identificada neste estudo como desenvolvimento de Pecuária e, no período de 1984 a 2024 o uso da terra no Pantanal de Cáceres é voltado para a pecuária, fazendo com que a pastagem aumentasse continuamente enquanto a cobertura geral sofreu reduções contínuas e Água oscilou (**Tabela 1**). Nessa sub-região pantaneira em 1984 apresentava elevado percentual de área de vegetação natural, mas havia a presença da atividade pecuária em virtude da vocação natural devido a fitofisionomia da Savana Gramíneo-Lenhosa. Corroborando com o exposto Neves et al. (2008) ao expor que a pecuária, considerando tanto o comércio da carne quanto o de couro, é desenvolvida de forma extensiva a mais de 200 anos no Pantanal, tendo como referências comerciais as Fazendas históricas, como por exemplo a Descalvados que sediou uma indústria de caldo de carnes do século XIX Garcia, (2009).



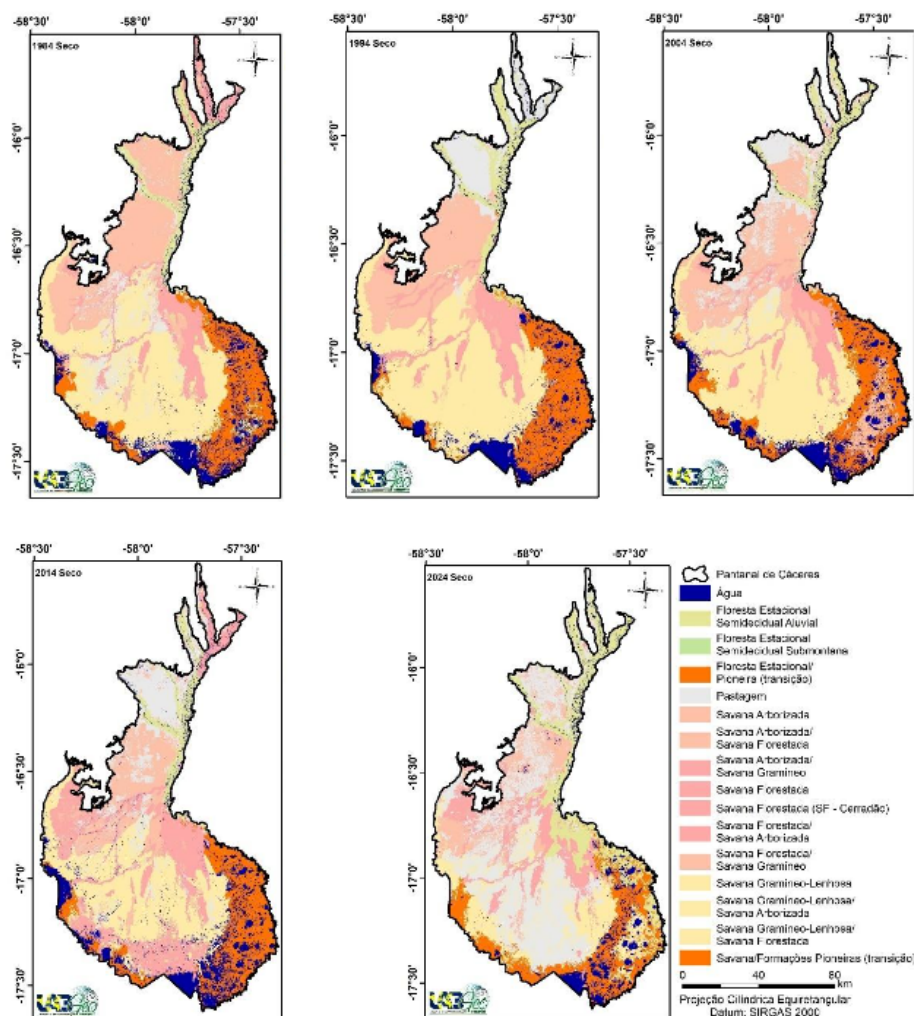
**Tabela 3.** Ocupação em porcentagem dos componentes das classes de Água, Cobertura Vegetal e Pecuária da área de estudo no período de 1984 a 2024.

Classe	Área (%)				
	1984	1994	2004	2014	2024
Água	8,67	7,03	7,53	9,98	5,44
Floresta Estacional Semidecidual Aluvial					14,3
	6,83	6,52	5,46	4,57	7
Floresta Estacional Semidecidual Submontana	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00
Floresta Estacional /Pioneira (Transição)	8,23	6,93	9,17	6,74	6,12
Savana Arborizada	16,9	14,3	15,2	10,2	
	1	6	0	4	9,42
Savana Arborizada/ Savana Florestada	3,62	3,01	7,46	1,78	0,47
Savana Arborizada/ Savana Gramíneo-Lenhosa	2,19	2,23	2,45	3,74	1,00
Savana Florestada				13,3	
	3,24	4,46	3,79	5	7,36
Savana Florestada (SF/Cerradão)	4,49	2,54	1,62	4,43	1,88
Savana Florestada/ Savana Florestada	1,10	0,84	0,68	0,64	1,01
Savana Florestada/ Savana Gramíneo-Lenhosa	0,50	0,30	0,50	0,48	0,46
Savana Gramíneo-Lenhosa	17,0	18,6	13,5		11,8
	6	0	8	9,74	3
Savana Gramíneo-Lenhosa/Savana Arborizada	14,3	16,8	16,3	15,0	
	6	2	3	2	3,23
Savana Gramíneo-Lenhosa/Savana Florestada	0,35	0,48	0,48	0,46	0,14
Savana / Formação Pioneira	6,00	7,68	5,35	6,94	6,34
Pecuária			10,4	11,8	30,9
	6,38	8,17	0	9	4
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

A presença da pecuária na planície pantaneira é datada desde o século XVII, o desenvolvimento da atividade se deve a um regime pastoril de desbravamento, expansão econômica e geográfica de terras para formar civilização, o Pantanal concentrava os maiores, caracterizado por criação extensiva e de baixo custo Tubiliano, (2014).

É possível observar que a Cobertura Vegetal ocupava a maior parte do território com 84,95%, essa porcentagem se manteve estável até o ano de 2004 quando começou a sofrer um decréscimo médio de 6,68% por período até o ano de 2024. No processo de redução percentual da classe de Cobertura Vegetal, percebe-se um decréscimo acentuado no último período (2014 e 2024) de 18,5%. O decréscimo expressivo registrado para a última década está correlacionado a expansão da classe da pastagem que também foi pontual para o mesmo período. As classes das categorias expostas na tabela I encontram-se apresentadas na **Tabela 3** representada na **Figura 2**.

Apesar da vegetação natural favorecer o desenvolvimento da atividade de pecuária, uma vez que a planície pantaneira se baseia em aspectos fitofisionômico diferenciados, evidenciado pelas 16 fitofisionomias vegetais, sendo predominante a Savana, com destaque para a Savana Gramíneo-Lenhosa (**Tabela 2**), que apresentou redução no período analisado, decorrente que no Pantanal de Cáceres a supressão desta ocorre em virtude da inserção de pastagens exóticas para o desenvolvimento da criação de gado Aquino et al., (2017). Em contrapartida, ocorreu a expansão da Pecuária em que se observou o acréscimo de 384,95% no período de 40 anos, destacando o 2014 a 2024, com a expressiva expansão de 160,21% (**Tabela 2, Figura 2**). Cabe destacar que o crescimento intensificado a partir de 2014, à custa das áreas de vegetação natural,



**Figura 2.** Distribuição das classes temáticas da cobertura vegetal e uso da terra, no Pantanal de Cáceres MT/Brasil, no período de 1984 a 2024.  
Fonte: Autores (2024).

demonstra um crescimento horizontal de produção.

Um dos fatores que explica esse tipo de expansão é a baixa produtividade dos solos, característica típica de pecuária extensiva, associado a outro fator que é a disponibilidade de terras, considerando que o histórico de ocupação das fazendas da planície pantaneira é de grandes latifúndios Tubiliano, (2014). O processo de substituição de pastagens nativas por pastagens exóticas ameaça a diversidade local e o equilíbrio da região pantaneira e compromete sua dinâmica natural Fernandes et al., (2010).

A expansão da classe da pecuária também foi favorecida por questões econômicas e políticas brasileira, pois o período de 2019 a 2022 foi favorecido por um governo de extrema-direita com gestão pró-ruralista, voltada para uma economia com a alta do dólar e um comércio de exportação de bovinos aquecido para outros países, fez os valores do gado subir, principalmente no início do período em que o mercado da China estava aberto para livre comercialização.

Nesse contexto, o Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso (Indea), descreveu que no período de 2020 a 2021 o rebanho do estado de Mato Grosso cresceu 5,2%, sendo que o município de Cáceres obteve a marca acima da média estadual, se colocando entre os 10 maiores

municípios em número de rebanho, concentrando 25% de toda produção pecuária e um quinto dos estabelecimentos rurais de Mato Grosso, colocando o município como o maior produtor do Estado, com rebanho de 1.168.663, distribuídos em 3.133 propriedades Mato Grosso, (2021).

No que tange a decisões políticas, leis de afrouxamento ambiental favorecem o avanço da fronteira agrícola, dessa forma o Código Florestal de 2012 favoreceu o desmatamento e não dedicou uma regulamentação específica para áreas úmidas deixando-as em uma condição de vazio legal Piedade et al, (2012); Irigaray, (2015), ainda no contexto político de gestão, em seu trabalho Silva e Santos (2023) destacaram o ano de 2020, período pandêmico do covid-19, em que a gestão da pasta do Meio Ambiente fragilizou a fiscalização ambiental e liberou o que fosse possível a fiscalização rígida pelas agências reguladoras.

Relativo as formações florestais no Pantanal de Cáceres, estas não são compostas por um único tipo de vegetação, o mosaico fitofisionômico sofre influência do relevo, do tipo do solo e do grau de alagamento não sendo observadas grandes áreas contínuas de um único tipo de vegetação, o que o torna naturalmente fragmentado e suscetível a alterações Areira e Da Cunha, (2006). Nesse contexto a alteração da vegetação descrita nesse estudo se deve a dois fatores que podem ser descritos como a modificação no cenário hídrico em que houve redução da superfície da água e o outro a supressão da vegetação para implantação de pastagem.

Por fim, o cenário da modificação da paisagem que evidencia a dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra descrito para o Pantanal de Cáceres no período de 1984 a 2024 reflete um modelo de utilização pouco sustentável, que se encontra ameaçado por fatores locais e globais e influenciados por questões políticas e econômicas vigentes.

A modificação ambiental identificada nesse estudo evidencia a fragilidade ambiental por qual passa uma das sub-regiões da planície do Pantanal, podendo em suas devidas singularidade ser extensiva as suas demais 10 unidades, fato que ressalta a necessidade de implementação das legislações e de uma política de gestão ambiental, que contribuam para minimização dos impactos das atividades econômicas que causam a degradação do sistema e o comprometimento da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos providos pelo bioma Pantanal.

## 5. Conclusão

Nos últimos 40 anos ocorreu a redução da superfície de Água do Pantanal de Cáceres, a supressão da vegetação natural, principalmente das formações savânicas, e a expansão da Pecuária, influenciada por fatores locais e globais, que afetam a paisagem e seus ecossistema, e a fatores políticos e econômicos, que interferem no planejamento e gestão ambiental do bioma Pantanal.

## 6. Referências

- Ab'saber, A. N. Brasil, Paisagens de Exceção: o litoral e o Pantanal Mato-Grossense: patrimônio básico. Cotia, S.P: Ateliê, p. 57-59, 2006.
- Aquino, H. R. R. C.; Galvanin, E. A.S.; Neves, S. M.A. S.; Lima, N. D. Análise da dinâmica de pastagem no Pantanal de Cáceres. **Geo UERJ**, 2016. n. 30, p. 305-328, 2017.
- Arieira, J.; Da Cunha, C. N. Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae), no Pantanal Norte, MT, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 569-580, 2006.
- Brasil. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.
- Brasil. **Mapas de Biomas do Brasil**: primeira aproximação. Rio de Janeiro: Ibge, 2004. Disponível e : [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 16 abr. 2023.
- Brasil. Ministério do meio Ambiente. Acesso a Informação. **Biomas: Pantanal**. 2009. Disponível em:<[www.mma.gov.br/biomas/pantanal](http://www.mma.gov.br/biomas/pantanal)>. Acesso em: 15 mai. 2023.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Convenção de Ramsar**. 2008. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zonas-umidas-convencao-de-ramsar> > Acesso em: 17 mar. 2024.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento dos Biomas Brasileiros - PROBIO** - Levantamento e mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Pantanal. Relatório Final, p. 45, 2007.

Brasil. Ministérios do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) – PCBAP**. Diagnóstico dos meios físicos e bióticos: meio biótico. Brasília: MMA, v. 2, t. 3. p. 3-68, 1997.

Câmara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395 – 403, 1996.

CDB. **Convention on Biological Diversity**, 1992. Disponível em: <<http://www.biodiv.org>> Acesso em: 12 ago. 2024.

Crispim, S. M. A.; Barioni Juniro, W.; Branco, O. D. Comportamento Produtivo das Braquiárias no Pantanal-MS. Brasil. In: Simpósio Sobre Recursos Naturais Socioeconômicos Do Pantanal, 3., 2000, Corumbá. Anais... Corumbá: Embrapa Pantanal, 2001.

Earth Explorer (Download de Imagens orbitais) Instituto Geológico Americano. Disponível em: < <https://earthexplorer.usgs.gov/> >. Acesso em: 18 mar. 2024.

Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de solos. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGis advanced**: release 10.8. Redlands: ESRI, 2020.

Fernandes, F.A.; Fernandes, A. H. B. M.; Soares, M. T. S.; Pellegrin, L. A.; Lima, I. B. T. de. **Atualização do mapa de solos da Planície pantaneira para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007. p. 6 (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 61). Disponível em: <[http://cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq\\_pdf=COT61](http://cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq_pdf=COT61) > Acesso em: 5 fev. 2024.

Fernandes, I. M.; Signor, A. C.; Penha, J. **Biodiversidade no Pantanal de Poconé**. Centro de Pesquisa do Pantanal, Cuiabá, p.36-38, 2010.

Florenzano, T. G. Iniciação em Sensoriamento Remoto. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128p.

Garcia, D. S C. **Os Belgas na Fronteira Oeste do Brasil**. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão (FUNAG), p. 359, 2009.

Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyshchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, n. 1, p. 18-27, 2017.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

Irigaray, C. T. J. H. "Áreas Úmidas Especialmente" Des" Protegidas no Direito Brasileiro: O Caso do Pantanal Mato-grossense e os Desafios e Perspectivas para sua Conservação. **Revista de Estudos Sociais**, v. 17, n. 34, p. 203-225, 2015.

Junk, W. J. et al. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Science**, v.68, p. 278–309, 2006.

Junk, W. J.; Bayley, P. B.; Sparrks, R. S. The flood pulse concept in river – floodplain systems. In: DODGE, D.P. (ed). Proc Int Large River Symp (LARS). **Canadian Journal of Fishers and Aquatic**, v.106, p.110-127, 1989.

Junk, W. J.; Piedade, M. T. F.; Lourival, R.; Wittmann, F.; Kandus, P.; Lacerda, L. D.; Camargo, E. Definição e classificação das Áreas Úmidas (AUs) brasileiras: base científica para uma nova política de proteção e manejo sustentável. **Classificação e delineamento das Áreas Úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**, 13-76, 2014.

Junk, W. J; Silva, C. J. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal de Mato Grosso. In: Simpósio Sobre Recursos Naturais E Sócio-Econômicos Do Pantanal, Manejo E Conservação, 2., 1999, Corumbá. **Anais...** Corumbá: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa-CPAP), p.17-28, 1999..

Mato Grosso (Estado) Secretaria de Planejamento do Estado de Mato Grosso. Mato Grosso em Números, Edição

2010. Disponível em:<[www.seplan.mt.gov.br](http://www.seplan.mt.gov.br)>. Acesso em: 22 mar. 2024.

Neves, S. M. A.; Nunes, M. C. M.; Neves, R. J. Caracterização das condições climáticas de Cáceres/MT-Brasil, no período de 1971 a 2009: subsídio às atividades agropecuárias e turísticas municipais. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 55-68, 2011.

Neves, S. M. A. S. **Modelagem de um banco de dados geográficos do Pantanal de Cáceres/MT: estudo aplicado ao turismo**. 284 f. 2006. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

Neves, S. M. A. S.; Cruz, C. B. M.; Neves, R. J.; Operacionalização de propostas de zonas turísticas para o Pantanal de Cáceres/MT, com apoio em geotecnologias. **Ciência Geográfica**, v. 13, n. 2, p. 76-86, 2008.

Neves, S. M. A. S.; Cruz, C. B. M.; Neves, R. J.; Silva, A. Geotecnologias Aplicadas na Identificação e Classificação das Unidades Ambientais do Pantanal de Cáceres/MT- Brasil. **Geográfica**, v. 34, número especial, p. 795-805, 2009.

OMM. World Meteorological Organization. 2023 quebra recordes climáticos, com grandes impactos. 2023. Disponível em:< <https://wmo.int/news/media-centre/2023-shatters-climate-records-major-impacts>> Acessado em: julho de 2024.

Piedade, M. T. F.; Junk, W. J.; de Sousa Jr, P. T.; Da Cunha, C. N.; Schongart, J.; Wittmann, F.; Girard, P. As áreas úmidas no âmbito do Código Florestal brasileiro. Código Florestal e a ciência: o que nossos legisladores ainda precisam saber. **Sumários executivos de estudos científicos sobre impactos do projeto de Código Florestal**, p. 9-17, 2012.

Pott, A. Dinâmica da vegetação do Pantanal. In: **Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil**. 2007, Caxambu – MG, 2007, p. 1-4.

RadamBrasil. Ministério das Minas e Energia. **Levantamento de recursos naturais Folha**. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD. 21 Cuiabá: Rio de Janeiro, 448 p. 1982.

Ramsar. Disponível em: <[www.ramsar.org](http://www.ramsar.org)>. Acesso em: 25 mar. 2012.

Rudorff, B. F.T; Shimabukuru, Y. E.; Ceballos, J. C. **O sensor Modis e suas Aplicações Ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, p. 157- 171, 2007.

Santos, J. S.; Pereira, G.; Shimabukuru, Y. E.; Rudorff, B. F. T. Identificação de áreas alagadas no Bioma Pantanal - Brasil -utilizando dados multitemporais TERRA/MODIS. **Geografia**, Rio Claro, v. 34, Número Especial, p. 745-755, dez., 2009.

Santos, L.; Zamparozzi, C. A. G. P.; Soares, J. C. O. O Ritmo pluviométrico na região de Cáceres- MT no período compreendido entre a série histórica de 1971 a 2010. **Revista Geonorte**, v.1, n.5, p.1091- 1102, 2012.

Silva, E. M.; Santos, J. S. A “Escalada” dos Agrotóxicos no Governo Bolsonaro. **Serviço Social & Sociedade**, v. 146, n. 2, p. e6628321, 2023.

Silva, J. S. V. et al. Projeto Geo. MS - **Cobertura Vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011.

Silva, J. S.V.; Abdon, M. M.; Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, Número Especial, p.1703-1711, out.,1998.

Souza, C. A.; LaniI, J. L.; Souza, J. B. Origem e Evolução do Pantanal de Mato Grosso. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia. 4., 2006, Goiânia, GO. **Anais...** Setembro, 2006. Disponível em:< <<http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/articles/132.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2024.

Trubiliano, C. A. B. No Rastro da boiada: pecuária e ocupação do sul de Mato Grosso (1870-1920). **Revista Crítica Histórica** Ano V, nº 9, julho/2014.

USGS, Geological Survey. **Serviço de levantamento Geológico Americano**. Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do Satélite Landsat-8. Disponível na biblioteca digital USLib:<<http://landsat.usgs.gov>> Acesso em: 29 jan. 2024.

## **Vulnerabilidade ambiental e natural da bacia hidrográfica do Rio Sepotuba, Mato Grosso, Brasil**

Carlos Eduardo Pereira Fornazari<sup>1</sup>  
Livia Angélica Siqueira de Oliveira<sup>1</sup>  
Sandra Mara Alves da Silva Neves<sup>1</sup>  
Joliene da Silva Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso/Laboratório de Geotecnologias Unemat  
Av. Santos Dumont, s/n. B: Lobo. Cidade Universitária  
78211-298 Cáceres - MT, Brasil  
{carlos.fornazari, livia.angelica, ssneves, joliene.silva}@unemat.br

**Resumo.** A vulnerabilidade natural serve para identificar os níveis de estabilidade ou instabilidade dos componentes abióticos e bióticos da paisagem. Por outro lado, a vulnerabilidade ambiental diz respeito à susceptibilidade de um ambiente aos impactos potenciais decorrentes do uso. O intuito deste estudo é identificar tanto a vulnerabilidade natural, quanto a ambiental na bacia do rio Sepotuba, visando subsidiar o planejamento e a gestão ambiental da área. Utilizando geotecnologias, foram elaborados mapas temáticos e realizada a quantificação dos atributos da paisagem. Para determinar a vulnerabilidade natural da bacia em questão, foram combinados os mapas de a geologia, fases do relevo, solos e aptidão. Enquanto para a vulnerabilidade ambiental acrescentou-se a combinação do mapa de cobertura vegetal e uso da terra. Verificou-se que na bacia a classe de vulnerabilidade natural predominante é a baixa (7.496,45 km<sup>2</sup>), logo a magnitude das pressões antrópicas influencia no grau de vulnerabilidade, tornando os ambientes mais ou menos susceptíveis a degradação ambiental. Quanto a vulnerabilidade ambiental predomina a classe baixa (7.944,68 km<sup>2</sup>) cujas dominâncias da cobertura vegetal são das Formação Florestal e Savânica. Conclui-se que as atividades antrópicas tornam o ambiente vulnerável, embora muitos destes sejam prioritários a conservação.

**Palavras-chave:** conservação ambiental, geotecnologias, paisagem, usos da terra, vegetação, Pantanal.

**Abstract.** Natural vulnerability is used to identify the levels of stability or instability of the abiotic and biotic components of the landscape. On the other hand, environmental vulnerability refers to the susceptibility of an environment to potential impacts resulting from use. The aim of this study is to identify both natural and environmental vulnerability in the Sepotuba river basin, with a view to supporting environmental planning and management in the area. Using Geotechnologies, thematic maps were drawn up and landscape attributes quantified. To determine the natural vulnerability of the basin in question, maps of geology, relief phases, soils and suitability were combined. For environmental vulnerability, the vegetation cover and land use maps were combined. It was found that the predominant natural vulnerability class in the basin is low (7,496.45 km<sup>2</sup>), so the magnitude of anthropogenic pressures influences the degree of vulnerability, making environments more or less susceptible to environmental degradation. In terms of environmental vulnerability, the low class (7,944.68 km<sup>2</sup>) predominates, with the dominance of vegetation cover in the Forest and Savannah formations. It can be concluded that anthropic activities make the environment vulnerable, although many of these are priorities for conservation.

**Key-words:** Environmental conservation, Geotechnologies, Landscape, Land use, Vegetation, Pantanal.

## 1. Introdução

As bacias hidrográficas têm se constituído como unidades dinâmicas e complexas que compõem a paisagem e se tornam objetos de análise de extrema conversão devido ao seu enfoque sistêmico e integrado Pereira et al. (2023, p. 50).

Nesse sentido, é importante que se amplie os bancos de dados a respeito das limitações que decorrem nesses ecossistemas. A exemplo, dos impactos ambientais e das ações naturais e antrópicas, que as predispõem a vulnerabilidade natural e ambiental. A susceptibilidade natural mostra a predisposição do ambiente frente a fatores ambientais Grigio, (2008) e a última é definida como qualquer suscetibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer Tagliani, (2003).

A vulnerabilidade natural mostra a predisposição do ambiente frente a fatores ambientais Grigio, (2008) enquanto a vulnerabilidade ambiental, segundo Tagliani (2003), é definida como qualquer suscetibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer.

Frente a essa dificuldade, as geotecnologias têm se destacado como técnicas eficazes e de baixo custo. Uma vez que, realizam análises multitemporais do estado de conservação e/ou degradação de um ambiente, indispensável para o monitoramento e planejamento de ações desenvolvidas nestes locais.

Diante da importância da Bacia Hidrográfica do rio Sepotuba para a manutenção do pulso de inundação da planície pantaneira da Bacia do Alto Paraguai (BAP), que é uma das mais importantes áreas naturais alagadas do planeta.

## 2. Objetivo

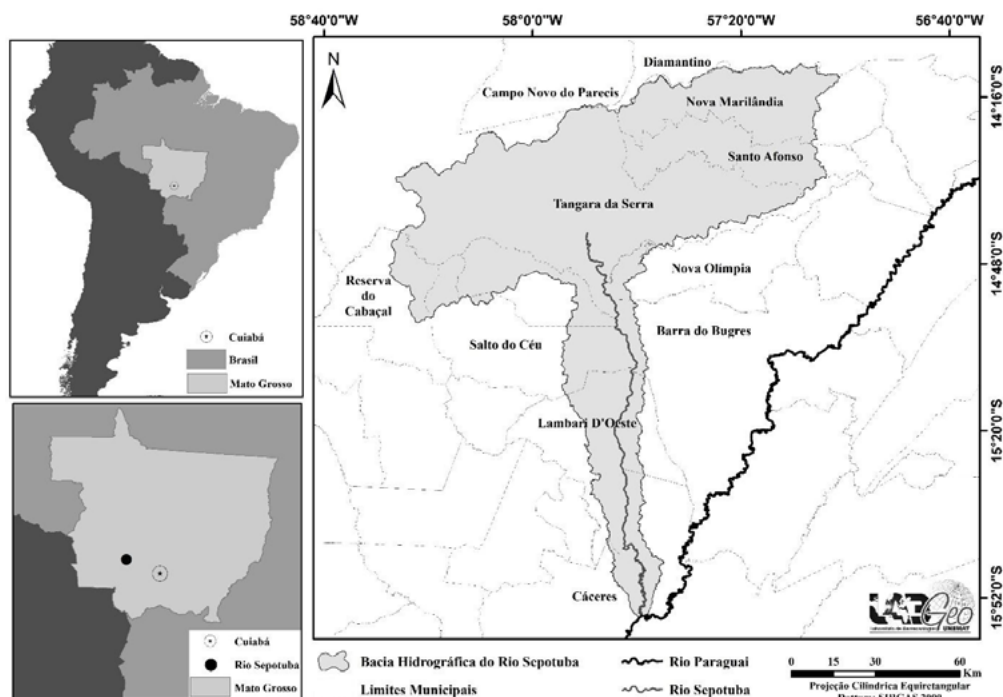
Este trabalho teve como objetivo identificar a vulnerabilidade natural e ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Sepotuba/MT, a partir de técnicas de geoprocessamento, visando subsidiar o planejamento e a gestão ambiental.

## 3. Material e Métodos

### 3.1. Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do rio Sepotuba (BHRS) extensão territorial de 9.828 km<sup>2</sup> e está distribuída em onze municipalidades mato-grossenses: Barra do Bugres (7,44%), Cáceres (4,78%), Campo Novo do Parecis (0,004%), Diamantino (0,04%), Lambari D'Oeste (9,43%), Nova Marilândia

(13,51%), Nova Olímpia (1,55%), Reserva do Cabaçal (2,66%), Salto do Céu (6,03%), Santo Afonso (10,36%) e Tangará da Serra (44,20%), conforme pode ser observado na **Figura 1**.



**Figura 1.** BHRS nos contextos sul-americano, nacional, al e municipal.  
Fonte: Autores (2024).

Dos municípios em que a bacia está presente apenas o IDH do município de Tangará da Serra que é 0,729, é maior que o IDH do Estado, que é 0,725. Dos outros municípios são inferiores, onde o de Barra do Bugres apresenta o IDH de 0,693; Cáceres 0,708; Campo Novo do Parecis 0,734; Diamantino 0,718; Lambari D'Oeste 0,627; Nova Marilândia 0,704; Nova Olímpia 0,682; Reserva do Cabaçal 0,676; Santo do Céu 0,666; Santo Afonso 0,689 PNUD, (2022).

Destaca-se a ocorrência de três biomas na bacia, sendo Amazônia, Cerrado e Pantanal.

### 3.2. Procedimentos metodológicos

Como proposto por Marconi e Lakatos (2021) a pesquisa bibliográfica da pesquisa foi constituída pelas etapas de: escolha do tema; levantamento das bibliografias; definição de problema; aprofundamento e ampliação do levantamento bibliográfico; seleção textos (fontes); localização; fichamento; análise, interpretação e redação da pesquisa bibliográfica foi conduzida para fundamentar teoricamente compreensão a respeito do tema, a análise e a discussão dos resultados.

A metodologia adotada seguiu a proposta por Grigio (2003) e Carrijo (2005) e os mapas foram elaborados no ArcGis 10.7.1 (ESRI, 2019).

O mapa de vulnerabilidade natural foi gerado por meio da combinação dos dados espaciais de aptidão agrícola, declividade e geologia, no módulo ArcMap, no ArcGIS, versão 10.7.1 ESRI, (2019). E para a carta de vulnerabilidade ambiental foi elaborado a partir da combinação da carta de vulnerabilidade natural com a carta de cobertura vegetal e uso da terra de 2022, cujo arquivo foi gerado pelo projeto MapBiomas (2024).



Através da base cartográfica disponibilizado no sítio da SPLAN/MT, o mapa da aptidão da BHRS foi produzido seguindo o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras - SAAT Ramalho Filho e Beek, (1995).

Para geração do mapa de declividade, foram obtidas as cenas S15\_W057, S15\_W058, S15\_W059 e S16\_W058 de modelo digital de elevação (MDE) do SRTM, que cubram a área desejada. Obtidas através do United States Geological Service I USGS, (2024), e realizado o mosaico das imagens por meio da ferramenta Mosaic to New Raster do Arc toolbox no software ArcGis 10.7.1 ESRI, (2019).

Utilizando a ferramenta Spatial Analyst na opção Surface Analyst, selecionando o comando Slope para gerar as classes de declividade em percentual. O arquivo matricial contendo os valores de declividade passou pelo processo de reclassificação, via comando Reclassify no módulo Arc toolbox, com objetivo de agrupar os valores de declividade em seis classes, correspondentemente às classes de relevo proposto pelo IBGE (2009).

As classes de declividade foram definidas conforme proposto pelo IBGE (2009), onde o relevo plano é classificado de (0 a 3%), relevo suave ondulado (> 3 a 8%), relevo ondulado (> 8 a 20%), relevo forte ondulado (> 20 a 45%), relevo montanhoso (> 45 a 75%) e relevo escarpado (>75%).

Foi utilizado o vetor da bacia para recorte do arquivo vetorial de geologia do estado de Mato Grosso disponibilizado no sítio da Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral de Mato Grosso - SEPLAG/MT, em escala de 1:250.000.

Para a análise da cobertura vegetal e uso da terra foram obtidos os arquivos matriciais, coleção 8, gerados projeto MapBiomias (2024).

O arquivo vetorial da cobertura vegetal e uso da terra da área de estudo correspondem ao ano de 2022, referente ao estado de Mato Grosso. A imagem foi recortada pela máscara da bacia hidrográfica do Rio Sepotuba, convertida para o formato shapefile e exportadas para ser editada no módulo ArcMap, no ArcGIS, versão 10.7.1 ESRI, (2019). Após a finalização da edição, as classes de cobertura vegetal e uso da terra foram quantificadas, na calculadora de atributos do ArcGis ESRI, (2019). Os valores de área das classes foram gerados e exportados em dbf. e no Excel, geradas as tabelas e quantificações.

Na álgebra de mapas, cada representação cartográfica dos atributos ambientais, tais como a geologia, fases do relevo, cobertura vegetal e uso da terra, solos e aptidão, onde será utilizada como uma evidência, sendo que cada componente recebeu um peso distinto conforme sua relevância para com a hipótese em consideração (**Tabela 1**). O resultado desse procedimento consiste na elaboração de um mapa de que evidencia áreas com diferentes níveis de importância, refletindo os valores numéricos resultantes Câmara et al. (2001). Portanto, a vulnerabilidade foi categorizada em uma escala de 1 a 3, com intervalos de 0,5. Nos ambientes onde a pedogenese é predominante, demonstra uma baixa vulnerabilidade, sendo atribuído o valor de 1. À medida que a influência dos processos erosivos aumenta, a vulnerabilidade também aumenta, alcançando o valor máximo de 3, indicando ambientes com alta vulnerabilidade.

#### 4. Resultados e Discussão

Na região sudoeste de Mato Grosso a ocupação e a exploração dos componentes naturais da paisagem, principalmente do solo e água, foram intensificadas a partir de 1970, sendo mais expressiva em meados de 1980 em razão da expansão agropecuária.

A bacia hidrográfica do Rio Sepotuba apresenta impactos mais evidentes e preocupantes em relação às alterações na vegetação ao longo das últimas décadas, consequência dos movimentos migratórios nas cidades localizadas nessa bacia Silva et al. (2021). Ocorreram mudanças

**Tabela 1.** Pesos atribuídos aos atributos ambientais (Plano de informação) para obtenção das Vulnerabilidades naturais e ambientais.

<b>Atributos Ambientais</b>	<b>Peso</b>
<b>Geologia</b>	
Araras	3
Cobertura Detrito Laterítica	3
Cobertura Eólicas Continentais	2
Corpos d'água	1
Depósitos <u>Aluviais</u> Holocênicos	3
Morro Cristalina	3
Raizama	3
Salto das Nuvens	1
Septotuba	2
Serra do Rio Banco	3
Tapirapuã	2
Terraços holocênicos	2
Utianti	3
Vale da Promissão	3
<b>Fases do Relevo</b>	
Plano (0-3%)	1
Suave Ondulado (3,1-8%)	1
Ondulado (8,1-20%)	2
Forte Ondulado (20,1-45%)	2
Montanhoso (45,1-75%)	3
Escarpa do (75>)	3
<b>Cobertura vegetal e uso da terra</b>	
Afloramento Rochoso	3
Agricultura	3
Área Urbanizada	3
Campo Alagado e Área Pantanosa	1
Corpo D'água	1
Vegetação	1
Pastagem	2
<b>Aptidão Agrícola</b>	
Terras com aptidão boa para lavouras no nível C, Regular no nível B e inapta no nível A	3
Terras com aptidão boa para lavouras no nível A e B e restrita no nível C	3
Terras com aptidão boa para lavouras no nível A, B e C	3
Terras com aptidão regular para pastagem plantada	1
Terras com aptidão restrita para lavouras no nível B, regular no nível C e inapta no nível A	2
Terras sem aptidão para uso agrícola e <u>restrita</u> para pastagem plantada	1
Terras sem aptidão para uso agrícola	1

Fonte: Autores (2024).

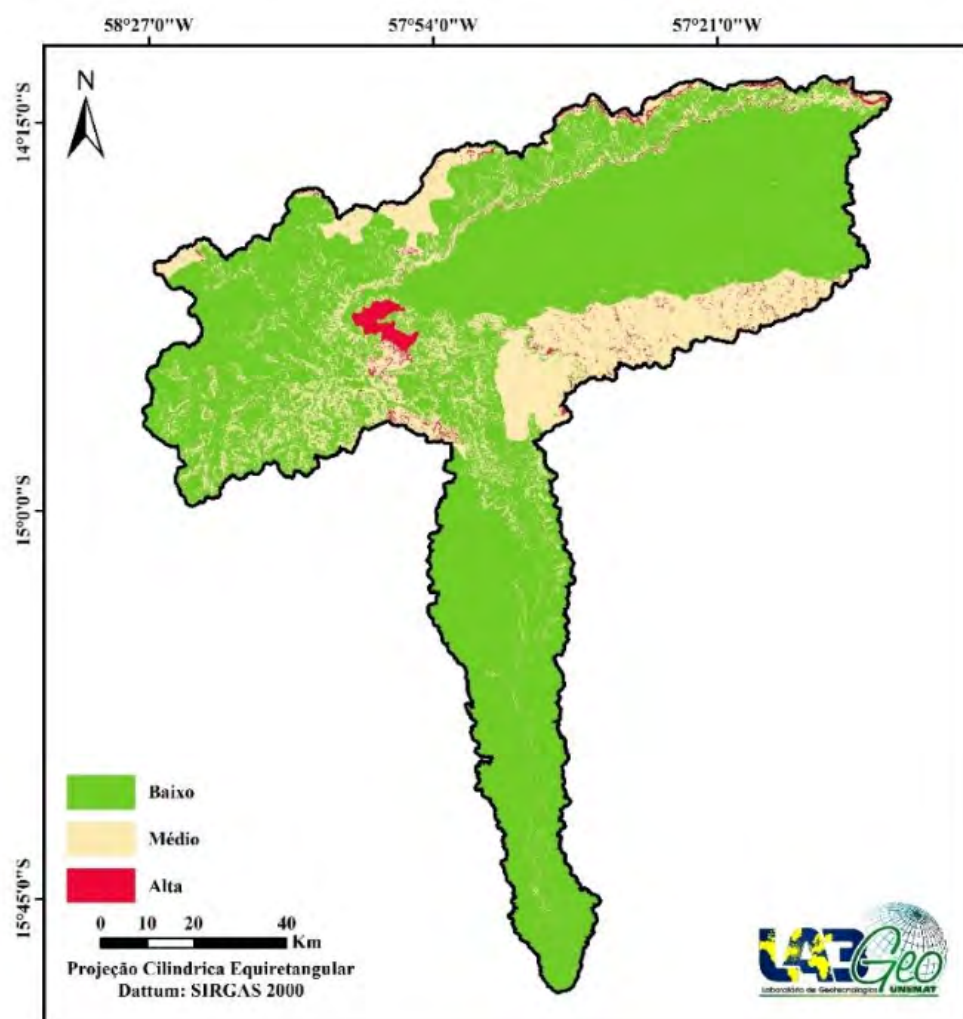
nos métodos produtivos com a dominação da pecuária comercial como a principal atividade econômica e o incremento da agricultura mecanizada. E, por consequência, a degradação ambiental o coloca como um dos estados que mais registraram tal realidade Lorenzon, (2016).

Segundo Neves et al. (2015), a expansão das atividades produtivas nas áreas de planalto da Bacia do Alto Paraguai, em que parte da bacia de estudo está situada, tem potencial para

impactar os sistemas abióticos e bióticos do Pantanal. Nessa perspectiva, pode-se destacar os trabalhos desenvolvidos no âmbito do seu sistema hidrográfico. Estudos conduzidos por autores como Pessoa et al. (2013), Neves et al. (2015), Lorenzon (2016), entre outros, analisaram a dinâmica do uso da terra, apresentando resultados e indicadores significativos.

Toda ação que modifique o estado natural do meio, como alguns tipos de uso da terra (desmatamento, corte de barrancos e disposição inadequada de resíduos sólidos no solo, etc.), pode resultar, de acordo com as características locais, aliadas à intensidade desta ação, em efeitos adversos, identificado como vulnerabilidade.

A vulnerabilidade baixa correspondeu a maior classe em área, representando 7.496,45 km<sup>2</sup>, apresentando relevo predominantemente plano e suave-ondulado, sendo adequada uso e ocupação devido ao seu tipo de relevo; a vulnerabilidade média totalizou 2.162,03 km<sup>2</sup>, sendo constituída principalmente com relevo forte-ondulado e ondulado, impondo restrição a sua incorporação no processo produtivo; e a vulnerabilidade alta perfaz 160,91 km<sup>2</sup>, onde ocorre relevos montanhosos e fortes ondulados, constituindo em restrição ao seu aproveitamento nas atividades agropecuária. Na **Figura 2** está representada a distribuição espacial das classes de vulnerabilidade natural.

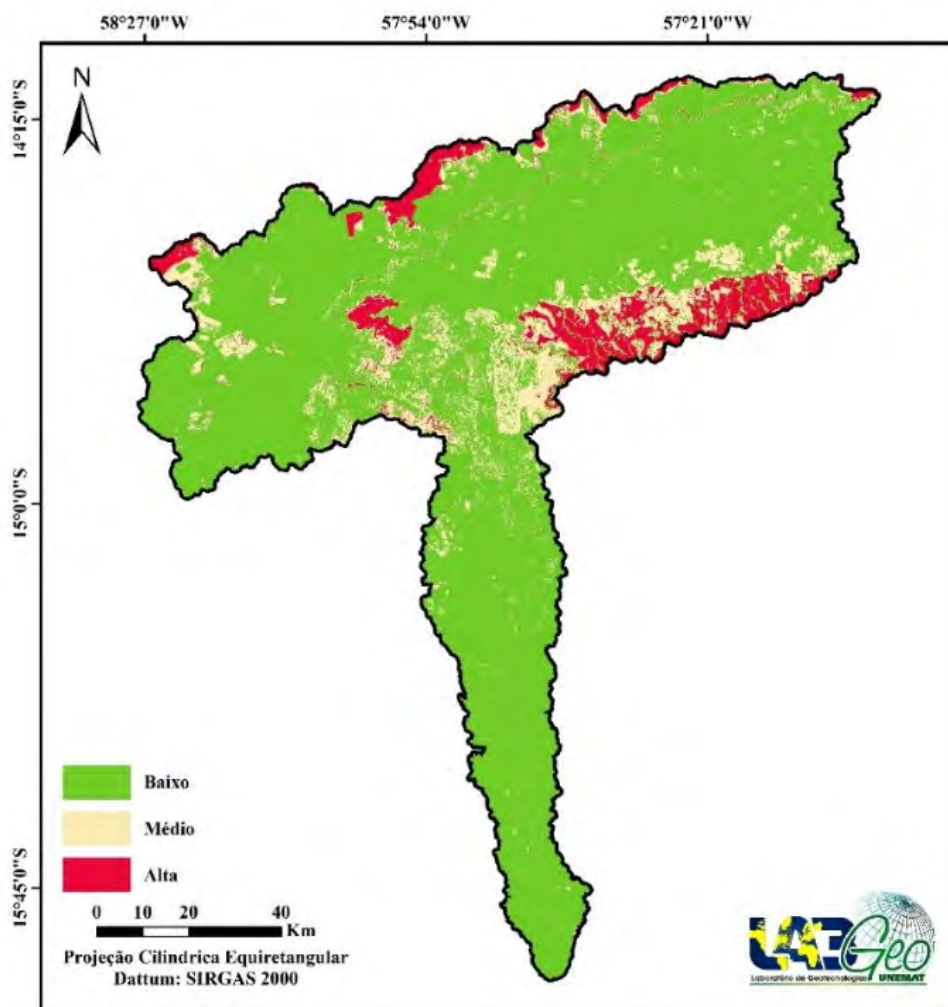


**Figura 2.** Vulnerabilidade natural da bacia hidrográfica do rio Sepotuba/MT.  
Fonte: Autores (2024).

A mudança da declividade do terreno da bacia do rio Sepotuba pode alterar os níveis de vulnerabilidade natural notadamente nos níveis baixa e média, fato esse que foi observado nas porções leste e sul da BHRS, com o predomínio de vulnerabilidade baixa com presença de média vulnerabilidade.

Ao associar o solo com a declividade foi possível observar que a declividade constitui um dos fatores que influencia os componentes da paisagem com transformações que podem alterar suas características, além da determinação do potencial da intensidade dos processos naturais Frolov e Cherkashin, (2012).

A vulnerabilidade ambiental baixa da Bacia Hidrográfica do Rio Sepotuba (**Figura 3**) ocorre em 7.944,68 km<sup>2</sup>, cujas dominâncias da cobertura vegetal são das Formação Florestal e Savânica; a média está presente em 1.198,79 km<sup>2</sup>, recobertos por Formação Florestal, Agricultura e Pastagem; e por fim alto está distribuída em toda a área da bacia de estudo, perfazendo 675,90 km<sup>2</sup>, com principalmente cultivados por Agricultura, Áreas vegetadas e Mineração.



**Figura 3.** Vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Sepotuba/MT.  
Fonte: Autores (2024).

Áreas que foram submetidas às atividades antrópicas, quando foi retirado sua cobertura vegetal para ser destinada a outros tipos de uso (como agricultura e pecuária), apresentam uma alta vulnerabilidade ambiental, mesmo tendo características distintas quanto às pressões antrópicas. Mesmo sendo a vulnerabilidade natural da bacia do rio Sepotuba baixa, as alterações realizadas na paisagem, como a supressão da vegetação para o desenvolvimento de atividades agrícolas, comprometeram na presença da vulnerabilidade ambiental alta nas porções sudoeste da BHRS, pois as amplitudes das pressões antrópicas influenciaram no nível de vulnerabilidade ambiental, tornando os ambientes mais ou menos susceptível a degradação ambiental Aquino et al. (2017).

## 5. Conclusões e Sugestões

A utilização das geotecnologias, como o Sensoriamento Remoto, é apropriada para investigar a vulnerabilidade ambiental e natural de bacias hidrográficas e seus compartimentos pois permite uma análise integrada dos dados geoespaciais exigidas por metodologias híbridas. Os sensores remotos representam uma fonte significativa de dados, especialmente em áreas de difícil acesso ou de grande extensão. Assim sendo, neste estudo, sua aplicação em conjunto com o SIG favoreceu a análise, avaliação e quantificação dos parâmetros de vulnerabilidade da bacia em questão.

Na Bacia Hidrográfica do rio Sepotuba a classe predominante de vulnerabilidade é a baixa, sendo que as atividades antrópicas, que são realizadas na BHRS, exercem uma pressão na conservação dos componentes abióticos na paisagem, assim fazendo com que a vulnerabilidade ambiental nessas porções seja alta. Dessa forma, incluir as vulnerabilidades nas diretrizes e ações do planejamento municipal pode subsidiar a tomada de decisões dos grupos que extraem sua renda da terra e dos responsáveis pela preservação ambiental.

## 6. Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pela concessão das bolsas de estudos.

## 7. Referências

- Aquino, Afonso Rodrigues de et al. **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017. 112 p.
- Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE/ Diretoria de Geociências, 2007. p. 189-191.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos**. Brasília, 2007. 192 p.
- Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 42 – 76.
- Carrizo, Martha Gilka Gutiérrez. **Análise da vulnerabilidade ambiental: o caso do parque estadual das nascentes do rio Taquari-MS**. 2005. 97f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2005.
- ESRI. **ArcGIS advanced: Release 10.7.1**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2019.
- Frolov, A. A.; Cherkashin, A. K. Altitudinal Gradient as a Complex Factor for Formation of Landscape Microzonality and Geosystem Serialness. **Geography and Natural Resources**, v. 33, n. 1, p. 10-28, 2012.
- Grigio, Alfredo Marcelo. **Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do Município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera**. 2003. 253f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) –

Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

Grigio, Alfredo Marcelo. **Evolução da paisagem do baixo custo do Rio Piranhas-Assu (1988-2024):** Uso de autômatos celulares em modelo dinâmico espacial para simulação de cenários futuros. 2008. 205f. Tese (Doutorado em Geodinâmica) - Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

Lorenzon, Thiziane Helen. **Dinâmica do uso da terra e as implicações na cobertura vegetal, na qualidade da água e no solo da bacia hidrográfica do Cabaçal, Mato Grosso – Brasil.** 2016. 131f. Dissertação (Mestrado em Ambientes e Sistemas de Produção Agrícolas), Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Tangará da Serra – MT, 2016.

Mapbiomas. **Projeto Mapbiomas: coleção 8 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil,** 2022. Disponível em: <<https://mapbiomas.org>>. Acesso em: 14 jul. 2024.

Marconi, Maria De Andrade; Lakatos, Eva Maria. **Fundamentos do trabalho científico.** 9. Ed. São Paulo: Atlas, 2021.

Neves, Sandra Mara Alves da Silva et al. Geotechnologies applied to the evaluation of sugarcane dynamics in the Bugres river basin, Mato Grosso State-Brazil. **Geografia**, v. 40, 195-209, 2015.

Pereira, Joliene da Silva; NEVES, Sandra Mara Alves da Silva; SILVA, João dos Santos Vila da; Antropização da paisagem da paisagem da Bacia Hidrográfica do Córrego Jacobina em Cáceres/MT, Brasil. **Revista Equador (UFPI)**, v. 12, n. 2, p. 48-71, 2023.

Pessoa, Seyla Poliana Miranda et al. Análise espaço-temporal da cobertura vegetal e uso da terra na Interbacia do Rio Paraguai Médio-MT, Brasil. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 119–128, jan. 2013.

Ramalho Filho, Antonio; Beek, Klaas Jan. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** Rio de Janeiro: Embrapa-Cnps, 1995.

Silva, Géssica de Jesus Oliveira et al. Dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Sepotuba-MT, Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia/MG, v. 28, n. 80, p. 81-96, 2021.

Tagliani, Carlos Roney Armanini. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informação. In: Seminário Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1657-1664.

USGS. United States Geological Service. **EarthExplorer**, 2024. Disponível em < <https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 14 jul. 2024.

## **Análise da capacidade de uso da bacia hidrográfica do rio Cabaçal, Mato Grosso - Brasil**

Daniely Deluque Silva<sup>1</sup>  
Sandra Mara Alves da Silva Neves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado do Mato Grosso - UNEMAT  
Laboratório de Geotecnologias Unemat (LabGeo UNEMAT).  
Av. Santos Dumont s/n. Bairro: Lobo – Cidade Universitária.  
78211-260 – Cáceres/MT, Brasil  
{daniely.deluque, ssneves}@unemta.br

**Resumo:** Para o adequado uso das terras é necessário um conjunto de informações referente ao local de cultivo, visando que o solo não perca a produtividade por efeitos da erosão e degradação. O objetivo deste estudo é realizar o levantamento da capacidade de uso do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Cabaçal/MT. Foram gerados os mapas de solo, de declividade e cobertura vegetal e uso da terra em ambiente SIG, bem como a combinação dos mapas. A segunda etapa, considerando as literaturas escolhidas para o estudo, houve a interpretação do uso atual do solo, e sua recomendação. Na bacia 68,68% das terras compreende a classe III, que são terras cultiváveis com problemas complexos de conservação; para a classe IV foram compreendidos certa de 0,19% das terras cultiváveis, apenas com uma extensão limitada; para a classe VI, compreendeu o percentual de 28,78% que corresponde a terras adaptadas em geral para pastagens ou reflorestamento; e para classe VII representa 2,25% das terras adaptadas para pastagem e reflorestamento. Foi considerando também a classe água ocupando 0,07%. Concluiu-se que a classe com maior representatividade está compatível com sua capacidade de uso, mas a necessidade de adoção de práticas conservacionista nas demais áreas são necessárias.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, geotecnologias e planejamento conservacionista.

**Abstract.** The proper use of land requires a set of information about the place where it will be cultivated, so that the soil does not lose productivity due to the effects of erosion and degradation. The aim of this study was to survey the land use capacity of the Cabaçal River Basin/MT. Soil, slope, vegetation cover and land use maps were generated in a GIS environment, as well as combining the maps. The second stage, considering the literature chosen for the study, involved interpreting the current land use and recommending it. In the basin, 68.68% of the land comprises class III, which is arable land with complex conservation problems; class IV comprises a certain 0.19% of arable land, only to a limited extent; class VI comprises 28.78%, which corresponds to land generally adapted for pasture or reforestation; and class VII represents 2.25% of the land adapted for pasture and reforestation. The water class was also considered, occupying 0.07%. It was concluded that the class with the highest representativeness is compatible with its use capacity, but the need to adopt conservation practices in the other areas is necessary.

**Key-words:** remote sensing, geotechnologies, wetlands, Pantanal.

## 1. Introdução

O planejamento adequado na utilização dos solos para fins agrícola, segundo Gomes et al. (1993), necessita da manipulação de informações básicas, visando o prolongamento de sua capacidade produtiva e racionalidade quanto ao uso e conservação do solo.

A Bacia Hidrográfica do Rio Cabaçal (BHRC) possui aproximadamente uma área de 5.428,45 km<sup>2</sup>, distribuída na região sudoeste de planejamento do estado do Mato Grosso que é composta por 22 municípios, que estão inseridos nos três biomas brasileiros presentes no estado do Mato Grosso: Cerrado, Pantanal e Amazônia Carvalho et al., (2015).

O Brasil é o segundo país com maior área de floresta do mundo e o primeiro em floresta tropicais. O modelo de produção do agronegócio tem ameaçado o Cerrado, o segundo maior bioma do Brasil, que perdeu 11 mil km<sup>2</sup> de vegetação nativa de agosto de 2022 a julho de 2023 INPE, (2023). A área suprimida é de 3% superior ao resultado anterior, no mesmo período, porém de 2021 a 2022. No Pantanal as mudanças climáticas não somente afetam o regime hídrico, mas também na biodiversidade que ele abriga. Sua dependência dos rios que nascem na região do planalto para abastecer a planície pantaneira, vem sendo alterada devido a degradação ambiental na Amazônia e no Cerrado, que altera o volume de chuva levando a seca severa e a substituição de mata nativa para fins agrícola sem respeitar Áreas de Proteção Permanentes (APP), que atingem rios e nascentes. Na Amazônia entre 1990 e 2023, o rebanho bovino da Amazônia Legal cresceu 140% passando de 26, 6 milhões para 64 milhões de cabeças. O aumento da demanda e as vantagens do setor na Amazônia indicam que a pecuária continuará a crescer na região Barreto, (2013). Esse crescimento não somente atinge sua biodiversidade, mas altera o ciclo hidrológico e afeta os povos locais que deverá procurar outras áreas para garantir seu sustento.

A agropecuária é a principal atividade econômica dos municípios do estado do Mato Grosso. Na produção da pecuária destaca-se o município de Cáceres, segundo dados do Instituto de Defesa Agropecuária do Estado Indea, (2023) é o maior produtor com mais de 1 milhão de cabeças e 3 mil propriedades. Os reflexos negativos dessa principal atividade econômica dos municípios, são as mudanças do uso da terra, que ocorre através do desmatamento ilegal e a ausência de práticas que visam a conservação do solo e da água.

Nesse sentido, estudos sobre a capacidade de uso do solo, permitem identificar o grau de intensidade de cultivo que se pode aplicar em um terreno sem que o solo sofra a diminuição de sua produtividade, por efeito da erosão ou degradação Lepsh et al., (1991). Entre os sistemas adaptados no Brasil, os mais utilizados são: Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (Ramalho-Filho; Beek. 1995) e o de Capacidade de uso Lepsh et al.,(1991), que são importantes técnicas para o planejamento do uso da terra. Esse sistema é recomendado, para fins de planejamento de



práticas de conservação do solo, em nível de propriedades, empresas agrícolas ou para pequenas bacias hidrográficas, sendo amplamente conhecido e divulgado no Brasil e em outros países tropicais Lepsh, (1991).

## 2. Objetivo

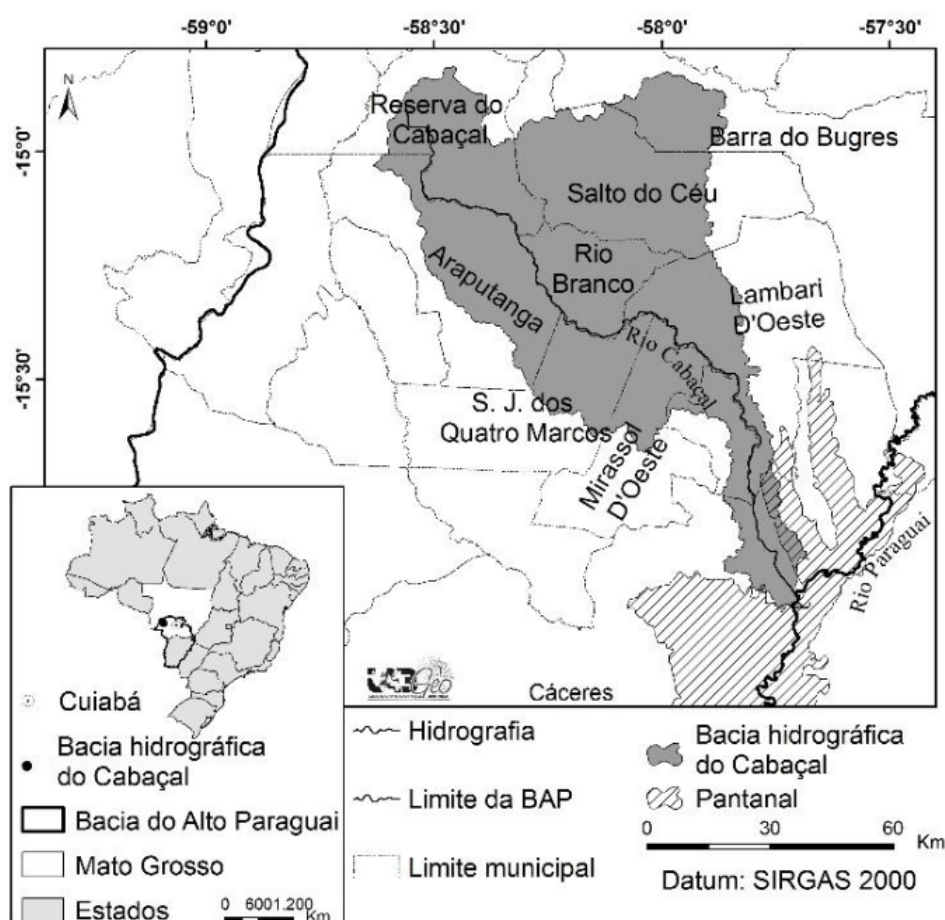
O objetivo desse estudo é realizar o levantamento da capacidade de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Cabaçal/MT.

## 3. Material e Métodos

### 3.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Cabaçal está localizada na região Sudoeste de Planejamento do estado de Mato Grosso, distribuídos nos três biomas: Amazônia (83,03%); Cerrado (12,22%) e Pantanal (4,75%), conforme exposto por Lorenzon e Neves (2021). O principal curso da bacia, possui uma extensão de 303,43 km, cuja nascente está localizada na Chapada dos Parecis/MT Carvalho et al., (2015), conforme a **Figura 1**.

### 3.2 Procedimentos metodológicos



**Figura 1.** Bacia Hidrográfica do Rio Cabaçal: nos contextos brasileiro, Bacia do Alto Paraguai, mato-grossense e intermunicipal.

Fonte: Lorenzon e Neves (2021).

Para o desenvolvimento deste estudo foram adotadas algumas etapas metodológicas propostas por Abrão et al. (2024). Por meio de instituições públicas foram extraídos dados para o desenvolvimento do estudo, tais como: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Secretaria de Planejamento e Gestão do estado de Mato Grosso. A partir dessas fontes, foram selecionados os dados e importados para o Sistema de Informações Geográficas ArcGis.

Na elaboração do mapa de solo da BHRC o arquivo vetorial do mapa de solo foi obtido junto à Secretaria de Planejamento e Gestão do estado de Mato Grosso, que foi recortado pela máscara da área de no SIG ArcGis, versão 9.2 Esri, (2019). Sua nomenclatura foi compatibilizada com a proposta no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS, considerando a primeira ordem pedológica.

O mapa de declividade foi elaborado utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado pela Radar Shuttle Radar Topography Mission - SRTM, extraído do banco de imagens do United States Geological Survey USGS, (2018) com uma resolução espacial de 30m e dados. As fases do relevo, conforme Brasil (2007), estão apresentadas na **Tabela 1**.

Para o mapa de cobertura vegetal e uso da terra utilizou-se o arquivo matricial, coleção 8, do Projeto MapBiomas, que foram importadas em ambiente SIG, organizadas e convertidas

**Tabela 1. Ausência da apresentação da Tabela 1 .**

Fases do relevo	Classes de declividade
Plano	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades variáveis de 0 – 3%;
Suave ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50m e de 50 a 100m), apresentando declives suaves, predominantemente variáveis de 3  – 8%;
Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros, apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8  –20%;
Montanhoso	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes ou muito fortes, predominantemente variáveis de 45  –75%;
Escarpado	Áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuevas, falésias, vertentes de declives muito fortes, usualmente ultrapassando >75%;

Fonte: Brasil (2007).

em formato vetorial e recortadas pela máscara da área estudo. As classes consideradas para o estudo foram: áreas não vegetadas, corpo d'água, agricultura e formação natural não florestal.

O mapa de capacidade de uso foi gerado a partir da associação do mapa de solo e declividade. A partir da combinação de dados no ArcGis, foi considerado a aptidão do solo com o uso atual da terra, nessa interpretação considerou-se o manejo adequado para cada ordem de solo, a declividade ideal para sua produtividade e o recomendado para uso das terras.

A classificação da capacidade de uso das terras teve como referência o “Sistema de Capacidade de Uso” proposto por Lepsch (1991), que estabeleceu categorias com base nos tipos e intensidade de uso, relacionados a seguir:

Grupo A – Terras aptas a cultivos intensivos anuais, culturas perenes, pastagens e reflorestamentos, compreendendo as seguintes classes:

Classe I – correspondem às terras cultiváveis sem problemas de erosão. Terrenos sem problemas especiais de conservação, podendo ser utilizados com qualquer tipo de cultura.

Classe II - são as terras cultiváveis com problemas simples de erosão (ravinas e sulcos), podendo ser utilizados com qualquer tipo de cultura, porém exigindo práticas simples de controle de erosão.

Classe III – são as terras cultiváveis apenas ocasionalmente com problemas de erosão e conservação; mais indicados a pastagens e culturas perenes e, eventualmente, a culturas anuais, porém exigindo práticas intensivas mecanizadas de controle de erosão.

Classe IV – são as terras cultiváveis apenas ocasionalmente, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação; indicados para pastagens e culturas perenes.

Grupo B – Terras impróprias para cultivos, mas aptas para pastagens, compreendendo as seguintes classes:

Classe V – Sem problemas de erosão e conservação, mas exigindo técnicas especiais de cultivo, por se constituírem de solos mal drenados.

Classe VI – Problemas de conservação, parcialmente favoráveis à ocupação por pastagens, sendo mais apropriados para reflorestamento.

Classe VII – Problemas complexos de conservação, indicados para preservação ou reflorestamento.

Grupo C – Terras indicadas somente para a preservação, compreendendo a classe:

Classe VIII - corresponde às áreas de proteção ambiental, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação; indicados para preservação.

Após a classificação, foi exportado e no software Excel sendo quantificada as classes a ser representadas no mapa.

Para a mensuração da capacidade de uso da terra realizou-se a combinação dos mapas de pedologia e declividade, conforme a metodologia proposta por Grigio (2003). No ArcGis foi adicionado o mapa de uso da terra e cobertura vegetal, para a identificação das áreas que não estava compatível com os parâmetros físicos proposto no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos Embrapa, (2018). Desta forma, considerando a declividade, o uso atual da terra e a pedologia da área estudo, foi realizada a classificação da capacidade Lepsch, (1991).

#### 4. Resultados e Discussão

A classe de relevo com maior representatividade na bacia de estudo foi o plano (0 – 3%) presente em 2.844,82 km<sup>2</sup>; seguida pela suave ondulado (3 |– 8%) com 1.888,46 km<sup>2</sup>; a ondulado (8 – 20%) perfaz 600,45 km<sup>2</sup>; a forte ondulado (20 – 45%) totalizou 106,95 km<sup>2</sup> e a montanhosa (45 |– 75%) com 0,502 km<sup>2</sup>, conforme a **Figura 3**.

Conforme o exposto, o relevo que predomina na bacia é o relevo plano onde contribui para a expansão da pecuária e agricultura, sendo um dos critérios necessários para uma boa produtividade. Nas regiões de relevo suave-ondulado, apresenta usos como silvicultura, mosaico de usos e área urbanizada incluindo também regiões com pastagem. Para as outras classes de relevo, é possível identificar uma área menor, assim como a cobertura vegetal da bacia, relacionando assim as classes de relevo com menor acesso por usos antrópicas com a cobertura vegetal e regiões de áreas úmidas.

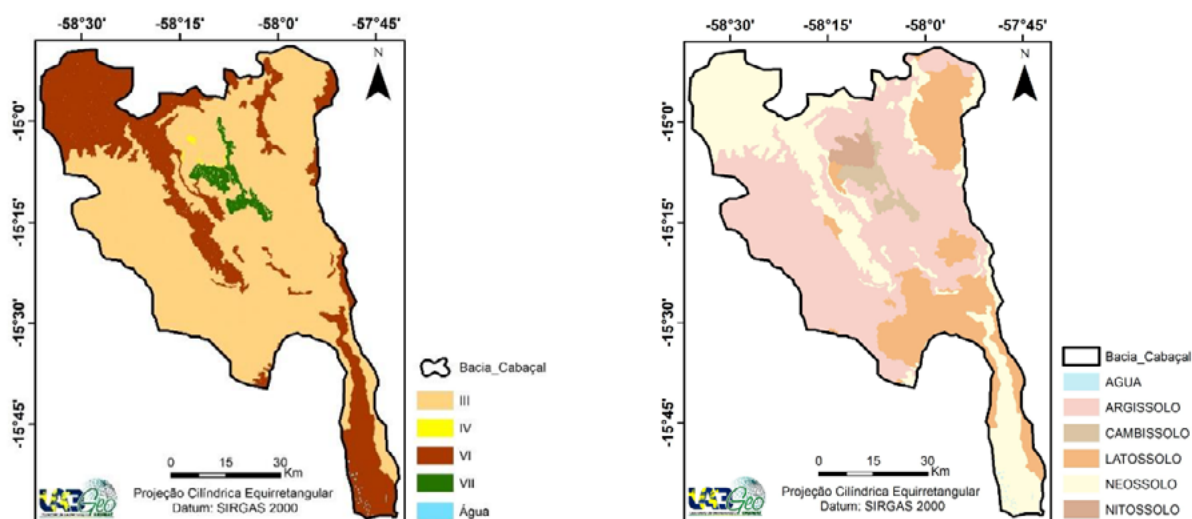
A pedologia da BHRC contempla cinco classes de solos, distribuídas da seguinte forma: 39,39% de Neossolo; 24,30% de Argissolo; 19,88% de Latossolo; 2,08% de Cambissolo e 0,70% de Nitossolo. Foi considerado também, a classe de água nas quantificações que perfaz 12,65% (**Figura 2**).

Segundo a Embrapa (2006), os Neossolos são caracterizados por possuir uma textura arenosa que apresentam restrição causada pela baixa retenção de umidade. Aqueles que são caracterizados como eutróficos possuem maior potencial agrícola, sendo que os de baixa fertilidade necessitam

de correção e adubação. Assim se aplica ao Argissolos, que apresentam boas condições físicas, e são suscetíveis a erosão devido à relação textural presente. Os Latossolos, são conhecidos por ser resistentes aos processos erosivos, mas quando se utiliza mecanização intensa, ocorre a compactação, tornando-os mais suscetíveis à erosão. Os Cambissolos são relativos ao relevo, pois em áreas mais planas apresentam maior fertilidade natural, e em relevos mais declivosos, são limitados a uso agrícola e suscetível a erosão. Os Nitossolos são solos que se recomenda práticas conservacionistas por ser suscetível a erosão, além de ser necessário a correção de acidez, sendo um solo que apresenta alta ou baixa fertilidade natural.

Dentre as classes de capacidade de uso da terra, a classe III é a predominante na BHRC, totalizando 68,68%, estando concentrada na porção central, sob o relevo suave-ondulado e ondulado; a classe IV totalizou 0,19%, em relevo ondulado e suave-ondulado; na classe VI, que ocupou 28,78% está distribuída em locais de relevo plano e suave-ondulado; a classe VII, com 2,25% que situam em áreas de relevo suave-ondulado. Nas quantificações foi considerado a classe água, representando 0,007% da área, conforme **Figura 2**.

A partir das características gerais de cada solo de acordo com O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS Embrapa, (2006), podemos relacionar com as classes de

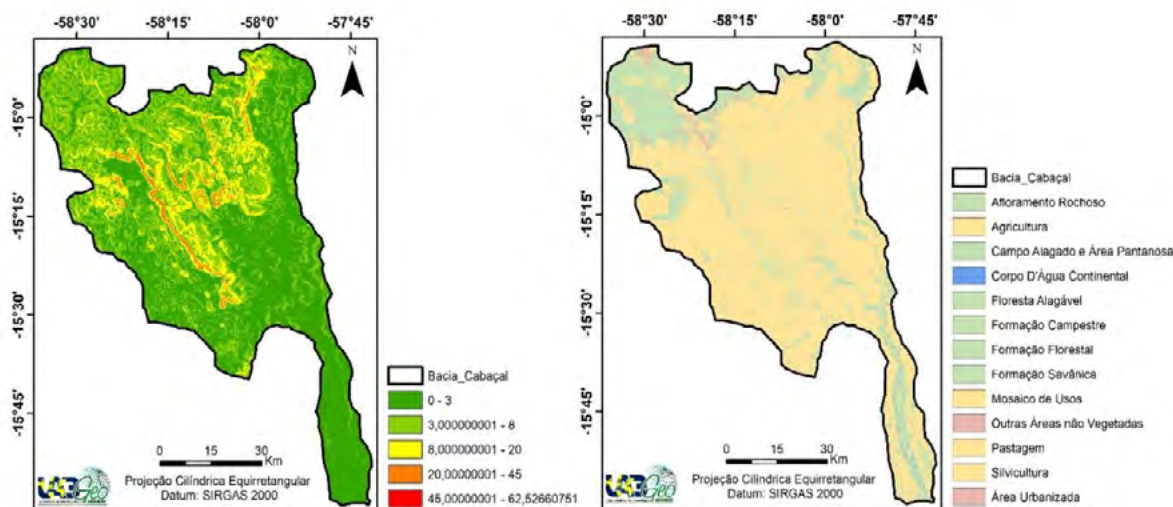


**Figura 2.** Classes de capacidade de uso das terras e pedologia da BHRC.

Fonte: Autores (2024).

capacidade de uso proposto por Lepsh (1991), quando não se considera as potencialidades e limitações além de prejudicar a produtividade, ocorre a perda de sua capacidade. Nesse sentido, por mais que a capacidade de uso da área de estudo corresponde ao uso atual das terras (**Figura 3**) se faz necessário, considerar as recomendações de cada classe quanto ao controle de erosão, que inclui práticas conservacionistas onde promove a recuperação de áreas e adoção de manejo correto, permitindo um bom desenvolvimento das culturas. A expansão agrícola durante os anos na bacia, provocou a redução da vegetação e o aumento das lavouras temporárias, a silvicultura e cana-de-açúcar, a consequência desse avanço foi deixar os ambientes mais frágeis e suscetíveis à degradação ambiental.

## 5. Conclusões



**Figura 3.** Classes de declividade e usos da terra da BHRC.

Fonte: Autores (2024).

Na BHRC predomina a classe III, cujas terras possuem são influenciadas pelas fases do relevo suave-ondulado, ondulado e forte-ondulado, indicando a necessidade de adoção de práticas conservacionistas e correções no solo para seu uso nas atividades antrópicas no meio rural, visto que predomina Argissolos, que caracteriza maior suscetibilidade a erosão, devido à relação textural.

## 6. Referências

- Abrão, C. M. R.; Soares Filho, A. Análise da capacidade de uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio, Mato Grosso do Sul. *Entre-Lugar*, v. 15, n. 29, p. 167–193, 2024. <https://doi.org/10.30612/rel.v15i29.17855>.
- Azevedo, A. A., Monteiro, J. L. G. Análise dos Impactos Ambientais da Atividade Agropecuária no Cerrado e suas inter-relações com os Recursos Hídricos na Região do Pantanal. Julho, 2006. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?3000/>>. Acesso em 09 de setembro de 2024.
- Barreto, P., Arima, E., Brito, M. Pecuária e desafios para a conservação ambiental na Amazônia. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Data: 1 de fevereiro de 2013. Disponível em: <<https://imazon.org.br/pecuaria-e-desafios-para-a-conservacao-ambiental-na-amazonia/>>. Acesso em: 9 de setembro de 2024.
- Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de pedologia. 2 ed. Rio de Janeiro: Ibge/ Diretoria de Geociências, 2007. p. 189-191.
- Carvalho, J. M.; Neves, R. J.; Serafim, M. E.; Neves, S. M. A. S.; Kreitlow, J. P.; Freitas, L. E.; Susceptibilidade e potencial atual à erosão hídrica dos solos na Bacia Hidrográfica do Rio Cabaçal, Mato Grosso, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*. v. 69, n. 9, p. 1655-1667 2018.
- Chiarini, J. V.; Donzelli, P. L. Levantamento por fotointerpretação das classes de capacidade de uso das terras do estado de São Paulo. *Boletim do Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas/SP: IAC*, 1973. p. 1-20
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. (Rio de Janeiro, RJ). Súmula 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.
- Farr, T.G.; Kobrick, M. 2000. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *EOS (Transactions, American Geophysical Union)*, v.81, p.583-585.
- Gomes, C. B. G., Leite, F. R. B. L., Cruz, M. L. B. Aptidão agrícola das terras através do sistema de informações geográficas. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7, São José dos Campos/SP. Anais...* São José dos Campos/SP, Inpe, p. 132-139. 1993.

Grigio, A. M. Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera. 2003. 253f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

Lepsch, J. F., Bellinazzi Júnior, R., Bertolini, D., Espíndola, C. R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas/SP, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 1991. 175 p.

Lorezon, T. H.; Neves, S. M. A. S. Dinâmica do uso da terra e as implicações na cobertura vegetal, na qualidade de água e no solo da bacia hidrográfica do Cabaçal, Mato Grosso – Brasil. Cáceres/MT: Editora Unemat, 2021. 84p.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass. Coleção 2021 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2021. Disponível em: <https://mapbiomas.org/visao-geral-dametodologia>. Acesso em: 12 de agosto de 2024

Ramalho Filho, A.; Pereira, E. G.; Beek, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: SUPLAN: Embrapasnics, 1995. 65 p.

Siqueira, D. Pecuária de MT quebra novo recorde e rebanho atinge 32,7 milhões de cabeças. Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso. Data: 3 de fevereiro de 2022. Disponível em:< <https://www.indea.mt.gov.br/-/18851655-pecuaria-de-mt-quebra-novo-recorde-e-rebanho-atinge-32-7-milhoes-de-cabecas>>. Acesso em: 9 de setembro de 2024.

## **Geotecnologias na preservação do patrimônio cultural em Mato Grosso, Brasil: mapeamento como ferramenta para diagnóstico e formulação de políticas públicas**

Renato Fonseca de Arruda<sup>1</sup>  
Sandra Mara Alves da Silva Neves<sup>1</sup>  
Márcio Ferreira Rangel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Laboratório de Geotecnologias UNEMAT (LabGeo UNEMAT)  
Av. Santos Dumont, s/n, Cidade Universitária. Bairro: Lobo  
78.211-298 - Cáceres - MT, Brasil  
{renato.fonseca, ssneves}@unemat.br

<sup>2</sup>Museu de Astronomia e Ciências Afins - MAST  
Rua General Bruce, 586, São Cristóvão  
20921-030 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
marciorangel@mast.br

**Resumo.** Este artigo apresenta o uso de geotecnologias na formulação de política pública universitária de preservação do patrimônio cultural em Mato Grosso, destacando o mapeamento como uma ferramenta essencial para diagnóstico e formulação. Através do uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), foi possível mapear e analisar a distribuição espacial dos bens tombados, registrados e cadastrados no estado. Os resultados obtidos indicam que as geotecnologias não só auxiliam na preservação e gestão dos bens culturais, mas também fornecem a possibilidade de sistematizar dados críticos para a apresentação de novas demandas para as instituições universitárias, a elaboração de políticas públicas e seus instrumentos nas diferentes esferas governamentais, inclusive nas universidades. O estudo revela a importância de uma abordagem integrada, que considere tanto os aspectos materiais e imateriais da cultura quanto as inovações tecnológicas na proteção do patrimônio cultural.

**Palavras-chave:** gestão cultural, análise espacial, SIG, UNEMAT.

**Abstract.** This article presents the use of geotechnologies in the formulation of university public policies for the

preservation of cultural heritage in Mato Grosso, highlighting mapping as an essential tool for diagnosis and formulation. Through the use of Geographic Information Systems (GIS), it was possible to map and analyze the spatial distribution of listed, registered, and cataloged heritage sites in the state. The results indicate that geotechnologies not only assist in the preservation and management of cultural assets but also provide the possibility to systematize critical data for presenting new demands to university institutions, the development of public policies, and their instruments across different governmental levels, including universities. The study reveals the importance of an integrated approach that considers both the tangible and intangible aspects of culture as well as technological innovations in the protection of cultural heritage.

**Key-words:** cultural management, spatial analysis, GIS, UNEMAT.

## 1. Introdução

A preservação do patrimônio cultural é um desafio crescente no Brasil, especialmente em estados como Mato Grosso, onde a diversidade cultural e a vasta extensão territorial complicam a gestão eficaz desses bens. O conceito de patrimônio cultural vai além de objetos físicos, englobando práticas, tradições e saberes. Nesse contexto, a utilização de tecnologias modernas, como as geotecnologias, se torna fundamental para o mapeamento, monitoramento e gestão desses bens culturais, permitindo que as políticas públicas sejam mais assertivas e integradas às realidades locais.

A aplicação de geotecnologias na preservação do patrimônio cultural tem sido explorada em diversas frentes nos últimos anos. O uso de sensoriamento remoto e imagens de satélite pode ser crucial na identificação de áreas de risco, especialmente em regiões remotas. Neves (2012) destaca que os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) oferecem uma plataforma robusta para a integração de dados geoespaciais, permitindo uma análise mais detalhada e precisa das condições e ameaças ao patrimônio.

No Brasil, o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) tem utilizado essas tecnologias para monitorar e preservar bens culturais distribuídos em todo o território nacional. Em Mato Grosso, estudos como os de Arruda (2022; 2011), Neves e Arruda (2023) têm evidenciado a importância dessas ferramentas na gestão de museus e coleções, especialmente no que diz respeito à interiorização das políticas culturais e à democratização do acesso à cultura, bem como a necessidade de integrar as geotecnologias às políticas públicas, de modo que os dados gerados possam ser utilizados para fundamentar decisões e direcionar recursos de forma mais eficaz na preservação do patrimônio cultural. A dispersão dos bens culturais e a falta de recursos direcionados para a gestão desses bens evidenciam a relevância do uso de tecnologias. Portanto, este artigo se justifica pela necessidade de apresentar essas ferramentas nos contextos local e regional, contribuindo para a consolidação de estratégias que podem ser replicadas em outras regiões do Brasil.

## 2. Objetivo

Este artigo visa analisar a importância das geotecnologias no mapeamento do patrimônio cultural em Mato Grosso e sua contribuição para a formulação de políticas públicas universitárias de preservação. Para tanto, foi mapeado os bens culturais tombados, registrados e cadastrados no estado utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o ArcGis.

## 3. Material e Métodos

Para alcançar o objetivo desta pesquisa, recorreu-se às pesquisas bibliográfica e documental, com busca de artigos científicos, documentos oficiais e livros em periódicos acadêmicos com acesso livre e gratuito em sites e repositórios digitais. Além disso, utilizou-se o Sistema de



Informação Geográfica e o ArcGIS, combinando técnicas de geoprocessamento e análise especial, para integração, espacialização e análise dos dados coletados sobre os bens culturais patrimonializados e musealizados nos municípios presentes nas diferentes macrorregiões de Mato Grosso pelas diferentes esferas governamentais, contemplando especialmente os bens culturais acautelados, em especial nos municípios de Cáceres, Alta Floresta, Juara e Barra do Bugres, onde a UNEMAT possui museus e coleções significativas. Os dados apresentados neste artigo são provenientes da tese de doutorado de Arruda (2022), levantados em diversas fontes documentais, como inventários e dados cartográficos (em arquivo shapefile) do IPHAN e do Instituto Brasileiro de Geografia e Dados Estatísticos (IBGE).

## 4. Resultados e discussão

### 4.1 Bens culturais patrimonializados em nível federal em Mato Grosso

No estado de Mato Grosso, a proteção do patrimônio cultural tem sido uma preocupação desde a década de 1950, quando a Igreja de Sant'Anna, localizada em Chapada dos Guimarães, foi tombada pelo IPHAN devido ao seu valor histórico. Esse reconhecimento está intrinsecamente ligado aos processos de colonização realizados pelos jesuítas no século XVIII. A criação de uma unidade institucional do IPHAN em Mato Grosso possui uma história singular que merece um estudo somente para isso, contudo, é importante situar que a sua efetiva implementação aconteceu a partir da construção e consolidação de rede de profissionais defensores do patrimônio junto a UFMT durante as décadas de 1970 e 1980. Até 2009, a gestão e vinculação da representação estavam sob responsabilidade da Superintendência Regional (SR) sediada em Goiás (GO), a qual também respondia por outros estados, tais como Distrito Federal, Goiás, Rondônia, Tocantins, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso.

A maioria são edificações e acervos religiosos tombados individualmente pelo IPHAN, como a Igreja da Sé de Santana em Chapada dos Guimarães, a Igreja de Nossa Senhora do Rosário em Cuiabá e as Ruínas da Igreja da Matriz e do Palácio dos Capitães Generais de Vila Bela da Santíssima Trindade. Há também um conjunto urbano e um bem móvel e integrado (Retábulos da Catedral de N.S. Bom Jesus) tombamento provisório em Cuiabá, um monumento individualmente e um conjunto arquitetônico, urbanístico e paisagístico em Cáceres. Há também bens culturais em instrução em outras cidades, como o Complexo Arqueológico Histórico do Arraial de São Francisco Xavier em Vila Bela da Santíssima Trindade, o Centro Histórico de Diamantino, e vários bens em Nova Xavantina Arruda, (2022).

Em termos de patrimônio museológico, o Museu de Pedras Ramis Bucair, fundado em 1959 por Ramis Bucair — agrimensor, espeleólogo e pesquisador residente em Cuiabá — foi o primeiro museu criado no estado de Mato Grosso e permaneceu em funcionamento até 2011. Apesar do estado de Mato Grosso não ter uma tradição de museus tão antiga quanto outros estados brasileiros (Rio de Janeiro, São Paulo, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Bahia e Ceará), a criação de museus públicos federais intensificou após a fundação da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), em Cuiabá, instituída através da Lei n.º 5.647, de 10 de dezembro de 1970. A partir dessa que se criou o Museu Rondon e o Museu de Arte e de Cultura Popular (MACP), em 1972 e 1974, respectivamente Arruda, (2022).

Em Mato Grosso, até março de 2022, havia oito bens tombados, sete em instrução de tombamento, um com tombamento provisório e um bem com tombamento rerratificado pelo IPHAN (**Tabela 1**).

**Tabela 1.** Cidades e/ou bens patrimonializados ou em processo pelo IPHAN (1957-2022).

	Cidade	Tipo	Nome do Bem Cultural	Ano	Situação
1	Chapada dos Guimarães	Edificação e A cervo	Igreja da Sé de Santana	1957	Tombado
2	Cuiabá	Bem móvel ou integrado	Retábulos da Catedral de N.S. Bom Jesus	1957	Tombamento Provisório
3	Cuiabá	Edificação e A cervo	Igreja de Nossa Senhora do Rosário, com todo o seu recheio	1957	Tombado
4	Vila Bela da Santíssima Trindade	Ruína	Ruínas da Igreja da Matriz de Vila Bela da Santíssima Trindade, situadas na quadra delimitada pela Rua Municipal ou dos Mercadores, pela Travessa do Palácio, pela Rua Dr. Mário Corrêa ou do Fogo e pela Travessa n. 4, ou de Trás do Palácio, e Ruínas do Palácio dos Capitães Gerais	1973	Tombado
5	Cáceres	Bem móvel ou integrado	Marco do Jauru, na Praça Barão do Rio Branco	1977	Tombado
6	Cuiabá	Conjunto Urbano	Cuiabá, MT: conjunto arquitetônico, urbanístico e paisagístico	1985	Tombado
7	Vários	Patrimônio Natural	Lugares indígenas sagrados denominados Kamukuaká e Sagihengu - Alto Xingu, estado do Mato Grosso.	2006	Rerratificação
8	Cáceres	Conjunto Urbano	Conjunto Arquitetônico, Urbanístico e Paisagístico da Cidade de Cáceres - MT	2007	Tombado
9	Vila Bela da Santíssima Trindade	Sítio arqueológico	Complexo Arqueológico Histórico do Arraial de São Francisco Xavier	2012	Instrução
10	Diamantino	Conjunto Urbano	Centro Histórico de Diamantino	2016	Instrução
11	Nova Xavantina	Edificação	Igreja Nossa Senhora de Auxiliadora	2022	Instrução
12	Nova Xavantina	Edificação	Fachada da Casa do Senhor Venâncio	2022	Instrução
13	Nova Xavantina	Edificação	Casa dos Irmãos Villas Boas	2022	Instrução
14	Nova Xavantina	Infraestrutura ou equipamento urbano	Teatro Municipal Heitor Villa Lobos	2022	Instrução
15	Nova Xavantina	Edificação	Casa do Coronel Vanique	2022	Instrução

Fonte: IPHAN, 2021 apud Arruda, 2022, p. 112.

Em se tratando de sítios arqueológicos, conforme o Cadastro Nacional de Sítios Arqueológicos, instituído pela Lei nº 3.924 de 26 de julho de 1961, o país tinha 31.679 sítios arqueológicos registrados pelo IPHAN até junho de 2022. Em Mato Grosso, encontram-se 1.632 sítios arqueológicos, identificados em 73 municípios, sendo um deles conhecido nacionalmente: Sítio Arqueológico de Pedra Preta – Paranaíta Arruda, (2022).

Além disso, com base no Decreto 3.551, de 4 de agosto de 2000 e no Programa Nacional de Patrimônio Imaterial e regulamentou os registros dos bens imateriais, até agosto de 2021, havia no Brasil 49 bens imateriais. De acordo com o IPHAN, oito (08) bens imateriais brasileiros integram a Lista Representativa do Patrimônio Cultural Imaterial da Humanidade no Brasil. Em Mato Grosso, constam apenas o Ritual Yaokwã, do povo Enawenê Nawê, que se encontra como o único bem cultural imaterial em risco e inserido pela Unesco na Lista do Patrimônio Cultural Imaterial que requer medidas urgentes de salvaguarda Arruda, (2022). Dentre esses, em Mato Grosso, conforme **Tabela 2**, encontram-se 7 bens imateriais reconhecidos Arruda, (2022).

A partir da categoria de patrimônio mundial da Unesco, em nível nacional constavam quatorze (14) de bens de caráter cultural, sete (07) natural e um (01) misto chancelados. Em Mato Grosso, há apenas um (01) reconhecido na categoria de patrimônio natural, abrangendo também o estado de Mato Grosso do Sul, sendo: Complexo de Áreas Protegidas do Pantanal. Além dessas categorias internacionais, há o Programa Memória do Mundo da Unesco, que foi

**Tabela 2.** Lista de bens registrados em Mato Grosso.

	<b>Bem cultural</b>	<b>Livro de Registro</b>	<b>Data de Registro</b>	<b>UF</b>	<b>Abrangência</b>
1	Modo de fazer a Viola-de-Cocho	Saberes	14/01/2005	MT e MS	regional
2	Ofício das Baianas de A carajé	Saberes	14/01/2005	AC, AL, AP, AM, BA, CE, DF, ES, GO, MA, MT, MS, MG, PA, PB, PR, PE, PI, RJ, RN, RS, RO, RR, SC, SP, SE, TO	nacional
3	Ofício dos Mestres de Capoeira	Saberes	21/10/2008	AC, AL, AP, AM, BA, CE, DF, ES, GO, MA, MT, MS, MG, PA, PB, PR, PE, PI, RJ, RN, RS, RO, RR, SC, SP, SE, TO	nacional
4	Roda de Capoeira	Formas de Expressão	21/10/2008	AC, AL, AP, AM, BA, CE, DF, ES, GO, MA, MT, MS, MG, PA, PB, PR, PE, PI, RJ, RN, RS, RO, RR, SC, SP, SE, TO	nacional
5	Ritual <u>Yaokwã</u> do povo indígena Enawenê Nawê	Celebrações	05/11/2010	MT	local
6	Saberes e Práticas Associados ao modo de fazer Bonecas Karajá	Saberes	25/01/2012	TO, PA, GO, MT	regional
7	Rtixòkò: Expressão Artística e Cosmológica do Povo Karajá	Formas de Expressão	25/01/2012	TO, PA, GO, MT	regional

Fonte: IPHAN, 2021 apud Arruda, 2022, p. 114.

institucionalizado no Brasil através da Portaria n. 259, de 02 de setembro de 2005, do Ministério da Cultura. Neste caso, entre 2007 e 2018, o Arquivo Nacional integrou 111 bens no Registro Nacional do Brasil do Programa Memória do Mundo – MOW. Em Mato Grosso, apenas uma coleção arquivística consta no Registro Nacional, sendo os acervos de quatro fortificações da Capitania de Mato Grosso (1768/1822). Essa documentação foi produzida nas fortificações criadas na fronteira oeste da Capitania do Mato Grosso e está sob guarda da Superintendência do Arquivo Público do Estado de Mato Grosso Arruda, (2022).

#### 4.2 A preservação do patrimônio pela esfera de governo estadual

O governo estadual de Mato Grosso criou a Fundação Cultural de Mato Grosso junto com a sua de legislação de preservação do patrimônio através da Lei nº 3.774, de 20 de setembro de 1976, seguindo os Compromissos de Brasília (1970) e Salvador (1971). Essa legislação vigorou até 31 de março de 2009, período em que se patrimonializou um conjunto de 63 bens culturais, estando 36 localizados na capital Cuiabá, enquanto os demais estão distribuídos em 17 dos 142 municípios. A legislação de 1976 não abrangia de forma específica o patrimônio cultural da ciência e tecnologia e nem os bens imateriais. Para ficar em conformidade com a Constituição Estadual de 1989, essa questão foi resolvida após a substituição pela Lei nº 9.107, promulgada em 31 de março de 2009. Contudo, o art. 251 da Constituição Estadual de Mato Grosso, que amparava a Lei nº 3.774 de 1976 e a Lei nº 9.107 de 31 de março de 2009, foi declarado inconstitucional pela ADIN 3525-8 de 30/08/07 Arruda, (2022).

Na nova lei estadual de 2009 constava a proteção do patrimônio cultural imaterial e da ciência e tecnologia e a imaterial, porém, as instituições que garantiram a preservação do patrimônio dessa última natureza foram apenas as universidades. Assim, destaca-se que não há nenhum bem tombado ou inventariado nessa categoria em nível estadual.

Entre os anos de 2009 e 2014, conforme levantamento realizado por Arruda (2022) e Guimarães e Moura (2024), foram patrimonializados 38 bens culturais, sendo mais 07 na capital Cuiabá, e os demais divididos por 19 dos 141 municípios. A partir de 2014, a gestão estadual do governador Pedro Taques passou a reestruturar as diretrizes das políticas culturais. Assim, foi

instalado a gestão compartilhada dos museus através de organizações sociais. Assim como em outras regiões do Brasil, esse caso evidencia como os processos de preservação do patrimônio cultural enfrentam diversos desafios.

Contrários a esse cenário, estudantes, professores, estudantes, entidades de classe e organizações não-governamentais se organizaram com a finalidade de ampliar os debates e ações nas áreas do patrimônio cultural e museus. Dentre estes, pode-se destacar a Rede de Museus e Patrimônio Cultural criada em 2009 e a seção mato-grossense do Fórum de Entidades em Defesa do Patrimônio Cultural, criada e instalada em agosto de 2020 Arruda, (2022). Diversas ações e atos políticos foram desenvolvidos, seja por meio da criação de eventos e encontros, seja através da atuação técnica na elaboração de cartas, documentos, manifestos e parcerias com órgãos governamentais.

Em 23 de março de 2021, o estado de Mato Grosso homologou a Lei nº 11.323, que passou a institucionalizar e a regulamentar novamente a preservação do patrimônio cultural pela esfera estadual, definindo como:

Art. 1º Constituem o patrimônio histórico, artístico, arqueológico, etnográfico, bibliográfico, natural, paisagístico e cultural do Estado de Mato Grosso os bens móveis, imóveis, particulares ou públicos, materiais e imateriais existentes em seu território, os quais, pelo seu excepcional valor histórico, estético ou cultural, requeiram a intervenção do Poder Público para o seu tombamento, registro, conservação e preservação (Mato Grosso, 2021, art. 1º *apud* Arruda, 2022, p.118).

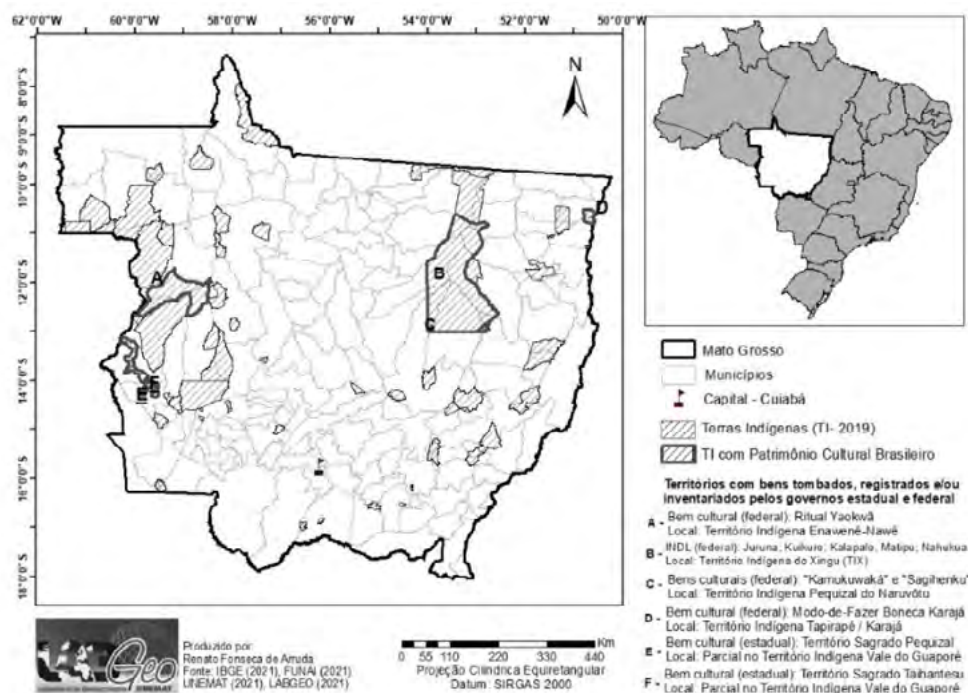
Neste caso, a definição de patrimônio ainda se pautou pela separação dos valores histórico e artístico em relação a cultura. A proposta contemplou ampla abrangência de forma a possibilitar a promoção da preservação de bens culturais dos diferentes campos do saber, inclusive o científico, através da proteção (tombamento, inventário, registro e declaração), vigilância, conservação, promoção. Em termos de tombamentos e registros, desde 1976 o governo estadual reconheceu 104 bens materiais e 05 bens imateriais, distribuídos em 33 municípios e 02 distritos mato-grossenses.

#### **4.2 Especialização dos bens culturais patrimonializados e musealizados**

A partir de 2007, destacam-se entre as políticas públicas de preservação do patrimônio e de museus em Mato Grosso a criação do Sistema Estadual de Museus, por meio do Decreto nº 959, de 5 de dezembro de 2007, e a instituição do Sistema Estadual de Cultura, da Lei nº 10.362, de 27 de janeiro de 2016. Esse sistema inclui o Fundo Estadual de Cultura e o Plano Estadual de Cultura, estabelecidos pela Lei nº 10.363, também de 27 de janeiro de 2016. No entanto, é relevante observar que o "Conselho Estadual de Patrimônio Histórico Cultural", criado desde 1990 e com sua estrutura representativa revisada em 2009, ainda não foi implementado Arruda, (2022).

Apesar dessas iniciativas, a gestão do patrimônio cultural em Mato Grosso continua enfrentando desafios significativos. Até 2015, apenas "15 municípios possuíam legislações voltadas à preservação do patrimônio; e, destes, apenas um contemplava tanto o patrimônio material quanto o imaterial" IBGE, (2015) *apud* Arruda, (2022, p. 121). Essa escassez de normativas locais reflete a dificuldade de coordenação de ações entre os diferentes níveis de governo e ressalta a necessidade de um planejamento integrado e efetivo.

Os dados cartográficos abaixo ilustram a distribuição espacial dos bens culturais patrimonializados em terras indígenas, onde se destacam seis (06) bens culturais que se constituem em referências culturais de diferentes povos indígenas, sendo: A) Ritual Yaokwã; B) Língua Juruna; C) Lugares Sagrados "Kamukuaká" e "Sagihenku"; D) Modo-de-fazer as Bonecas Karajá; E e F) Lugares Sagrados Pequizal e Taihãntesu (**Figura 1**).



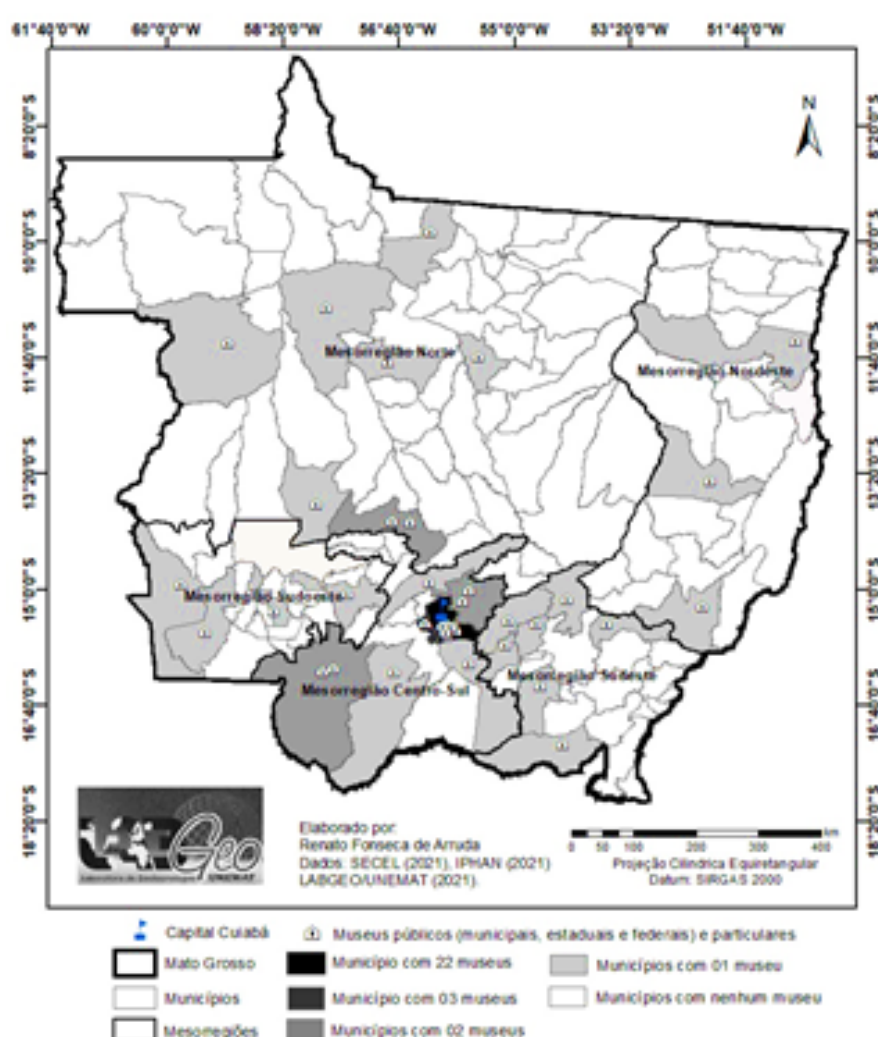
**Figura 1.** Territórios indígenas no estado de Mato Grosso, com localização dos bens patrimonializados e inventariados.

Além dos bens culturais diretamente vinculados a dez territórios indígenas, compostos por uma diversidade protegida, tanto em nível federal quanto estadual, distribuídos em 35 municípios, no contexto museológico, desde os anos 2000 identificou-se um crescimento no número de museus, passando de 11 para 56 instituições até novembro de 2021 IBRAM, (2021) apud Arruda, (2022). A **Figura 2** apresenta a distribuição espacial desses museus nas diferentes mesorregiões do estado, evidenciando que a maior concentração ocorre na Mesorregião Centro-Sul, com 34 museus, enquanto as demais mesorregiões somam 22 instituições. Apesar desse aumento, Mato Grosso ainda se posiciona entre os estados brasileiros com o menor número de museus estaduais e municipais e bens tombados em nível federal.

Por outro lado, no que se refere ao patrimônio arqueológico, conta com um acervo arqueológico significativo, composto por 1.346 sítios registrados (**Figura 3**). Também possui oito instituições de guarda e pesquisa listadas no banco de dados do IPHAN, responsáveis pela preservação de acervos arqueológicos coletados em decorrência de Estudos de Impacto Ambiental e Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) exigidos para empreendimentos comerciais Arruda, (2022).

É importante destacar que até o ano 2000, Mato Grosso contava com apenas 11 museus públicos e um privado, o que demonstra um avanço relevante nas políticas de museus e preservação cultural nas últimas duas décadas. Contudo, eventos políticos, sociais e econômicos ocorridos a partir de 2016 impactaram negativamente a organização dessas políticas, evidenciando a necessidade de estratégias sustentáveis e continuadas para a gestão do patrimônio cultural.

A variedade de tipologia dos museus em Mato Grosso – que inclui museus tradicionais, comunitários, virtuais, centros de documentação, laboratórios com coleções científicas e museus universitários – demonstra um esforço por alcance de públicos variados. Todos encontram-se regidos por legislações nos diferentes níveis (federal, estadual e/ou municipal), além de normas



**Figura 2.** Distribuição espacial dos 56 museus por mesoregiões e municípios com zero (00) a 22 museus entre os 141 municípios de Mato Grosso.

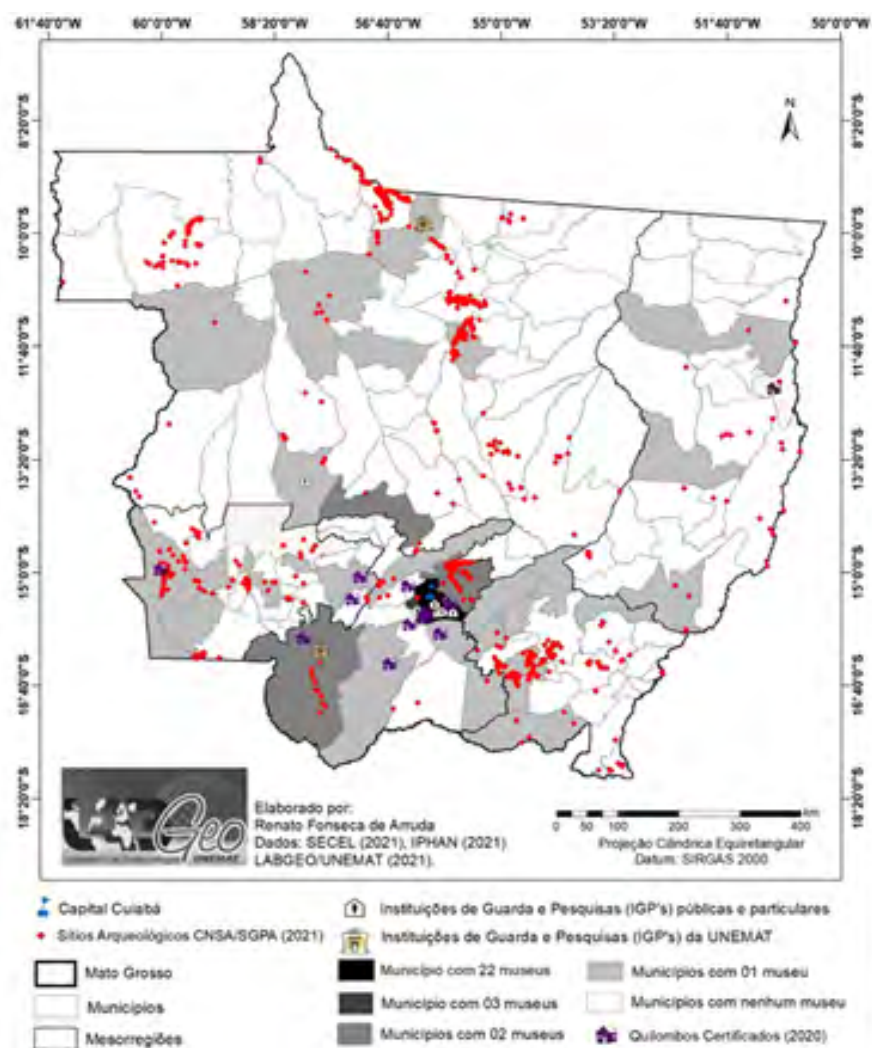
específicas para a preservação de patrimônios culturais de natureza ambiental, arqueológica, espeleológica, documental, científica, etnológica, histórica, entre outras.

A proteção e valorização dessas diferentes referências culturais no estado são realizadas por meio de instrumentos jurídicos implementados por instituições públicas, respaldadas também por normas internacionais. As universidades, por sua vez, desempenham um papel essencial, apoiando a salvaguarda dos acervos arqueológicos, a formação de recursos humanos, a produção de pesquisas e a promoção de novos reconhecimentos e chancelas patrimoniais.

### 4.3 Bases para a formulação de uma política pública universitária de patrimônio

Diante desse cenário, é possível compreender melhor as possibilidades de atuação dos museus universitários, visando ir além de pesquisas de seus acervos, para também se ocupar de temas relacionados aos interesses das comunidades do seu entorno. Nesse contexto, a Unemat possui um grande potencial de atuação devido à sua capilaridade, com presença em 45 municípios por meio de seus polos e *campi* universitários, inclusive os que abrigam museus.

A UNEMAT é responsável por quatro (04) dos sete (07) museus universitários cadastrados no estado de Mato Grosso, conforme Granato; Abalada; Sudano (2021). Dentre esses quatro (04) museus, dois (02) encontram-se cadastradas como Instituição de Guarda e Pesquisa,

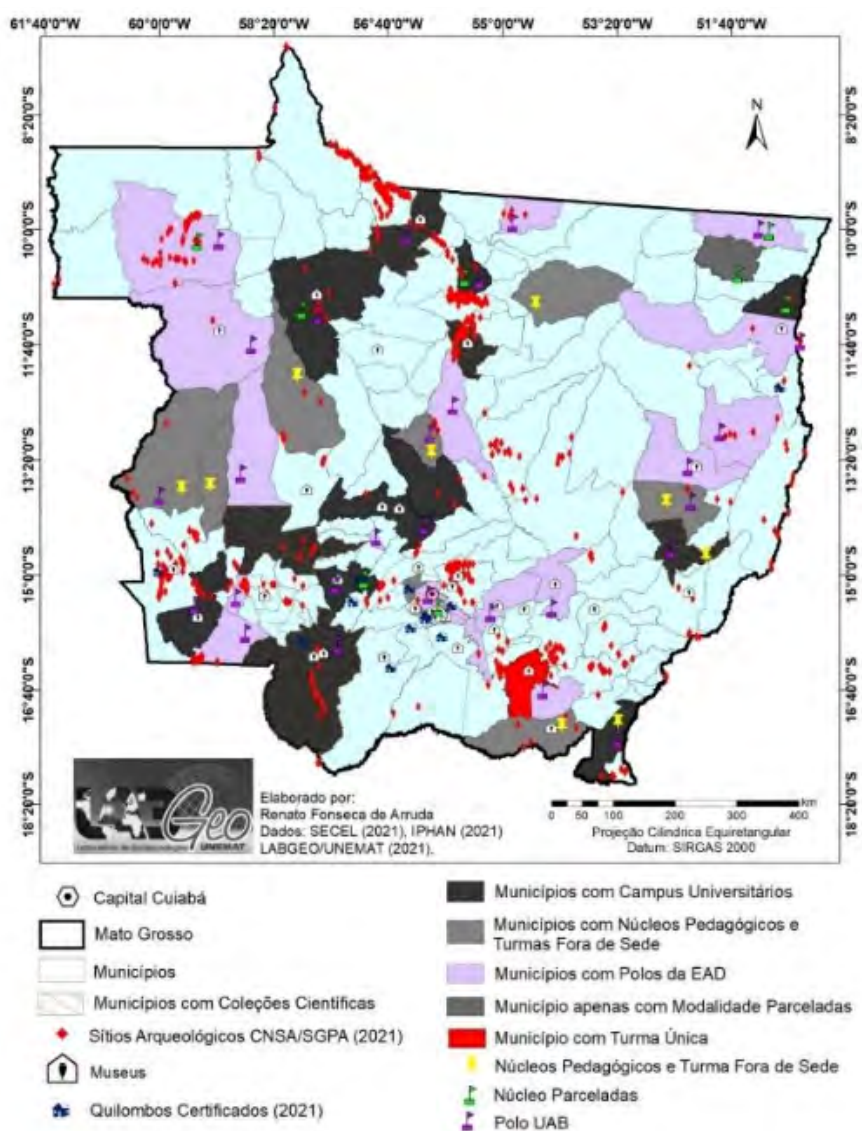


**Figura 3.** Localização dos sítios arqueológicos, quilombos, museus e Instituições de Guarda e Pesquisa (2021).

representando 28,57% das oito (08) instituições existentes e cadastradas como aptas com processos em avaliação ou fiscalização. Essas instituições têm contribuído na salvaguarda, proteção e conservação de um percentual importante do patrimônio cultural brasileiro. Somando-se a esse cenário territorial e cultural, há 78 comunidades remanescentes de quilombos certificados (**Figura 4**) localizadas em mais de 10 municípios e 43 povos de 16 etnias FEDPCB-MT, (2020).

Nesse contexto, as figuras apresentadas demonstram a complexidade e a riqueza do patrimônio cultural mato-grossense, com uma ampla distribuição de bens culturais, imateriais, edificados, museológicos e arqueológicos, e se destacam a importância de estratégias de gestão que considerem essa diversidade territorial e cultural. Além disso, a atuação das universidades, em especial da UNEMAT, mostra-se essencial para fortalecer a rede de preservação cultural, apoiando a formação de recursos humanos, a produção de pesquisas e o desenvolvimento de ações de salvaguarda e proteção, especialmente em regiões onde a presença de museus e outras instituições culturais é escassa.

Portanto, é fundamental que as políticas públicas voltadas para a preservação do patrimônio cultural em Mato Grosso sejam repensadas e ampliadas, visando não apenas a conservação dos acervos e bens identificados e patrimonializados, mas também a valorização dos saberes



**Figura 4.** Distribuição da UNEMAT em relação aos museus, coleções científicas, sítios arqueológicos e quilombos certificados.

locais e a inclusão das comunidades em processos participativos e dialógicos. A ampliação da formação e capacitação em museologia, patrimônio cultural e áreas correlatas, aliada a um esforço coletivo de coordenação entre os atores envolvidos, é crucial para garantir a efetiva proteção e valorização do rico patrimônio cultural do estado, bem como para promover o desenvolvimento social e cultural de suas comunidades.

## 5. Conclusões e Sugestões

A utilização de geotecnologias, particularmente através dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e do ArcGis, permitiram apresentar de forma detalhada a distribuição espacial dos bens culturais tombados, registrados e cadastrados no estado de Mato Grosso, destacando-se como indispensáveis para o diagnóstico e a formulação de políticas públicas. Através do mapeamento digital, utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e outras técnicas de análise espacial, é possível identificar tanto as dificuldades em patrimonializar novas referências culturais quanto



localizar com precisão a distribuição e o estado de conservação dos bens culturais tombados, registrados e cadastrados no estado. Essas ferramentas permitem não apenas a visualização e o monitoramento contínuo de áreas de interesse cultural, mas também a integração de dados geoespaciais com informações históricas, ambientais e socioeconômicas, possibilitando uma gestão mais eficiente e informada dos recursos disponíveis. O uso das geotecnologias contribui para a tomada de decisões estratégicas, orientando a aplicação de recursos e esforços na proteção de patrimônios vulneráveis, além de promover a democratização do acesso às informações sobre o patrimônio cultural, essencial para a conscientização e engajamento da sociedade na preservação de sua herança cultural. No entanto, os resultados também apontam para a necessidade urgente de descentralizar as políticas de proteção, ampliando o alcance das ações para áreas mais remotas, onde o monitoramento e a conservação dos bens culturais ainda são insuficientes.

Portanto, sugere-se que as políticas culturais sejam revisadas para promover uma maior coordenação entre as diferentes esferas de governo, bem como o fortalecimento das redes de cooperação entre universidades, organizações sociais e comunidades locais. Em particular, as universidades, como a UNEMAT, precisam envidar maiores esforços na formação de recursos humanos capacitados em museologia e nas diferentes áreas do conhecimento ligadas à gestão do patrimônio cultural, além de fomentar a criação de novos espaços de diálogo com as comunidades, respeitando e valorizando seus saberes locais. A implantação de um "Conselho Estadual de Patrimônio Histórico Cultural" efetivo, a implementação de estratégias de monitoramento contínuo com o uso de geotecnologias e o aumento do financiamento são medidas que podem contribuir para uma proteção mais equitativa e sustentável do patrimônio cultural em Mato Grosso.

Ademais, é recomendável que novos estudos sejam realizados para avaliar a eficácia das atuais políticas culturais e propor a ampliação dos ajustes necessários. Estudos que possam focar em compreender como as ferramentas tecnológicas podem ser melhor utilizadas para apoiar a preservação do patrimônio cultural e dos museus, e como as instituições podem colaborar para garantir uma gestão mais participativa e inclusiva, promovendo a diversificação das práticas de conservação em todo o estado.

## 6. Referências

- Arruda, R. F. **Política de Museu e Patrimônio Cultural da UNEMAT: trajetórias, perspectivas e desafios**. Tese. Unirio / Mast – RJ, junho de 2022.
- Arruda, R. F.; Neves, S. M. A. S.; Neves, R. J. Geotecnologias aplicadas no estudo do Centro Histórico de Cáceres, Mato Grosso - Brasil. **Revista GeoPantanal**, v. 6, p. 139-154, 2011.
- Guimarães, M. B. T.; Moura, J. L. Identificação, preservação e gestão do patrimônio cultural em Mato Grosso: trajetórias, avanços e desafios. **Revista Caliandra**, v. 3, n. 1, p. 11–26, 2024. Disponível em: <https://anpuhgoias.com.br/revista/index.php/caliandra/article/view/73>. Acesso em: 6 set. 2024.
- Fórum De Entidades Em Defesa Do Patrimônio Cultural Brasileiro, Mato Grosso. **Carta Aberta aos candidatos às eleições municipais de 2020**. [Arquivo digital]. Cuiabá, 30 de outubro de 2020.
- Neves, S. M. A. S.; arruda, R. F. Conjunto Arquitetônico, Urbanístico e Paisagístico de Cáceres, Mato Grosso: de que paisagem estavam falando?. In: Montecchi, A. F.; Araújo, M. S. S.; Cerezer, O. M. (org.). **Tramas de memórias nos fios da História de Cáceres**. 1ed.Cáceres: Editora UNEMAT, v. 1, 2023.
- Marconi, M.; Lakatos, E. **Fundamentos de metodologia científica**. 8 ed. São Paulo: 2017.
- Meneses, U. T. B. O campo do patrimônio cultural: uma revisão de premissas. IPHAN. **I Fórum Nacional do Patrimônio Cultural: Sistema Nacional de Patrimônio Cultural: desafios, estratégias e experiências para uma nova gestão**, Ouro Preto/MG, v.1, p.2009.

Moraes, S. A.; Fonseca, R.; Falcao, J. L. F.; Kayabi, K.; Munduruku, M. M.; Morima, E. C.; Kayabi, D. M.; Leite, F. S. A.; Rangel, M. F. Bases de uma política municipal de patrimônio museológico na Amazônia Mato-grossense: a experiência do Museu do Vale do Arinos (MuVA) na musealização e gestão de referências culturais indígenas. **Revista Memória em Rede**, v. 16, p. 289-315, 2024.

Neves, S. M. A. S.; Arruda, R. F. Conjunto Arquitetônico, Urbanístico e Paisagístico de Cáceres, Mato Grosso: de que paisagem estavam falando? In: Montecchi, A. F.; Araújo, M. S. S.; Cerezer, O. M. (org.). **Tramas de memórias nos fios da História de Cáceres**. Cáceres: Editora Unemat, 2023. p.399-430

## **Impactos do uso e cobertura do solo na dinâmica hídrica da bacia hidrográfica córrego Cachoeirinha**

Camila Macedo de Souza<sup>1</sup>  
Livia Angélica Siqueira de Oliveira<sup>1</sup>  
Wesley dos Santos Leite<sup>1</sup>  
Sandra Mara Alves da Silva Neves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Laboratório de Geotecnologias UNEMAT (LabGeo - UNEMAT)  
Av. Santos Dumont, s/n – Cidade Universitária. Bairro: Lobo  
78211-298 – Cáceres/MT  
{camila.macedo.souza, livia.angelica, santos.wesley, ssneves}@unemat.br

**Resumo.** Este estudo analisou a morfometria da Bacia Hidrográfica do Córrego Cachoeirinha (BHCC), localizada em Mato Grosso, Brasil, com uma área de 951,78 km<sup>2</sup>. A bacia está situada entre as coordenadas 15°35'37" a 16°12'30" de latitude Sul e 57°14'36" a 57°32'24" de longitude Oeste. Foram realizadas análises morfométricas abrangendo aspectos areais e lineares, que indicaram uma baixa suscetibilidade a enchentes devido à configuração fluvial da bacia. Além disso, a bacia possui muitos cursos de água, mas uma menor capacidade de gerar novos, o que destaca a necessidade de monitoramento e gestão adequados do uso da terra para conservar a paisagem. Concluiu-se que, para este estudo analisado na BHCC Entender a dinâmica é crucial para o gerenciamento eficaz da bacia hidrográfica, pois permite a identificação de áreas vulneráveis à erosão, inundações e outras ameaças ambientais. Além disso, esta pesquisa contribui para o entendimento mais amplo dos processos de bacias hidrográficas na região, preenchendo lacunas de conhecimento sobre as características e o comportamento específicos da Bacia Hidrográfica de Cachoeirinha

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica; morfometria; sistemas de informações geográficas; conservação da paisagem.

**Abstract.** This study analyzed the morphometry of the Córrego Cachoeirinha Hydrographic Basin (BHCC), located in Mato Grosso, Brazil, with an area of 951.78 km<sup>2</sup>. The basin is located between the coordinates 15°35'37" to 16°12'30" South latitude and 57°14'36" to 57°32'24" West longitude. Morphometric analyzes were carried out covering areal and linear aspects, which indicated a low susceptibility to flooding due to the riverine configuration of the basin. Furthermore, the basin has many watercourses but a lower capacity to generate new ones, which highlights the need for adequate monitoring and management of land use to conserve the landscape. It was concluded that, for this study analyzed at BHCC, understanding the dynamics is crucial for the effective management of the river basin, as it allows the identification of areas vulnerable to erosion, flooding and other environmental threats. Furthermore, this research contributes to a broader understanding of river basin processes in the region, filling gaps in knowledge about the specific characteristics and behavior of the Cachoeirinha River Basin

**Key-words:** Watershed; Morphometry; Geographic Information Systems; Landscape conservation.

## 1. Introdução

Segundo Christofolletti (1980: 102) a bacia hidrográfica é definida como “uma área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial. Uma bacia hidrográfica funciona através da hierarquia fluvial. Assim sendo, é necessário estar atento ao estado de conservação da paisagem, quando ocorre a antropização de uma bacia, seja ela por meio de áreas agrícolas, pastagens e reflorestamentos, amplamente modificado pelas ações da sociedade, tornando, dessa forma, necessário o seu monitoramento e estudo.

A hierarquia fluvial proposta por Strahler (1954) denomina os canais menores, sem tributários como os de primeira ordem, desde sua nascente até a confluência. Os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem. Quando há o encontro entre dois canais de segunda ordem, surge um canal de terceira ordem, ao encontrar-se com outro canal de terceira ordem, surge um canal de quarta ordem e poderá receber canais de ordem inferior, e assim sucessivamente.

Segundo Costa et al (2020) apud Borsato e Martoni (2004) e Santos et al. (2007), estudos morfométricos visam caracterizar, avaliar e analisar bacias hidrográficas, em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), por meio da utilização de geotecnologias (Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informação Geográfica, Banco de Dados Geográficos, dentre outras), demonstram ser eficientes na geração de dados que possibilitam o entendimento da dinâmica hídrica de bacias hidrográficas.

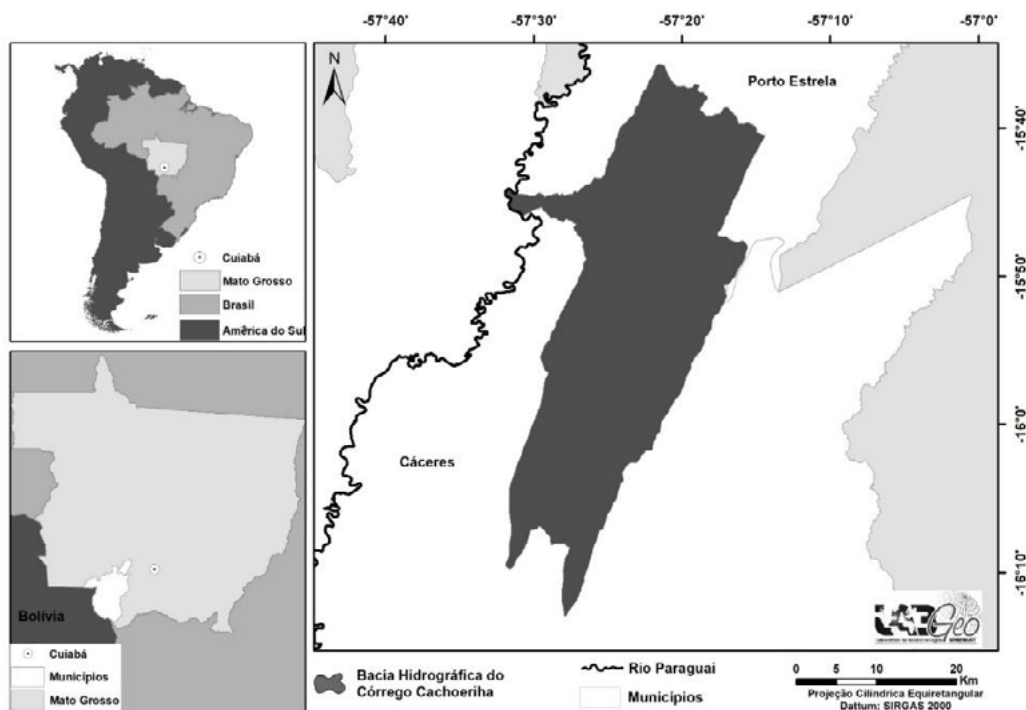
## 2. Objetivo

O escopo deste estudo é analisar a morfometria da Bacia Hidrográfica Cachoeirinha/MT, para a compreensão da dinâmica hidrológica e geomorfológica da bacia.

## 3. Material e Métodos

### 3.1 Área de estudo

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Córrego Cachoeirinha (BHCC), cujo rio principal, o Córrego Cachoeirinha, é afluente da margem esquerda do rio Paraguai. A bacia possui a extensão territorial 951,78 km<sup>2</sup>, localizada a nordeste do município de Cáceres, entre as coordenadas geográficas são 15° 35' 37" a 16° 12' 30" de latitude S e 57° 14' 36" a 57° 32' 24" de longitude W (Figura 1).



**Figura 1.** A Bacia Hidrográfica do Córrego Cachoeirinha nos contextos sul-americano, brasileiro, mato-grossense e intermunicipal.

Fonte: Autores (2024).

### 3.2 Procedimentos metodológicos

A imagem da órbita/ponto 228/71, do satélite Landsat 9, sensor OLI 2, de 2022, foi manipulada no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas-SPRING, versão 5.4.3, disponibilizado pelo INPE Câmara et al., (1996).

Especificamente quanto à segmentação, esta etapa constitui-se num processo que subdivide uma imagem em regiões homogêneas, sendo necessária a definição do atributo “área”, definido em função da escala do mapa a ser gerado, que limita em número de pixels que uma região deve ter na imagem segmentada; Na fase de classificação das imagens de satélite foram utilizados para a identificação dos alvos os seguintes elementos: tonalidade, cor, tamanho, forma, textura, padrão, altura, sombreamento, localização e contexto Florenzano, (2002). As bandas do Landsat foram sobrepostas em uma composição colorida RGB que permite uma melhor visualização das classes de cobertura.

Para este trabalho, a Banda 4 ficou no canal do vermelho, a Banda 5 no verde e a Banda 3 no azul, para destacar a vegetação com maior presença de água, facilitando a interpretação visual.

Os layouts dos mapas e as quantificações das classes temáticas de cobertura vegetal e uso da terra foram elaborados no ArcGis, versão 10.2 ESRI, (2007), recortada pela máscara da APPs da BHCC. Após foi aplicado a análise areal que quantificou a área e perímetro; e análise linear, que caracterizou a rede de drenagem, incluindo ordem do fluxo e razão de bifurcação (Tabela 1).

Para a definição das classes temáticas do mapa de cobertura vegetal e uso da terra, cobertura vegetal (Floresta Estacional semidecidual, aluvial Floresta estacional sempre verde aluguel com dossel emergente, Savana arborizada e Savana parque); usos da terra (Agricultura,

**Tabela 1.** Análises Morfométricas aplicadas na BHCC/MT.

Análises	Fórmulas	Descrição	Autor (ano)
<i>Areal</i>		<i>Área e Perímetro da Bacia:</i> P: perímetro da bacia (km). A: área da bacia (km <sup>2</sup> ).	
	$Ic = \frac{A}{Ac}$	Índice de Circularidade <i>Ic</i> : índice de circularidade A: bacia considerada <i>Ac</i> : área do círculo do perímetro igual ao da bacia considerada	Miller (1953)
	$Kc = 0,28 \cdot \frac{p}{\sqrt{A}}$	<i>Índice de Compacidade de Gravelius (Índice de Forma)</i>	
	$Ic = \frac{12,57 \times A}{p^2}$	<i>Índice de Circularidade (Ic)</i>	Miller (1957)
	$Kf = \frac{A}{L^2}$	<i>Fator de Forma (Kf)</i> <i>Kf</i> : relação entre a largura média e o comprimento da bacia A: comprimento da bacia. L <sup>2</sup> : Curso de água mais longo desde a desembocadura até a cabeceira mais distante	Vilella e Mattos (1975)
	$Dd = \frac{L}{A}$	<i>Densidade de Drenagem (Dd)</i> Lt: comprimento total dos cursos de água da bacia. A: área da bacia	Horton, (1945)
	$Dh = \frac{Nu1^{o}ordem}{A}$	Densidade Hidrográfica (Dh): <b>Nu 1º ordem</b> : corresponde ao número total de canais de 1º ordem A: área da bacia (km <sup>2</sup> )	Freitas (1952))
	$Is = \frac{100(L-Lr)}{L}$	<i>Índice de Sinuosidade (Is):</i> L: comprimento do rio principal. Lr: comprimento, em linha reta, do exutório até a nascente mais distante. Estabeleceu cinco classes de sinuosidade: I = muito reto (<20%), II = reto (20, - 29,9%), III = divagante (30,0 – 39,9), IV = sinuoso (40,0 – 49,9) e V = muito sinuoso (50,0).	Mansik kaniemi (1970)
<i>Linear</i>	$Rb = \frac{Nu}{Nu+1}$	<i>Relação de Bifurcação:</i> <i>Nu</i> = e Número de Canais por Ordem <i>Nu + 1</i> = Número de canais de ordem superior	Horton (1945)

Influência urbana e Pecuária) e as Massas d'água (Água), foram consultados o Manual Técnico de Vegetação Brasileira IBGE, (2012), Manual Técnico de Uso da Terra IBGE, (2013) e os relatórios do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO) Cerrado e Amazônia Brasil, (2006). O arquivo da classificação foi exportado no formato shapefile e no ArcGis, versão 10.7.1 ESRI, (2017), a pós-classificação,

ocorreu a validação das classes mapeadas por meio de dados obtidos. A partir do arquivo vetorial, foram efetuadas as quantificações das classes temáticas e a elaboração do layout dos mapas no ArcGis.

O mapa de declividade foi utilizado a ferramenta "Slope" para calcular a declividade a partir do Modelo digital de Elevação (MDE), após foi utilizado a ferramenta "Reclassify" para dividir a declividade em classes percentuais, posteriormente foi aplicado a interpretação dos mapas coropleticos para a compreensão do mapa através das cores padrões da Embrapa, (1979) para que facilitem a interpretação de cada declividade da Bacia e a sua distribuição.

#### 4. Resultados e Discussões

Na Bacia Hidrográfica do Córrego Cachoeirinha (BHCC), ocorrem 3 classes de cobertura vegetal sendo nas mesmas 5 subclasses, e 3 usos da terra e da água (**Tabela 2**).

O cerrado possui uma grande quantidade de fitofisionomias de Savana, sendo enquadradas em subgrupos como Savana arborizada, Savana Parque sem floresta de galeria. A Savana arborizada também chamada de Campo Cerrado é uma vegetação enquadrada no subgrupo de formação natural ou antropizada que se caracteriza por apresentar fisionomia nanofanerofítica rala, vegetação com esta característica está sujeito ao fogo anualmente no período de seca Mengatto Junior et al, (2010).

A bacia apresenta uma variedade de tipos de vegetação, a Savana arborizada com Floresta de Galeria possui vegetação com mesmas características da Savana arborizada, porém com a adição de florestas de galeria, que são faixas de vegetação mais densa e alta, compostas por árvores de grande porte, que acompanham os rios e córregos.

A savana florestada, se destaca pela sua vegetação única, sua flora se destaca por ter arvores de porte médio a grande, uma vegetação que se destaca nesse subgrupo é o ipê e a arvore do pequi, as árvores que estão presentes nessa vegetação possui raízes profundas, esses solos são pobres e ácidos, a savana florestada enfrenta ameaças, como o desmatamento para a expansão da agricultura e da pecuária.

Savana Parque sem floresta de galeria onde não há a presença dessas formações florestais associadas aos cursos d'água.

A Floresta Estacional Semidecidual com Dossel Aluvial possui características específicas para se distinguir das outras. Plantas que estão incluídas nesse subgrupo passa por períodos distintos de seca e chuva, influenciando o ciclo de vida da vegetação e ali existe, parte das árvores perde as folhas durante a estação seca, enquanto outras não. Essa vegetação se caracteriza por se formar em solos aluviais, aqueles formados por sedimentos depositados por rios. A grande variedade de vegetação presente indica que há mesma possui uma grande influência do clima regional.

O córrego Cachoeirinha é o principal curso d'água da bacia, e sua rede de drenagem é visível no mapa. A expansão da agricultura e da urbanização pode levar à perda de cobertura vegetal natural, e à degradação do solo, é possível analisar que algumas áreas da bacia estão apresentando fragilidade ambiental, por exemplo as áreas de próximas dos cursos d'água.

A agricultura é uma atividade que está presente na Bacia. De 952,61 km<sup>2</sup> da bacia 409,91 km<sup>2</sup> possui como uso do seu solo a pecuária assim deve ser considerada um fator de maior pressão para a antropização da bacia.

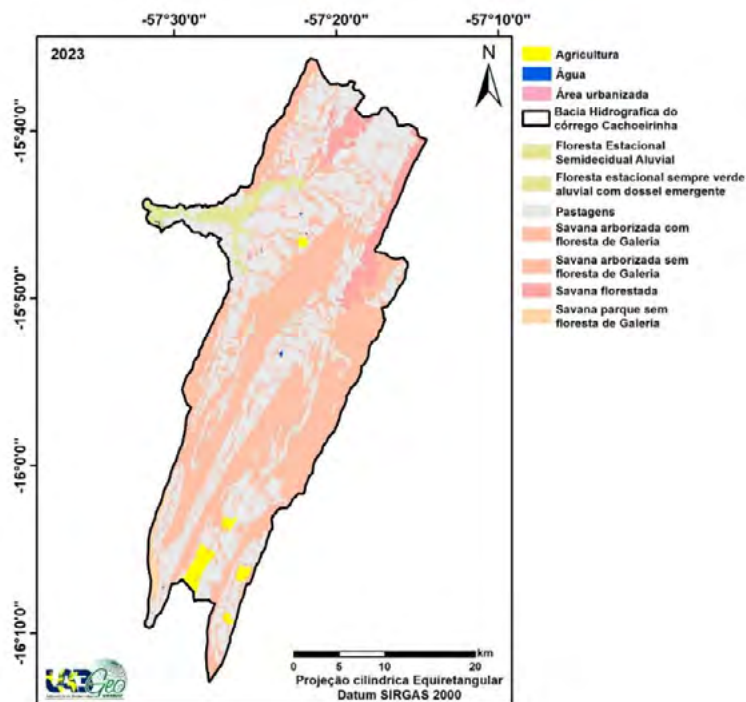
A ação da água sobre o relevo ao longo do tempo pode modificar a declividade do terreno, através de processos como a erosão fluvial e a deposição de sedimentos. O uso da terra altera o regime hídrico de uma bacia hidrográfica. A remoção da cobertura vegetal aumenta o escoamento superficial, reduzindo a infiltração da água no solo e aumentando o risco de

**Tabela 2.** Cobertura vegetal, uso da terra localizada na Bacia.

Classes	Sub-classes		Área km <sup>2</sup>
Floresta Estacional semidecidual aluvial	Aluvial Terras baixas submontana	-	22,76
Floresta estacional sempre verde aluvial com dossel emergente	Terras baixas submontana Montana	-	4,42
Savana	Florestada	-	44,25
	Arborizada	Sem floresta de galeria Com floresta de galeria	378,59 67,78
	Parque	Sem floresta de galeria Com floresta de galeria	9,11 -
Corpos hídricos			1,04
Uso da terra	Agricultura	-	13,52
	Área Urbanizada	-	0,41
	Pastagem	-	409,91

inundações. A agricultura e a urbanização também podem contaminar os corpos d'água com agrotóxicos, fertilizantes e esgoto.

A presença de rios, lagos e outras formas de água influencia a distribuição da vegetação e as atividades humanas em uma determinada região. Áreas próximas a cursos d'água são frequentemente utilizadas para a agricultura irrigada, pesca e recreação (Figura 2).



**Figura 2.** Cobertura vegetal, uso da terra e água na BHCC.  
Fonte: Autores (2024).



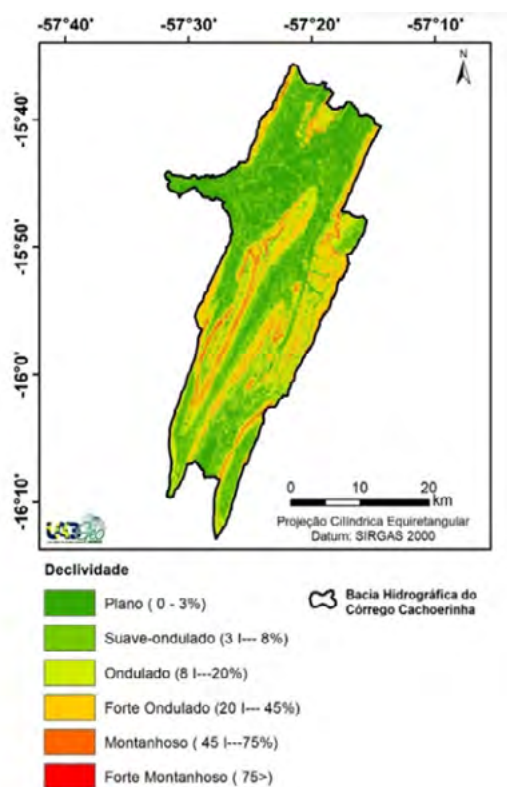
O rio principal da Bacia Hidrográfica do Córrego Cachoeirinha (BHCC), o Córrego Cachoeirinha, é afluente da margem esquerda do rio Paraguai. A bacia possui a extensão territorial de 951,78 km<sup>2</sup>, localizada a nordeste do município de Cáceres.

A declividade, o uso e cobertura da terra e a hidrografia são elementos interligados que moldam a paisagem e os processos naturais de uma determinada região.

Pois, as áreas planas ou com baixa declividade são mais favoráveis para a agricultura, pastagem e ocupação urbana, com a remoção da cobertura vegetal em áreas com declividade mais elevada a suscetibilidade do solo à erosão, a declividade influencia na hidrografia, como na velocidade e a direção do escoamento da água, afetando a formação de rios, as áreas com maior declividade tendem a ter rios com maiores quedas d' água. Nessa perspectiva, as classes de declividade na bacia encontram-se assim distribuídas na BHCC (**Tabela 3 e Figura 3**):

**Tabela 3.** Classes de declividade encontradas na Bacia Hidrográfica.

%	Relevo
0-3	Plano
3-8	Suave ondulado
8-20	Ondulado
20-45	Forte ondulado
45-75	Montanhoso
>75	Forte Montanhoso



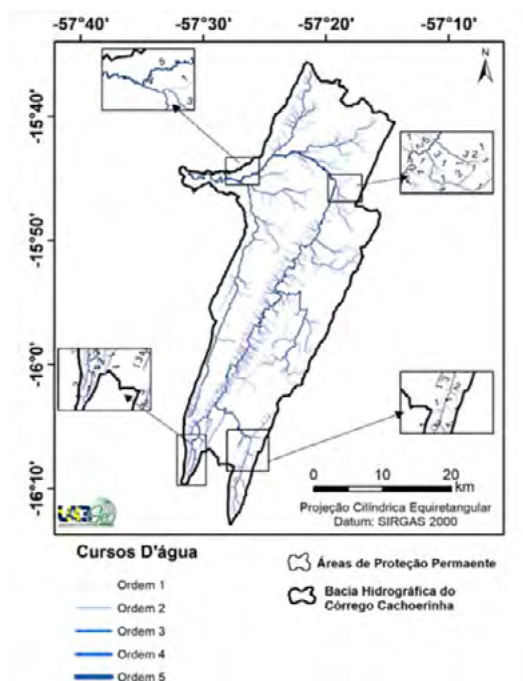
**Figura 3.** Declividade da BHCC.

Fonte: Autores (2024).

Com a mudança de declividade de uma bacia, pode se ocorrer mudanças no seu escoamento passando a ser acelerado ou lento. Ocorre a intensificação da erosão, fazendo que com o passar do tempo a mudança do relevo, recuação das nascentes e aumento de uma cabeceira, a mudança na rede fluvial se ajusta a nova área da bacia podendo ocorrer aumento de canais fluviais. Sendo assim o do Índice de Gravelius apresentou valor acima de 1,50 (**Tabela 4**) na qual a bacia irá apresentar baixa suscetibilidade de ocorrência de inundações (**Figura 4**).

**Tabela 4.** Análise Areal da BHCC.

Índices	Resultado
Área (A)	205,28616
Perímetro (P)	951,809751
Coefficiente de compacidade de Gravelius (Kc)	1,86312772055954
Índice de circularidade (Ic)	5,8280833788648
Fator de forma (kf)	8,0958232767419
Densidade de drenagem (Dd)	0,1235204829536
Densidade hidrográfica (Dh)	0,5925553918810
Sinuosidade (Is)	64,34



**Figura 4.** Hidrografia da BHCC.

Fonte: Autores (2024).

A bacia possui um (kf) alto, assim quando maior o coeficiente de compacidade de drenagem da BHCC, mais irregular será a bacia, a BHCC é de característica alongada, quanto maior é o Kc, menos circular é a bacia, menor o tempo de concentração e maior a tendência de haver picos de enchente não possui tendência para a ocorrência de cheias do que uma bacia circular. Possui uma sinuosidade de 64% com comportamento hidrológico, considerado muito rápido devido estar em uma área de serra da Província Serrana.

Assim para identificar a relação da bifurcação de canais pela ordem superior deve se dividir

o número de canal de certa ordem pela ordem superior e assim sucessivamente.

Na bacia de estudo o Córrego Cachoerinha apresenta o comprimento de 77.379 km<sup>2</sup>, notou-se domínio dos rios de primeira ordem (**Tabela 5**), sendo uma unidade hidrográfica de quinta ordem das, juntos estes canais fluviais somam cerca de 783 quilômetros de rios, sendo distribuídos ao longo do perímetro 951,809 km.

**Tabela 5.** Análise linear na BHCC.

Hierarquia fluvial	Nº de canais por ordem	Nº de canais por ordem/pela ordem superior	Relação de bifurcação dos canais
1º ordem	564	Ordem $1\sqrt{2}$	1,6395348837209
2º ordem	344	Ordem $2\sqrt{3}$	3,0990990990990
3º ordem	37	Ordem $3\sqrt{4}$	3,0833333333333
4º ordem	9	Ordem $4\sqrt{5}$	7,2
5º ordem	1	Ordem $5\sqrt{1}$	1

Fonte: Autores (2024).

## 5. Conclusões

A BHCC apresenta compartimentos fluviais que indicam baixa suscetibilidade a enchentes, bem como alta quantidade de cursos de água e menor capacidade de gerar novos cursos, demandando a necessidade de monitoramento e gestão dos usos da terra, visando à conservação da paisagem.

## 6. Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso pela concessão da bolsa de estudos das autoras. Ao Laboratório de Geotecnologias da Universidade do Estado de Mato Grosso (LabGeo/UNEMAT), pelo suporte técnico e infraestrutura.

## 7. Referências

- Borsato, F. H.; Martoni, A. M. Estudos da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, v. 26, n. 2, p. 273-285, 2004.
- Cardoso, C. A.; Dias, H. C. T.; Soares, C. P. B.; Martins, S. V. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan,. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, 2006
- Costa, A. A. D.; Galvanin, E. A. S.; Neves, S. M. A. **Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica Paraguai/Jauquara, Mato Grosso-Brasil**. Geosul, Florianópolis, v. 35, n. 74, p. 483-500, jan./abr. 2020. <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n7>
- Christofolletti, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Bertrand, 1980.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1)
- Esri. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop**: Release 10.7.1 Redlands, CA: ESRI, 2017.
- Freitas, R. O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**. São Paulo, v. 11, p. 53-57, 1952
- Horton, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc. America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2012. 271 p

Mansikkaniemi, H. The sinuosity of rivers in northern Finland. **Publicationes Instituti Geographici Universitatis Turkuensis**, v. 52, n.1, p. 16-32, 1970.

Mengatto Junior, E. A.; Silva, J.; Cinquini, J. de A. Distribuição da Savana (Cerrado) no Pantanal brasileiro: uma análise quantitativa. 2010.

Miller, V. C. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. **The Journal of Geology**, v. 65, n. 1, p. 112-113, 1957

Pereira, J. S.; Neves, S. M. A. S.; Silva, J. S. V. Antropização da paisagem da Bacia Hidrográfica do Córrego Jacobina em Cáceres/MT, Brasil. **Revista Equador**, v. 12, n. 2, p. 48-71, 2023

Villela, S. M.; Mattos, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p

## **Alterações na cobertura vegetal por ações antrópicas, do município de Glória D'Oeste, no estado de Mato Grosso, Brasil**

Joliene da Silva Pereira<sup>1</sup>  
Sandra Mara Alves da Silva Neves<sup>1</sup>  
João dos Santos Vila da Silva<sup>2</sup>  
Lívia Angélica de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Laboratório de Geotecnologias UNEMAT (LabGeo UNEMAT)  
Av. Santos Dumont, s/n – Cidade Universitária. Bairro: Lobo  
78211-298 – Cáceres/MT  
{joliene.silva, ssneves,livia.angelica}@unemat.br

<sup>2</sup>Embrapa Agricultura Digital - CNPTIA  
Av. André Toselo, 209 - Caixa Postal 6041  
13083-886 - Campinas - SP, Brasil  
joao.vila@embrapa.br

**Resumo.** Esta pesquisa tem como escopo analisar as alterações antrópicas na cobertura vegetal do município de Glória D'Oeste/MT, relativo ao período de 1985 a 2021, visando à geração de subsídios que contribuam no monitoramento e planejamento ambiental municipal. Para operacionalização do estudo os arquivos dos anos de 1985 e 2021, gerados pelo Projeto MapBiomass foram manipulados em Sistema de Informação Geográfica para avaliação do estado de conservação da paisagem do município via emprego do Índice de Transformação Antrópica. Houve no período de investigação aumento das classes de Agricultura, Área Urbanizada, Campo Alagado e Área Pantanosa, Pastagem, Silvicultura e oscilação dos Corpos D'água Continental. A redução das Formações Campestre, Florestal e Savânica foi devido à expansão da pecuária e da silvicultura, atividades essas que alteraram a paisagem cujo estado encontra-se Pouco Degradado. Concluiu-se que há necessidade de constante monitoramento e no planejamento que medidas mitigadoras sejam indicadas visando a conservação dos elementos da paisagem.

**Palavras-Chave:** geotecnologias; uso da terra; índice de transformação antrópica; monitoramento e planejamento ambiental.

**Abstract.** This research aims to analyze the anthropogenic changes in the vegetation cover of the municipality of Glória D'Oeste/MT, relating to the period from 1985 to 2021, aiming to generate subsidies that contribute to municipal environmental monitoring and planning. Operationalize the study of files from 1985 to 2021, generated by the MapBiomas Project for manipulations in the Geographic Information System to assess the state of conservation of the municipality's landscape through the use of the Anthropogenic Transformation Index. There was an increase in the research period in the classes of Agriculture, Urbanized Area, Flooded Field and Pantanal Area, Pasture, Forestry and Oscillation of the Continental Body of Water. The reduction in the Campestre, Forest and Savanna Formations was due to the expansion of livestock and forestry, activities that will alter the landscape whose condition is in a bad state of degradation. It is concluded that there is a need for constant monitoring and planning so that mitigating measures can be indicated to conserve two elements of the landscape.

**Keywords:** geotechnologies; land use; anthropogenic transformation index; monitoring and environmental planning.

## 1. Introdução

A crescente demanda econômica e social acumulada com as melhorias das técnicas viabilizaram as sociedades contemporâneas a transformarem os sistemas ambientais com maior envergadura e rapidez. O que resulta no uso inadequado dos componentes naturais e na ocupação desordenada dos ambientes naturais, influenciando na dinâmica da paisagem.

O desenvolvimento do setor industrial, agropecuário e a urbanização das cidades são os principais agravantes. Onde, para maior lucratividade de ambas atividades é eminente a supressão da cobertura vegetal, alterando a paisagem natural.

De acordo com Picoli (2006), essas alterações tiveram início a partir da década de 1970, nessa ocasião, foram disponibilizadas grandes áreas para grupos elitizados e incentivos fiscais para aquisição de terras em todo o estado de Mato Grosso. Que, em vários aspectos, são constantemente modificadas pelas ações antrópicas - diretamente relacionadas às atividades humanas que se utilizam dos atributos ambientais - desenvolvidas sem planejamento, desencadeando impactos negativos nos componentes biofísicos da paisagem.

Bertrand (1968, p. 2) concebe a paisagem como: “(...) porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem dela um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução”. Nesse sentido, compreende-se a importância e a necessidade de estudos que realizem o monitoramento da sua dinâmica, que de acordo com Ramos e Luchiari Júnior (2022, p. 1),

[...] é um processo de coleta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e sistemático das variáveis ambientais, com o objetivo de identificar e avaliar - qualitativa e quantitativamente - as condições dos recursos naturais em um determinado momento, assim como as tendências ao longo do tempo.

Nesse sentido, estudos a respeito das alterações da paisagem de municípios colonizados pretensiosamente para ocupação de áreas produtivas inapropriadas, a exemplo de Glória D'Oeste, tem sido considerado para análise do estado de conservação da cobertura vegetal dessas unidades.

Assim sendo, as geotecnologias, de acordo com Nascimento et al. (2005) surgem como importantes ferramentas de monitoramento do desmatamento e do uso da terra.

Nos estudos de Gouveia, Galvanin e Neves (2013), Rodrigues et al. (2014), Pereira, Neves e Silva (2023) e Aguiar, Neves e Rodrigues (2023), a respeito do uso das geotecnologias para averiguação da antropização, tem se destacado o Índice de Transformação Antrópica (ITA), calculado através dos valores de área (%) obtidos através das classes temáticas de cobertura vegetal e uso da terra, e tem como a finalidade aferir a pressão antrópica sobre determinados

componentes da paisagem demonstrando eficácia e clareza, quanto ao estado de conservação da mesma.

E, os resultados destas pesquisas servem de subsídios para o planejamento ambiental e tomada de decisões concisas com a realidade das áreas analisadas. Uma vez que, de acordo com Santos (2004), o planejamento ambiental visa a organização e compatibilização do uso da terra com a proteção de ambientes ameaçados e de melhorar a qualidade de vida das populações.

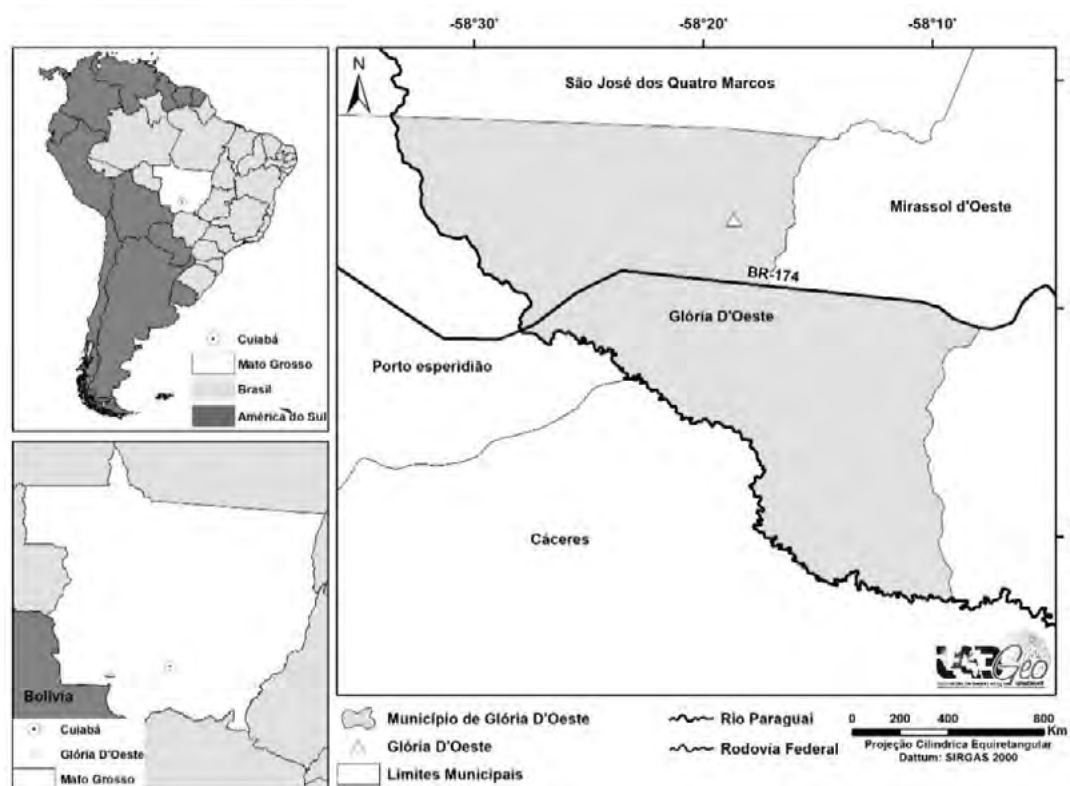
## 2. Objetivo

A presente pesquisa tem como escopo analisar as alterações antrópicas na cobertura vegetal do município mato-grossense de Glória D'Oeste, no período de 1985 a 2021, visando à geração de subsídios que contribuam no monitoramento e planejamento ambiental municipal.

## 3. Material e Métodos

### 3.1. Enquadramento histórico geográfico

Municipalizado pela Lei Estadual nº 5.911 no dia de 20 de dezembro de 1991 IBGE, (2024), Glória D'Oeste possui população recenseada em 2022 de 2.905 mil habitantes, distribuídos numa área de 832, 88 km<sup>2</sup>(**Figura 1**), perfazendo a densidade populacional de 3,49 hab./km<sup>2</sup> e renda per capita de R\$ 28.844,05 IBGE, (2024). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH-M) do município atingiu 0,710 PNUD, (2010).



**Figura 1.** Glória D'Oeste nos contextos sul-americano, nacional, estadual, intermunicipal e municipal.

Fonte: Autores (2024).

Quanto às atividades econômicas desenvolvidas no município, informações divulgadas no Portal Mato Grosso (2017), informam que as atividades agrícolas e de lides pecuárias, são responsáveis pela sua consolidação econômica.

Ainda, de acordo com Dallemole et al. (2010, p.192;196), desde 2007, o município integra o arranjo apícola apoiado pelo SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas), compondo a APL de Apicultura em Mato Grosso. E está entre os 21 municípios que são apoiados pelas políticas institucionais para a produção do mel, localizadas na região Sudoeste do estado.

### 3.2. Procedimentos Metodológicos

Para fundamentação teórica e compreensão do tema foi realizada pesquisa bibliográfica, de acordo com etapas metodológicas propostas por Marconi e Lakatos (2021).

Os arquivos de cobertura vegetal e uso da terra foram os da coleção 7.1, gerados pelo projeto MapBiomias (2023), relativos aos anos de 1985 e 2021. Os arquivos matriciais foram convertidos em vetoriais, recortados pela máscara da área de estudo, geradas as quantificações e elaborados os layouts no ArcGis, versão 10.7.1 ESRI, (2019), foi adotado para a legenda das classes os padrões de cores indicadas no projeto MapBiomias.

Para aferição do estado de conservação da paisagem aplicou-se o Índice de Transformação Antrópica (ITA), representado pela expressão:

$$ITA = \sum (\% \text{ uso} \times \text{peso}) / 100$$

Onde:

Uso = área em valores percentuais das classes de cobertura vegetal e uso da terra;

Peso = peso dado as diferentes classes de cobertura vegetal e uso da terra quanto ao grau de alteração antrópica, que difere de 1 a 10, sendo que 10 indica as maiores pressões.

Os pesos de cada categoria de cobertura vegetal e uso de Glória D'Oeste considerou a abordagem de Mateo (1984), no qual respaldamos em pesquisas realizadas por: Ortega (2011); Gouveia, Galvanin e Neves (2013); Rodrigues et al. (2014), Lopes et al. (2017), Pereira, Neves e Silva (2023) e Aguiar, Neves e Rodrigues (2023), em que para cada classe de cobertura vegetal e uso da terra analisadas foram atribuídos os seguintes pesos: Agricultura (8,00), Área Urbanizada (9,7), Campo Alagado e Área Pantanosa (1,00), Corpo D'água continental (1,00), Formação Campestre (2,00), Formação Florestal (1,00), Formação Savânica (2,00), Pastagem (5,00) e Silvicultura (2,00).

De acordo com o método estatístico de quartis (Cruz et al., 1998, p. 104), os valores quantitativos dos pesos foram associados a categorias qualitativas como: pouco degradada (0 — 2,5), regular (2,5 — 5), degradada (5 — 7,5) e muito degradada (7,5 — 10).

## 4. Resultados e Discussão

Nesta seção procura-se, por meio dos dados sobre a dinâmica da cobertura vegetal em relação aos usos da terra, apresentar como o desenvolvimento da Pecuária influência negativamente na alteração da paisagem. Bem como, o estado de conservação da vegetação presentes nesta área, revelando sua qualidade ambiental.

### 4.1 Dinâmica da cobertura vegetal e do uso da terra no município de Glória D'Oeste/MT

O município de Glória D'Oeste, assim como outros municípios da região sudoeste de planejamento do estado, foi ocupado por colonos paulistas incentivados pelo projeto Marcha



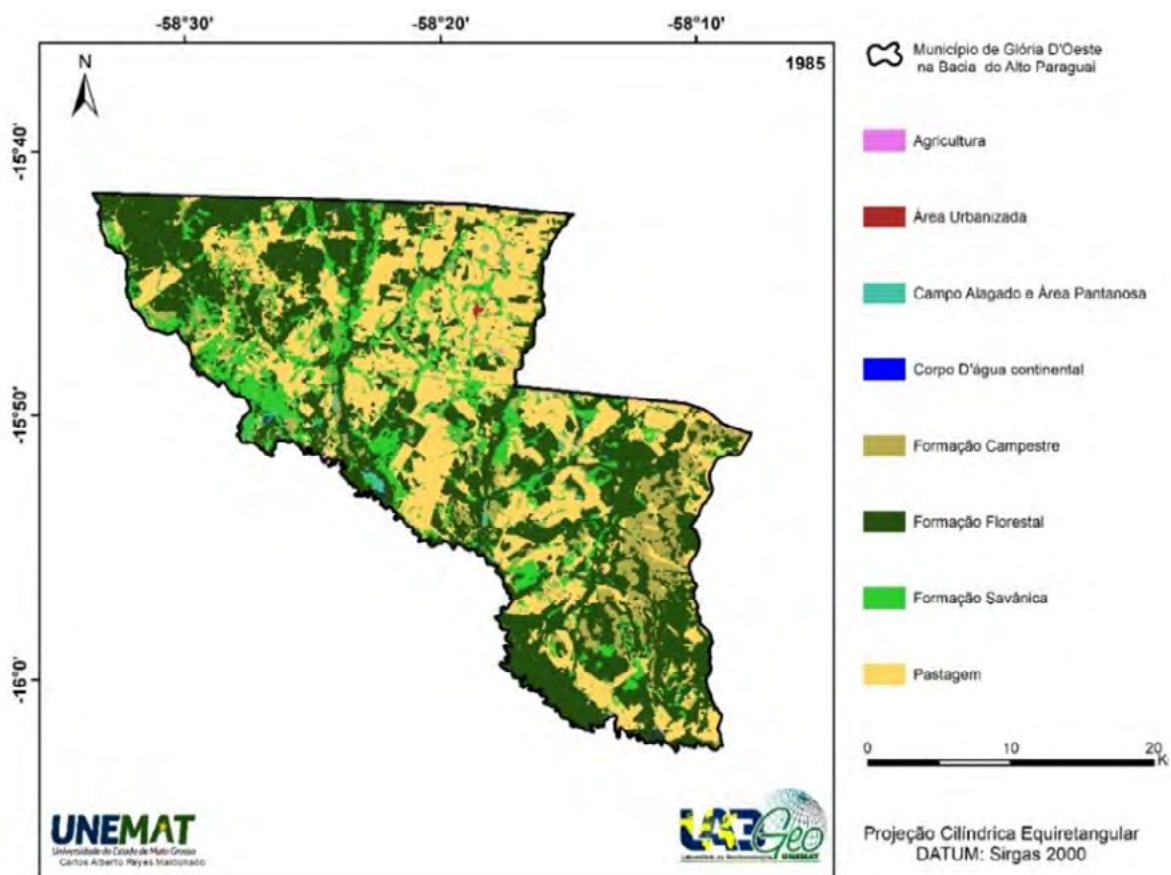
para o Oeste (1938 - 1985), direcionando a ocupação das terras devolutas da região oeste do Brasil (Rodrigues, 2020, p. 8).

O desenvolvimento econômico das áreas contempladas pelo projeto, foi possível devido aos incentivos fiscais disponibilizados para pecuária e agricultura naquele período, tais como o:

Programas de crédito como o Fundo Constitucional do Norte (FNO) e o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), continuaram a apoiar a pecuária (Lele et al., 2000), e a existência de crédito subsidiado para a recuperação de pastos e a aquisição de maquinário agrícola deu fôlego à atividade para que continuasse a se expandir (Margulis, 2003).

No ano de 1985, o município pertencia a Cáceres e, representava uma região com traço predominante de estrutura fundiária de grandes propriedades com o desenvolvimento da pecuária extensiva como atividade econômica Silva e Loiola, (2019).

É neste cenário econômico, que se encontrava a área de estudo, visto que em 1985 a classe Formação Florestal ocupava maior porção de área seguido de Pastagem e de Formação Savânica. Em contrapartida, com os incentivos voltados para a pecuária, a classe Agricultura não obteve destaque nesse período (**Figura 2 e Tabela 1**).



**Figura 2.** Cobertura vegetal e usos da terra no município de Glória D'Oeste/MT em 1985.

Fonte: Arquivo matricial do Projeto Mapbiomas (2023). Elaboração: Laboratório de Geotecnologias Unemat (2024).

Esses acontecimentos, corroboram com os dados da Embrapa (1984), exibindo que “O pantanal Mato-grossense constitui-se numa região de vocação natural de cria e recria, assumindo o papel de uma das mais expressivas regiões criatórias de bovinos de corte do Brasil. Conforme Paiva et al. (2014), essa atividade: [...] é desenvolvida de forma extensiva a mais de 200 anos

no Pantanal.

Esse modelo de produção contribuiu para que a área de Pastagem duplicasse, conforme pode ser verificado no ano de 2021, ocupando o dobro de área (**Tabela 1 e Figura 3**).

**Tabela 1.** Alterações nas classes de cobertura vegetal, usos da terra e dos índices de transformação antrópica.

Cate goria	Classes	1985		2021		ITA	
		k m <sup>2</sup>	%	k m <sup>2</sup>	%	1 985	2 021
Cob ertura vegetal	Campo Alagado e Área Pantanososa	6, 06	0, 73	8, 78	1, 05	0,007 3	0, 0105
	Formação Campestre	62 ,87	7, 55	5 3,23	6, 39	0,151 0	0, 1278
	Formação Florestal	36 2,10	43 ,48	7 3,21	8, 79	0,134 8	0, 0879
	Formação Savânica	12 0,80	14 ,50	8 4,02	1 0,09	0,290 1	0, 2018
Usos da terra	Agricultura	0, 40	0, 05	9, 49	1, 14	0,003 8	0, 0912
	Área Urbanizada	0, 47	0, 06	0, 70	0, 08	0,005 4	0, 0081
	Pastagem	2 75,94	3 3,13	56 8,40	68, 25	1,656 6	3, 4123
	Silvicultura	-	-	30, 13	3,6 2	-	0, 0723
Água	Corpos D'água Continental	4, 24	0, 51	4, 92	0, 59	0,005 1	0, 0059
<b>Total</b>		<b>83 2,88</b>	<b>10 0,00</b>	<b>83 2,88</b>	<b>10 0,00</b>	<b>2,5540</b>	<b>4, 0178</b>

Fonte: Autores (2024).

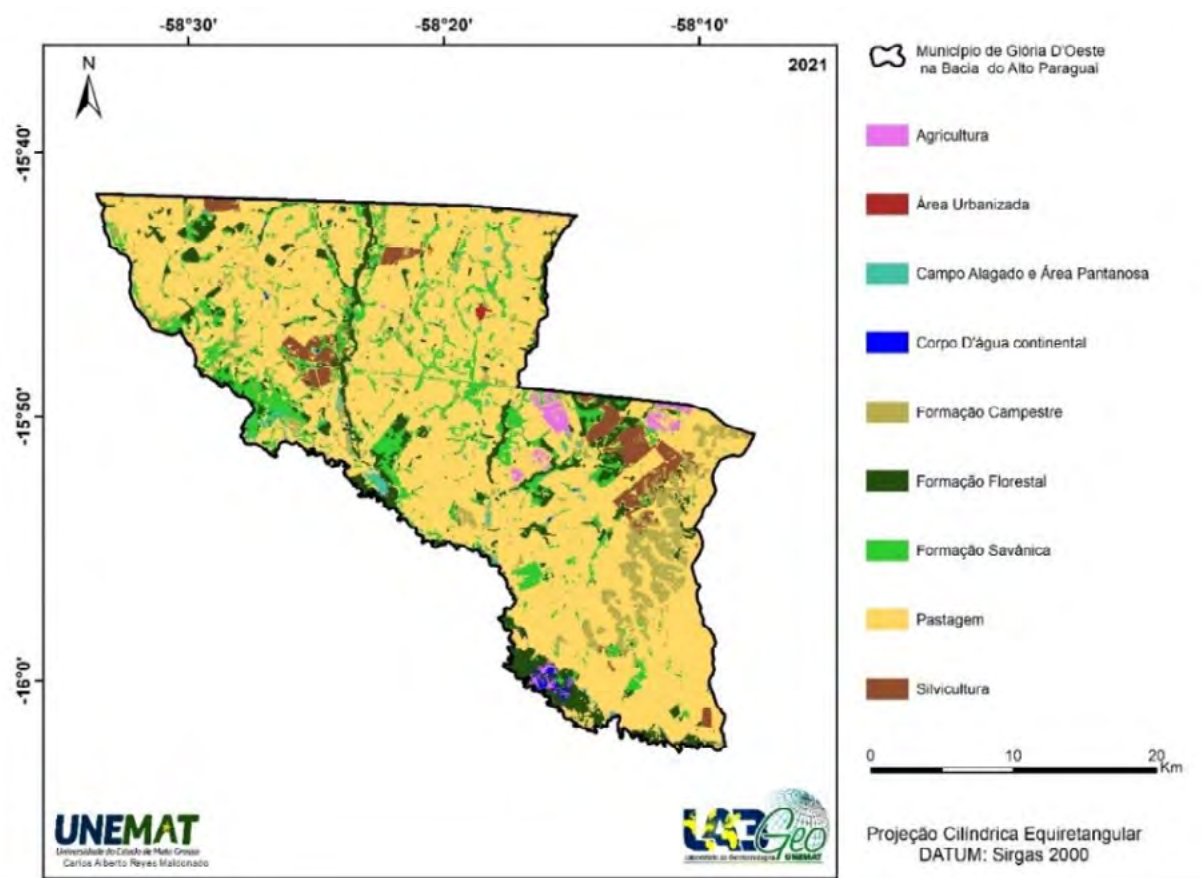
Por sua vez, a classe Agricultura, utilizada para as atividades da agricultura familiar expandiu nesse período. O que repercutiu numa área de cultivo, vinte e quatro (24) vezes maior que a ocupada no ano de 1985. Em contrapartida, houve redução da vegetação e dos corpos hídricos. E as classes Formação Florestal, Corpos D'água Continental, Formação Savânica e Formação Campestre sofreram decréscimos. Esta última, sua:

[...] composição botânica é influenciada pelos gradientes edáficos e topográficos e pelo manejo pastoril (pecuária). Manchas de vegetação exótica invasora ou de uso forrageiro (pastagem plantada) podem estar presentes formando mosaicos com a vegetação nativa” (Pereira, Neves e Silva, 2024, p. 54).

Nesse sentido, a classe Formação Campestre reduziu de vido a sua utilização para as atividades da pecuária extensiva.

Nessa conjuntura, no comparativo de 1985 com de 2021 evidencia o avanço contínuo da pecuária na área de estudo em detrimento da cobertura vegetal, tendo sido mantida as áreas que são protegidas pela legislação, a exemplo das Áreas de Preservação Permanente hídrica.

A supressão da cobertura vegetal no transcorrer de 36 anos para essa atividade, foi



**Figura 3.** Cobertura Vegetal e Usos da terra no município de Glória D'Oeste em 2021.

Fonte: Arquivo matricial do Projeto Mapbiomas (2023). Elaboração: Laboratório de Geotecnologias Unemat (2024).

contributiva na degradação do estado de conservação da paisagem, na área analisada averiguada como “Regular” (**Tabela 1**), cujo é concebida por Seabra et al. (2018, p. 4) como Paisagem Transformada (PT). Ou seja, paisagens que:

[...] encontra-se em áreas com solo exposto e/ou degradado (ou em processo de degradação), [...]. Assim sendo, altera a qualidade da água pelo uso inadequado das áreas marginais e modificações na cobertura florestal (em função do desflorestamento, queimadas, entre outras atividades), implicando na exploração não sustentável da vegetação primária (Rodrigues, Neves e Lima, 2024, p. 65).

De acordo com a **Tabela 1**, pode-se observar que a supressão da cobertura vegetal, influenciada pelo desenvolvimento do setor agropecuário, vem ocasionando a alteração da paisagem gradualmente. Simonetti et al., (2019), destaca que:

[...] essas práticas como queimadas e desmatamento nesse processo de implantação, são comuns em muitos casos, porém essas ações têm provocado severos impactos principalmente nos corpos hídricos. A diminuição da disponibilidade de recursos hídricos, perda de fertilidade dos solos, intensificação dos processos de desertificação, compactação do solo e a eliminação de espécies da fauna e da flora são acentuados devido ao uso abusivo do meio ambiente (Santos, 2009).

Desse modo, o progresso da antropização (**Tabela 1**) na área de estudo, denota que tanto

a fragilidade, quanto a capacidade de uso da terra nessa região, não tem sido levado em consideração, principalmente na produção pecuária. Onde, Novotny e Olem (1993), descrevem que nas extensas áreas de pastagens além de causar a supressão da vegetação natural promove o aumento da erosão e compactação do solo, por meio da pressão física exercida pelo pisoteio dos animais.

Para o desenvolvimento dessa atividade, algumas pessoas interessadas pelos incentivos fiscais e outras pela procura de emprego (mão de obra barata), ocasionaram o aumento dos habitantes no local. Conseqüentemente, houve o acréscimo da classe Área urbanizada, que também contribui para a compactação do solo mediante as construções civis.

Nessa ótica, as atividades desempenhadas no município até o momento, estão determinando, qual será o estado de conservação da paisagem num futuro iminente.

## 5. Conclusões e Sugestões

A pecuária bovina no município de Glória D'Oeste no período de 36 anos foi a principal atividade antrópica que implicou na transformação da paisagem. E mesmo que o estado de conservação da paisagem tenha permanecido como “Regular”, averiguou-se que a vegetação vem reduzindo ao longo desse período. A situação apresentada evidencia, que os usos da terra sem planejamento no município determinaram os resultados desfavoráveis ao solo e influenciou na qualidade e disponibilidade da água. Logo, sugere-se o monitoramento e indicação no planejamento ambiental municipal, diretrizes para o desenvolvimento das atividades antrópicas considerando suas potencialidades e fragilidade para o não comprometimento da cobertura vegetal e de disponibilidade da água na área .

## 6. Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pela concessão da bolsa de estudos.

## 7. Referências

- Aguiar, J. C.; Neves, S. M. A. S.; Rodrigues, L. C. Antropização da paisagem do município mato-grossense de Colíder-Amazônia brasileira. **Revista Equador**, v. 12, n. 3, p.156-177, 2023.
- Bertrand, G. Paysage et géographiephysiqueglobale: esquisse méthodologique. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, v. 39, n. 3, p. 249-272, 1968.
- Câmara, G.; Medeiros, J. S. Princípios básicos e geoprocessamento. In: Sistemas de Informações Geográficas. **Aplicações na agricultura**. 2.ed. Brasília: Embrapa/SPI/ Embrapa-CPAC, 1998. 434p.
- Cruz, C. B. M.; Teixeira, A. J. A.; Barros, R. S.; Argento, M. S. F.; Mayr, L. M.; Menezes, P. M. L. Carga Antrópica da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9.; 1998, Santos. **Anais eletrônicos** [...] Santos: INPE; 1998. p. 99-109. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.09.11.15/doc/4\\_48p.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.09.11.15/doc/4_48p.pdf). Acesso em: 15 abr. 2024.
- Dallemole, D.; Faria, A. M. M.; Azevedo Junior, W. C.; Gomes, V. M. O arranjo produtivo local da apicultura de Mato Grosso: evolução recente e necessidade de ajustes. **Revista de Estudos Sociais**, ano 12, v. 2, n. 24, p. 181-197, 2010.
- Comastri Filho, J. A. **Pastagens nativas e cultivadas no Pantanal Mato-grossense**. Corumbá/MS: Embrapa/ Uepae de Corumbá, 1984. 48p.
- ESRI. **ArcGIS advanced**: Release 10.7.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2019.
- Gouveia, R. G. L.; Galvanin, E. A. S.; Neves, Sandra Mara Alves da Silva. Aplicação do Índice de Transformação Antrópica na análise multitemporal da bacia do córrego do Bezerra Vermelho em Tangará da

Serra-MT. **Revista Árvore**, v. 37, n. 6, p. 1045-1054, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Cidades@**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 jul. 2024.

Lele, U.; Viana, V.; Verissimo, A.; Vosti, S.; Perkins, K.; Husain, S. A. **Brazil, Forests in the Balance: Challenges of Conservation with Development**. Washington, D.C: World Bank, 2000.

Lopes, E. R. N.; Sousa, J. C.; Sales, J. C. A.; Sousa, J. A. P. S.; Padovani, N. G.; Morrais, M. C. M.; Albuquerque Filho, J. L.; Lourenço, R. W. Transformação antrópica da paisagem na bacia hidrográfica do rio Uma, Ibiúna, São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8.; 2017, Santos. **Anais eletrônicos [...]** Santos: INPE; 2017. p. 218-225. Disponível em: <file:///D:/USUARIO/Downloads/galoa-proceedings--bsr--59710.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2024.

MAPBIOMAS. **Projeto Mapbiomas** – Coleção 7 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil. MAPBIOMAS, 2022. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2023/04/28/dados-da-colecao-7-sao-atualizados-agora-na-versao-7-1/>. Acesso em: 02 abr. 2024.

Marconi, M. A.; Lakatos, E. M. **Fundamentos do trabalho científico**. 9. Ed. São Paulo: Atlas, 2021.

Margulis, S. **Causas do desmatamento da Amazônia Brasileira**. Brasília: Banco Mundial, 2003. 100p.

Nascimento, M. C. et al. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo. *Ciência Florestal*, v.15, n.2, p.207-220, 2005.

Novotny, V.; Olem, H. **Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution**. New York: Van Nostrand- Reinhold, 1993.

Rodriguez, J. M. M. **Apuntes de geografia de los paisajes**. Habana: Ed. MES, 1984.

Moreira, M. L. C. Vasconcelos, Teresa Neide Nunes. Mato Grosso: Solos e Paisagens. Cuiabá: Entrelinhas, 2007. 272p.

Ortega, D. J. P. **Avaliação dos Efeitos das Atividades Antrópicas na Bacia Hidrográfica do Córrego do Ipê, Município de Ilha Solteira – SP**. 2011. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira/SP, São Paulo, 2011.

Pereira, J. S.; Neves, S. M. A. S.; Silva, J. S. V.; Antropização da paisagem da paisagem da Bacia Hidrográfica do Córrego Jacobina em Cáceres/MT, Brasil. **Revista Equador**, v. 12, n. 2, p. 48-71, 2023.

Paiva, S. L. P.; Neves, S. M. A. S.; Muniz, C. C.; Neves, R. J.; Furlan, A. O. Uso da terra e cobertura vegetal nas unidades geomorfológicas do corredor fluvial do rio Paraguai no município de Cáceres/MT, Brasil. In: Simpósio Nacional De Geomorfologia: Geomorfologia, ambiente e sustentabilidade-MS, 10, 2014, Manaus-AM. **Anais...** Manaus: UEA, 2014.

Picoli, F. **O capital e a devastação da Amazônia**. São Paulo: Expressão popular, 2006.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013 (Com dados dos Censos 1991, 2000 e 2010)**. Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios brasileiros. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/idhm-munic%C3%ADpios-2010>. Acesso em: 30 jun. 2024.

Portal Mato Grosso (2017). **História de Glória D'Oeste**. Disponível em: <https://portalmatogrosso.com.br/historia-de-gloria-doeste>. Acesso em: 05 ago. 2024.

Ramos, N. P.; Luchiari Junior, A. **Monitoramento ambiental 2022**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pre-producao/meio-ambiente/monitoramento-ambiental#:~:text=O%20monitoramento%20ambiental%20%C3%A9%20um,tend%C3%AAs%20ao%20longo%20do%20tempo>. Acesso: 28 jul. 2024.

Rodrigues, L. C.; Neves, S. M. A. S.; Neves, R. J.; Galvanin, E. A. S.; Silva, J. S. V. Avaliação do grau de transformação antrópica da paisagem da bacia do rio Queima-Pé, Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 32, p. 52-64, 2014.

Rodrigues, L. C.; Neves, S. M. A. S.; Lima, J. E. S. Formas e estratégias de adaptação quilombola na conservação da paisagem na bacia hidrográfica do rio Turvo/SP. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v.18, n.

1, p. 57-74, 2024.

Rodrigues, M. L. M. O memorável em nome de ruas na cidade de Glória D'Oeste, MT. **Revista de Estudos Acadêmicos de Letras**, v. 13, n 1, p. 6-19, 2020.

Seabra, V. S.; Xavier, R. A.; Dornellas, P. C.; Damasceno, J. Índice de transformação antrópica por bacias de primeira ordem nas bacias do rio Taperoá e Alto Paraíba-PB. In: 12º Simpósio Nacional de Geomorfologia, 10.; 2018, Crato. **Anais eletrônicos** [...] Crato-CE, 2018, p. 1-13. Disponível em: <https://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/9/9-30-876.html>. Acesso em: 20 jul. 2024.

Silva, T. P.; O'loiola, V. Dinâmica Territorial no Município de Cáceres-MT: conflitos na produção e uso do território. **Revista Equador**, v. 8, n. 3, p. 140-158, 2019.

Simonetti, V. C.; Silva, D. C. C.; Rosa, A. H. Análise da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água da Apa Itupararanga (SP), Brasil. **Geosul**, v. 34, n. 72, p. 01-07, 2019.

Ziech, B. G.; Silva, V. S. M.; Drescher, R.; Vendruscolo, D. G. S. Modelos de crescimento em altura dominante e índice de sítio para Teca em Glória D'Oeste-MT. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 34, n. 4, p. 533-542, 2016.

## **Análise da Transformação Antropogênica na Bacia Hidrográfica do rio Santana/Mato Grosso, Brasil**

Andressa Geovana Santiago Schiavinato  
Sandra Mara Alves da Silva Neves  
Jesã Pereira Kreitlow  
Lívia Angélica Siqueira da Oliveira  
Luciene da Costa Rodrigues

Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Laboratório de Geotecnologias UNEMAT (LabGeo UNEMAT)  
Av. Santos Dumont, s/n – Cidade Universitária. Bairro: Lobo  
78211-298 – Cáceres/MT.

{geovana.schiavinato; ssneves; kreitlow.jesa; livia.angelica; luciene.rodrigues}@unemat.br

**Resumo.** O uso inadequado da terra realizado na BHRS resulta na instabilidade da paisagem, desencadeada principalmente pelas atividades agrícolas e pecuárias. O objetivo deste estudo é analisar as alterações da cobertura vegetal e usos da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Santana/MT, de 1985 e 2021, visando a geração de dados que possa ser utilizados na sua conservação. Foram utilizados dados da coleção 7.1 do projeto Mapbiomas e ferramentas geotecnológicas para quantificação de dados e geração de mapas. Os usos antrópicos de ambos os anos analisados prevaleceu em relação a cobertura vegetal. Quanto a dinâmica, as classes que apresentaram redução em área foram a de Campo Alagado e Área Pantanosa (162,28%), Corpo D'água continental (110,51%), Formação Campestre (24,08%), Formação Savânica (57,68%), Outras Áreas não Vegetadas (27,83%) e a Pastagem (29,16%). Na análise da Transformação Antropogênica a categoria vegetal apresentou maiores alterações em função dos usos, como exemplo da atividade de Silvicultura e Agropecuária. Observa-se que a água e a vegetação foram as classes mais impactadas negativamente em função das atividades antrópicas. Ressalta-se também que a classe pastagem reduziu em área. Concluiu-se que houve redução nas áreas de cobertura vegetal na bacia investigada, em função da expansão agrícola e aumento nas classes de uso da terra. Se faz necessário a adoção de métodos de manejo que visem conservar os atributos naturais da paisagem e minimizar os danos ocasionados pelas alterações de usos da terra.

**Palavras-chaves:** geotecnologias, atividades humanas, conservação ambiental.

**Abstract.** The inappropriate use of land in the BHRS results in instability of the landscape, triggered mainly by agricultural and livestock activities. The aim of this study is to analyze changes in changes in vegetation cover and land use in the Santana River Basin/MT, from 1985 and 2021, with a view to generating data that conservation. Data from the 7.1 collection of the Mapbiomas project and geotechnological tools were used to quantify data and generate maps. The anthropogenic uses of both years analyzed prevailed in relation to vegetation cover. In terms of dynamics, the classes that showed a reduction in area were the Flooded Field and Marsh Area (162.28%), Continental Water Body (110.51%), Grassland Formation (24.08%), Savannah Formation (57.68%), etc. Savannah Formation (57.68%), Other Non-Vegetated Areas (27.83%) and Pasture (29.16%). In the analysis of Anthropogenic Transformation analysis, the vegetation category showed the greatest changes due to uses, such as forestry and farming. It can be seen water and vegetation were the classes most negatively impacted by anthropogenic activities. It should also be noted that the pasture class has reduced in area. It was concluded that there has been a reduction in the areas of vegetation cover in the basin agricultural expansion and an increase in land use classes. It is necessary to adopt management methods aimed at conserving the natural attributes of the landscape and minimize the damage caused by changes in land use changes in land use.

**Key-words:** geotechnologies, human activities, environmental conservation.

## 1. Introdução

A bacia hidrográfica do Rio Santana é uma unidade geomorfológica de importância, pois reúne e relaciona diversos fatores, destacando-se as condições naturais e as atividades humanas. Intervenções significativas, sobretudo de origem humana, podem provocar alterações, cujos efeitos podem afetar todo o sistema hidrológico da bacia Cunha, (2012). O entendimento das dinâmicas de cobertura e uso da terra está se tornando cada vez mais relevante diante da urgência em manter questões ambientais ligadas às interações entre sociedade e natureza Abonizio et al., (2023), uma vez que a cobertura da terra reflete as

atividades humanas na superfície terrestre e está diretamente relacionada ao seu uso e gestão, conforme indicado por Seabra e Cruz (2013).

Nesse contexto, Gonzalez e Schiavinato (2019) e Silva (2017), afirmaram que o processo de ocupação em vários municípios da região sudoeste do Mato Grosso levou a formas complexas de exploração da terra, resultando em rápida degradação ambiental nas bacias hidrográficas. Pois, a degradação de um geossistema evolui à medida que elementos naturais integrados são suprimidos e incorporados elementos artificiais Casarin et al., (2009).

Diante do exposto, estudos sobre a dinâmica da cobertura vegetal e do uso da terra são fundamentais para analisar de que maneira a ação humana influencia na redução da vegetação ao longo dos anos. Ressalta-se que a cobertura vegetal exerce papel fundamental para amenizar a temperatura, isso porque funcionam como reguladores térmicos, ou seja, absorvem radiação e devolvem em forma de vapor d'água. Além disso, a vegetação contribui com o processo de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, na recarga de água em uma bacia hidrográfica. Então, sob o ponto de vista hídrico, a retirada da vegetação e, conseqüentemente, o aumento da temperatura local altera a disponibilidade e distribuição das vazões dos rios e os níveis de evapotranspiração Silva et al., (2017) ; Simonetti, (2022).

Nesse contexto, o processo de antropologização da paisagem pode ser entendido como a alteração das paisagens naturais que são transformadas na interação entre a Sociedade e a Natureza. Portanto, compreende-se que qualquer modificação realizada na paisagem acarreta uma série de transformações sequenciais e sucessivas, e que podem modificar também os aspectos perceptivos do ser humano em relação a natureza Castro, (2021).

Com isso, a melhor maneira de monitorar essas alterações pode ser por meio da utilização de produtos multitemporais de Sensoriamento Remoto, que fornecem dados importantes sobre as características ambientais da paisagem analisada. Quando utilizadas concomitantemente



com Sistemas de Informações Geográficas (SIG), proporcionam informações valiosas sobre os mecanismos de degradação e auxiliam no diagnóstico da área investigada, pois, com o objetivo de compreender, quantificar e identificar as alterações nos meios físicos e bióticos da paisagem, sendo que estes softwares são capazes de fornecer suporte ao levantamento e tratamento das informações obtidas por meio imagens de satélites Berlanda, (2018).

A análise espacial dos padrões de mudança no uso da terra com base em dados dos satélites orbitais, oferece informações precisas e econômicas cruciais para tomada de decisões voltadas para questões ambientais Yuan et al., (2005, p. 317). Segundo Prina e Monguilhott (2011, p. 3812), a utilização de imagens de satélite simplifica a análise de impactos negativos, permitindo a manipulação eficiente de grande conjunto de dados e a avaliação de áreas extensas e de efeitos das atividades humanas sobre os componentes bióticos e abióticos das paisagens.

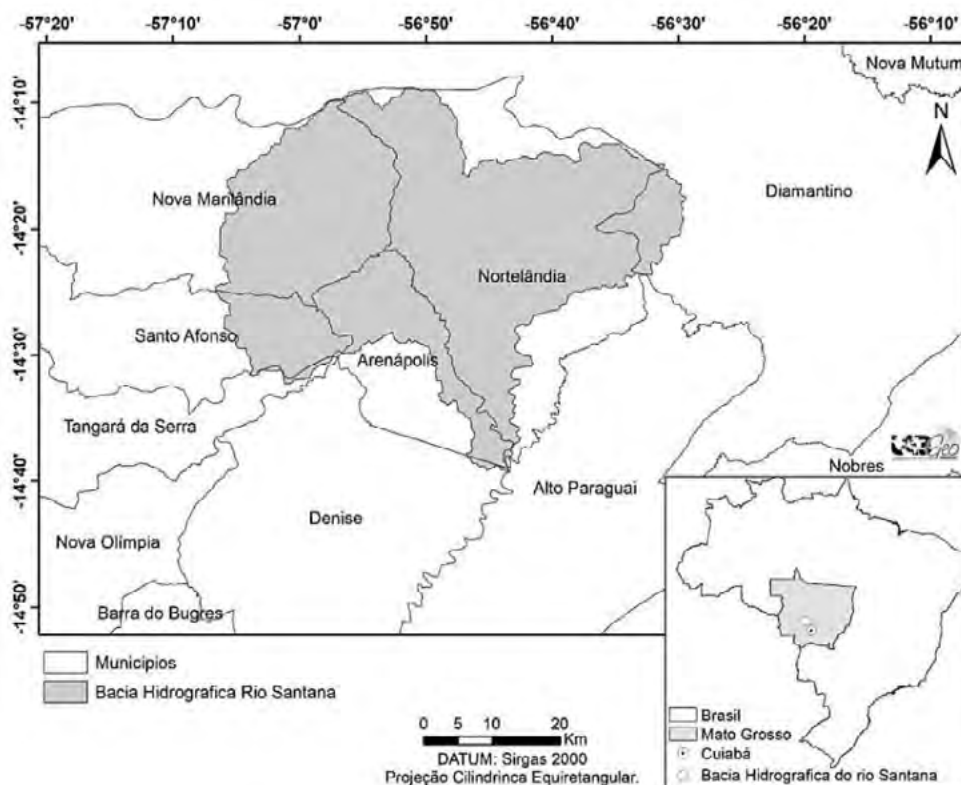
## 2. Objetivo

Analisar as alterações antropogênicas por meio da cobertura vegetal e usos da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Santana/MT, de 1985 e 2021, visando a geração de dados que possa ser utilizados na sua conservação.

## 3. Material e Métodos

### 3.1. Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do rio Santana (BHRS) apresenta extensão territorial de 1.972,28 km<sup>2</sup>, está situada entre as coordenadas de 14° 10" a 14° 30" S e 56° 30" a 57° 10" W (**Figura 1**).



**Figura 1.** Bacia Hidrográfica do Rio Santana nos contextos nacional, estadual e intermunicipal.  
Fonte: Autores (2024).

O rio principal, o Santana, nasce no Planalto dos Parecis, divisor de água das bacias Paraguai e Amazônica, e se desenvolve pelas encostas da Serra de Tapirapuã na Província Serrana, corta a Depressão do rio Paraguai e desagua no rio Paraguai.

De acordo com Casarin et al. (2008, p. 2) a bacia é constituída por inúmeros cursos d'água, tais como: Ribeirão Maria Joana, Córrego Buriti, Ribeirão Areias, Ribeirão São Francisco de Paula e Santana, este último deságua no rio Paraguai. A geomorfologia é representada pelas unidades do Planalto dos Parecis e da Depressão do Rio Paraguai, onde a Serra de Tapirapuã se estende no sentido Leste a Oeste, configurando o escalonamento entre as unidades. Em relação aos tipos de solos, correspondem ao Latossolo, Areais Quartzosa, Podzólico, Concrecionário, cuja cobertura original era formada por Cerrados (RadamBrasil, 1982). Sua extensão está distribuída nos biomas Amazônia e Cerrado, e o clima é Tropical, com temperatura média anual de 25°C (Neves et al., 2006).

A BHRS compreende os municípios de Nova Marilândia, Nortelândia, Diamantino, Santo Afonso, Tangará da Serra, Arenópolis e Denise. A economia desses municípios é baseada na pecuária, agricultura, avicultura, indústrias de laticínio, fábricas de ração e biodiesel IBGE, (2024).

### 3.2 Procedimentos metodológicos

Para análise da dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal e usos da terra os arquivos digitais foram gerados pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo Brasileiro (MapBiomas), coleção 7.1, abrangendo os anos de 1985 e 2021. Os arquivos matriciais de ambos os anos foram convertidos para vetorial, recortados pela área da bacia, elaborados os layouts dos mapas e quantificada as classes temáticas no ArcGis, versão 10.7.1 Esri, (2019). As classes que constituíram a legenda dos mapas foram: Agricultura, Área Urbanizada, Campo Alagado e Área Pantanosa, Corpos D'água continental, Formação Campestre, Formação Florestal, Formação Savânica, Outras Áreas não Vegetadas, Pastagem e Silvicultura.

Para analisar a paisagem, de acordo com Mateo et al. (2017), pode ser concebida por meio dos seguintes princípios: estrutural, funcional, dinâmico-evolutivo, histórico- antropogênico e integrativo. Neste estudo na análise adotou-se o princípio histórico-antropogênico (**Tabela 1**), uma vez que a área de estudo sofre consequências da modificação de sua paisagem, a partir da ação humana.

**Tabela 1.** Enfoque histórico-antropogênico como método de análise da paisagem.

Princípio	Conceitos	Método	Índices
Histórico-antropogênico	Antropogênese e modificação da paisagem	Histórico e análise antropogênica	Dinâmica da paisagem, tipos de modificações e transformação humana

Fonte: Mateo et al. (2017).

Essa análise torna-se fundamental, uma vez que, “os resultados da utilização econômica superpõem-se e inscrevem-se na memória dos geossistemas”. O enfoque selecionado estuda os problemas de modificação das paisagens, sua classificação e características, os impactos geocológicos e a dinâmica antrópica das paisagens Mateo et al., (2017 p. 154). Para compreensão da dinâmica utilizou-se a classificação das paisagens a partir de dois critérios modificadores sendo eles: 1) segundo o tipo de atividade humana; 2) segundo a intensidade de modificação.

O grau do impacto negativo da atividade humana sobre a paisagem foram analisados a partir da definição numérica da carga antropogênica em que a paisagem está submetida, por meio da utilização do Coeficiente de Transformação Antropogênica de Shidhenko (1988), que baseia-se no “Índice de Transformação Antropogênica” (Van). O Coeficiente de Transformação Antropogênica ( $K_{ant}$ ), é expresso pela seguinte equação:

$$K_{ant} = \frac{\sum(ri \cdot pi \cdot qi) \cdot n}{100}$$

Onde:

$K_{ant}$ : coeficiente de transformação antropogênica.

$ri$ : taxa de transformação antropogênica das paisagens tipo “i” de utilização.

$pi$ : área da taxa em %.

$qi$ : índice de profundidade da transformação da paisagem.

$n$ : quantidade de contornos (indivíduos) de tipos de utilização no limite da unidade paisagística analisada (localidade, região, etc).

Foram definidos os principais tipos de utilização e a cada um fixou-se uma determinada taxa de transformação antropogênica ( $ri$ ). Propõem-se as seguintes taxas (**Tabela 2**), de acordo com o proposto por Mateo et al. (2017).

**Tabela 2.** Taxa de transformação antropogênica ( $ri$ ) para a BHRS.

Unidade	Peso
Florestas	2
Pântanos e semipântanos	3
Pastos e pradarias	4
Cultivos agrícolas	6
Construções urbanas	8
Canais	9

Fonte: Autores (2024).

O “Índice de Profundidade” ( $qi$ ) determina-se pelo método de experimentos e caracteriza o “peso” de cada um dos tipos de utilização da natureza na transformação sumária da unidade paisagística dada. Propõem-se os seguintes índices, segundo Mateo et al. (2017):

Os valores do coeficiente de transformação paisagística variam entre 0 e 10, e caracteriza a seguinte regularidade: à medida que é maior a área do tipo da utilização da Natureza e é maior o índice de profundidade de transformação, é maior o grau de transformação da unidade paisagística pela atividade humana, e maior a tensão ecológica paisagística regional ou local.

O cálculo do coeficiente de transformação antropogênica pode ser um elemento para propor o grau de cominação racional das funções paisagísticas, que deve ser maior à medida que se acrescenta  $K_{ant}$ . Por outro lado, propõe-se o estabelecimento do coeficiente de transformação antropogênica para a estrutura ótima de utilização da Natureza, que tem um caráter normativo, ou seja, que deve ser o ideal para manter o equilíbrio ecológico da região.

#### 4. Resultados e Discussão

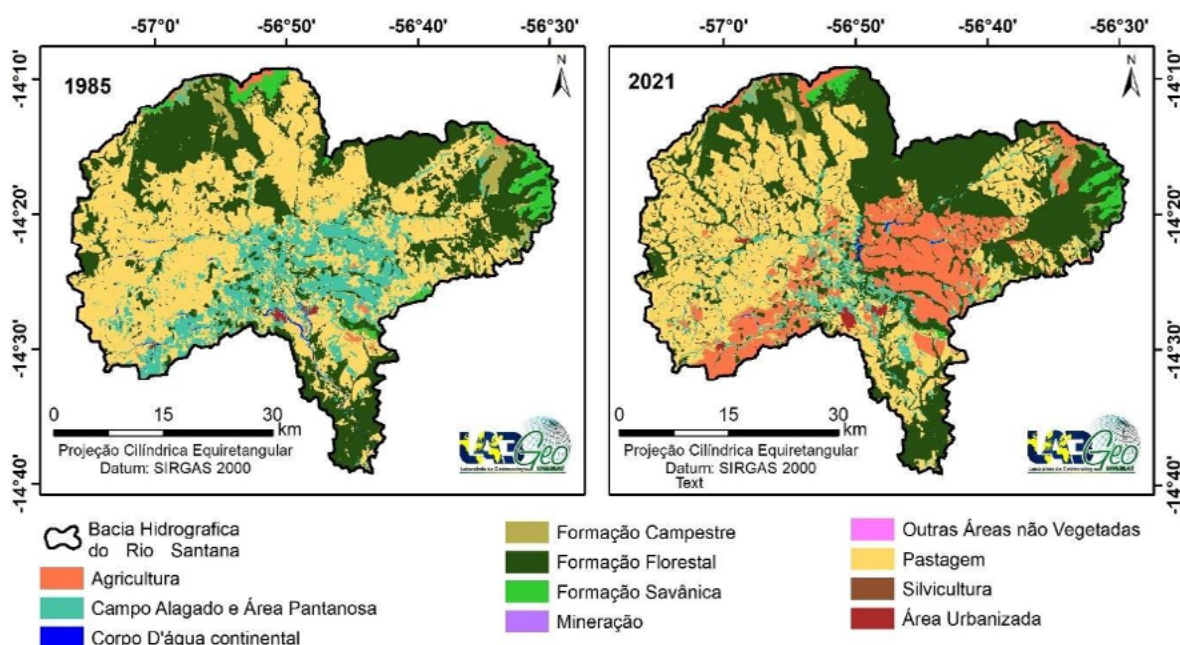
No ano de 1985 a categoria de cobertura vegetal prevaleceu com área de 1.010,78 km<sup>2</sup>, os usos da terra com 954,94 km<sup>2</sup> e a água com 6,56 km<sup>2</sup> enquanto em 2021 os usos antrópicos

mostraram-se predominantes, sendo que a cobertura vegetal ocupou 910,33 km<sup>2</sup>, os usos da terra aumentaram para 1.058,81 km<sup>2</sup> e a água reduziu para 3,11 (Tabela 3 e Figura 2).

**Tabela 3.** Índice de profundidade de transformação da paisagem (qi) para a HRS.

Unidade	Peso
Florestas	1,05
Pântanos e semipântanos	1,10
Pastos e pradarias	1,15
Cultivos agrícolas	1,25
Construções urbanas	1,35
Canais	1,40

Fonte: Autores (2024).



**Figura 2.** Cobertura vegetal e usos da terra na BHRS.

Fonte: Autores (2024).

Esses avanços dos usos da terra estão associados à expansão de área destinadas a agricultura, especialmente a intensificação da monocultura no estado de Mato Grosso. Além disso, outras áreas foram convertidas para a pastagem na BHRS.

O estado de Mato Grosso constitui exemplo de fronteira agrícola que se consolidou como área de produção agroindustrial, destacando as produções de soja, milho, algodão e carnes, em sistemas modernos e intensivos em capital, isso se deve a combinação de recursos naturais abundantes, empreendedorismo, tecnologia, capital disponibilizado, pelo menos a princípio, pelo poder público e políticas públicas que contribuíram para um vigoroso processo de crescimento econômico e de desenvolvimento social, o que colocou o estado em nível nacional e internacional como um grande produtor agrícola Júnior et al., (2014). Logo, tudo isso reflete o vigoroso crescimento econômico e o papel fundamental do Estado como produtor no cenário nacional e internacional.

No que refere-se às classes de cobertura vegetal, destaca-se a discussão sobre Campo Alagado e Área Pantanosa, onde ocorreu uma redução sua área. Segundo Pillar (2009), esses ambientes são propícios ao desenvolvimento de espécies de plantas conhecidas como macrófitas aquáticas, que são adaptadas às condições de alagamento, favorecendo a proliferação da microfauna e peixes na bacia.

Essa redução acentuada nas áreas de Campo Alagado e Área Pantanosa traz implicações para a biodiversidade e para os serviços ecossistêmicos que essas áreas proporcionam. As zonas úmidas desempenham funções cruciais, como a regulação do ciclo hidrológico, a purificação da água, e o suporte à vida de diversas espécies aquáticas e terrestres. A perda dessas áreas, portanto, não apenas compromete a biodiversidade local, mas reduz a capacidade dos ecossistemas de manterem o equilíbrio ambiental, resultando em impactos negativos que podem se estender além da região diretamente afetada.

Observou-se para área ocupada pela Formação Campestre de 1985 para 2021 redução (**Tabela 3**), indicando que houve perda de habitats naturais, uma vez que essa classe é composta por ecossistemas dominados por vegetação herbácea, principalmente gramíneas Kuplish, (2009). A redução dessas áreas pode ter impactos negativos na biodiversidade local e no equilíbrio ecológico da bacia analisada.

Quanto à Formação Savânica, segundo Salemi (2024) definida por apresentar características específicas como estrato arbóreo descontínuo, apresentou descrésimo (**Tabela 3**). Essa perda por ser atribuída, em partes, à expansão da agricultura e à urbanização. A substituição das formações savânicas por atividades antrópicas compromete a integridade dos ecossistemas locais, afetando a biodiversidade, o ciclo hidrológico e outros serviços ecossistêmicos, o que reforça a necessidade de estratégias de conservação eficazes na região. A Formação Florestal, ao contrário das classes anteriores, apresentou aumento em área (**Tabela 3**). Isso reflete nos esforços ocorrentes na BHRS de restauração ou regeneração natural, buscando a recuperação do ecossistema local, contribuindo com as alterações

climáticas, proporcionando um micro-clima, e manutenção hídrica.

Em relação a categoria usos da terra, a classe Agricultura aumentou (**Tabela 3**), impulsionada principalmente pelas monoculturas, com destaque para culturas de soja e milho, predominantes na região. Esse aumento na atividade agrícola tem sido acompanhado por um uso intensivo de agrotóxicos e outras substâncias químicas, resultando em instabilidades ecológicas, especialmente nos atributos bióticos da paisagem. Essas práticas podem levar à degradação do solo, à contaminação dos componentes hídricos entre outras ações prejudiciais ao ambiente.

A Área Urbanizada registrou aumento (**Tabela 3**) na bacia, Malaquias (2019), menciona que o aumento de áreas não vegetadas, incluindo estradas, vias e construções, está relacionado ao desenvolvimento econômico de determinada região. O crescimento das áreas urbanizadas, embora indicativo de desenvolvimento econômico, também traz impactos negativos, como a impermeabilização do solo, o aumento das ilhas de calor, e a pressão sobre os componentes naturais.

Por outro lado, as Outras Áreas não Vegetadas, reduziu em área. Essa classe compreende áreas não permeáveis com infraestruturas, não possuem cobertura vegetal e solos expostos. Essa diminuição de sua área de extensão pode indicar uma transição ou substituição por outros tipos de uso da terra, possivelmente relacionados à agricultura, pastagem, silvicultura entre outras atividades de fins econômicas, refletindo na dinâmica de ocupação e uso do solo na bacia.

Na classe de Pastagem, ocorreu uma redução (**Tabela 3**), sendo definida por Malaquias (2019), como áreas naturais ou plantadas vinculadas à atividade agropecuária, observou-se uma diminuição em sua extensão, refletindo a conversão dessas áreas em terras agrícolas. Essa tendência pode estar associada ao aumento da demanda por cultivos agrícolas mais rentáveis,

levando à substituição de pastagens por lavouras, especialmente em regiões onde a agricultura intensiva é economicamente mais viável, como é o caso que ocorre na BHRS. Em relação à Silvicultura, na BHRS em 1985 era inexistente, sendo que em 2021 foi identificada na bacia. Segundo os estudos de Passos et al. (2006) um dos principais aspectos a considerar, no estabelecimento de povoamentos florestais, é a adequação da densidade e o arranjo espacial das árvores, de modo a satisfazer as necessidades do produtor florestal e do mercado. A quantidade de árvores por área e a distribuição delas na área podem modificar as condições ambientais dos povoamentos florestais e a partição dos fatores de produção, tais como luz, água, nutrientes e mão de obra, afetando a produtividade, as características da madeira e os custos de produção.

Os Corpos D'água continental apresentou redução entre as duas datas investigadas (**Tabela 3**), cuja perda pode atribuída à expansão da atividade agropecuária na região, que tem impactado negativamente a quantidade e qualidade da água na bacia. Dessa forma, é importante destacar as práticas de uso e manejo da terra de forma sustentável o que contribui para a manutenção hídrica do local.

Esses resultados ressaltam a urgência de planejamento ambiental que harmonize o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental da BHRS.

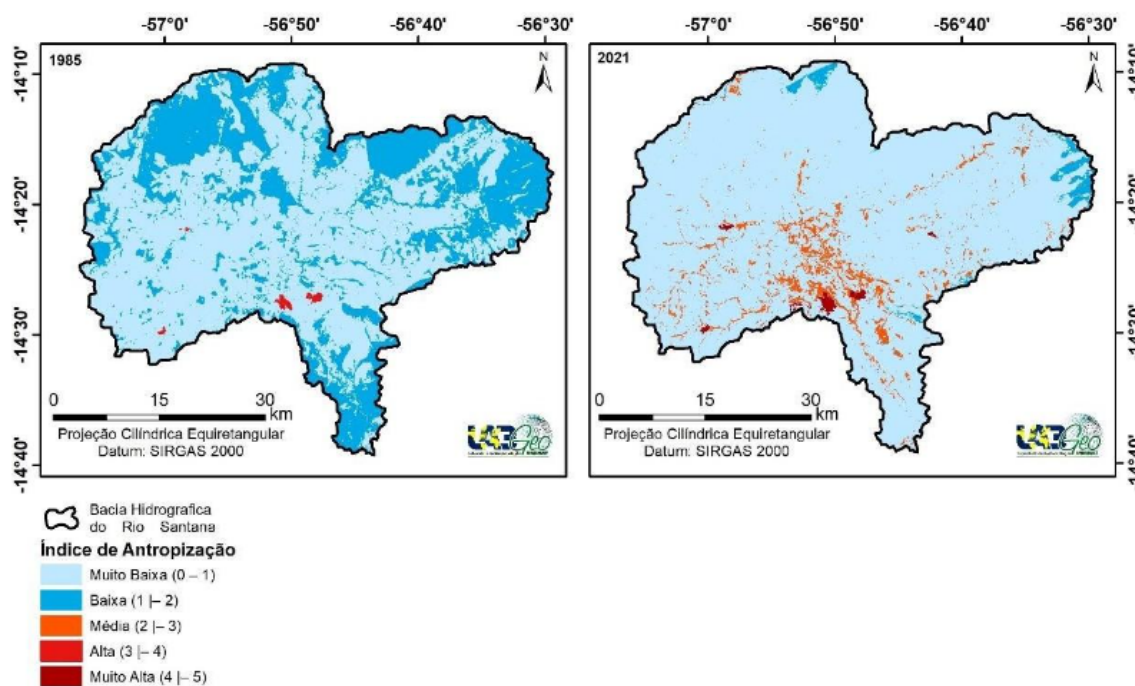
Dentre as classes da categoria de cobertura vegetal, Campo Alagado e Área Pantanosa e a Formação Savânica foram as que passaram por maior modificação antropogênica, conforme mensurado pelo Coeficiente de Transformação Antropogênica (Kant), apresentado na **Tabela 4** e **Figura 4**. Vale mencionar que essas alterações estão relacionadas com as atividades antrópicas como a Agropecuária e a Silvicultura desenvolvidos na unidade hídrica.

**Tabela 4.** Cobertura vegetal e usos da terra e Coeficiente de Transformação Antropogênica na BHRS, nos anos de 1985 e 2021.

Categorias	Classes	Área em 1985		Kant	Área em 2021		Kant	Dinâmica*
		km <sup>2</sup>	%		km <sup>2</sup>	%		
Cobertura vegetal	Campo Alagado e Área Pantanosa	273,92	13,89	0,82	104,44	5,30	2,38	-162,28
	Formação Campestre	45,71	2,32	0,96	36,84	1,87	0,98	-24,08
	Formação Florestal	634,63	32,18	1,80	733,21	37,18	0,94	13,45
	Formação Savânica	56,52	2,87	1,07	35,84	1,82	1,06	-57,68
Usos da terra	Agricultura	18,28	0,93	0,54	326,73	16,57	0,49	94,41
	Área Urbanizada	4,38	0,22	3,52	8,65	0,44	4,02	49,38
	Outras Áreas não Vegetadas	0,43	0,02	0,59	0,33	0,02	0,49	-27,83
	Pastagem	931,85	47,25	0,94	721,45	36,58	0,94	-29,16
	Silvicultura	0,00	0,00	5,24	1,65	0,08	4,17	100
Água	Corpo D'água continental	6,56	0,33	0,73	3,11	0,16	0,73	-110,51
<b>Total</b>		<b>1.972,28</b>	<b>100</b>	-	<b>1.972,28</b>	-	<b>100</b>	-

Fonte: Autores (2024). \*O sinal negativo indica redução.

Diante disso, o modelo de uso e manejo adotado pelo ser humano tem como característica, historicamente, a supressão da cobertura florestal Roquette,(2017). É importante dizer que a vegetação, por meio do processo de fotossíntese, tem a capacidade de fixar CO<sub>2</sub> da atmosfera. Esse serviço contribui no balanço global de carbono, com relevância acrescida face aos pressupostos estipulados para redução dos gases causadores do efeito estufa, assim como ao panorama atual de alterações climáticas Schumacher e Wistschoreck, (2004).



**Figura 3.** Transformação Antropogênica da paisagem na BHRs.  
Fonte: Autores (2024).

Quanto aos usos da terra, as classes Área Urbanizada e Silvicultura indicaram maior alteração da paisagem (**Tabela 3**). Segundo Santos (2015), o desmatamento de áreas naturais para a ocupação humana promove a redução da cobertura vegetal e, conseqüentemente, a perda de biodiversidade de espécies nativas dos biomas Amazônia e Cerrado. Dessa forma, a conversão e a descaracterização de áreas naturais ocasionadas por distúrbios antrópicos tornou-se uma grave ameaça à biodiversidade.

A categoria água, com a classe Corpo D'água continental, em ambos os anos analisados, o Kant não alterou conforme disposto na **Tabela 3**. De acordo com os estudos de Melo e Queiroz (2020), a água analisada em áreas que correspondem aos biomas Amazônia e Cerrado, especificamente no rio Formoso, apresentam boa qualidade principalmente para irrigação. Porém, sua utilização deve ser feita com acompanhamento técnico especializado, pois sem esse cuidado poderá exaurir o lençol freático, bem como provocar processos erosivos.

## 5. Conclusões

Concluiu-se que houve redução nas áreas de cobertura vegetal e aumento nas classes de uso da terra, na área na BHRs, em função da expansão agrícola. Na análise da Transformação Antropogênica a categoria vegetal apresentou em ambos os anos alterações antrópicas na paisagem em função dos usos. Logo, torna-se necessário a adoção de métodos de manejo que

visem conservar os atributos naturais da paisagem e minimizar os danos ocasionados pelas usos da terra.

## 6. Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso - Fapemat e a CAPES pela concessão das bolsas de estudos.

## 5. Referências

- Abonizio, M. G.; França, D. V. B.; Nunes, J. O. R. Dinâmico uso e da cobertura da terra e a expansão da cana-de-açúcar no município de Ouro Verde (SP) entre os anos de 2004 a 2018. **GeoTextos**, v. 19, n. 1, p. 125-148, 2023.
- Berlanda, A.; Moura, C.N.; Sá, E. A. S.; Biffi, L. J.; Becegato, V. A. Dinâmica da Alteração da Cobertura Vegetal e Uso da Terra com Suporte de Geotecnologia na Bacia Hidrográfica do Rio Desquite-SC. *Ra'e Ga*, v. 43, 2018.
- Casarin, R. ; Neves, S. M. A. S. ; Neves, R. J. ; Kreitlow, J. P. ; Santos, S. . As questões ambientais na bacia do rio Santana: região do Alto Rio Paraguai-MT/Brasil. In: XII Encontro de Geógrafos da América Latina, 2009, Montevidéu. **Anais....** Montevidéu, 2009. Disponível em: < <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Hidrologia/21.pdf>>. Acesso em: 15 ago 2024.
- Casarin, R.; Neves, S. M. A. S.; Neves, R. J. Uso da terra e qualidade da água da bacia hidrográfica Paraguai/Jauquara-MT. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 1, p. 33-43, 2008.
- Castro, L. M. S. P. **Paisagem e percepção ambiental: uma análise das transformações antropogênicas no distrito do Pacém – São Gonçalo do Amarante (Ceará)**. 2021. 117f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Ceará, 2021.
- Cunha, J. E. B. L.; Rufino, I. A. A.; Silva, B. B.; Chaves, I. B. Dinâmica da cobertura vegetal paraa Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n. 1, p.539-548, 2012.
- Esri. **ArcGIS advanced**: Realease 10.7.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2019.
- Gonzalez, A. Z. D.; Schiavinato, V. M S. Avaliação ambiental de nascentes na sub-bacia hidrográfica do córrego das Pitas-MT, Brasil. **Revista Equador**, v. 8, n. 3, p. 260-278, 2019.
- Ibge. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico de 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- Junior, P. A. V.; Figueiredo, E. V. C.; Dos Reis, J. C. **Alcance e limites da agricultura para o desenvolvimento regional: o caso de Mato Grosso**. p. 1125-1156, 2014.
- Lima, E. C. **Avaliação espaço-temporal da cobertura e os impactos do uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Pojuca-Bahia-Brasil**. 2023. 131f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2023.
- Mapbiomas. **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. Disponível em: <http://mapbiomas.org/pages/atbd>. Acesso em: 11 de jun. de 2024.
- Mapbiomas. Superfície de água no Brasil reduz 15% desde o início dos anos 90. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/superficie-de-agua-no-brasil-reduz-15-desde-o-inicio-dos-anos-90>. Acesso em 04/11/2022.
- Mateo, J. R. **Geocologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 5. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2017. 222p.
- Melo, T. M.; Queiroz, T. M. Disponibilidade e quaidade da água para irrigação no território indígena rio Formoso, na transição Cerrado/Amazônia, Mato Grosso-Brasil. **Revista Geosul**, v. 35, n. 75, p. 461-480, 2020.
- Neves, S. M. A. S.; Casarin, R.; Brnadão, A. M. P. M. O clima na região da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraguai. In. Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 7., 2006, Rondonópolis/MT. **Anais...**



- Rondonópolis/MT: UFMT, 2006.p. 1-10. Disponível em:  
<<https://abclima.net.br/ohs/data/docs/9/6SBCG.rar>>. Acesso em: 11 ago 2024.
- Pereira, J. S.; Neves, S. M. A. S.; Silva, J. S. V. Antropização da paisagem da paisagem da Bacia Hidrográfica do Córrego Jacobina em Cáceres/MT, Brasil. **Revista Equador**, v. 12, n. 2, p. 48-71, 2023.
- Prina, B. Z.; Monguilhott, M. Análise das transformações da paisagem de áreas próximas ao rio Jaguari aplicando técnicas de sensoriamento remoto em imagens do satélite TM Landsat-5. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 3812-3818, 2011, Curitiba/PR. **Anais...** Curitiba/PR: INPE, 2011. p. 3812. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.13.18.01/doc/bruno.pdf>. Acesso em: 14/08/2024.
- Passos, C. A. M.; Bufulin Junior, L.; Gonçalves, M. R. Avaliação silvicultural de *Tectona grandis* L.f., em Cáceres –MT, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 225-232, 2006.
- Pillar, V. D. P., Müller, S. C., Castilhos, Z. D. S., & Jacques, A. V. A. (2009). Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- Projeto Radambrasil. Mapa de Vegetação. Folha SD. 21. Rio de Janeiro, 1982.
- Rodrigues, L. C.; Neves, S. M. A. S.; Schaffrath, V. R.; Kreitlow, J. P. Indicadores de sustentabilidade ambiental sistematizados pelo modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) na Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu, PR. **Ra'e Ga**, v. 50, n. 1, p. 62-84, 2021.
- Roquette, I. G. Distribuição da biomassa no Cerrado e a sua importância na armazenagem do Cerrado. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1350-1363, 2018.
- Santos, K. S. M. Dinâmica e sucessão de uma pastagem abandonada na transição Amazônia-Cerrado, Mato Grosso. 2015. 76f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação), Universidade do Estado de Mato grosso/ UNEMAT, 2015. Seabra, V. S.; Cruz, C. M. Mapeamento da dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do Rio São João, RJ. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, p. 411-426, 2013.
- Silva, D. C. C.; Filho, J. L. A.; Oliveira, R. A.; Lourenço, R. W. Aplicação do NDWI para avaliar a disponibilidade de água em bacias hidrográficas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 15, n. 1, p. 774-783, 2017.
- Silva, J. R.; Batista, F. R. Q.; Costa, E. F. Compartimentação morfoopedológica das bacias hidrográficas dos rios Ferreira e Itapirapuã e o processo de fragmentação das coberturas e usos de terras. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 5552-5564, 2017.
- Simonetti, V. C.; Medeiros, P. A. R.; Barbosa, B. L. G. M.; Oliveira, R. A.; Silva, D. C. C. Análise espaço-temporal da temperatura de superfície em uma bacia hidrográfica urbana. **Revista Geociências e Sustentabilidade**, v. 1, n. 1, p. 19-30, 2022.
- Schumacher, M. V.; Wistschoreck, R. Inventário de carbono em povoamentos de *Eucalyptus* spp. nas propriedades fumageiras do sul do Brasil: um estudo de caso. In: Sanquetta, C. R. et al. Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba: Edição do Autor, 2004. p. 111-124.
- Shishenko, P. **Geografia física aplica**. Kiev, Ucrânia: Escola Superior, 1988. 191p.
- Vilarinho, K. G.; Menezes, M. R.; Vieira, V. C. B. Análise espaço-temporal da expansão urbana no município de Cajueiro da Praia-Piauí. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 6, p. 1-12, 2023.
- Yuan, F. et al. Classificação da cobertura do solo e análise de mudança da Área Metropolitana de Twin Cities (Minnesota) por sensoriamento remoto multitemporal Landsat. **Sensoriamento remoto do Meio Ambiente**, v. 98, n. 2-3, p. 317-328, 2005.

## Chaco em Mato Grosso do Sul, Pantanal brasileiro

João dos Santos Vila da Silva <sup>1</sup>

Arnildo Pott <sup>2</sup>

Jo Barroso Chaves <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Agricultura Digital  
Av. André Toselo, 209 - Caixa Postal 6041  
13083-886 - Campinas - SP, Brasil  
joao.vila@embrapa.br

<sup>2</sup> UFMS  
Av. Costa e Silva, s/nº - Caixa Postal 549  
79070-900. Campo Grande – MS, Brasil  
arnildo.pott@gmail.com

<sup>3</sup> UNESP de Sorocaba – ICTS  
Av. Três de Março, 511 – 18087-180  
Sorocaba - SP, Brasil  
jobb.chaves@gmail.com

Resumo. No Brasil, o Chaco ocorre no sudoeste do Estado de Mato Grosso do Sul, proveniente do Bioma Chaco do Paraguai e da Bolívia. Embora ele não seja reconhecido como Bioma no Brasil, constitui-se numa vegetação importante do ponto de vista de diversidade e sua identificação poderia trazer apelo para se transformar no sétimo Bioma Brasileiro. Este artigo busca identificar a extensão e a ocorrência da vegetação do Chaco em Mato Grosso do Sul. Foram utilizados três importantes mapeamentos existentes no Estado publicados em 1984, 1994 e 2007. Nesses três mapeamentos foi utilizado o Sistema Brasileiro de Classificação da Vegetação, permitindo a comparação entre eles. Observa-se que essa fitofisiomia ocorre em parte dos municípios de Aquidauana, Caracol, Corumbá, Miranda e Porto Murtinho, com predominância neste último. Foram encontradas Savana Estépica Florestada, Savana Estépica Arborizada, Savana Estépica Parque, Savana Estépica Gramíneo-lenhosa, classes compostas, contatos florísticos e áreas desmatadas. Conclui-se que na parte Oeste, após o rio Paraguai a vegetação do Chaco é mais exuberante, perdendo essa exuberância na medida que se afasta em direção a Leste, contatando-se com a vegetação do Cerrado. Ao mesmo tempo que Porto Murtinho onde haveria maior vegetação chaquenha é também a região com maior desmatamento.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, áreas úmidas, savana estépica, contatos florísticos, sistemas de informações geográficas.

**Abstract.** Chaco in Mato Grosso do Sul, Brazilian Pantanal - In Brazil, the Chaco occurs in southwestern Mato Grosso do Sul, linked with the Chaco Biome of Paraguay and Bolivia. Despite not being recognized as a Biome in Brazil, it is a unique vegetation in biodiversity and its identification could help to transform it into the seventh Brazilian Biome. This article aims at identifying the limits and the occurrence of Chaco vegetation in Mato Grosso do Sul. We utilized three relevant existing mappings in the State published in 1984, 1994 and 2007. These three mappings utilized the Brazilian Vegetation Classification System, allowing comparison. We observed that the physiognomy occurs in parts of the municipalities of Aquidauana, Caracol, Corumbá, and Miranda, with predominance in Porto Murtinho. We found Forested Steppic Savanna, Arborized Steppic Savanna, Park Steppic Savanna, Woody-grassy Steppic Savanna, compound classes, floristic contacts and cleared areas. We conclude that in the western part, near the Paraguay River, the Chaco vegetation is more exuberant, diminishing towards the East and contacting the Cerrado vegetation. While Porto Murtinho is where most Chaco vegetation should be, it also is the highest deforestation zone

**Key-words:** floristic contacts, Geographic Information Systems, remote sensing, steppe savanna, wetlands.

## 1. Introdução

O Chaco, identificado como Savana Estépica, é um Bioma que se distribui pela Argentina, Bolívia, Paraguai e Brasil, sendo que a área brasileira representa menos de 1% da área total. No Brasil, esta vegetação tem sua continuidade até o Sul de Mato Grosso do Sul Silva e Abdon, (1998) proveniente da Bolívia e Paraguai. Por não ser reconhecido como Bioma no Brasil IBGE, (2004, 2019) as fitofisionomias que ocorrem no Brasil são mapeadas em parte dos Biomas Pantanal e Cerrado e não previstas na legislação ambiental.

As formações vegetais do Chaco e seus padrões nas imagens de satélite se manifestam diferentemente no período de seca e cheia. Cinquini et al. (2011) realizaram estudos para identificar esses padrões considerando os diferentes períodos de seca e cheia. No período de cheia, com a chegada das chuvas, a vegetação ganha folhas novas e há presença de água no solo devido à permanência da inundação. No período de estiagem a vegetação arbórea perde as folhas e o solo se encontra mais seco, sem a presença de água.

A conservação da biodiversidade associada a essa vegetação é de suma importância pois há muito a ser descoberto e identificado. Além disto, a quantificação desses remanescentes pode contribuir para a formulação de políticas públicas que objetivam a conservação e uso sustentável da biodiversidade Silva et al., (2008), uma vez que o Pantanal abriga uma vasta variedade de fauna e flora, e é composto por quatro grandes regiões fitoecológicas, que regionalmente podem ser conhecidas como Mata Decidual, Mata Semidecídua, Cerrado e Chaco Abdon et al., (2006).

Remanescentes da vegetação de Chaco são encontrados unicamente no sul do Pantanal, ocorrendo em 5 das 11 sub-regiões existentes, conhecidas por Nabileque, Porto Murtinho, Miranda, Abobral e Paraguai Silva et al., (2007a e 2007b). Nas sub-regiões do Nabileque e de Porto Murtinho são observadas as maiores extensões de área ocupadas por vegetação de Chaco, no entanto, em Porto Murtinho é alta a supressão desta fitofisionomia para uso da pecuária de corte, o que causa expressiva perda de biodiversidade na região Silva e Caputo, (2010).

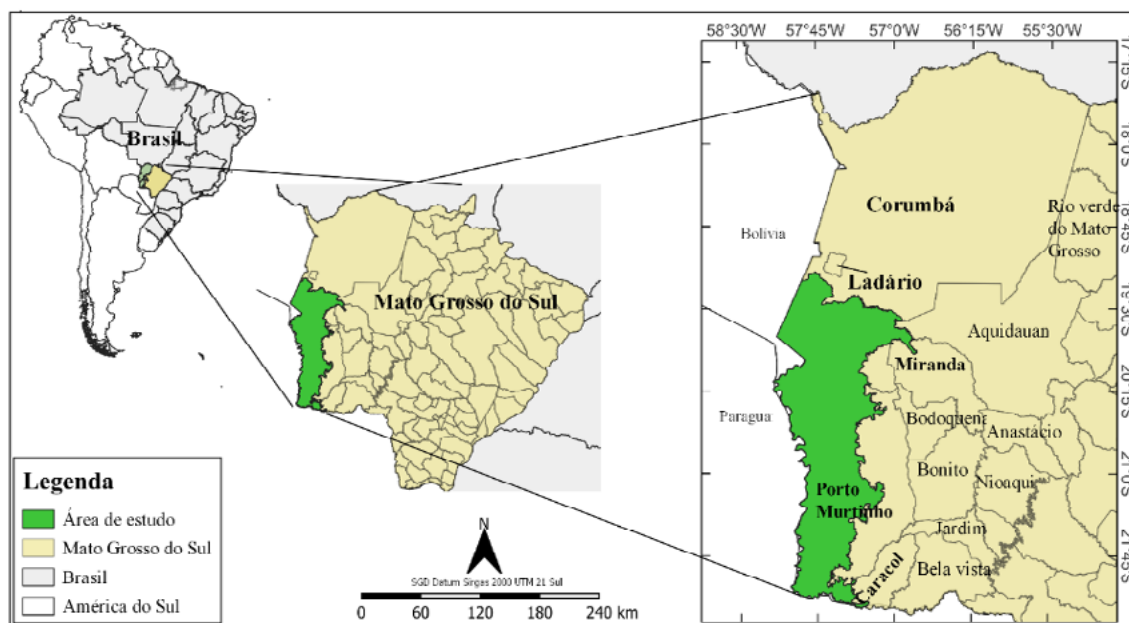
Para a elaboração e implementação diretrizes e de políticas públicas a identificação da ocorrência das tipologias de Chaco é de extrema importância, pois facilita a sua aplicação e monitoramento.

## 2. Objetivo

Identificar e quantificar os principais tipos de vegetação de Chaco no sul do Pantanal brasileiro, em Mato Grosso do Sul.

### 3. Material e Métodos

A área de estudo compreende o sul do Pantanal brasileiro, localizado em Mato Grosso do Sul (Figura 1). Delimita-se a Oeste pelo rio Paraguai (Bolívia e Paraguai), a Sul pelo rio Apa



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo.

(Paraguai) e, ao Norte e Leste com municípios em Mato Grosso do Sul. Abrange áreas parciais dos municípios de Corumbá, Miranda, Bodoquena, Aquidauana, Porto Murtinho e Caracol.

Para a identificação da área foram utilizados os seguintes mapeamentos regionais existentes para a região: MATO GROSSO DO SUL(1989) – mapeamento do MZEE-MS de 1984, POTT et al. (1997) – mapeamento do PCBAP de 1994 e, SILVA et al. (2011a; 2011b) – mapeamento do GeoMS de 2007. Também foram realizados três trabalhos de campo na região, em dezembro de 2020, novembro de 2021 e, junho/julho de 2023.

Na elaboração do MZEE-MS - Macrozoneamento Geoambiental de Mato Grosso do Sul (MATO GROSSO DO SUL, 1989), o Estado produziu, entre outros, o mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra na escala 1:250.000, que incluiu a parte sul do Pantanal, onde se localiza o Chaco brasileiro. Foram utilizadas imagens analógicas de 1984, obtidas pelo sensor Thematic Mapper (TM), a bordo do satélite Landsat 5. No âmbito do PCBAP – Programa de Conservação da Bacia do Alto Paraguai, foi elaborado para toda a Bacia do Alto Paraguai (BAP) um novo mapa de Cobertura Vegetal e Uso da Terra na escala 1:250.000 (POTT et al., 1997), utilizando imagens analógicas do Landsat 5, de 1994. Utilizando imagens digitais do satélite CBERS de 2007, o Governo de Mato Grosso do Sul, com o objetivo de iniciar o monitoramento do desmatamento e proporcionar a regularização ambiental de propriedades rurais, realizou o mapeamento da Cobertura Vegetal e Uso da Terra na escala 1:100.000 Silva et al. (2011a; 2011b), no âmbito do projeto GeoMS. Em todos esses mapeamentos foi adotado Sistema Brasileiro de Classificação da Vegetação, encontrado em IBGE (1992 e 2006).

Esses estudos constituem a base de conhecimento da distribuição espacial de vegetação na região, e serviram para identificar a localização das áreas de Savana Estépica. Sabe-se,

atualmente, que a Bacia do Alto Paraguai é formada pela intersecção de quatro grandes regiões fito-ecológicas, a saber: Decidual Sazonal Floresta, Floresta Estacional Semidecidual, Savana (Cerrado) e Savana Estépica (Chaco). Além disso, existem os Contatos Florísticos e a Vegetação Pioneira, que fazem parte da paisagem da regional.

Após a conversão desses mapeamentos para uma base geográfica única, e a análise da distribuição espacial das fitofisionomias mapeadas em cada um deles, elaboraram-se os mapas contínuos para os anos de 1984, 1994 e 2007 com a área do Chaco em Mato Grosso do Sul. Para verificação das fitofisionomias “in loco”, foram realizadas três etapas de campo, buscando identificar as fitofisionomias na paisagem com aquelas obtidas nos mapeamentos. Foram percorridas as principais estradas nos municípios de Corumbá, Miranda, Porto Murtinho e Caracol e Aquidauana até que estas adentrassem a área com maior ocorrência de Chaco. Nesse percurso eram obtidas, a cada 4 km, fotografias de ambas os lados da estrada e anotadas as coordenadas geográficas.

#### 4. Resultados e Discussão

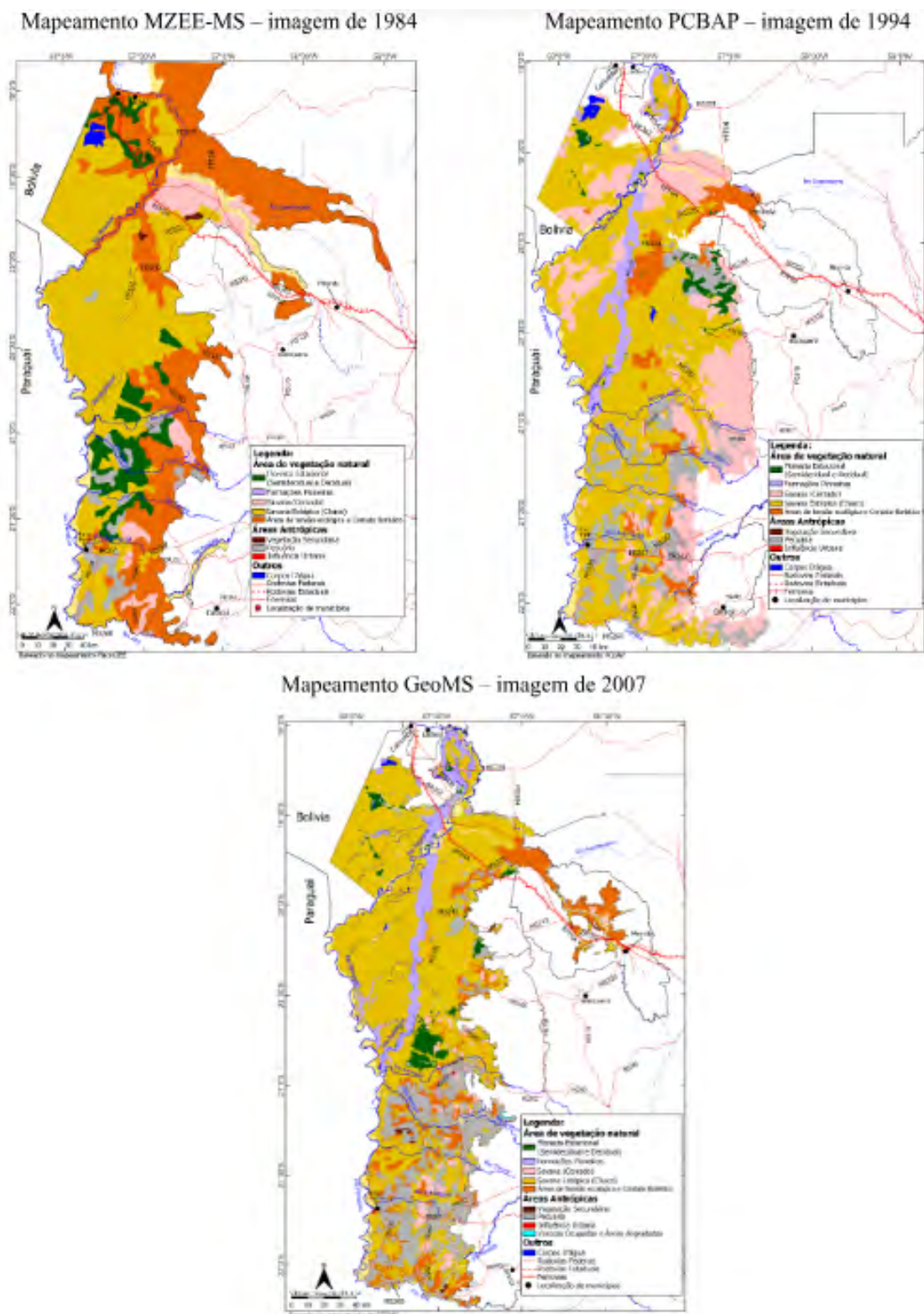
A **Figura 2** apresenta a ocorrência do Chaco em Mato Grosso do Sul, identificada nos mapeamentos MZEE-1984 Mato Grosso do Sul, (1989), PCBAP-1994 Pott et al. (1997) e Silva et al. (2011a; 2011b). Verifica-se a vegetação de Chaco ocorre em parte dos municípios de Corumbá, Miranda, Aquidauana, Porto Murtinho e Caracol, cuja área total foi calculada no sistema de projeção geográfica Albers, em 32.267,94 km<sup>2</sup>, 31.506,59 km<sup>2</sup> e 25.385,24 km<sup>2</sup>, respectivamente.

Essa área contínua em território brasileiro com a ocorrência do Chaco, limita ao Norte com as morrarias de Urucum-Jacadigo e um pequeno trecho do rio Paraguai, no município de Corumbá e do rio Miranda, nos municípios de Corumbá e Aquidauana e, ao Sul com o rio Apa, nos municípios de Caracol e Porto Murtinho; a Oeste, após a linha seca entre Brasil e Bolívia, o limite continua pelo rio Paraguai até a confluência com o Rio Apa, no município de Porto Murtinho; a Leste, o limite desce pelo rio Paraguai até a confluência com o rio Miranda e segue até as imediações da cidade de Miranda de Fogo, então contorna a depressão do Pantanal ao Norte da Serra da Bodoquena e cruza a BR-262 à esquerda do córrego Mutum, seguindo à esquerda da MS-325 (estrada do Carandazal), cruza o Campo dos Índios (Terra Indígena Kadiweu), os rios Naitaca, Aquidabã e Amonguijá e, a BR-267, já no município de Porto Murtinho até a delimitação final no rio Apa, nas imediações do destacamento militar São Carlos, no município de Caracol.

Os mapeamentos analisados contemplam classes “puras” e compostas com dois níveis, isto é, Floresta Estépica arborizada + Floresta Estépica Gramíneo-lenhosa, e assim por diante. Também há ilhas de vegetação com predominância de Cerrado e contatos florísticos. Tais polígonos foram agregados e somados para compor os polígonos mapeados na **Figura 2** e áreas na **Tabela 1**. Verifica-se por esses mapeamentos que a ocorrência de Chaco vai diminuindo à medida que se afasta do rio Paraguai e do rio Apa, começando a aparecer contatos florísticos e Cerrado.

A pecuária é desenvolvida em pastos nativos e plantados. De forma geral as áreas são desmatadas e implantada pastagem exótica na região, utilizada para criação de gado de corte. A influência urbana refere-se a área urbana de Porto Murtinho, única cidade localizada no interior do Chaco brasileiro. As várzeas ocupadas e áreas degradadas são pequenas atividade agrícolas realizadas às margens de rios e junto às várzeas da região. Corpos d’água se referem a rios, córregos, açudes ou lagoas.

Em função da flora predominância, definia-se o tipo de vegetação, se é Chaco, Floresta



**Figura 2.** Limites do Chaco no Brasil, baseado nos mapeamentos MZEE-1984 (Mato Grosso do Sul, 1989), PCBAP-1994 (Pott et al., 1997) e Silva et al. (2011a; 2011b).

Estacional ou Cerrado, ou transição.

Espécies indicadoras de Chaco: *Aspidosperma quebracho-blanco* (quebracho-branco), *Schinopsis balansae* (quebracho-vermelho), *Libidibia paraguariensis* (guaiacan), *Microlobius*

*foetidus* (pau-alho), *Mimosa glutinosa* (barreiro), *M. hexandra* (barreiro-branco), *Phyllanthus chacoensis* (jacarepito), *Prosopis rubriflora* (barreiro-preto), *P. ruscifolia* (algarobo) e *Tabebuia nodosa* (labão). A presença de muitas espécies de cactos serve para confirmar que é Chaco.

Espécies típicas de Floresta Estacional: *Amburana cearensis* (angelim), *Ceiba pubiflora* (barriguda), *Cenostigma pluviosum* (sibipiruna), *Peltophorum dubium* (canafístula), ...;

O Cerrado tem muitas espécies características, como *Byrsonima* spp. (muricis), *Hymenaea stigonocarpa* (jatobá-do-cerrado), *Leptolobium elegans* (quina-genciana), *Qualea parviflora* (pau-terra) *Terminalia argentea* (capitão), *T. corrugata* (tarumarana).

Entretanto, algumas espécies podem ser comuns à Floresta Estacional e ao Cerradão de solo bom, denominado de mesotrófico por Ratter et al. (1988), como *Astronium fraxinifolium* (gonçalo), *A. urundeuva* (aroeira), *Attalea phalerata* (acuri), *Combretum leprosum* (carne-de-vaca), *Cordia glabrata* (louro), *Guadua paniculata* (taboca) e *Priogymnanthus hasslerianus* (pau-de-vidro).

Outras de Floresta Estacional, como *Anadenanthera colubrina* (angico), *Calycophyllum multiflorum* (castelo), *Cordia americana* (guajuvira), *Pterogyne nitens* (bálsamo) e *Sapindus saponaria* (saboneteira), são citadas para o Chaco (Peña-Chocarro et al., 2006).

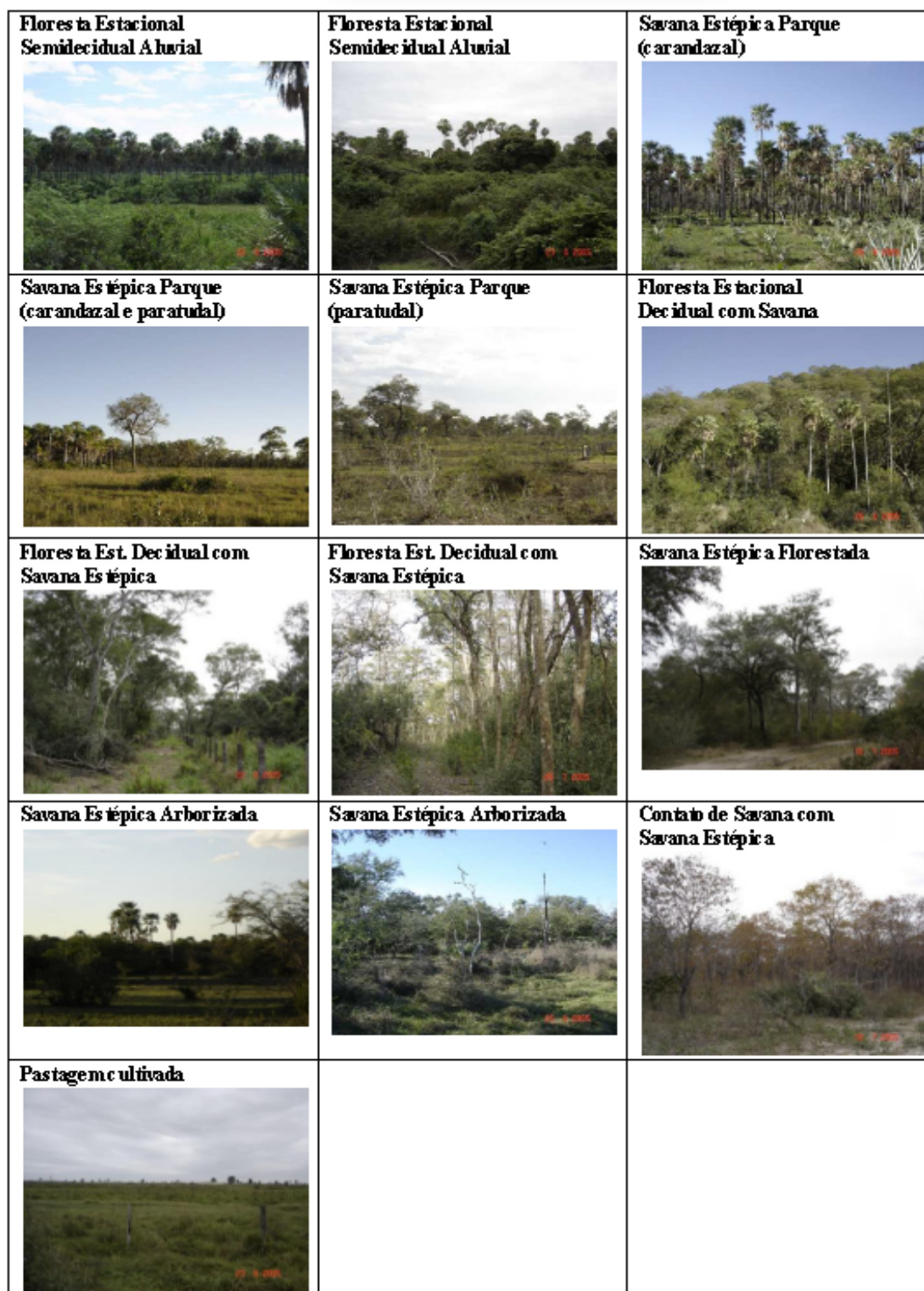
**Tabela 1.** Fisionomias identificadas nos diferentes mapeamentos existentes em Mato Grosso do Sul.

FISIONOMIAS MAPEADAS	Área (km <sup>2</sup> )		
	MZEE-1984	PCBAP - 1994	GeoMS - 2007
<b>Áreas de vegetação Natural</b>			
Floresta Estacional (Semidecidual e Decidual)	2.369,63	512,70	566,32
Formação Pioneira	-	1.445,56	1.647,94
Savana (Cerrado)	1.866,83	7.292,87	698,22
Savana Estépica (Chaco)	1.2951,90	1.4964,88	13.933,75
Áreas de tensão ecológica e Contato Florístico	12.186,76	1.879,30	2.384,64
<b>Áreas Antrópicas</b>			
Vegetação Secundária	62,59	-	52,58
Pecuária	1.348,46	3.915,24	4.182,53
Influência Urbana	-	-	12,14
Várzeas Ocupadas e Áreas Degradadas	-	-	5,92
<b>Outros</b>			
Corpos d'água	146,77	283,69	367,42
<b>TOTAL</b>	<b>32.266,94</b>	<b>31.506,59</b>	<b>25.385,24</b>

Observa-se na **Figura 3** as principais fitofisionomias encontradas no Chaco, com destaque para o carandazal (conjunto de palmeiras), paratudais, florestas, savanas, contatos florísticos e pastagem plantada.

## 5. Conclusões e Sugestões

Embora ainda não reconhecida, a ocorrência do Chaco em território brasileiro, confirmamos a existência desse bioma, especialmente em Mato Grosso do Sul. Esta fisionomia vem do Paraguai e da Bolívia, adentrando por Corumbá, Porto Murtinho e Caracol. Nas proximidades do rio Paraguai esta fitofisionomia tende a ser mais exuberante, do que nas proximidades da Serra da Bodoquena.



**Figura 3.** Principais Fitofisionomias observadas na região do chaco em Mato Grosso do Sul.

A cobertura vegetal original do Chaco não se apresenta estruturalmente tão intacta pois, vem sendo substituída por pastagem exótica para o gado de corte, ocupando principalmente as áreas mais altas dos municípios de Porto Murtinho e Caracol.

A fitofisionomia Savana Estépica (Chaco) possui ampla dispersão na área estudada, ocupando



áreas parciais em cinco municípios, cujo detalhamento dos mapeamentos permite agregar e desagregar polígonos de mapeamento em formações, subformações e áreas mistas.

Mapeamentos desta natureza permitem apoiar, com mais segurança, a ocorrência da vegetação do Chaco em Mato Grosso do Sul e favorecem a delimitação e criação do Bioma Chaco no Brasil. Estudos envolvendo o levantamento florísticos estão sendo realizados na região para a correta delimitação deste bioma, que com certeza, melhorará a tomada de decisão pelos gestores ambientais e melhor utilização pelos produtores locais.

## 6. Referências

- Abdon, M.M.; Silva, J.S.V. **Fisionomias da Vegetação nas Sub-regiões do Pantanal Brasileiro**. São José dos Campos: INPE; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2006. 1 CD-ROM. ISBN 85-50424-00-8
- Peña-Chocarro, M.C.; De Egea, J.; Vera, M.; Maturo, H.; Knapp, S. 2006. **Guía de árboles y arbustos del Chaco húmedo**. The Natural History Museum, Guyra Paraguay, Fundación Moisés Bertoni y Fundación Hábitat y Desarrollo. Asunción, Paraguay.
- Cinquini, J. de A.; Silva, J. S. V.; Abdon, M. M. Identificação de padrões de imagens Landsat no período de seca e cheia para interpretação de Savana Estépica (Chaco) e seus contatos florísticos no Pantanal. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto - Sbsr, 15., 2011, Curitiba. **Anais [...]**. São José dos Campos, SP: INPE, 2011, p. 3330-3337.
- IBGE 2004 - IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil; primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.
- IBGE 2019 - IBGE. **Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000**. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - Rio de Janeiro: IBGE, 2019.
- IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006, 91 p. (n 7, 2ª ed.)
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992, 92 p.
- Mato Grosso do Sul. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. **Macrozoneamento geoambiental do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande**, 1989. 138 p. (Convênio Governo do Estado MS/IBGE).
- Pott, A.; Silva, J.S.V.; Abdon, M.M.; Pott, V.J.; Rodrigues, L.M.R.; Salis, S.M.; Hatschbach, G.G. **Vegetação**. In: Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP: Diagnóstico dos meios físico e biótico. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal - Subcomponente Pantanal. Brasília, MMA/SEMAM/PNMA, 1997. v.2, t.2, p.1-179.
- Ratter, J.A.; Pott, A.; Pott, V.J.; Nunes da Cunha, C. & Haridasan. Observation on woody vegetation types in the Pantanal and at Corumbá, Brazil. **Notes RBG Edinburgh**, v.45, p. 503-525, 1988.
- Silva, J.S.V.; Abdon, M. de M.. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 33 (número especial). Out. 1998, p. 1703-1712.
- Silva, J.S.V.; Abdon, M. de M.; Boock, A.; Silva, M.P. da Fitofisionomias dominantes em parte das sub-regiões do Nabileque e Miranda, Sul do Pantanal. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 33 (número especial). Out. 1998, p. 1713-1719.
- Silva et al., 2008 - Silva, M.P.; Mauro, R.A.; Abdon, M.; Silva, J.S.V. Estado de conservação do Chaco (Savana Estépica) brasileiro. In: Simpósio Nacional Cerrado; Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos natuais, 9. Brasília, 12 a 17 de outubro de 2008. Brasília, out.2008. **Anais...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, [2008]. n.p., 6p. disponível em < [http://simposio.cpac.embrapa.br/simposio\\_pc210/trabalhos\\_pdf/00789\\_trab1\\_ap.pdf](http://simposio.cpac.embrapa.br/simposio_pc210/trabalhos_pdf/00789_trab1_ap.pdf) >.
- Silva, J. S. V.; Abdon, M. M; Pott, A. Cobertura vegetal do Bioma Pantanal em 2002. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 23. Rio de Janeiro, 21 a 24 de outubro de 2007a. **Anais...** Rio de Janeiro: SBC, 2007. p.1030 -1038. (CD – ROM)
- Silva, J.S.V.; Abdon, M. M; Pott, A. Cobertura vegetal do Bioma Pantanal em 2002. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 23. Rio de Janeiro, 21 a 24 de outubro de 2007b. **Anais...** Rio de Janeiro: SBC, 2007a. p.1030 -1038. (CD – ROM).

Silva; Caputo, 2010 - Silva, J. S.V. Da.; Caputo, A. C. B. Localização e distribuição da vegetação Savana Estépica (Chaco) no Pantanal brasileiro. In: Simpósio De Geotecnologias No Pantanal, 3, 2010, Cáceres, MT. **Anais [...]**. Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2010. p. 314-323.

Silva, J.S.V.; Pott, A.; Abdon, M. de M.; Pott, V. J.; Santos, K. R. dos. **Projeto GeoMS: cobertura vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011a. 64 p.

Silva, J.S.V.; Speranza, E.A.; Vendrusculo, L G.; Esquerdo, J. C. D. M.; Mauro, R. DE A.; Bianchini, S. L.; Florence, R. de O. **Projeto GeoMS: melhorando o sistema de licenciamento ambiental do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011b. 64 p.

## **O estado atual do conhecimento das geotecnologias aplicadas ao bioma Pantanal: uma análise da paisagem científica**

Ivo Pierozzi Junior  
Márcia Izabel Fugisawa Souza  
João dos Santos Vila da Silva  
Magda Cruciol  
Luiz Manoel Silva Cunha

Embrapa Agricultura Digital  
Av. André Tosello, 209 - Caixa Postal 6041  
13083-886 - Campinas - SP, Brasil  
{ivo.pierozzi, marcia.fugisawa, joao.vila, magda.cruciol, luiz.cunha}@embrapa.br

**Resumo.** O Pantanal, uma das maiores áreas úmidas do mundo, é um bioma altamente biodiverso, localizado na Bacia do Alto Paraguai, abrangendo partes dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul no Brasil. Este bioma enfrenta ameaças significativas devido a atividades humanas, como a agropecuária e a mineração, que alteram seu regime hidrológico crítico. Este artigo revisa o estado atual das geotecnologias aplicadas ao Pantanal por meio da análise da produção científica dos Simpósios de Geotecnologias no Pantanal (GeoPantanal), realizados entre 2006 e 2019. Os simpósios GeoPantanal desempenham um papel importante na discussão e disseminação do conhecimento sobre a aplicação de geotecnologias no estudo e gestão do Pantanal, reunindo pesquisadores e profissionais. As contribuições científicas incluem mapeamentos detalhados, estudos de biodiversidade, análises climáticas e hidrológicas, além de propostas de planejamento ambiental sustentável. Este estudo mapeia o panorama do conhecimento científico desenvolvido nos eventos GeoPantanal, identificando avanços, lacunas e desafios. Emprega uma revisão contextual da literatura, com foco em temas, metodologias e tecnologias aplicadas. Mapas conceituais e redes semânticas foram gerados para representar o conhecimento produzido, destacando contribuições significativas de indivíduos e instituições. Os resultados indicam que as geotecnologias são cruciais para o monitoramento ambiental, formulação de políticas e tomada de decisões estratégicas voltadas para a conservação do Pantanal. O artigo conclui com sugestões para pesquisas e ações futuras, enfatizando a necessidade de uma abordagem integrada e interdisciplinar para enfrentar os desafios do bioma Pantanal.

**Palavras-chave:** geotecnologias, Pantanal, paisagem científica, estado atual do conhecimento.

**Abstract.** The Pantanal, one of the world's largest wetlands, is a highly biodiverse biome located in the Upper Paraguay Basin, spanning parts of the states of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul in Brazil. This biome faces significant threats from human activities, such as agriculture and mining, which disrupt its critical hydrological regime. This article reviews the current state of geotechnologies applied to the Pantanal by analyzing the scientific output from the Geotechnologies in the Pantanal Symposiums (GeoPantanal) held between 2006 and 2019. The GeoPantanal symposiums play a vital role in discussing and disseminating knowledge about the application of geotechnologies in studying and managing the Pantanal, bringing together researchers and professionals. The scientific contributions include detailed mappings, biodiversity studies, climate and hydrological analyses, and sustainable environmental planning proposals. This study maps the landscape of scientific knowledge developed at the GeoPantanal events, identifying advances, gaps, and challenges. It employs a contextual literature review focusing on themes, methodologies, and applied technologies. Conceptual maps and semantic networks were generated to represent the knowledge produced, highlighting significant contributions from individuals and institutions. The results indicate that geotechnologies are crucial for environmental monitoring, policy formulation, and strategic decision-making aimed at conserving the Pantanal. The article concludes with suggestions for future research and actions, emphasizing the need for an integrated and interdisciplinary approach to address the challenges facing the Pantanal biome.

**Key-words:** geotechnologies, Pantanal, scientific landscape, current state of knowledge.

## 1. Introdução

O Pantanal, situado no coração da América do Sul, é uma das maiores áreas úmidas do mundo, representando um dos biomas mais ricos e biodiversos do planeta. A planície pantaneira, conhecida como Pantanal, é considerada a maior região alagável de águas interiores do mundo, cobrindo uma área de 138.183 km<sup>2</sup> no Brasil, conforme dados de Silva e Abdon (1998). Essa região está situada na Bacia do Alto Paraguai (BAP), com área total de 361.666 km<sup>2</sup>, abrangendo os estados de Mato Grosso (48,1%) e Mato Grosso do Sul (51,9%) Abdon e Silva, (1998). Essa vasta área faz parte do bioma Pantanal, que, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), ocupa 150.988 km<sup>2</sup>, equivalente a 1,8% do território nacional. É importante destacar que aproximadamente 80% do Pantanal está localizado no Brasil, enquanto os 20% restantes se estendem pelos países vizinhos, Bolívia e Paraguai. De acordo com Alho (2008, p. 1):

A vegetação compreende 1.863 espécies de plantas fanerógamas que ocorrem no Pantanal e 3.400 que se distribuem na Bacia do Alto Paraguai, além de 250 espécies de plantas aquáticas. Essa complexa cobertura vegetal e a produtividade sazonal dão suporte ecológico para uma fauna diversa e abundante do Pantanal: 263 espécies de peixes, 41 de anfíbios, 113 de répteis (177 para a Bacia), 463 de aves e 132 de mamíferos.

No entanto, o Pantanal é um sistema extremamente vulnerável e sensível, cuja biodiversidade, sob constante ameaça, depende da manutenção do regime hidrológico, dado que:

[...] todas as cabeceiras dos rios que aportam água para o bioma encontram-se na região do planalto central, que está fortemente antropizada. No Cerrado há uma presença importante de produção de grãos, em especial a soja, e de carnes. A implantação de reservatórios tem levado à modificação do regime hidrológico e da regularização dos rios. A biodiversidade do Pantanal precisa desses pulsos de inundação e seca para sobreviver e manter os serviços ecossistêmicos. Brasil, (2021).

O Pantanal, como organismo vivo em constante pulsão, sente os efeitos dessa pressão humana e das ameaças aos serviços ecossistêmicos essenciais que oferece para a sociedade e ao equilíbrio ambiental global. Destacam-se entre esses serviços: o fornecimento de água doce, a produção de alimentos, a regulação do clima, o controle de inundações, a polinização e o turismo. A preservação do Pantanal é fundamental para garantir a continuidade desses serviços ecossistêmicos essenciais tanto para a sociedade humana quanto para o planeta.

Nas últimas três décadas, o Pantanal tem sofrido agressões humanas devido à falta de

planejamento ambiental. A expansão desordenada da agropecuária e a mineração com mercúrio causam contaminação e erosão. A supressão vegetação nativa, sem adoção de medidas adequadas de conservação, acelera o assoreamento dos rios, aumentando o risco de inundações e prejudicando tanto a biodiversidade quanto a economia da região. Embrapa Pantanal, (2024). Além disso, Cunha e Junk (2009, p. 12) advertem que: “[...] grandes mudanças na bacia hidrográfica superior do Pantanal provocaram modificações na descarga de água e um grande aumento na carga de sedimentos dos principais rios tributários do Pantanal, que afetaram drasticamente e em diferentes graus os habitats dentro do Pantanal”.

De acordo com Irigaray et al. (2017, p. 128), “[...] a despeito da expressa previsão constitucional, esse conjunto de ecossistemas, à semelhança das demais áreas úmidas existentes no Brasil, segue legalmente desprotegido e enfrenta alguns desafios para sua conservação”. Ao longo dos anos, foram publicados centenas de artigos científicos, teses, dissertações e livros abordando uma ampla gama de aspectos relacionados à conservação e ao uso sustentável do bioma Pantanal. Além disso, existem inúmeras instituições de pesquisa e ensino, tanto nacionais quanto internacionais, dedicadas aos enormes desafios desse ecossistema. Irigaray et al. (2020).

No que diz respeito à Embrapa, desde 1994, estudos têm sido conduzidos para investigar e registrar as diversas problemáticas, abordando questões como uso do solo, erosão, padrões pluviométricos, impactos de pesticidas, além de analisar o transporte de sedimentos, a hidrologia, a saúde da vegetação, a qualidade da água e os efeitos sobre a ictiofauna e socioeconomia regional. Embrapa Pantanal, (2024).

O assoreamento do rio Taquari emerge como o principal desafio enfrentado pelo Pantanal e pelo Mato Grosso do Sul, resultando em inundações que afetam uma área de 11.000 km<sup>2</sup> e prejudicam diretamente a atividade pecuária. Diante desse cenário de ameaças crescentes, a comunidade científica se mobiliza incessantemente em busca de soluções inovadoras para a gestão e conservação desse bioma singular. Nesse contexto, as geotecnologias despontam como ferramentas indispensáveis, oferecendo suporte vital para o monitoramento ambiental, a elaboração de políticas públicas e a tomada de decisões estratégicas. Embrapa Pantanal, (2024).

Diante da relevância da problemática envolvida nessa temática, diversas instituições de pesquisa e ensino dedicam-se ao desenvolvimento de aplicações geotecnológicas para estudos do bioma Pantanal, abrangendo a região circunvizinha localizada na Bolívia e Paraguai, inserida na bacia hidrográfica do alto Rio Paraguai. Os esforços e contribuições dessas instituições e seus pesquisadores são materializados, desde 2006, por meio da realização bianual do evento GeoPantanal, que se consolidou como um importante fórum para o debate e a disseminação de conhecimento sobre a aplicação de geotecnologias no bioma pantaneiro.

## **1. 1 Breve histórico dos Simpósios de Geotecnologias no Pantanal**

Em um breve histórico dos sete Simpósios de Geotecnologias no Pantanal - GeoPantanal, é importante destacar alguns aspectos importantes, como: local e data de realização dos eventos; categorias temáticas predominantes; principais contribuições científicas e técnicas; e, principais contribuições individuais, conforme apresentado a seguir:

Local e data de realização dos eventos:

1º GeoPantanal, Campo Grande, MS, de 11 a 15 de dezembro de 2006.

2º GeoPantanal, Corumbá, MS, de 07 a 11 de novembro de 2009.

3º GeoPantanal, Cáceres, MS, de 16 a 20 de novembro de 2010.

4º GeoPantanal, Bonito, MS, de 20 a 24 de novembro de 2012.

5º GeoPantanal, Campo Grande, MS, de 22 a 26 de novembro de 2014.

6º GeoPantanal, Cuiabá, MT, de 22 a 26 de outubro de 2016

7º GeoPantanal, Jardim, MS, de 22 a 25 de outubro de 2018.

Nos sete eventos realizados, as categorias temáticas foram constituídas de:

2. Cartografia, Sistemas e Sensores.
3. Fauna e Vegetação
4. Geologia, Geomorfologia e Solos.
5. Meteorologia, Clima e Recursos hídricos.
6. Planejamento e Análise ambiental.
7. Turismo e Saúde.
8. Uso da terra e Educação ambiental.

Em todos os eventos GeoPantanal, o público-alvo é constituído de pesquisadores, acadêmicos, estudantes, profissionais da área de geotecnologias, ambientalistas, e representantes de órgãos governamentais. Nesses eventos são realizadas atividades e sessões, como palestras, mesas-redondas, workshops, apresentações de trabalhos científicos, e sessões de pôsteres.

As principais contribuições científicas e técnicas dos eventos GeoPantanal são mostradas a seguir.

1. Geotecnologias avançadas: aplicação de novas técnicas de sensoriamento remoto e SIG para monitoramento do Pantanal.
2. Mapeamento detalhado: produção de mapas atualizados da região, abordando topografia, uso da terra e hidrologia.
3. Biodiversidade: estudos sobre fauna e flora, identificando espécies ameaçadas e padrões ecológicos.
4. Geologia e Solos: investigações sobre processos geológicos e pedológicos.
5. Clima e Hidrologia: análises de padrões climáticos e recursos hídricos, incluindo impactos das mudanças climáticas.
6. Planejamento ambiental: propostas de conservação e gestão sustentável baseadas em análises ambientais.
7. Turismo sustentável: avaliação dos impactos do turismo e estratégias para promover práticas sustentáveis.
8. Educação ambiental: iniciativas para aumentar a conscientização e práticas de uso sustentável da terra.
9. Sensoriamento remoto: implementação de novas tecnologias, como drones e satélites, para coleta de dados.
10. Colaborações interdisciplinares: integração de diversas disciplinas para abordar problemas ambientais de forma holística.
11. Disseminação do conhecimento: produção de artigos científicos e relatórios que documentam descobertas e avanços.

Outro destaque importante são as contribuições individuais significativas que possibilitaram a manutenção da constância, coesão e foco do evento GeoPantanal, assim como a liderança e formação de uma rede de interesses em torno da temática principal, as geotecnologias aplicadas ao estudo do bioma Pantanal. Nesse sentido, é importante destacar:

**Pesquisadores Pioneiros:** Alguns pesquisadores se destacaram como pioneiros na aplicação de geotecnologias, trazendo contribuições significativas que impulsionaram o avanço do conhecimento na região. Esses profissionais foram responsáveis por introduzir e desenvolver novas tecnologias e métodos de análise geoespacial, possibilitando um entendimento mais profundo da dinâmica e das complexidades ambientais do Pantanal. Seus esforços abriram caminho para uma série de pesquisas subsequentes e estabeleceram uma base sólida para a aplicação de geotecnologias em estudos e iniciativas de conservação do bioma.

**Autores de Destaque:** Alguns autores se destacaram pela relevância de suas contribuições ao

campo das geotecnologias aplicadas ao Pantanal. Seus trabalhos e publicações tiveram impacto significativo na área, influenciando o desenvolvimento de novas abordagens metodológicas e tecnológicas. Além de produzirem pesquisas inovadoras, esses autores contribuíram para a formação de uma base teórica e prática que orienta estudos e políticas públicas voltadas para a gestão sustentável do Pantanal. A consistência e a qualidade de suas publicações colocaram-nos como referências essenciais para outros pesquisadores e profissionais do campo.

**Conferencistas e Palestrantes de Destaque:** Nos Simpósios de Geotecnologias no Pantanal, vários conferencistas, palestrantes e especialistas se destacaram por suas apresentações, que trouxeram insights valiosos e conhecimentos profundos à comunidade científica. Esses eventos serviram como plataformas essenciais para a troca de ideias e a disseminação de informações atualizadas e relevantes sobre o uso de geotecnologias no Pantanal. As contribuições desses especialistas foram fundamentais para moldar o debate científico e técnico, além de inspirar novas pesquisas e aplicações na área.

**Colaboradores Significativos:** O sucesso dos Simpósios de Geotecnologias no Pantanal também se deveu a colaboradores dedicados — tanto indivíduos quanto instituições — que desempenharam papéis essenciais na organização, divulgação e execução dos eventos. Esses colaboradores asseguraram que os simpósios se consolidassem como um espaço de encontro para pesquisadores, gestores públicos e profissionais interessados na preservação e no desenvolvimento sustentável do Pantanal. Suas contribuições foram fundamentais para manter a constância, qualidade e foco dos eventos ao longo dos anos.

**Líderes em Publicações:** Pesquisadores e instituições que se destacaram na produção e disseminação de conhecimento científico também foram fundamentais para o avanço das geotecnologias aplicadas ao Pantanal. Suas publicações, amplamente reconhecidas e citadas, contribuíram para ampliar o conhecimento e aumentar a visibilidade das questões ambientais e tecnológicas associadas ao Pantanal. Esses líderes em publicações ajudaram a construir um corpo de literatura que serve como referência indispensável para futuros estudos e políticas de gestão ambiental.

**Parcerias:** As parcerias estabelecidas nos sete eventos do GeoPantanal foram fundamentais para viabilizar a colaboração entre diferentes instituições, reunindo expertises diversificadas para enfrentar os desafios complexos relacionados ao bioma Pantanal. Essas facilitaram o compartilhamento de recursos, conhecimentos e experiências, promovendo uma abordagem holística e integrada na busca por soluções inovadoras e sustentáveis. Além disso, ampliaram o alcance e o impacto dos eventos, atraindo um público mais diversificado e fortalecendo a rede de colaboração em torno da conservação e do uso sustentável do Pantanal.

**Resultados e impactos:** Os sete Simpósios proporcionaram um espaço valioso para a apresentação e discussão de resultados de pesquisas, projetos e iniciativas voltadas ao estudo, conservação e uso sustentável do bioma Pantanal. Esses eventos tiveram um impacto significativo no avanço do conhecimento científico, na conscientização pública e no desenvolvimento de políticas e práticas de gestão ambiental na região.

**Evolução e inovações:** Ao longo das edições do GeoPantanal, foi observada uma evolução contínua nas abordagens, metodologias e tecnologias utilizadas ao estudo e uso de geotecnologias no Pantanal. As inovações apresentadas nos simpósios refletiram não apenas avanços técnicos, mas também uma crescente integração entre diferentes disciplinas e setores, visando a uma compreensão mais abrangente e eficaz do bioma e dos desafios que ele enfrenta.

**Publicações:** Os Simpósios GeoPantanal têm sido uma fonte importante de publicações científicas, contribuindo para a disseminação do conhecimento e ampliando o diálogo entre pesquisadores, gestores e demais interessados na conservação e no uso sustentável do bioma Pantanal. As publicações resultantes desses eventos abordam uma gama ampla de temas

relacionados à geotecnologia, ecologia, conservação, manejo e desenvolvimento regional no Pantanal. Uma descrição detalhada dos temas abordados nessas publicações pode ser encontrada no item 4.1 deste artigo.

O GeoPantanal desempenha um papel fundamental na consolidação das geotecnologias como ferramentas essenciais para a gestão do Pantanal. Ao reunir a comunidade científica, profissionais e gestores públicos, o evento promove o diálogo, a colaboração e o compartilhamento de conhecimentos, contribuindo para a construção de soluções inovadoras e eficazes para os desafios socioambientais do bioma.

## **1.2 GeoPantanal - uma análise da paisagem científica**

No contexto do GeoPantanal, a análise da paisagem científica desempenha um papel importante para explorar e organizar o vasto conjunto de informações, identificando tendências, lacunas de conhecimento e áreas de pesquisa prioritárias. Esta análise também permite mapear as redes de colaboração entre pesquisadores, identificar instituições-chave e entender as diversas abordagens metodológicas utilizadas, oferecendo uma visão abrangente do campo acadêmico-científico relacionado ao GeoPantanal.

Explorando esse acervo de conhecimento, é possível identificar oportunidades para aprofundar pesquisas em áreas menos exploradas, fortalecer parcerias institucionais e desenvolver soluções inovadoras para os desafios do Pantanal. Assim, a paisagem científica do GeoPantanal serve como um guia essencial para direcionar esforços e construir um futuro mais sustentável para esse bioma.

Este estudo investiga o panorama do conhecimento em geotecnologias aplicadas ao bioma Pantanal, com base na produção científica de sete simpósios e edições especiais de revistas, buscando entender como essa produção pode orientar pesquisas, desenvolvimento e inovações para estratégias mais eficazes de estudo e conservação do Pantanal.

## **2. Objetivos**

Mapear o panorama do conhecimento científico desenvolvido ao longo de quase duas décadas de edições sucessivas do GeoPantanal, com foco nas geotecnologias aplicadas ao bioma Pantanal para caracterização e monitoramento ambiental e territorial, identificando avanços, lacunas e desafios de pesquisa. O estudo visa contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes para a gestão e conservação do bioma, com análise específica da produção científica recente em áreas como sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica e modelagem espacial.

Objetivo específico: Analisar a produção científica em geotecnologias aplicadas ao Pantanal, com ênfase em sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica e modelagem espacial.

## **3. Material e Métodos**

O cenário científico (ou paisagem, em sentido figurativo) e o processo de revisão da literatura são fundamentais para a compreensão e assimilação do vasto corpo de informações disponíveis em diversos campos do conhecimento humano Ebidor e Ikhide, (2024). Este estudo propõe uma abordagem metodológica alternativa de mapeamento, organização e representação do conhecimento desenvolvido e produzido no âmbito do GeoPantanal. Optou-se por realizar uma revisão contextual de literatura em vez de uma revisão sistemática tradicional, que é conhecida por sua rigorosidade metodológica e abrangência Cooper, (1998). Duas condições principais justificam essa escolha:

- Flexibilidade e adaptabilidade na reunião, sistematização e aplicação de métodos



analíticos aos dados e ao conteúdo, constituídos fundamentalmente pelos artigos publicados nos eventos;

- Foco prioritário na evidência de aspectos específicos, como temáticas, metodologias, tecnologias e suas implicações no acervo de conhecimento produzido.

Aspectos secundários, como autorias, redes de coautorias e instituições e outros contextos tratados em revisões convencionais, são considerados como informações complementares ao estudo e não constituem o foco principal da análise. Esse tipo de revisão é particularmente útil para explorar novas áreas de pesquisa, identificar tendências emergentes ou compreender o contexto histórico e teórico de um fenômeno. Além disso, quando o objetivo é explorar novas áreas de pesquisa, identificar tendências emergentes ou compreender o contexto histórico e teórico de um fenômeno. Além disso, a revisão contextual pode ser conduzida de maneira mais pragmática, proporcionando maior agilidade e eficácia na tomada de decisões e na implementação de ações. Neste trabalho, essa abordagem foi contextualizada no *framework* conceitual e operacional de Engenharia da Informação, desenvolvido no Grupo de Pesquisa em Computação Científica, Engenharia da Informação e Automação da Embrapa Agricultura Digital Pierozzi Junior et al., (2020). As seguintes etapas operacionais foram realizadas:

- a. Construção de 2 tipos de corpora textuais:
  - i. Reunião de todos os corpora textuais de cada evento em um único corpus geral.
  - ii. Reunião dos artigos apresentados em cada um dos eventos.
- b. Geração de mapas conceituais a partir do processamento dos corpora utilizando a ferramenta VOSviewer<sup>1</sup>.
- c. Análise qualitativa de dados (Dey, 2003), com foco em:
  - i. Delimitação do domínio ou recorte do conhecimento, no caso ‘produção científica do GeoPantanal’.
  - ii. Significação de dados, representada por mapas conceituais ou redes semânticas extraídos dos discursos presentes nos textos.
  - iii. Extração e categorização dos conceitos e seus relacionamentos no discurso, estabelecendo relações semânticas e propondo rótulos inteligentes (hierarquias, equivalências, relações de parte-todo; causa-efeito etc.).
- d. Elaboração de um vocabulário controlado específico, no qual cada par de termos concorrentes na rede é semanticamente rotulado.
- e. Submissão das listas terminológicas e do vocabulário controlado a ferramentas de inteligência artificial (IA)<sup>2</sup> disponíveis gratuitamente, para a elaboração de lógica e representações inteligentes dos temas tratados no GeoPantanal, abrangendo temáticas, lista de autoridades, toponímias, métodos e processos de análises, fenômenos e eventos ambientais, por meio de classificações, categorizações e taxonomias.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Mapeamento conceitual e paisagem científica do Geopantanal

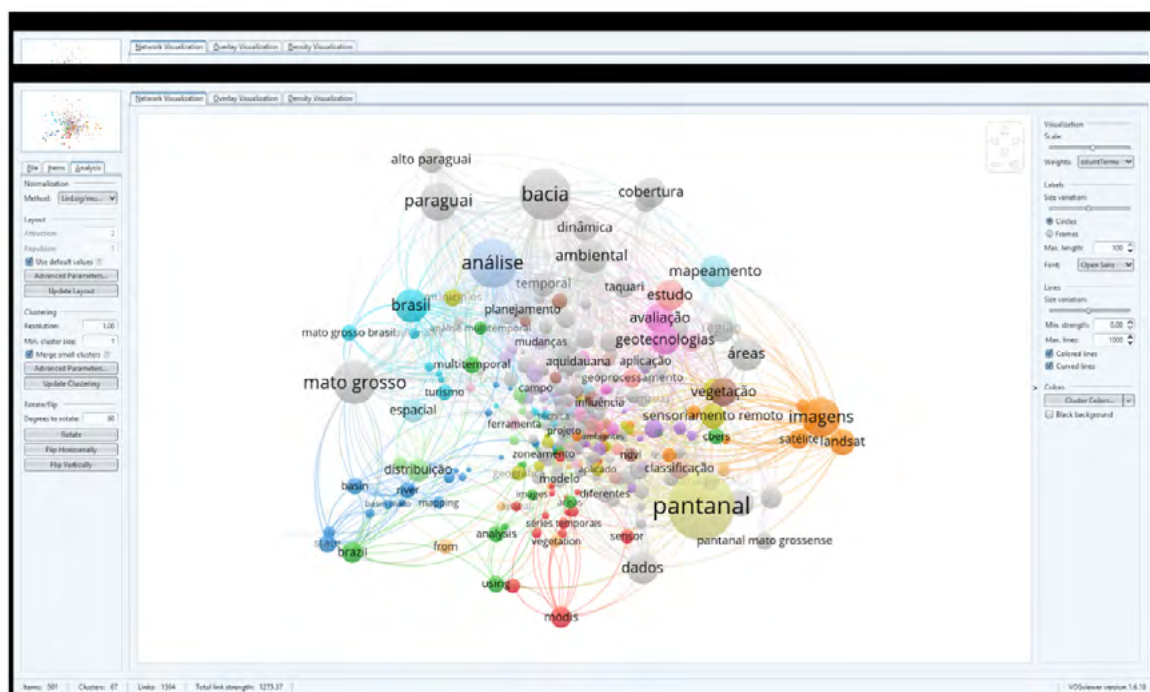
A **Figura 1** apresenta a paisagem científica do GeoPantanal, que deve ser entendida como

<sup>1</sup> A ferramenta de visualização de paisagens científicas VOSviewer, que transforma textos em redes semânticas, pode ser utilizada baixando o aplicativo (<https://www.vosviewer.com/download>), acessando a versão web (<https://app.vosviewer.com/>), ou ainda por meio da ferramenta gratuita disponível em: [https://nocodefunctions.com/cowo/semantic\\_networks\\_tool.html](https://nocodefunctions.com/cowo/semantic_networks_tool.html).

<sup>2</sup> Ferramentas de inteligência artificial (IA) gratuitas, como as disponíveis em <https://chatgpt.com/>, <https://gemini.google.com/app> e <https://typeset.io/> (SciSpace), foram utilizadas para a criação de lógicas e representações inteligentes dos temas abordados no GeoPantanal.

a uma representação visual do corpus principal, composto pelos textos de todos os eventos reunidos, conforme descrito na seção Material e Métodos. Neste contexto, as narrativas e os discursos em linguagem natural dos textos são transformados em um ‘espaço conceitual’ unificado, onde os principais conceitos são mapeados relacionalmente entre si e visualizados em um espaço tridimensional. Essa visualização considera métricas de análise de redes, frequência e co-ocorrência. Em outras palavras, o mapeamento conceitual ou paisagem científica refere-se ao conhecimento de um determinado domínio científico, no qual, ao se falar ou referir a um conceito X, também se fala, se refere e se relaciona com outros conceitos Y, W, Z, A, B, C etc., que estão presentes naquele discurso.

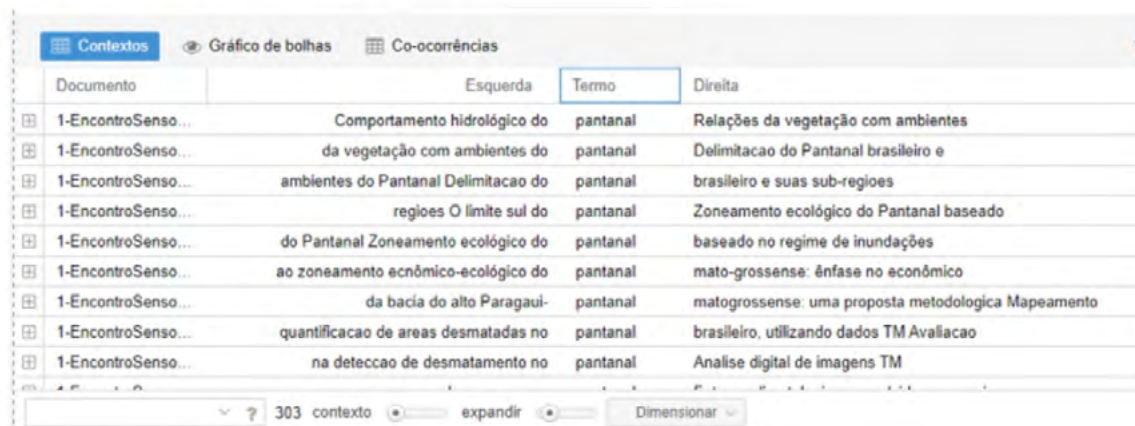
Os conceitos na figura são representados por esferas de diferentes cores e tamanhos, cada uma rotulada por termos que as denotam. O tamanho das esferas reflete suas medidas relativas e ponderadas de frequência, co-ocorrência, bem como suas métricas de rede (centralidades e graus) e suas distâncias relativas no espaço conceitual, construído pelo algoritmo de processamento de linguagem natural do VOSviewer. As cores das esferas indicam subagrupamentos (*clusters*) conceituais que agrupam recortes específicos dos assuntos do discurso geral, como temáticas, disciplinas, eventos, autoridades, fenômenos, processos, entre outros.



**Figura 1.** Tela do VOSviewer com a configuração utilizada para representar o espaço conceitual dos eventos do GeoPantanal entre 2006 e 2019.

Nessa paisagem ou espaço conceitual, observa-se que o conceito denotado pelo termo ‘pantanal’ é o mais frequente e co-ocorrente. Ao aplicar recursos analíticos adicionais de Processamento de Linguagem Natural (PLN), como concordanciadores (**Figura 2**), é possível identificar nas frases o uso do termo ‘pantanal’ e determinar os diferentes contextos aos quais ele se refere, como região geográfica, bioma, área inundada, entre outros.

Seguindo a mesma lógica analítica, outros conceitos/termos que se destacam em frequência e co-ocorrência no espaço conceitual, como ‘bacia’, ‘análise’, ‘mato grosso’, ‘imagens’, ‘brasil’ e ‘mapeamento’ também se relacionam com uma variedade de contextos além da geografia ou do



The screenshot shows the 'Contextos' (Contexts) tab in Voyant Tools. It displays a table with columns for 'Documento', 'Esquerda' (Left), 'Termo' (Term), and 'Direita' (Right). The search term 'pantanal' is highlighted in the 'Termo' column. The table lists 8 concordance results from documents titled '1-EncontroSenso...'. The 'Esquerda' column contains text fragments, and the 'Direita' column contains text fragments. At the bottom, there is a search bar with the text '303 contexto' and a 'Dimensionar' button.

Documento	Esquerda	Termo	Direita
1-EncontroSenso...	Comportamento hidrológico do	pantanal	Relações da vegetação com ambientes
1-EncontroSenso...	da vegetação com ambientes do	pantanal	Delimitacao do Pantanal brasileiro e
1-EncontroSenso...	ambientes do Pantanal Delimitacao do	pantanal	brasileiro e suas sub-regioes
1-EncontroSenso...	regioes O limite sul do	pantanal	Zoneamento ecológico do Pantanal baseado
1-EncontroSenso...	do Pantanal Zoneamento ecológico do	pantanal	baseado no regime de inundações
1-EncontroSenso...	ao zoneamento econômico-ecológico do	pantanal	mato-grossense: ênfase no econômico
1-EncontroSenso...	da bacia do alto Paragau-	pantanal	matogrossense: uma proposta metodologica Mapeamento
1-EncontroSenso...	quantificacao de areas desmatadas no	pantanal	brasileiro, utilizando dados TM Avaliacao
1-EncontroSenso...	na deteccao de desmatamento no	pantanal	Analise digital de imagens TM

**Figura 2.** Concordanciador (ferramenta Voyant Tools – <https://voyant-tools.org/>): identificação dos contextos do termo ‘pantanal’ no corpus dos artigos apresentados nos eventos do GeoPantanal.

ambiente. Esses termos podem estar associados a métodos de análise de dados, geotecnologias utilizadas, fenômenos ambientais ou práticas agropecuárias observadas e descritas.

A análise da paisagem científica do GeoPantanal é fundamental para compreender a amplitude e a profundidade do conhecimento gerado e aplicado ao bioma Pantanal. Essa abordagem de Gestão do Conhecimento baseia-se no mapeamento conceitual das temáticas, tópicos, áreas de conhecimento ou disciplinas abordados nos artigos apresentados nos eventos realizados ao longo de quase 20 anos. Além da representação conceitual em formato textual (terminologias), são produzidas visualizações que evidenciam a distribuição e o arranjo conceitual dos elementos dessa paisagem, mostrando em grafos as relações recíprocas e identificando suas posições em termos de frequência e co-ocorrência, criando assim criando uma representação visual e integrada do conteúdo.

O GeoPantanal é um projeto focado no bioma Pantanal, abordando seus aspectos geográficos e ambientais por meio de geotecnologias para análise de dados e monitoramento ambiental. Através de uma abordagem de modelagem conceitual de domínios de conhecimento, a paisagem emerge como um produto analítico-sintético de múltiplas temáticas, incluindo fenômenos sintetiza várias temáticas, como fenômenos geoambientais, processos agropecuários e geotecnologias empregadas. Integrada, essas temáticas ilustram as iniciativas e resultados do GeoPantanal.

A modelagem conceitual das geotecnologias no GeoPantanal é uma inovação metodológica que melhora a compreensão e gestão do bioma. A "paisagem científica" facilita a interpretação dos dados e oferece uma integrada das dinâmicas ambientais do Pantanal para diversos públicos. Essa abordagem interdisciplinar permite desenvolver recursos analíticos que proporcionam uma visão mais completa e acessível dos temas estudados.

#### 4.1.1 Autorias e instituições mais frequentes na paisagem científica do GeoPantanal

A **Tabela 1** apresenta o número de artigos dos 50 autores mais frequentes, juntamente com suas afiliações às 50 instituições mais recorrentes nas edições do GeoPantanal. Foram contabilizados todos os artigos em que esses autores aparecem como principais ou coautores. No caso das instituições, foram incluídas as 50 que tiveram o maior número de artigos apresentados em todas as edições do evento.

**Tabela 1.** Principais Autores por Frequência de Participação em artigos no GeoPantanal e Número de Artigos por Instituição.

<b>Autores</b>	<b>No. Artigos</b>	<b>Autores</b>	<b>No. Artigos</b>
Neves, Sandra Mara Alves da Silva	110	Pott, Arnildo	11
Silva, João dos Santos Vila da	104	Pott, Vali Joana	11
Neves, Ronaldo José	66	Ribeiro, Hugo José	11
Silva, Aguinaldo	37	Miranda, Miriam Raquel da Silva	11
Galvanin, Edinéia Aparecida dos Santos	34	Leite, Emerson Figueiredo	11
Esquerdo, Julio Cesar Dalla Mora	33	Gradella, Frederico dos Santos	11
Abdon, Myrian de Moura	33	Macedo, Hudson de Azevedo	11
Paranhos Filho, Antonio Conceição	31	Siqueira, Rubens Villar	10
Pereira, Gabriel	28	Ribeiro, Vinícius de Oliveira	10
Kreitlow, Jesã Pereira	26	Paranhos Filho, Antônio Conceição	10
Shimabukuro, Yosio Edemir	24	Cochev, Jakeline Santos	10
Antunes, João Francisco Gonçalves	22	Silva, Edson Rodrigo dos Santos da	9
Moraes, Elisabete Caria	22	Sciamarelli, Alan	9
Zani, Hiran	15	Andrade, Ricardo Guimarães	9
Arai, Egígio	14	Coutinho, Alexandre Camargo	9
Cardozo, Francielle da Silva	14	Rudorff, Bernardo Friedrich Theodor	9
Assine, Mario Luis	14	Mercante, Mercedes Abid	9
Bacani, Vitor Matheus	13	Nunes, Maria Cândida Moitinho	9
Lima, Ivan Bergier Tavares de	13	Silva, Marta Pereira da	9
Cruz, Carla Bernadete Madureira	13	Dallacort, Rivanildo	9
Pereira, Luciana Escalante	12	Oliveira, Victor Tomaz de	8
Silva, Beatriz Lima de Paula	12	Speranza, Eduardo Antonio	8
Victoria, Daniel de Castro	11	Paiva, Sophia Leitão Pastorello	8
Facincani, Edna Maria	11	Mengatto Junior, Edson Antonio	8
Pott, Arnildo	11	Oliveira, Wellington Nunes	8
<b>Instituições</b>	<b>Nº Artigos</b>	<b>Instituições</b>	<b>Nº Artigos</b>
Universidade do Estado de Mato Grosso	562	Instituto Federal - Mato Grosso	19
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	403	Universidade Federal de Rondônia	19
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	397	Centro Universitário de Várzea Grande	17
Embrapa Informática Agropecuária	249	Escola Agrotécnica Federal de Cáceres	17
Universidade Federal de Mato Grosso	127	Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais	16
Embrapa Pantanal	102	Universidade Federal do Amapá	16
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	92	Universidade Estadual do Oeste do Paraná	15
Embrapa Monitoramento por Satélite	61	Universidade Federal de Santa Maria	15
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul	59	Universidade Católica Dom Bosco	14
Universidade Estadual de Campinas	53	Universidad Autónoma Gabriel René Moreno	14
Universidade de São Paulo	51	IBGE	13
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	51	Universidade de Brasília	13
Universidade Federal da Grande Dourados	49	Universidade Federal Rural da Amazônia	12
Universidade Anhanguera - UNIDERP	47	Embrapa Solos	12
Universidade Federal de Goiás	38	Universidade Federal de Minas Gerais	12
Universidade Federal de Viçosa	30	Coordenadoria de Assistência Técnica Integral	11
Universidade Federal do Rio de Janeiro	22	Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul	11
Universidade Federal de Pernambuco	21	Universidade Federal de São Carlos	10
Universidade Estadual de Maringá	20		

Para uma análise mais detalhada e precisa, seria necessário um processamento mais robusto dos textos completos, que identificasse todos os autores e coautores, bem como suas respectivas afiliações em cada artigo das sete edições do evento. É importante destacar que, ao longo do período de realização dos eventos do GeoPantanal, muitos profissionais eventualmente mudaram de instituição, o que pode influenciar as afiliações associadas aos artigos.

#### 4.1.2 Taxonomia temática do GeoPantanal

A taxonomia temática do GeoPantanal (**Tabela 2**) é uma estrutura de categorização que abrange uma vasta gama de assuntos explorados nos artigos dos eventos sucessivos desde 2006, proporcionando uma visão abrangente e organizada do conhecimento sobre o Pantanal.

Esta taxonomia inclui desde aspectos geossocioambientais até questões agrícolas, climáticas, tecnológicas e educacionais, refletindo a complexidade e a interdisciplinaridade das pesquisas

**Tabela 2.** Taxonomia temática do GeoPantanal.

<b>Categoria</b>	<b>Subcategoria</b>	<b>Subsubcategoria</b>
Geografia e Geoprocessamento	Geografia	Bioma Pantanal. Bioma Cerrado. Pantanal Brasileiro.
	Geoprocessamento	Sensoriamento Remoto. Cartografia. Análise Espacial. Modelagem Espacial.
Recursos Naturais e Meio Ambiente	Recursos Hídricos	Bacias Hidrográficas. Nascentes. Inundação.
	Solos e Relevo	Erosão. Relevo. Vulnerabilidade Natural.
	Vegetação	Floresta. Vegetação do Pantanal. Fragilidade Ambiental.
Agricultura e Desenvolvimento Rural	Atividades Rurais	Bovinos. Agricultura. Uso da Terra.
	Desenvolvimento Rural	Gestão de Propriedades. Cadastro Rural. Impactos da Agricultura.
Clima e Fenômenos Atmosféricos	Precipitação e Chuvas	Distribuição Espacial de Chuvas. Variabilidade Temporal das Chuvas. Seca. Estiagem.
	Evapotranspiração	Balço Hídrico. Efeito Estufa. Mudanças Climáticas.
Tecnologia e Aplicações	Sensoriamento Remoto	Satélites AVHRR NOAA, CBERS, MODIS.
	Análise de Dados Geoespaciais	Análise Multitemporal. Análise Espectral. Mapeamento com Imagens de Satélite
Educação Ambiental e Engajamento Comunitário	Educação Ambiental	Ensino de Geografia do Ambiente. Conscientização sobre o Meio Ambiente. Projeto de Educação Ambiental.
	Engajamento Comunitário	Participação em Projetos Ambientais. Suporte Comunitário para a Conservação.

realizadas e seus potenciais aplicações.

#### 4.1.2 Toponímias tratadas no GeoPantanal e seus contextos

Nesta seção, são apresentadas as toponímias identificadas no corpus do GeoPantanal, relacionadas à categoria de Geografia e Geoprocessamento, abrangendo localidades, rios, sub-regiões e outras designações geográficas relevantes.

A **Tabela 3** destaca a diversidade de toponímias mencionadas nos artigos do GeoPantanal, evidenciando a abrangência geográfica das pesquisas realizadas no evento. As Unidades da Federação representadas refletem a distribuição espacial das áreas de estudo e a relevância de diferentes localidades no contexto das investigações científicas sobre o Pantanal. Esta diversidade geográfica sublinha a importância de uma abordagem regionalizada nas análises e no monitoramento ambiental, contribuindo para uma compreensão mais detalhada e contextualizada das dinâmicas socioambientais e dos desafios de conservação e desenvolvimento sustentável no bioma.

#### 4.1.3 Processos analíticos de pesquisa e seus contextos

Nesta seção, são explorados os métodos e técnicas de análise utilizados nas pesquisas do GeoPantanal, com forte vínculo à categoria de Tecnologia e Aplicações, especialmente em Análise de Dados Geoespaciais e Sensoriamento Remoto. A análise inclui a aplicação de ferramentas avançadas de geoprocessamento e interpretação de dados de sensoriamento remoto, permitindo uma visualização e compreensão detalhada das dinâmicas ambientais e dos padrões

**Tabela 3.** Toponímias mencionadas nos artigos do GeoPantanal.

<b>Unidade da Federação Região/Bioma e País</b>	<b>Toponímia</b>
MA	São Bento e São Luís
MG	São Lourenço
GO	Anicuns, Rio Grande Vermelho, São Miguel do Araguaia e Serra Azul
MS	Aquidauana, Bonito, Campo Grande, Córrego das Veredas, Corumbá, Coxim, Dourados, Ladário, Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-grossense, Porto Murtinho, Rio Miranda, Rio Nabileque, São Gabriel do Oeste, Serra do Amolar e Sub-região da Nhecolândia
MA	São Bento e São Luís
MG	São Lourenço
GO	Anicuns, Rio Grande Vermelho, São Miguel do Araguaia e Serra Azul
MS	Aquidauana, Bonito, Campo Grande, Córrego das Veredas, Corumbá, Coxim, Dourados, Ladário, Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-grossense, Porto Murtinho, Rio Miranda, Rio Nabileque, São Gabriel do Oeste, Serra do Amolar e Sub-região da Nhecolândia
MT	Alto Pantanal Mato-grossense, Araputanga, Barão de Melgaço, Barra do São Lourenço, Cáceres, Chapada dos Guimarães, Pantanal Mato-grossense, Rio Coxipó-Açu, Rio Manso, Rio Taboco, Rondonópolis, Serra das Araras, Tamengo, Tangará da Serra
SP	Jau
SC	Lagoa do Peri e Luís Alves
RS	Itaqui, Maçambará, Taim e Taquari
TO	Pedro Afonso
Região e Bioma	Pantanal
País	Paraguai e Região Centro-Oeste (Brasil)

de uso da terra no bioma Pantanal. Esses processos analíticos são essenciais para fundamentar decisões de gestão e conservação, fornecendo insights precisos sobre as interações entre o meio ambiente e as atividades humanas na região.

No âmbito do GeoPantanal, foram apresentados resultados de pesquisa referentes a diversos tipos de análises geoespaciais, entre as quais se destacaram:

- Análises e modelagem espaciais: análise ambiental; análise espacial; análise espaço-temporal; modelagem espacial; modelos digitais de elevação (DEM); Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI); mistura espectral.
- Sensoriamento remoto e processamento de imagens: processamento de imagens de satélite; uso de imagens Landsat e Radar; classificação de imagens; dados MODIS e SRTM.

#### **4.1.4 Elementos geográficos, territoriais e eventos ambientais e seus contextos**

Nesta seção, são abordados os elementos geográficos e territoriais significativos identificados nas pesquisas do GeoPantanal, juntamente com eventos ambientais relevantes para o bioma. Esses elementos incluem localidades específicas, características geográficas distintas como rios, sub-regiões e áreas de transição, cuja análise contribui para o entendimento das dinâmicas ambientais e socioeconômicas da região pantaneira. Além disso, são discutidos eventos ambientais como inundações sazonais, variações climáticas e fenômenos meteorológicos que impactam diretamente o ecossistema do Pantanal, destacando a importância de uma gestão integrada e sustentável.

#### 4.1.4.1 Impactos e riscos e socioeconômicos evidenciados na paisagem científica do GeoPantanal

Nesta seção, são destacadas as inferências relacionadas aos estudos e resultados apresentados nas diversas edições do GeoPantanal desde 2006. A análise reorganiza o conhecimento por regiões, abrangendo cinco centros urbanos (Cáceres e Poconé, no estado de Mato Grosso, e Nabileque, Nhecolândia e Miranda, no estado de Mato Grosso do Sul) e da bacia do Rio Negro (MS).

Foram consideradas situações como os efeitos das práticas agropecuárias no ambiente do Pantanal, com foco nos impactos sobre o uso da terra, recursos hídricos e vulnerabilidade ambiental. Além disso, a análise explora a correlação entre recursos naturais, meio ambiente, agropecuária e desenvolvimento rural, buscando compreender como as atividades agrícolas e pecuárias influenciam na saúde e sustentabilidade do ecossistema pantaneiro.

Para essa análise, foram identificados, no mapeamento conceitual, 14 indicadores agroambientais e 14 indicadores socioeconômicos (**Tabela 4**), que foram relacionados com os diversos temas abordados no GeoPantanal (**Tabela 5**).

**Tabela 4.** Indicadores agroambientais e econômicos.

<b>Indicadores agroambientais</b>	<b>Indicadores socioeconômicos</b>
1. Biodiversidade	Acesso a serviços básicos (saúde, educação, saneamento)
2. Biomassa	Atividades econômicas (agricultura, pecuária, turismo)
3. Cobertura vegetal	Conservação ambiental
4. Degradação do solo	Educação
5. Disponibilidade de água	Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)
6. Erosão	Infraestrutura
7. Evapotranspiração	População rural
8. Hidrogeografia	População urbana
9. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	Produção agrícola
10. Padrões de chuva	Produção pecuária
11. Qualidade da água	Propriedades rurais
12. Qualidade do solo	Renda per capita
13. Temperatura	Taxa de desemprego
14. Uso da terra	Tecnologia agrícola

**Tabela 5.** Impactos ambientais e riscos socioeconômicos em municípios de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

	Cáceres		Poconé	
	Impactos Ambientais	Riscos Socioeconômicos	Impactos Ambientais	Riscos Socioeconômicos
Mato Grosso	<b>Degradação do Solo:</b> Aumento da erosão e perda de fertilidade do solo devido às práticas agrícolas inadequadas	<b>Desemprego Rural:</b> Desemprego sazonal devido à dependência de atividades agrícolas	<b>Desmatamento:</b> Perda de cobertura vegetal nativa para a expansão agrícola e pecuária	<b>Educação Insuficiente:</b> Falta de acesso adequado à educação, limitando oportunidades de desenvolvimento
	<b>Poluição Hídrica:</b> Contaminação de corpos d'água por agroquímicos e sedimentos	<b>Baixa Renda:</b> Renda per capita reduzida em áreas rurais, afetando a qualidade de vida	<b>Degradação do Solo:</b> Erosão do solo e perda de nutrientes, afetando a produtividade agrícola	<b>Infraestrutura Precária:</b> Infraestrutura insuficiente para suportar o desenvolvimento econômico sustentável
Mato Grosso do Sul	Nabileque		Nhecolândia	
	Impactos Ambientais	Riscos Socioeconômicos	Impactos Ambientais	Riscos Socioeconômicos
	<b>Alteração do Regime Hidrológico:</b> Mudanças nos padrões de inundação devido a atividades humanas	<b>Propriedades Rurais Pequenas:</b> Fragmentação de terras dificultando a viabilidade econômica das atividades agrícolas	<b>Erosão:</b> Perda de solo fértil devido à má gestão da terra	<b>Desemprego:</b> Falta de empregos alternativos fora da agricultura e pecuária
	<b>Degradação do Solo:</b> Práticas de manejo inadequadas levando à degradação da terra	<b>Tecnologia Agrícola Limitada:</b> Uso limitado de tecnologia moderna, afetando a produtividade	<b>Qualidade da Água:</b> Deterioração da qualidade da água devido ao uso de agroquímicos	<b>Serviços Básicos Insuficientes:</b> Acesso limitado a serviços básicos como saúde e saneamento
	Miranda		Rio Negro	
	Impactos Ambientais	Riscos Socioeconômicos	Impactos Ambientais	Riscos Socioeconômicos
<b>Degradação da Qualidade da Água:</b> Poluição dos recursos hídricos afetando a biodiversidade aquática	<b>Renda Baixa:</b> Baixa renda per capita em comunidades rurais	<b>Degradação de Habitat:</b> Perda de habitat natural devido ao desmatamento e alterações no uso da terra	<b>Baixo IDH:</b> Índice de Desenvolvimento Humano reduzido, refletindo em baixa qualidade de vida	
<b>Desertificação:</b> Risco de desertificação devido ao manejo inadequado da terra	<b>Infraestrutura Insuficiente:</b> Falta de infraestrutura adequada para suportar o desenvolvimento sustentável	<b>Mudanças na Biodiversidade:</b> Impactos negativos sobre a biodiversidade local	<b>Migração Urbana:</b> Migração de populações rurais para áreas urbanas em busca de melhores condições de vida	

#### 4.1.4.2 Soluções metodológicas e tecnológicas para apoio à tomada de decisão e a políticas públicas derivadas do conhecimento desenvolvido no GeoPantanal

A **Tabela 6** reorganiza e sintetiza a produção científica do GeoPantanal, destacando as soluções metodológicas e tecnológicas propostas para apoiar a tomada de decisão e a formulação de políticas públicas. Essas soluções enfatizam a importância de uma abordagem integrada e baseada em dados para sustentar decisões eficazes e a criação de políticas públicas na região do Pantanal.



**Tabela 6.** Soluções metodológicas, tecnológicas e propostas de políticas públicas.

<b>Soluções Metodológicas</b>	<b>Exemplos</b>
Análise Espacial e Temporal	Aplicação de técnicas de análise espacial e temporal para monitorar alterações na paisagem e no uso da terra.
Modelagem Ambiental	Aplicação de modelos ambientais para prever impactos de diferentes cenários de uso da terra. Modelagem de dinâmica de inundações e seus impactos na biodiversidade.
Geoprocessamento	Uso de SIG para integrar e analisar dados geoespaciais. Cartografia temática para identificar áreas de risco e planejar o uso da terra.
Sensoriamento Remoto	Monitoramento de grandes áreas com imagens de satélite de alta periodicidade. Extração de informações relevantes através do processamento digital de imagens.
Análise Multicritério	Análise multicritério para apoiar decisões que envolvem fatores ambientais e socioeconômicos diversos. Aplicação em estudos de viabilidade para políticas públicas.
<b>Soluções Tecnológicas</b>	<b>Exemplos</b>
Plataformas de Monitoramento Ambiental	Desenvolvimento de plataformas on-line para visualização e acesso a dados ambientais. Sistemas de alerta precoce para secas e inundações.
Uso de Drones	Uso de drones para coletar dados de alta resolução em áreas de difícil acesso. Aplicação no monitoramento da biodiversidade e mapeamento de uso do solo.
Tecnologias de <i>Big Data</i>	Aplicação de <i>big data</i> para analisar grandes volumes de dados geoespaciais. Integração de dados de satélites, sensores terrestres e informações socioeconômicas.
Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE)	Desenvolvimento de IDEs para facilitar o compartilhamento de dados geoespaciais entre instituições. Promover a integração de dados e ferramentas analíticas.
<b>Propostas de Políticas Públicas</b>	<b>Exemplos</b>
Conservação e Gestão Sustentável	Políticas para conservação de áreas naturais e promoção de práticas agrícolas sustentáveis. Incentivos para recuperação de áreas degradadas e uso de tecnologias de baixo impacto ambiental.
Planejamento Territorial	Desenvolvimento de planos de uso da terra baseados em análises geoespaciais para minimizar conflitos e impactos ambientais. Zoneamento ecológico-econômico para guiar o desenvolvimento sustentável.
Educação Ambiental	Programas de educação ambiental para conscientizar sobre a conservação e uso sustentável dos recursos naturais. Capacitação de gestores em geoprocessamento e sensoriamento remoto.
Gestão de Recursos Hídricos	Políticas para gestão integrada de recursos hídricos, considerando a variabilidade hidrológica e mudanças climáticas. Implementação de sistemas de monitoramento e gestão de bacias hidrográficas.

## 5. Conclusões e sugestões

Ao longo das edições do GeoPantanal, o conhecimento técnico-científico desenvolvido tem sido fundamental para mapear e monitorar as diversas facetas do bioma Pantanal. O uso de geotecnologias gerou um valioso acervo de dados que subsidia a tomada de decisões e a implementação de políticas públicas.

O GeoPantanal consolidou-se como um evento de grande importância para a compreensão, monitoramento e gestão do bioma Pantanal, promovendo a troca de conhecimentos e técnicas essenciais à sua preservação e ao desenvolvimento sustentável.

Na dimensão metodológica, o GeoPantanal tem sido fundamental na disseminação de

avanços em análise espacial, modelagem ambiental e geoprocessamento. Esses métodos permitiram uma compreensão detalhada das dinâmicas do Pantanal, como variação da cobertura vegetal, inundações e impactos humanos, fornecendo subsídios essenciais para políticas públicas eficientes e baseadas em evidências.

No campo tecnológico, o GeoPantanal destacou o uso de sensoriamento remoto, como imagens de satélite Landsat e MODIS, além de drones e Big Data. Essas inovações ampliaram a capacidade de monitoramento e gestão do Pantanal, permitindo respostas rápidas a eventos extremos e democratizando o acesso a informações cruciais para gestores e comunidades locais.

Epistemologicamente, o GeoPantanal tem sido fundamental na criação de novos paradigmas na ciência ambiental, unindo geociências, biologia, agronomia e ciências sociais para oferecer uma visão holística do bioma Pantanal. Essa integração tem proporcionado uma compreensão mais profunda das interações entre os componentes naturais e humanos do Pantanal, promovendo uma gestão mais sustentável dessas relações.

A contribuição do GeoPantanal é inestimável, com soluções metodológicas e tecnológicas sendo aplicadas diretamente em projetos de conservação e desenvolvimento sustentável, como o zoneamento ecológico-econômico e políticas de gestão hídrica. O evento também promove educação ambiental e capacitação técnica, fortalecendo a conscientização e habilidades de gestores e comunidades locais para enfrentar os desafios ambientais do Pantanal.

Diante das ameaças das mudanças climáticas, como secas e queimadas no Pantanal, é urgente que os futuros eventos GeoPantanal incluam essa temática de forma mais explícita. Isso é essencial para antecipar desafios e promover uma gestão adaptativa e estratégias de adaptação e mitigação eficazes para a preservação do bioma.

Atualmente, o GeoPantanal oferece:

- Um mapeamento abrangente das geotecnologias aplicadas ao bioma Pantanal, destacando avanços, lacunas e desafios na pesquisa científica.
- Uma análise crítica do impacto dessas pesquisas na gestão e conservação do Pantanal.
- Subsídios valiosos para orientar futuras pesquisas e estratégias mais eficazes de gestão e conservação do bioma.

Em suma, o GeoPantanal é fundamental para o avanço do conhecimento e das práticas sustentáveis no Pantanal. Suas contribuições metodológicas, tecnológicas e epistemológicas são essenciais para a preservação e o desenvolvimento sustentável do bioma, servindo de exemplo de como eventos científicos podem impactar positivamente a gestão ambiental e o desenvolvimento regional. O sucesso contínuo do GeoPantanal reflete a importância da colaboração interdisciplinar e da inovação científica na busca por soluções sustentáveis para os desafios ambientais atuais.

## 6. Agradecimentos

Os autores expressam sua gratidão a todos que contribuíram para o sucesso do GeoPantanal, ressaltando a importância da colaboração interdisciplinar e do compartilhamento de conhecimentos para o avanço científico e a preservação do bioma Pantanal.

Eles também agradecem às instituições parceiras, às agências de fomento e às comunidades locais, cujo apoio e sabedoria foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e para a promoção de uma gestão ambiental sustentável e inclusiva.

## 7. Referências

Alho, Ccr. Biodiversity of the Pantanal: response to seasonal flooding regime and to environmental degradation. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68 (4, Suppl.), p. 957-966), 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500005>.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Entenda as vulnerabilidades de cada bioma envolvendo segurança hídrica e mudança do clima. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2021/09/entenda-as-vulnerabilidades-de-cada-bioma-envolvendo-seguranca-hidrica-e-mudanca-do-clima>. Acesso em: 22 maio 2024.

Cooper, H. **Synthesizing research**: a guide for literature reviews. 3rd ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 1998. 201 P.

Cunha, C. N. Da; Junk, W. J. A Preliminary Classification Of Habitat Of The Pantanal Of Mato Grosso And Mato Grosso Do Sul, And Its Relation To National And International Wetland Classification Systems. In: Junk, W. J.; Silva, C. J. Da; Cunha, C. N. Da. (Ed.). **The Pantanal: Ecology, Biodiversity And Sustainable Management Of A large neotropical seasonal wetland**. [Sofia]: Pensoft Publishers, 2011. p. 127-143.

Dey, I. **Qualitative data analysis**: a user friendly guide for social scientists. [Abingdon]: Routledge Taylor & Francis Group, 2004. 300 p.

Ebidor, L.-L.; Ikhide, I. G. Literature review in scientific research: an overview. **East African Journal of Education Studies**, v. 7, n. 2, 2024. Disponível em: <https://journals.eanso.org/index.php/eajes/article/view/1909>. Acesso em: 23 ago. 2024.

Embrapa Pantanal. Impactos ambientais e socioeconômicos no Pantanal. Disponível em: <https://www.embrapa.br/pantanal/impactos-ambientais-e-socioeconomicos-no-pantanal>. Acesso em: 22 maio 2024.

IBGE. Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000. Rio de Janeiro, 2019. p. 114. (Série relatórios metodológicos, v. 45). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101676.pdf>. Acesso em: 22 maio 2024.

Irigaray, C. T. J. H.; Cunha, C.N. Da; Junk, W. J. (org.). **Pantanal à margem da lei**: panorama das ameaças e perspectivas para a conservação. Cuiabá: Mupan, 2020. 134 p.

Irigaray, C. T. J. H.; Silva, C. J. Da; N. Da; Calheiros, D. F.; Girard, P.; Junk, W. J. Contribuição Técnico-Científica Ao Aprimoramento Do Marco Regulatório Visando À Proteção Do Pantanal Mato-Grossense. In: Irigaray, C. T. J. H.; Braun, A.; Irigaray, M. (org.). **Pantanal Legal - a tutela jurídica das áreas úmidas e do Pantanal Mato-grossense**. Cuiabá: EdUFMT, 2017. p. 127-151.

Pierozzi Junior, I.; Visoli, M. C.; Souza, M. I. F.; Cunha, L. M. S.; Vacai, I.; Torres, T. Z. Engenharia da informação: contribuições para a agricultura digital. In: Massruhá, S. M. F. S.; Leite, M. A. De A.; Oliveira, S. R. De M.; Meira, C. A. A.; Luchiari Junior, A.; Bolfe, E. L. (org.). **Agricultura digital**: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. Brasília, DF: Embrapa, 2020. cap. 8, p. 192-217.

Silva, J. Dos S. V. Da; Abdon, M. De M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. esp., 1703-1711, out. 1999. número especial. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/5064/1/073-pant.pdf>. Acesso em: 22 maio 2024.

## **Análise do potencial à erosão laminar na bacia hidrográfica do Rio dos Bugres – Mato Grosso, Brasil**

Maribel Velasco Revilla  
Lívia Angélica Siqueira de Oliveira  
Sandra Mara Alves da Silva Neves

1Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Laboratório de Geotecnologias UNEMAT (LabGeo UNEMAT)  
Av. Santos Dumont, s/n – Cidade Universitária. Bairro: Lobo  
78211-298 – Cáceres/MT.  
{maribel.velasco; lívia.angelica; ssneves}@unemat.br;

**Resumo.** A erosão gera impacto na dinâmica e funcionamento da paisagem, constituindo em um sério problema global de degradação das terras ao desencadear o seu empobrecimento. O objetivo desta pesquisa é analisar o potencial à erosão da bacia hidrográfica do Rio dos Bugres/MT, visando a geração de subsídios para o planejamento municipal. Os procedimentos metodológicos foram os seguintes: primeiro o mapa de solo juntamente com a erodibilidade que gerou mapa de erodibilidade. Esse mapa de erodibilidade juntou com o fator LS que gerou o mapa de susceptibilidade que juntamente com o mapa de uso e cobertura produziu o mapa de potencial a erosão laminar. Na bacia pesquisada em 896,54 km<sup>2</sup> (75,65%) ocorre médio potencial a erosão, 280,67 km<sup>2</sup> (23,68%) baixo potencial e em 7,86 km<sup>2</sup> (0,66%) alto potencial a erosão. Concluiu-se que os tipos de solos são responsáveis pelo maior potencial a erosão na bacia analisada.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto, Geotecnologias, Solo, Conservação da paisagem.

**Abstract.** Erosion impacts the dynamics and functioning of the landscape, constituting a serious global problem of land degradation by triggering its impoverishment. The objective of this research is to analyze the erosion potential of the Rio dos Bugres/MT watershed, aiming at generating subsidies for municipal planning. The methodological procedures were as follows: first, the soil map together with the erodibility that generated an erodibility map. This erodibility map was combined with the LS factor that generated the susceptibility map that, together with the use and coverage map, produced the laminar erosion potential map. In the basin studied, 896.54 km<sup>2</sup> (75.65%) has medium erosion potential, 280.67 km<sup>2</sup> (23.68%) has low erosion potential and 7.86 km<sup>2</sup> (0.66%) has high erosion potential. It was concluded that the soil types are responsible for the greatest erosion potential in the basin analyzed.

**Key-words:** Remote Sensing, Geotechnologies, Ground, Landscape Conservation.

## 1. Introdução

As bacias hidrográficas têm sido empregadas como unidades de estudo e estruturação, e a configuração e os arranjos espaciais dos corpos hídricos são exemplos da evolução morfo genética, influenciada pela estrutura geológica da região. Com isso, o diagnóstico da mudança ambiental é fundamental para a proposta de mecanismos de planejamento e gestão que adéquem as necessidades humanas de uso da terra às características físicas dos solos Torres et al.(2012); Carvalho,(2014); Cherem et al. (2018).

De acordo com Vilaça (2008), as bacias hidrográficas são vistas como excelentes unidades de gestão dos fatores naturais e sociais, uma vez que é possível acompanhar as alterações introduzidas pelo ser humano e as respectivas respostas da natureza. Nessa ótica, segundo Boin (2000), é de suma importância a identificação da geologia, geomorfologia e pedologia de uma bacia hidrográfica e para, dessa maneira, avaliar os processos morfo genéticos atuais sobre o meio natural.

O avanço da expansão urbana na região sudoeste de planejamento do estado de Mato Grosso tem acarretado desmatamento de grandes extensões de vegetação nativa para dar lugar as áreas de pastagens e cultivos, sem a devida prática de manejo do solo, resultando em territórios consideravelmente degradados. A avaliação da suscetibilidade e do processo de erosão hídrica do solo é fundamental para a identificação de áreas impactadas negativamente. As áreas de riscos à erosão hídrica do solo são sujeitas a desequilíbrios e instabilidades ambientais que se operam no conjunto de fatores correspondentes de um geossistema, afetado por alterações espontâneas (naturais) e/ou por intervenções antrópicas Góes (1994).

Os processos erosivos são fenômenos exclusivos da superfície e, por este motivo, as condicionantes físicas do solo exercem a principal função na mesma, seja para facilitar ou dificultar o surgimento e desenvolvimento destes processos, podendo ocorrer devido à água da chuva ou pelo vento. Os principais fatores que auxiliam na prevenção das atividades erosivas são a cobertura vegetal, podendo ser natural ou pelos resíduos culturais, a forma do relevo e a resistência que o solo possui Volk et al. (2004).

A degradação acelerada do solo se apresenta como um grande desafio, trazendo impactos significativos para a segurança alimentar, a biodiversidade e a sustentabilidade dos sistemas de produção. Esse desafio é ainda mais relevante em regiões tropicais úmidas, marcadas por terrenos acidentados e altos índices de precipitação. Compreender a interação dos elementos ambientais em uma bacia, como geologia, clima, relevo e solo, é essencial para o planejamento e gestão ambiental. A erosão do solo é um processo natural que envolve a remoção e transporte de partículas minerais e orgânicas por agentes meteorológicos, presente desde a formação da Terra e de sua atmosfera Manajós et al. (2017); Wang et al.( 2016); Larson et al. (1983).

Em meio aos cenários de desenvolvimento da agricultura, de avanços nas tecnologias agrícolas e da necessidade do aumento da produção, tem-se um considerável aumento dos processos erosivos. Esse considerável aumento é indício do declínio da fertilidade do solo e/ou destruição, de áreas que eram anteriormente férteis. Xavier et al. (2010).

A degradação causada pela água no solo ocorre quando suas partículas se fragmentam e se deslocam devido à ação dos agentes erosivos, conforme mencionado por Ellison (1947). Por outro lado, a erodibilidade é uma característica própria de cada tipo de solo, relacionada às suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas, como discutido por Albuquerque et al. (2000). A erosão do solo pode acarretar diminuição da sua capacidade produtiva, aumentando os gastos com saúde e alimentação, e contribuindo para a contaminação e obstrução de rios e córregos Nunes e Cassol, (2008).

A erosão surge como resultado da transformação da paisagem sem considerar as particularidades locais. Nessa ótica, Araújo, Almeida e Guerra (2014) alertam que a erosão é influenciada por fatores naturais, práticas agrícolas que implicam remoção da vegetação e condições climáticas e topográficas que aumentam a vulnerabilidade a processos erosivos. Portanto, ações de conservação e recuperação em áreas de preservação não bastam para prevenir a erosão.

As classes de erodibilidade dos solos permitem a identificação da resistência dos mesmos aos agentes erosivos, quando submetidos às mesmas condições de manejo, contribuindo para avaliar a susceptibilidade à erosão laminar dos solos Guerra e Botelho, (1996). Esse elemento mostra-se fundamental, principalmente para o planejamento do uso das terras, resultando em ações destinadas à organização e gestão do uso da terra.

A perda de solo por erosão reduz cada vez mais a capacidade de produtividade das terras e pode incorrer na contaminação dos cursos d'água, causando prejuízos ambientais, econômicos e sociais. O reconhecimento dos locais de maior erodibilidade e potencial erosivo pode ajudar na tomada de decisão sobre o uso e sistema de manejo a ser adotado, com base na conservação dos recursos naturais e da biodiversidade da BHRB.

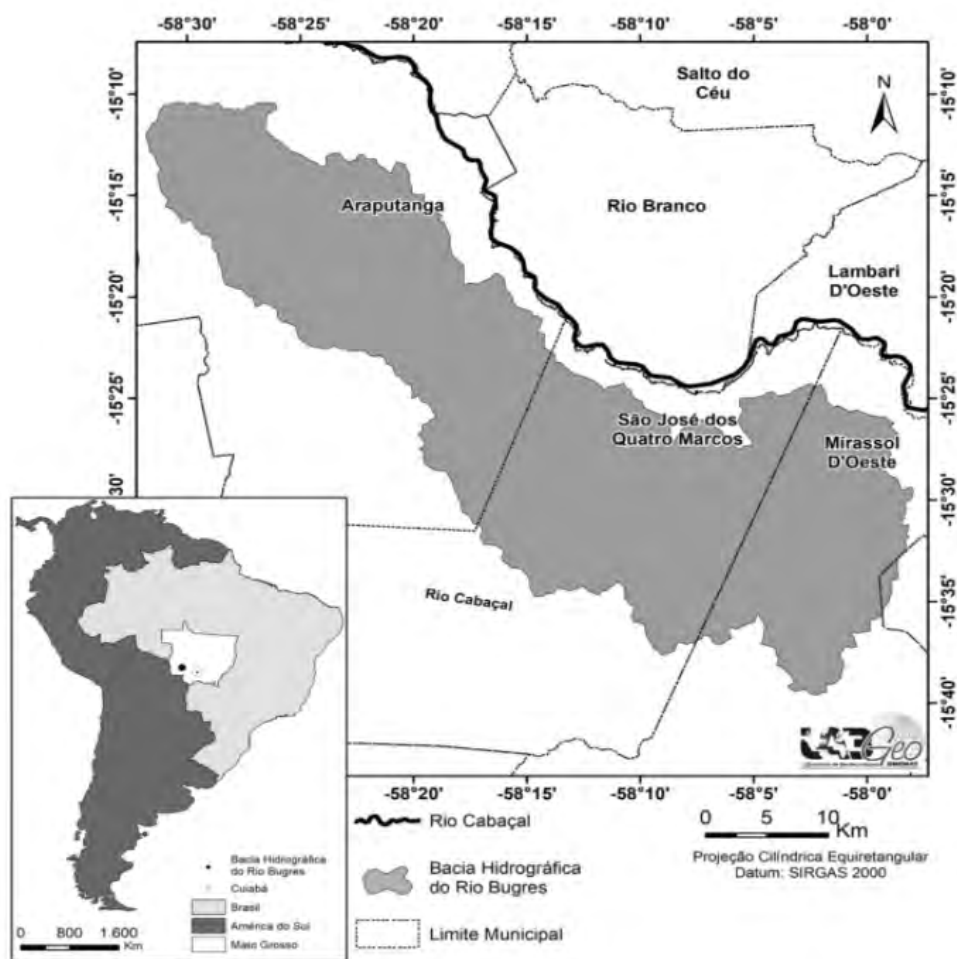
## **2. Objetivo**

O objetivo desta pesquisa é analisar o potencial a erosão do solo na bacia Hidrográfica do Rio dos Bugres, localizada na porção nordeste da Bacia Hidrográfica do Rio Cabaçal, visando a geração de subsídios para o planejamento municipal da área de estudo que está sendo investigada.

## **3. Material e Métodos**

### **3.1- Área de Estudo**

A bacia Hidrográfica do Rio dos Bugres, cuja extensão de 1.185,07 km<sup>2</sup> encontra-se nas municipalidades mato-grossenses de Araputanga contendo sua extensão territorial de 1.639,733 km<sup>2</sup>, São José dos Quatro Marcos com a extensão territorial de 1.282,763 km<sup>2</sup> e Mirassol D'Oeste totalizando sua extensão territorial de 1.085,486 km<sup>2</sup> (IBGE 2022). Está localizada na porção nordeste da bacia hidrográfica do Rio Cabaçal. Sua rede de drenagem está disposta na diagonal, sentido NO/SE. A bacia está inserida entre as coordenadas geográficas 15° 21' 0" SUL e 58° 21' 16" OESTE. (**Figura 1**).



**Figura 1.** Bacia Hidrográfica do Rio dos Bugres no contexto: sul-americano, nacional, estadual e intermunicipal.  
Fonte: Autores (2024).

Para a execução do trabalho, foi realizado o levantamento de dados dos mapeamentos produzidos por órgãos públicos (SEPLAN/MT, SEMA/MT, IBGE, INPE e ANA). Os mapeamentos de interesse foram compilados, compatibilizados e organizados em um Banco de Dados Geográficos – Banco de Dados Geográficos no Sistema de Informações Geográficas ArcGis, versão 10.7, da Esri 2019.

A cidade de Araputanga teve a estimativa de 14,786 habitantes e a densidade demográfica 9,02 habitantes por quilômetro quadrado, em São José dos Quatro Marcos possui 17,849 pessoas, tendo a sua densidade demográfica de 13,91 habitantes por quilômetro quadrado, já a cidade de Mirassol D'oeste possui 29,785 pessoas, tendo como sua densidade demográfica de 24,68 habitante por quilômetro quadrado. IBGE (2022). Tendo a cidade de Mirassol D'oeste como a mais populosa.

Os biomas que se inserem na bacia hidrográfica do Rio dos Bugres são os seguintes: na cidade de Araputanga se localizam dois biomas, a Amazônia e Cerrado, Amazônia na cidade de Mirassol D'Oeste e na cidade de São José dos Quatro Marcos se encontra também a Amazônia. IBGE, (2024).

### 3.2- Procedimentos metodológicos

Foi criado o Banco de Dados Geográficos (BDG) no programa Spring, versão 5.2.6, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (Câmara et al., 1996), cujos parâmetros cartográficos foram: sistema de coordenadas métricas (UTM) e o Datum SIRGAS 2000.

Inicialmente para a realização deste trabalho o mapa de solo (Embrapa 2013) foi compilado, compatibilizado e incorporado no Banco de Dados Geográficos (BDG) da pesquisa, operacionalizado no Sistema de Informações Geográficas ArcGis, versão 10.7 (Esri, 2019).

O mapa de erodibilidade foi gerado pela associação ao mapa de solos, cuja nomenclatura foi atualizada conforme Embrapa (2013), das informações das classes de erodibilidade Salomão (2010), conforme a **Tabela 1**.

**Tabela 1.** Potencial de erosão das unidades pedológicas da bacia de análise.

<b>Graus de potencial à erosão</b>	<b>Unidades pedológicas</b>
<b>Alto</b>	<b>Neossolos lítóico</b>
<b>Médio</b>	<b>Argissolos</b>
<b>Baixo</b>	<b>Latosolos</b>

Fonte: Autores, (2024).

Determinação do Potencial de Erosão a partir da Utilização da EUPS

$$S_{i,j} = \sqrt{Gx^2 + Gy^2}$$

Onde “Gx” é o gradiente na direção x (m/m) e o “Gy” é o gradiente na direção y (m/m).

A associação do mapa de erodibilidade ao de declividade originou o mapa de susceptibilidade à erosão laminar. A definição das classes de susceptibilidade à erosão, com base no percentual de declive, seguiu os critérios do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo - IPT São Paulo (1990).

O fator LS foi obtido pela equação proposta por Desmet e Govers (1996); onde fator L é determinado a partir da Equação 2 e a declividade (S) pela equação proposta por Zavenbergen & Thorne (1987) (Equação 3).

$$L_{i,j} = [(A_{i,j} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j})^{m+1}] + [D^{m+2} \cdot X_{i,jm} \cdot (22,13)^m] \quad (2)$$

Em que:

i e j = as coordenadas da célula localizada no mapa da bacia;

A = a área de fluxo acumulado;

D = a resolução da grade de células;

m = o expoente do comprimento das encostas;

X = o coeficiente função da direção de fluxo para grade de células com coordenadas (i,j).

Onde “A<sub>i,j</sub>” é a área de contribuição da célula, com coordenadas i,j (m<sup>2</sup>); “D” é o tamanho



da célula (m), ou seja, tamanho do pixel (no caso em estudo, 25m); “m” é o coeficiente função da declividade para grade de células com coordenadas (i,j); “x” é o coeficiente função da direção de fluxo para grade de células com coordenadas (i,j). O coeficiente “m” é determinado a partir de classes de declividade, sendo: (a) “m” igual a 0,5 para declividades maiores que 5%; (b) “m” igual a 0,4 para o intervalo de 3 a 5%; (c) “m” igual a 0,3 para o intervalo de 1 a 3%; e (d) “m” igual a 0,2 para declividades menores que 1%.

Para geração do mapeamento de cobertura vegetal e uso da terra foram processadas as bandas 3, 4 e 5 e utilizadas as imagens da órbita 227 e pontos 70 e 71, do satélite Landsat-8, sensor OLI (Operational Land Imager), referente ao período seco de 2013, com resolução espacial de 30 m, disponibilizadas no sítio do Serviço Geológico Americano.

O mapa utilizado do ano de 2013 foi referente a um dado que já havia sido gerado do seguinte projeto: modelagem de indicadores ambientais para a definição de áreas prioritárias e estratégicas à recuperação de áreas degradadas da região sudoeste de Mato Grosso–MT.

O método de ajuste e reconhecimento dos pontos de controle na imagem associado às coordenadas da base ocorreu por meio do SPRING, versão 5.6. A escolha dos pontos de controle obedeceu a uma distribuição uniforme dos pontos sobre a imagem.

O processamento digital da imagem, realizado no SPRING, realizou as seguintes fases: segmentação, método de crescimento de regiões e classificador Bhattacharya, treinamento, classificação supervisionada e mapeamento para classes temáticas.

Para segmentação, adotou-se o método de crescimento de regiões, utilizando a similaridade 2400 e área 800, parâmetros estes definidos implicitamente.

Adotou-se o método supervisionado e o classificador Bhattacharya para execução da classificação, com limite de aceitação de 99,9%. As classes de cobertura vegetal e uso da terra utilizadas foram as mesmas do Projeto de Conservação e de Utilização Sustentável da Diversidade Biológica – Probio I (BRASIL, 2004) para a área de estudo.

Foi utilizada a composição colorida, a partir da junção das bandas 3, 4 e 5 RGB. Os padrões utilizados para interpretação dos objetos contidos na imagem foram os sugeridos por Florenzano (2002), quais sejam: tonalidade/cor, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização geográfica.

O mapa de potencial de erosão foi gerado a partir da multiplicação dos mapas dos fatores K, R e LS. Os fatores C e P foram considerados como tendo o valor 1, simulando o pior cenário possível, que seria a completa retirada da vegetação e nenhuma prática de conservação do solo. Com isso, o resultado obtido demonstra a fragilidade ambiental da área em estudo, em relação à perda de solos, sem considerar os fatores antrópicos.

Para isto, foi feita inicialmente a atualização das classes de solo conforme a proposta de Embrapa (2009), em seguida foi realizada em ambiente SIG a definição do grau e classe de erodibilidade que cada tipo de solo da área de estudo possui, de acordo com Salomão (2010).

#### **4. Resultados e Discussão**

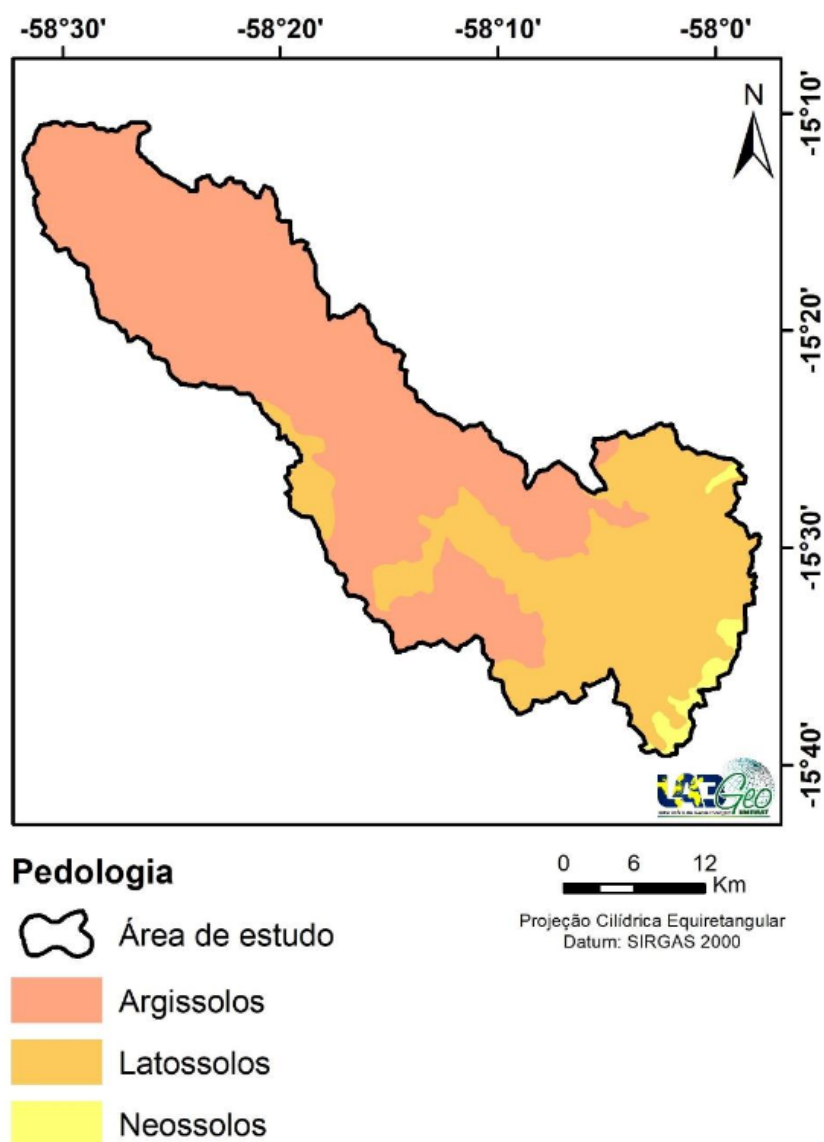
O uso pecuário nas áreas com alto potencial à erosão da bacia está associado presença de Neossolo Litólico; nas áreas de médio potencial a erosão o solo ocorre o Argissolo, utilizados para Pecuária e Agricultura patronal, que embora sejam incompatíveis com essas atividades a erosão pode ser controlada com práticas conservacionistas; e nas porções que ocorre baixo potencial estão os Latossolos, em que a atividade antrópica é reduzida e manejados de forma adequada.

A classe que prevaleceu foi a de médio potencial à erosão, pois o uso atual do solo é incompatível com a susceptibilidade à erosão laminar, esta pode ser controlada por meio de

**Tabela 2.** Potencial a erosão laminar da BHRB.

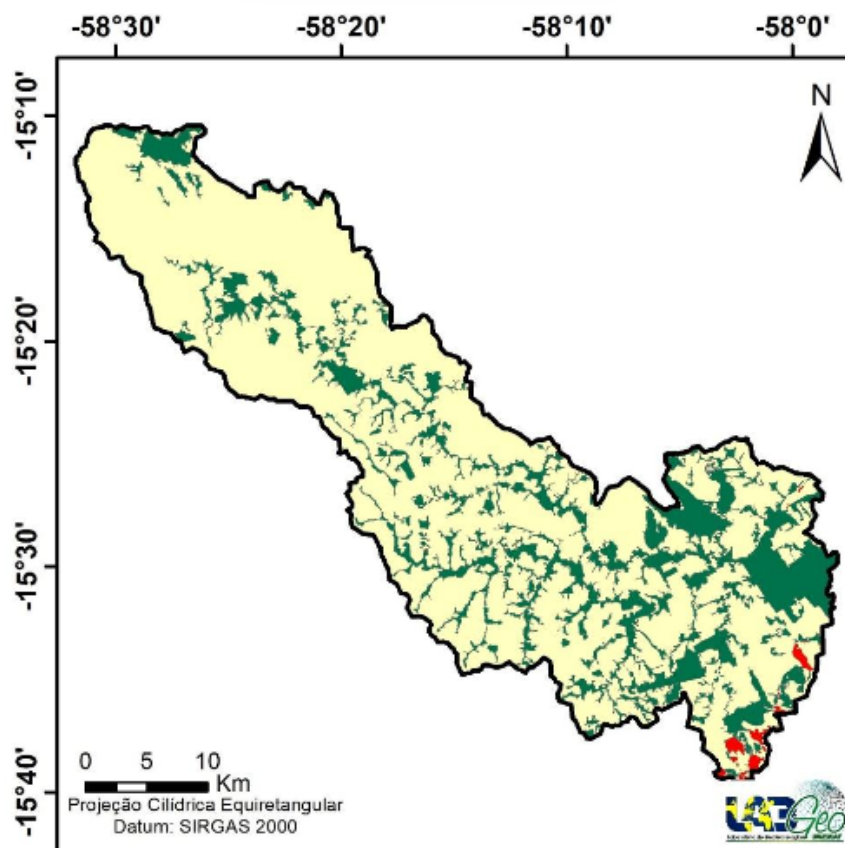
Classes	Área	
	km <sup>2</sup>	%
Alto potencial à erosão - Uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade a erosão laminar.	7,86	0,66
Médio potencial a erosão - Uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade a erosão laminar, possível de ser controlada com práticas conservacionistas.	896,54	75,65
Baixo potencial à erosão - uso atua do solo compatível com a suscetibilidade a erosão laminar.	280,67	23,68
<b>Total</b>	<b>1.185,07</b>	<b>100</b>

Fonte: Autores, (2024).







**Figura 2.** Solos da BHRB.

Fonte: Autores (2024).



#### Potencial à Erosão

-  Área de estudo
-  Alto potencial à erosão - uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar
-  Médio potencial à erosão - uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar, possível de ser controlada com práticas conservacionistas
-  Baixo potencial à erosão - uso atual do solo compatível com a suscetibilidade à erosão laminar

**Figura 3.** Potencial a erosão da BHCRB.

Fonte: Autores (2024).

práticas de manejo conservacionista do solo. Esses resultados ressaltam a importância da adoção de medidas adequadas de conservação dos componentes da paisagem e gestão do uso da terra para mitigar os impactos da erosão hídrica laminar, especialmente durante períodos chuvosos.

As áreas com alto potencial à erosão estão associadas ao uso pecuário em Neossolo litólico, sendo que o aproveitamento mais adequado destes solos se dá com manutenção da vegetação nativa e proteção das nascentes nele encontradas São Paulo, (2024).

Os resultados indicam que na bacia de estudo é indispensável a adoção de medidas adequadas de conservação da paisagem e manejo do solo para uso da terra, visando mitigar os impactos da erosão.

## 5. Conclusão.

Conclui-se que é necessária adoção de manejo conservacionista dos usos das terras para não deflagrar/acelerar processos de erosão laminar onde pode provocar os (sulcos, ravinas e voçorocas) na bacia, e prejudicando conseqüentemente o solo, e sua estrutura principalmente nas áreas de médio potencial, onde se concentra maior parte de porcentagem da erosão hídrica laminar. Considerando o potencial, a erosão laminar é mais decorrente durante períodos chuvosos. Com isso, nota-se que os tipos de solos são responsáveis pelo maior potencial a erosão na bacia analisada.

## 6. Agradecimentos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso - FAPEMAT pela concessão da bolsa de estudos das autoras, vinculadas ao Laboratório de Geotecnologias da Universidade do Estado de Mato Grosso – Campus Cáceres–MT.

Ao Laboratório de Geotecnologias da Universidade do Estado de Mato Grosso (LabGeo/ UNEMAT), pelo suporte técnico e infraestrutura essencial para a realização deste trabalho.

Sem o amparo e os recursos oferecidos por estas entidades, a conclusão deste trabalho não seria permitida. Sou grandemente agradecida pela oportunidade e disponibilidade dessas instituições com os avanços da pesquisa científica e do desenvolvimento tecnológico em Mato Grosso.

## 7. Referências.

- Boin, M. N. **Chuvvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada**. 2000. 264 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto Geográfico de Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira – PROBIO**: levantamento dos remanescentes da cobertura vegetal dos biomas brasileiros. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 14p.
- Câmara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395 - 403, may./jun. 1996.
- Carvalho, R.G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 36, p. 26-43, 2014.
- Cherem, L.F.S. et al. Controle Litoestrutural Na morfologia holocênica de planície e canal no alto curso do Rio Meia Ponte (Goiás). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, p. 837-847, 2018. <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1456>
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisas de solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 2013. 306p.
- Esri. ArcGis advanced: release 10.7.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2019.
- Florenzano, T. G. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- Góes, M. H. B. **Diagnóstico ambiental por geoprocessamento do município de Itaguaí**. 1994. 529 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 1994.
- Guerra, A. J. T.; Botelho, R. G. M. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**, n. 3, v.19, p. 99-114, 1996.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/>: Acesso em: 10 ago. 2024
- Kreitlow, P. J.; Silva, J. S. V.; Neves, S. M. A. S.; Neves, R. J.; Neves, L. F. S. Vulnerabilidade ambiental e

conflito no uso da terra no município de Mirassol D'Oeste, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 68, n 10 p 1917-1936, Nov/dez. 2016.

Larson, W. E., Pierce, F. J., Dowdy, R. H., The threat of soil-erosion to long-term crop production. **Science**, v. 219, 458–465, 1983.

Nascimento, W. M.; Villaça, M. G. Bacias Hidrográficas: Planejamento e Gerenciamento. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas**, Três Lagoas, v. 5, n.7, p. 102-121, 2008.

Nunes, M. C. M.; Cassol, E. A. Estimativa da erodibilidade em entressulcos de Latossolos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2839-2845, 2008.

Panagos, P.; Borrelli, P.; Meusburger, K.; Yu, B.; Klik, A.; Lim, K.J.; Yang, J.; Ni, J.; Miao, C.; Chattopadhyay, N.; Sadeghi, S.H.; Hazbavi, Z.; Zabihi, M.; Larionov, G.A.; Krasnov, S.F.; Gorobets, A.V.; Levi, Y.; Erpul, G.; Birkel, C.; Hoyos, N.; Naipal, V.; Oliveira, P.T.; Bonilla, C.; Meddi, M.; Nel, W.; Al Dashti, H.; Boni, M.; Diodato, N.; Van Oost, K.; Nearing, M. Ballabio, C.. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 4175, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>

Pessoa, S. P. M.; Galvanin, E. A. S.; Kreitlow, J. P.; Neves, S. M. A. S.; Nunes, J. R. S.; Zago, B. W. Análise espaço-temporal da cobertura vegetal e uso da terra na interbacia do rio Paraguai Médio-MT, Brasil. **Revista Árvore**, v. 37, n.1 p. 119-128, 2013.

Salomão, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: Guerra, A. J. T.; Silva, A. S. S.;

Botelho, R. G. M. (Orgs). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 229-267.

São Paulo (Estado). Secretaria de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Orientação para combate à erosão no estado de São Paulo, Bacia do Pardo Grande**. São Paulo: IPT, 1990.

Seplan – Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. Moreira, M. L. C.; Vasconcelos, T. N. N. (Orgs). **Mato Grosso: Solos e Paisagem**. 2007, 272p.

Torres, F.T.P.; Machado, P.J.O. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

Vilaça, Aparecida. Conversão, predação e perspectiva. **Maná**, v. 14, pág. 173-204, 2008.

Volk, L. B. S.; Cogo, N. P.; Streck, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 763-774, jul./ago. 2004.

Wang, X.; Zhao, X.; Zhang, Z.; Yi, L.; Zuo, L.; Wen, Q.; Liu, B.; Xu, J.; Hu, S.; Liu, B. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. **Catena**, v. 137, p. 256-268, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.10.004>

Xavier, F. V.; Cunha, K. L.; Silveira, A.; Salomão, F. X. De T. Análise Da Suscetibilidade À Erosão Laminar Na Bacia Do Rio Manso, Chapada Dos Guimarães, Mt, Utilizando Sistemas De Informações Geográficas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 11, n. 2, 2010. DOI: 10.20502/rbg.V11i2.151. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/151>. Acesso em: 22 jul. 2024.

## **Geotecnologias aplicadas ao planejamento turístico: investigação dos meios de hospedagens do município de Cáceres, Mato Grosso, utilizando o software QGIS**

Cheiene Batista Oliveira  
Guilherme Gomes Ribeiro  
Bruno de Souza Lima

Universidade do Estado de Mato Grosso - Unemat  
Av. Santos Dumont, s/n – Cidade Universitária. Bairro: Lobo  
78211-298 – Cáceres/MT, Brasil  
{cheiene.oliveira; guilherme.ribeiro, bruno.souza.lima}@unemat.br

**Resumo.** O turismo, quando planejado adequadamente, pode impulsionar o desenvolvimento econômico, a valorização sociocultural e a conservação ambiental. Em 2023, o setor contribuiu com 9,1% do PIB global e gerou 27 milhões de empregos. Este estudo investiga a espacialização e a variação dos meios de hospedagem em Cáceres, Mato Grosso, nos últimos 10 anos a partir do uso de geotecnologias, especificamente o software QGIS, evidenciando tal ferramenta como suporte ao planejamento turístico de Cáceres. A pesquisa utilizou uma revisão bibliográfica e dados do Plano Municipal de Turismo de Cáceres para mapear e avaliar as novas hospedagens fixas entre 2014 e 2024. A metodologia incluiu a coleta de dados sobre a localização e ano de abertura das hospedagens, processamento de informações via Google Earth e QGIS, e comparação das dinâmicas de crescimento. Os resultados indicaram que, dos 23 empreendimentos fixos catalogados, nove foram inaugurados nos últimos 10 anos, com uma tendência de localização nas áreas urbanas e próximas aos principais rios e vias. Observou-se uma predominância de novos estabelecimentos na área urbana e ao longo do rio Paraguai, destacando a relevância do turismo de pesca esportiva. As discrepâncias entre o Plano Municipal de Turismo e o Cadastur revelam a necessidade de atualização e melhor integração dos dados turísticos. Conclui-se que as geotecnologias são ferramentas estratégicas para o planejamento turístico, facilitando a visualização e análise de dados, articulado a uma gestão sustentável do turismo.

**Palavras-chave:** geotecnologias, planejamento turístico, turismo, Cáceres, PMT, QGIS.

**Abstract.** Tourism, when properly planned, can drive economic development, sociocultural enhancement, and environmental conservation. In 2023, the sector contributed 9.1% to the global GDP and generated 27 million jobs. This study investigates the spatial distribution and variation of accommodation types in Cáceres, Mato Grosso, over the past 10 years using geotechnologies, specifically the QGIS software, highlighting this tool as a support for tourism planning in Cáceres. The research used a literature review and data from the Cáceres Municipal Tourism Plan to map and assess new fixed accommodations between 2014 and 2024. The methodology included data collection on the location and year of establishment of the accommodations, processing information via Google Earth and QGIS, and comparing growth dynamics. The results indicated that out of the 23 cataloged fixed establishments, nine were opened in the last 10 years, with a trend towards locations in urban areas and near major rivers and roads. A predominance of new establishments in the urban area and along the Paraguay River was observed, highlighting the significance of sport fishing tourism. Discrepancies between the Municipal Tourism Plan and Cadastur reveal the need for updates and better integration of tourism data. It is concluded that geotechnologies are strategic tools for tourism planning, facilitating data visualization and analysis, and contributing to sustainable tourism management.

**Key-words:** geotechnologies, tourism planning, turismo, Cáceres, MTP, QGIS.

## 1.Introdução

Enquanto atividade econômica, o Turismo, quando organizado e planejado adequadamente, se apresenta como uma relevante estratégia de desenvolvimento econômico, valorização sociocultural e possibilidade de subsídios para a promoção da conservação ambiental. Segundo o WTTC, *World Travel and Tourism Council* (2023), o setor de viagens e turismo, em 2023, contribuiu com 9,1% para o PIB global, com geração de 27 milhões de novos empregos. No Mato Grosso, os últimos dados apontam 8.015 ocupações formais relacionadas ao setor, sendo destas, 392 no município de Cáceres ONT (2020). É notória a movimentação econômica do turismo na economia brasileira e local, estimulando assim a necessidade de organização do destino turístico quanto sua infraestrutura, a fim de disponibilizar para o usuário serviços de hospedagem, transporte, alimentação, comércios, eventos e similares Aranha et al. (2014).

Nesse sentido, a gestão territorial, associado ao planejamento turístico, se apresenta enquanto uma estratégia de organização, tanto para promoção da qualidade turística, quanto para a implementação de um turismo mais sustentável, atrelado à conservação e preservação do meio ambiente e as necessidades socioeconômicas da comunidade local. Em paralelo, a Geografia tem seu papel nesse planejamento, a exemplo, no estudo territorial e dos elementos da paisagem, na análise de dados georreferenciados, em relação ao destino turístico, também a partir do uso da cartografia no planejamento, “atendendo às necessidades dos órgãos responsáveis pelo planejamento e pela gestão da atividade turística” Aranha et al. (2014), (p. 32).

A implementação destas práticas de planejamento, podem ser facilitadas utilizando-se de ferramentas tecnológicas que auxiliam na análise de dados, no caso desta investigação, das geotecnologias, as quais auxiliam desde o monitoramento ambiental, até a análise das dinâmicas territoriais e sua influência nas atividades turísticas, integrando informações que auxiliarão aos gestores/organizadores, também aos usuários/turistas, a partir da associação entre o Turismo e a Geografia Timothy (2017) Mironova (2023).

As geotecnologias digitais trabalham como armazenadores e manipuladores de dados georreferenciados, com saída de dados cartográficos, e têm entre suas funcionalidades: sensoriamento remoto, GPS (Sistema de Posicionamento Global) e SIG's (Sistemas de Informação Geográfica). No caso do SIG, ressalta-se que este “apresenta uma ampla variedade de recursos para análise espacial, seja para revelar padrões por meio de eventos pontuais, areas ou por superfícies contínuas” Venturi (2011), (p. 273).

Nas discussões que envolvem o Turismo, autores como Boers e Cottrell (2007), Cerezo

Medina e Galacho Jiménez (2011), Niño e Danna (2016) e Singh, Mukherjee e Mukherjee (2021), destacaram como as geotecnologias contribuem no planejamento turístico, planejamento territorial (associado ao turismo), favorecendo desde o levantamento de dados para conhecimento do território, perpassando pela avaliação de potenciais turísticos, até a promoção de novos destinos e a redução de estresse ambiental em locais de grande fluxo turístico.

A partir do exposto, a presente investigação propõe a aplicação das geotecnologias como auxílio na compreensão das dinâmicas de crescimento de hospedagens no município de Cáceres, Mato Grosso, mais especificamente, através do uso da ferramenta QGIS, um software SIG, livre, com código-fonte aberto, voltado à gestão e utilização de dados georreferenciados.

Para tanto, faz-se necessário uma caracterização inicial do município. Conforme Faria (2014), no estado de Mato Grosso, os seus 141 municípios estão integrados a três biomas, o bioma Amazônia, Cerrado e Pantanal, entre eles, Cáceres é o único onde os três biomas estão presentes, com predomínio do Pantanal. A cidade de Cáceres conta com 89.681 habitantes, distribuídos em uma área total de 24.495,510 km<sup>2</sup>, sendo 33,15 km<sup>2</sup> de área urbanizada, e corresponde a uma densidade demográfica de 3,66 km<sup>2</sup> IBGE (2022).

A respeito do Pantanal, Leite e Backes (2016) ressaltam que é uma região que passa por ciclos de inundação, com fases de enchente, cheia, vazante e seca, transformando a paisagem e a ecologia do local de maneira sazonal. Assim, durante a estação das chuvas, vastas áreas planas ficam submersas, enquanto as áreas mais elevadas, como os capões e cordilheiras, permanecem secas. O bioma Pantanal é reconhecido pela Convenção Ramsar (Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional) como um sítio de significativa importância ecológica por abrigar muitas espécies de peixes e aves, também é considerado patrimônio natural da humanidade pela Unesco.

A cidade de Cáceres, inserida neste contexto, está localizada as margens do rio Paraguai, sendo uma cidade centenária, é considerada patrimônio cultural do Brasil, através do seu conjunto arquitetônico, urbanístico e paisagístico sendo tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em 1981. O tombamento visou proteger e preservar o patrimônio histórico e cultural da cidade, conhecida por seu valor histórico e arquitetônico. No Plano Municipal de Turismo (PMT) de Cáceres, é sobressaltado o turismo de pesca como principal fluxo turístico do município, também é mencionado que existem demandas esporádicas para os festejos religiosos, assim como segmentos efetivos como turismo de saúde e de negócios, além de uma demanda em potencial para ecoturismo, turismo cultural, rural, de aventura e outros Cáceres (2022).

No PMT também são discutidas ações para implementação de segmentos turísticos no município, políticas públicas para promoção do turismo em Cáceres, assim como ações para melhorias das demandas dos segmentos já consolidados. Todas essas discussões perpassam um eixo central: planejamento e instrumentos ou ferramentas estratégicas. Além disso, o PMT é pautado no DTI (Destino Turístico Inteligente), que tem como estratégia-base a governança, a tecnologia, a experiência turística e a sustentabilidade Cáceres (2022). Para tal, o uso de geotecnologias na gestão turística se alinha a esta estratégia, potencializando a construção de ações inteligentes dentro do PMT.

Para tanto, este estudo propõe o uso de geotecnologias digitais como ferramenta de apoio ao planejamento e desenvolvimento turístico do município de Cáceres, Mato Grosso, tendo como análise o mapeamento da evolução dos meios de hospedagem no município nos últimos 10 anos, com o intuito de compreender as dinâmicas de abertura e localização destas, utilizando como ferramenta metodológica o software QGIS.



## 2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi investigar e compreender a evolução no quantitativo de meios de hospedagem no município de Cáceres, Mato Grosso, a partir do uso de geotecnologias, mais especificamente, por meio do software QGIS.

## 3. Material e Métodos

Como procedimento metodológico, partiu-se da análise documental do Plano Municipal de Turismo, evidenciando as discussões relativas às atividades turísticas desenvolvidas no município de Cáceres, Mato Grosso, bem como foram realizadas revisões bibliográficas em artigos e livros, sobre o uso de geotecnologias aplicadas ao Turismo e sua importância para o planejamento turístico e gestão territorial.

A fim de demonstrar o uso das geotecnologias no planejamento turístico do município, utilizou-se a ferramenta QGIS, versão 3.4.6, como instrumento de geração de dados para análise da dinâmica de crescimento das hospedagens nos últimos 10 anos (2014-2024), tendo como base inicial as hospedagens incluídas no Plano Municipal de Turismo de Cáceres.

Nesta fase, seguiram-se os seguintes passos: listagem das hospedagens que constam no PMT; evidenciou-se após a fase anterior, 24 hospedagens catalogadas, as quais foram elencadas como amostragem da pesquisa; a partir do levantamento inicial, buscou-se a data de abertura dos meios de hospedagem a partir da consulta de CPNJ (Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica) de cada uma, inicialmente através do site <https://cnpj.biz/>; levantamento da localização das hospedagens através do Google Earth, seguido da geração de um arquivo KML com a geometria dos pontos de cada; hospedagem da geometria no QGIS a partir da organização de arquivo no formato shapefile; geração do mapa de localização e comparação do aumento das hospedagens nos últimos 10 anos.

Para melhor identificação da localização das hospedagens, consideraram-se nesta pesquisa apenas os empreendimentos fixos, como hotéis, pousadas, hotéis-fazenda, entre outros. Devido à mobilidade dos barco-hotéis durante as temporadas de pesca, bem como a variação e imprecisão de informações sobre os períodos de oferta exclusivamente de serviços de hospedagem, optou-se por não considerar estes empreendimentos na presente investigação, uma vez que, tais fatos elencados dificultam a análise espacial precisa dos dados tratados.

A fim de melhor compreender a dinâmica das hospedagens, as análises da localização dos empreendimentos foram realizadas, tendo como referência-base as hospedagens que constam com abertura anterior a 2014, isto é, foi realizada uma comparação dos meios de hospedagens dos últimos 10 anos (2014-2024) em relação aos empreendimentos com data de abertura anteriores, possibilitando o levantamento e análise de um padrão das localizações.

## 4. Resultados e Discussão

**Tabela 1** indica as hospedagens, por ordem alfabética, assim como o respectivo ano de abertura, com exceção do local “Recanto Santa Rosa Pantanal”, o qual não foi encontrado a data de abertura, seja por pesquisa, seja por contato via telefone com o empreendimento.

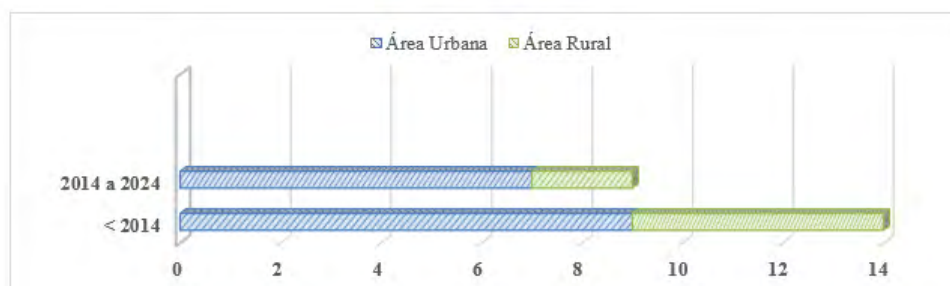
Dos 23 empreendimentos fixos averiguados, apenas nove tiveram sua abertura nos últimos 10 anos (2014 – 2024), sendo sete desses, com abertura na área urbana do município (**Figura 1**).

A maior concentração dos meios de hospedagem está na área urbana do município (**Figura 2**), como anteriormente mencionado. Das sete instalações urbanas com abertura nos últimos dez anos, duas estão próximas à borda do rio Paraguai e três seguem ao longo da via principal, Br-070. Aqueles com abertura anterior, em sua maioria, possuem o mesmo padrão de

**Tabela 1.** Levantamento das hospedagens fixas no município de Cáceres.

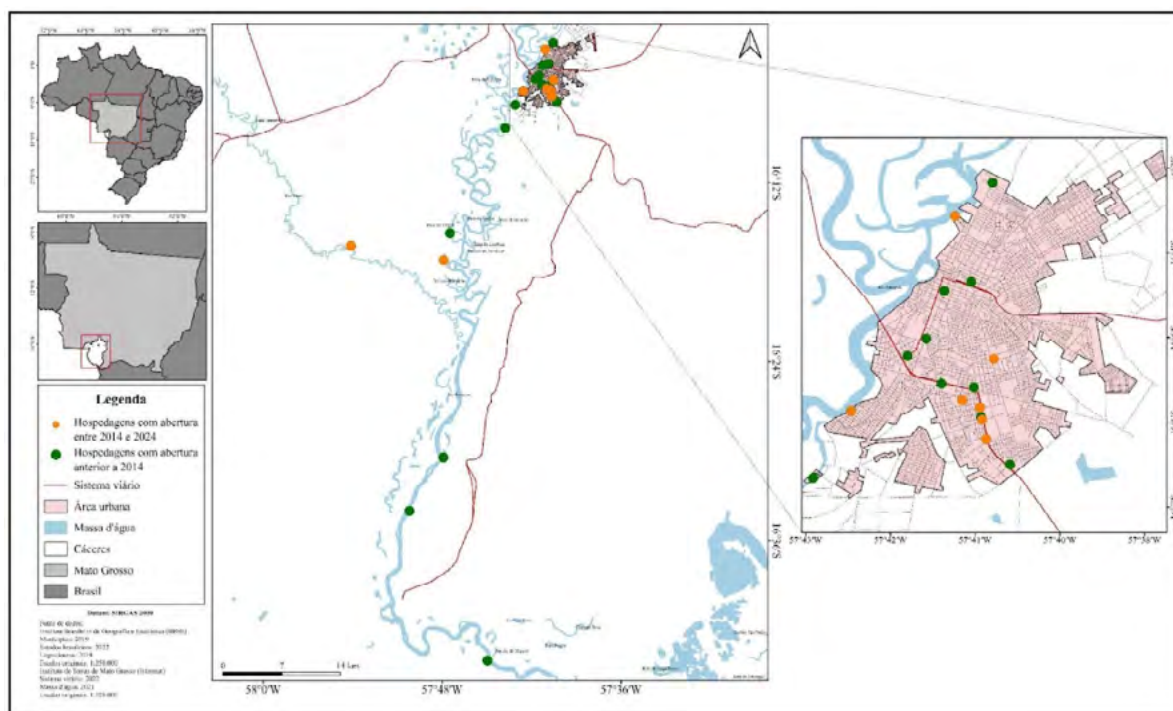
Nome Fantasia	Endereço	Ano de abertura
Baiazinha Pantanal Eco Lodge	Estrada Barranco Vermelho, S/N, Km 50, próximo a Fazenda Grandene.	2011
Descalvados Pantanal Lodge	Fazenda Descalvados, Margem Direita do Rio Paraguai, km 140, s/n, Zona Rural.	2010
Eco Pousada Sinimbu	Travessa dos Minervinos, n°31, Cavallhada.	2014
Fazenda Barranco Vermelho	Rodovia BR-070, km 719, entrada a direita, + 55 km, S/N, Zona Rural, Margem esquerda do Rio Paraguai.	1985
Gasparim Grand Hotel	Rua 13 de Junho, n°350 - Centro	2000
Hotel Aki	BR 070 km 726, n° 2714	2007
Hotel BR	Avenida São Luiz, n°1703 - Jardim União	2015
Hotel Lider	Rua José Linhares, n° 408 - Cidade Nova	2022
Hotel Monte Carlo	Rodovia 070, n° 2744 - Cidade Nova	2017
Hotel Pantanal 3 Rios	BR 070, Fazenda Lucaisa, s/n - Baía do Alegre	2018
Hotel Porto Bello	Avenida São Luiz, n° 1888 - Jardim Cidade Nova	1998
Hotel Regional	Avenida Getúlio Vargas, n° 2085 - Centro	2021
Hotel São Lucas	Rua dos Jornaleiros, n° 27 - Jardim Vitória Régia	2001
La Barca hotel	Rua General Osório s/n - Centro	2001
Lorcas Tur	Av. Deputado Dornevil Faria, n° 411, Jd. São Luiz da Ponte	2006
Pousada Fordinho	Rua das Quidás, n°950 - Bairro Garcês	1992
Pousada GB	Rua das Areiras, s/n, Jardim da Oliveiras	2017
Pousada Rio Jauru	BR-070, km 35, s/n, Comunidade Porto do Limão	2015
Recanto Arara Azul	Zona Rural	2013
Recanto do Dourado	BR 070 Km 10 - Baía do Alegre	2002
Recanto Santa Rosa Pantanal	Rua das Maravilhas, n° 2349 - Santa Rosa	*
Riviera Pantanal Hotel	Rua General Osório, n°540 - Centro	2007
Turazzi Hotel	BR 070 n° 1000 - Jardim Cidade Nova	2014
Village Hotel	Rodovia 070, n° 3001 - Jardim Marajoara	2009

Fonte: Adaptado do Plano Municipal de Turismo de Cáceres, 2022.



**Figura 1.** Dinâmica de crescimento e localização dos meios de hospedagens em Cáceres, Mato Grosso.

Fonte: Autores (2024).



**Figura 2.** Localização de estabelecimentos de hospedagens incluídos no PMT de Cáceres, Mato Grosso.

Fonte: Autores (2024).

localização, isto é, próximo às vias principais de acesso, Br-070 e MT-343.

A sentindo de comparação, entre as hospedagens dos últimos 10 anos e as anteriores, é possível observar que as antecessoras, localizadas na área rural, seguem a borda do rio Paraguai, principal rio do bioma Pantanal, ou de seus afluentes (como o rio Jauru), o mesmo ocorre com as de abertura posterior a 2014 (ainda na área rural), todas as hospedagens citadas, se encontram no bioma Pantanal. Neste comparativo, observa-se uma tendência na abertura de novos meios de hospedagem, que segue o mesmo padrão dos estabelecimentos mais antigos, seja em locais de fácil acesso pelo turista ou em localidades que estejam próximas ao rio.

No PMT do município, há um destaque na valorização de Cáceres como um destino turístico do Pantanal Mato-grossense, assim como enquanto um local de destino do turismo de pesca esportiva, tendo o rio Paraguai como parte deste destino, o que justificaria a localização das hospedagens.

Na região do Pantanal de Cáceres, a demanda é caracterizada pelo fluxo atraído para a pesca, com períodos bem definidos de alta e baixa temporada, em função da Piracema, em que há proibição da pesca (geralmente de outubro a janeiro). Esse fluxo é oriundo principalmente dos Estados de Goiás, São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, dentre outros, além dos turistas estrangeiros, principalmente vindos da Europa (Cáceres, 2022, p. 43

O município conta com a recepção de visitantes domésticos (157.853 visitantes) e internacionais (1.203 visitantes), parte deles durante o Festival Internacional de Pesca (FIPE), que a partir da década de 1990, fortalece o turismo de pesca na região, passando a ser reconhecido como o maior festival de pesca embarcada do mundo e um dos principais atrativos turísticos de Cáceres Sebrae (2022),Brasil (2024).

Em paralelo às discussões, é preciso trazer algumas considerações a respeito dos

levantamentos desta pesquisa, como a inconsistência de informações entre o PMT de Cáceres e o Cadastur do Ministério do Turismo, sistema de cadastro de pessoas físicas e jurídicas que atuam no setor de turismo. Enquanto no primeiro são listados 24 meios de hospedagens, no segundo, apenas sete são catalogados, mesmo que, segundo o próprio Cadastur, este credenciamento no sistema é obrigatório conforme a Lei n.º 11.771, de 17 de setembro de 2008 Brasil, (2008).

O planejamento turístico é dependente da cooperação entre múltiplos agentes locais, privados e públicos, o que muitas vezes dificulta a execução de um projeto compatível com as necessidades do destino/município Andergassen et al. (2017), no entanto, a implementação de um planejamento sustentável permite uma melhor compreensão desses fluxos turísticos e seus impactos econômicos e ambientais, principalmente em áreas turísticas com biomas e corpos d'água afetados pela degradação ambiental, como o Pantanal e do rio Paraguai, em Cáceres.

Bahaire e Elliott-White (1999), já discutiam que como os sistemas de informação geográficas são incorporados aos processos de planejamento, são também um reflexo das relações de poder a estes associada, portanto, a partir desta pesquisa, reforça-se aqui que o uso dos SIGs e das geotecnologias no geral, devem promover o desenvolvimento local, envolvendo os moradores locais, pensando em uma distribuição dos benefícios do turismo e deste planejamento Swarbrooke (2000).

## 5. Conclusões

A análise realizada neste estudo evidencia a importância crescente das geotecnologias no planejamento e na gestão do turismo, particularmente em contextos com complexidades territoriais e ambientais, como o município de Cáceres, Mato Grosso. A aplicação do software QGIS para o mapeamento e análise do crescimento das hospedagens ao longo da última década demonstrou uma tendência consistente na localização desses estabelecimentos, que acompanha o padrão histórico de proximidade com as principais vias de acesso e corpos d'água, refletindo a forte influência do turismo de pesca esportiva na região.

Os resultados indicam que a maioria dos novos empreendimentos está situada na área urbana do município, como próximo ao rio Paraguai e nas vias principais, corroborando a relevância dessas localizações para a atração de turistas, reforçando a necessidade de um planejamento integrado que leve em consideração tanto o crescimento dos estabelecimentos quanto a preservação ambiental e a valorização das características locais.

Vale pontuar que a discrepância entre as informações disponíveis no Plano Municipal de Turismo de Cáceres e no Cadastur, sugere a necessidade de uma atualização dos dados turísticos, a fim de promover a cooperação entre agentes públicos e privados diminuindo lacunas que possam prejudicar um planejamento turístico apropriado no município.

A integração de geotecnologias no planejamento turístico facilita a visualização e análise de dados geoespaciais, essas ferramentas auxiliam na formulação de estratégias integradas entre desenvolvimento socioeconômico e a conservação ambiental, alinhando-se aos objetivos de sustentabilidade e valorização do turismo do município. Portanto, esta pesquisa salienta a necessidade do uso de geotecnologias como instrumentos estratégicos no planejamento turístico.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas de mestrado concedidas.

## 7. Referências

- Andergassen, R.; Candela, G.; Figini, P. The management of tourism destinations: A policy game. **Tourism economics**, v. 23, n. 1, p. 49-65, 2017.
- Aranha, R. C.; Guerra, A. J. T (org.). **Geografia aplicada ao turismo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 192 p.
- Bahaire, T.; Elliott-White, M.. The application of geographical information systems (GIS) in sustainable tourism planning: A review. **Journal of Sustainable Tourism**, v. 7, n. 2, p. 159-174, 1999.
- Boers, B.; Cottrell, S.. Sustainable tourism infrastructure planning: A GIS-supported approach. **Tourism geographies**, v. 9, n. 1, p. 1-21, 2007.
- Brasil. Ministério do Turismo. **Mapa do Turismo 2024**. Disponível em: <https://www.mapa.turismo.gov.br/mapa/init.html#/home>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- Brasil. Lei n.º 11.771, de 17 de setembro de 2008. **Dispõe sobre a Política Nacional de Turismo, define as atribuições do Governo Federal no planejamento, desenvolvimento e estímulo ao setor turístico**. Brasília, DF. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2008/Lei/L11771.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Lei/L11771.htm). Acesso em: 10 ago. 2024.
- Cáceres (MT). **Plano Municipal de Turismo (2022-2030)**. Cáceres, MT, 2022.
- Cerezo Medina, A.; Galacho Jiménez, F. B. Propuesta metodológica con SIG para la evaluación de la potencialidad del territorio respecto a actividades ecoturísticas y de turismo activo: aplicación en la Sierra de Las Nieves (Málaga, España). **Investigaciones Turísticas**, n. 1, 2011.
- Faria, A. M. M. **Perspectivas para o desenvolvimento de Mato Grosso: um olhar territorial para o desenvolvimento: Centro-Oeste**. Brasília: BNDS, 2014. 30p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cáceres-MT. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/caceres/panorama>. Acesso em: 22 agosto. 2024.
- Leite, A. C.; Backes, D. A. P. O turismo no estado de Mato Grosso: Análise das características e planos estratégicos. In: IV Congresso de Administração do Sul de Mato Grosso. **Anais...** Rondonópolis: Universidade Federal de Mato Grosso, 2016. p. 1-19. Disponível na biblioteca digital: <https://eventosacademicos.ufmt.br/index.php/CONASUM/IV-Conasum/paper/viewFile/789/274>> Acesso em: 01 ag. 2024.
- Mironova, Y. The use of geoinformation technologies in tourism organization. **Russian journal of resources, conservation and recycling**, v. 10, n. 2, 2023.
- Niño, S. G.; Danna, J. P. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en turismo como herramienta de desarrollo y planificación territorial en las regiones periféricas. **CIDADES, comunidades e Territorios**, n. 32, p. 134-147, 2016.
- ONT, Observatório Nacional do Turismo. Perfil socioeconômico das ocupações do setor de turismo no Brasil. Disponível em: <https://paineis.turismo.gov.br/extensions/observatorio/perfil.html>. Acesso: 20 jun. 2024
- Sebrae. **Diagnóstico Integrado do Turismo do Bioma Pantanal Mato-grossense**. 2022. 167 p.
- Singh, M.; Mukherjee, S.; Mukherjee, M.. Recent development in Geospatial Platform and its significance in Tourism Planning. In: 2021 2nd International Conference on Intelligent Engineering and Management (**ICIEM**). IEEE, 2021. p. 40-45.
- Swarbrooke, J. **Turismo sustentável: conceitos e impacto ambiental**. São Paulo: Aleph, 2000. 140 p.
- Timothy, D. Geography: the substance of tourism. **Tourism Geographies**, v. 20, n. 1, 166–169, 2017.
- Venturi, L. A. B. (org.). **Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula**. São Paulo: Sarandi, 2011.
- WTTC. **Economic Impact, World Travel & Tourism Council (WTTC)**. Disponível em: <https://wttc.org/Research/Economic-Impact>. Acesso: 20 jun. 2024.

## Uso da terra e tendência de supressão vegetal na área de influência do rio Paraguai no município de Cáceres-MT

Jesã Pereira Kreitlow <sup>1</sup>  
Sandra Mara Alves da Silva Neves <sup>1</sup>  
Solange Kimie Ikeda Castrillon <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Laboratório de Geotecnologias UNEMAT (LabGeo UNEMAT)  
Av. Santos Dumont, s/n – Cidade Universitária. Bairro: Lobo  
78211-298 – Cáceres/MT.  
{kreitlow.jesa; ssneves}@unemat.br

<sup>2</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCA  
Av. Santos Dumont, s/n – Cidade Universitária. Bairro: Lobo  
78211-298 – Cáceres/MT.  
solangeikeda@unemat.br

**Resumo.** A supressão da vegetação nativa no município brasileiro de Cáceres/MT, tem acarretado degradação ambiental de áreas sensíveis e causado danos no Pantanal mato-grossense. O objetivo deste estudo é investigar a tendência de redução da cobertura vegetal no corredor fluvial do rio Paraguai no município de Cáceres-MT, de 1985 a 2022, projetando cenários futuros. A equação de Tendência Média Geométrica de Desmatamento, aponta que se mantiver o padrão dos últimos anos, até o ano de 2076 as formações vegetais e os cursos hídricos devem ser totalmente suprimidos, excetuando as protegidas por lei. Concluiu-se que a redução da Cobertura Vegetal e dos Corpos d'Água são indicativos dos impactos ambientais negativos causados na paisagem investigada. Sugere-se para que os cenários estimados não ocorram é necessário que os parâmetros do Código Florestal devem ser aplicados e fiscalizados.

**Palavras-chave:** área de preservação permanente, Pantanal, desmatamento, mapbiomas, cenários futuros.

**Abstract.** The suppression of native vegetation in the Brazilian municipality of Cáceres/MT has led to environmental degradation of sensitive areas and caused damage to the Mato Grosso Pantanal. The aim of this study is to investigate the trend of vegetation cover reduction in the Paraguay River corridor in the municipality of Cáceres-MT, from 1985 to 2022, projecting future scenarios. The Geometric Mean Deforestation Trend equation indicates that if the pattern of recent years continues, by 2076 the vegetation formations and watercourses should be completely suppressed, with the exception of those protected by law. It was concluded that the reduction in vegetation cover and water bodies are indicative of the negative environmental impacts caused in the landscape investigated. It is suggested that in order for the estimated scenarios not to occur, the parameters of the Forest Code must be applied and monitored.

**Key-words:** permanent preservation area, Pantanal, deforestation, mapbiomas, future scenarios.

## 1. Introdução

A substituição da vegetação nativa na Bacia do Alto Paraguai (BAP), para a implantação da Agricultura nas áreas de Planalto e Pecuária nas regiões de Planície, tem causado problemas ambientais para o bioma Pantanal, como o assoreamento dos cursos hídricos que deságuam no rio Paraguai e a perda da biodiversidade.

O bioma Pantanal foi declarado Patrimônio Nacional pela Constituição Brasileira, e até a década de 1970, a principal atividade agropecuária que ocorria era a pecuária extensiva com a utilização das pastagens naturais e praticamente não havia agricultura na região da Bacia do Alto Paraguai Padovani (2017).

A supressão da vegetação nativa da porção da BAP localizada no estado de Mato Grosso, tem ocorrido com maior intensidade nas áreas de Planalto onde estão localizados os biomas Amazônia e Cerrado, no entanto, nos últimos anos tem ocorrido um aumento no desmatamento das áreas de planície para a substituição das pastagens naturais por espécies exóticas Ramos et al. (2023).

De acordo com Alho (2011), o bioma Pantanal possui como característica principal os ciclos de inundação sazonal, por este motivo, ocorrem plantas e animais adaptados ao regime hidrológico, sendo que a principal ameaça ao bioma ocorre a partir da conversão das áreas naturais por atividades agropecuárias que causam a alteração ou perdas de habitats.

A supressão da vegetação nativa de áreas localizadas no bioma Pantanal, não possui um padrão de comportamento espectral que seja homogêneo em todo o bioma, isto dificulta a implementação de técnicas de mapeamento por algoritmos, cada região do bioma possui um padrão de desmatamento, que depende do ambiente local ser seco ou úmido Abdon (2009). Neste contexto, Silva et al. (2011) destacam que valores superestimados de desmatamento no bioma Pantanal por meio de mapeamentos automatizados podem resultar em taxas irreais e tendências que penalizam quem preserva e em última instância, acabam por induzir a criação de políticas públicas que inviabilizem o desenvolvimento socioeconômico da região onde o bioma está inserido.

Fernandes e Campello (2023), destacam que os danos ambientais causados no bioma Pantanal afetam diversos Direitos Humanos, principalmente o direito ao Meio Ambiente Equilibrado, para estas autoras, a única forma de garantir este Direito, é a partir da implementação de ações multidisciplinares e cooperativas entre atores sociais, empresas e governos, visando o uso sustentável dos recursos naturais presentes no Bioma a longo prazo.

Autores como Rudke et al. (2020), apontam que o desenvolvimento de técnicas de geoprocessamento, possuem aplicabilidade além da detecção dos impactos das atividades minerárias ilegais, por disponibilizar informações de áreas que sofrem com pressão antrópica, de forma imparcial e que estas técnicas podem auxiliar no monitoramento de áreas que estão sendo degradadas.

A utilização das geotecnologias para o mapeamento, como exemplo, focos de incêndios florestais tem-se tornado uma importante ferramenta para o planejamento ambiental, por permitir a implementação de planos de contingência e protocolos de combate aos incêndios, visando a prevenção, resposta e recuperação de áreas afetadas, a partir do gerenciamento executado por agências ambientais e de defesa civil Camargo et al. (2020).

As geotecnologias, tem se tornado um conjunto de ferramentas eficiente para a análise espacial e multitemporal de bacias hidrográficas, por permitirem a realização de análises a partir de imagens de satélites, objetivando avaliar a qualidade ambiental dos recursos naturais disponíveis e os impactos que esta tem sofrido no decorrer dos anos Santana et al. (2020).

Nos últimos anos, dentre as geotecnologias, o sensoriamento remoto tem alcançado importantes avanços a partir da expansão dos nanossatélites e CubeSats, que possuem menor tamanho e peso, acarretando menor custo de produção, por este motivo empresas comerciais estão desenvolvendo suas próprias constelações que buscam atender a demandas específicas Nagel et al. (2020).

Souza Junior et al. (2020), destacam que o Brasil possui um programa de monitoramento da cobertura vegetal e dos usos da terra dos biomas, no entanto, existem lacunas de informações anuais de monitoramento, por este motivo, foi criado o projeto MapBiomas, sendo que os autores destacam que este projeto é de grande importância por disponibilizar informações que podem alavancar a ciência no Brasil e auxiliar na tomada de decisão e criação de políticas públicas pelos gestores governamentais.

Neves et al. (2020) apontam que os mapeamentos de cobertura vegetal e uso da terra devem possuir alta qualidade para que o monitoramento e a avaliação ambiental ocorram de forma confiável, sendo que segundo os autores, para o bioma Amazônia existem os mapeamentos dos projetos TerraClass e MapBiomas. Conforme mencionado pelos autores, não é recomendado a utilização dos dois mapeamentos em um único estudo por estes possuírem processos metodológicos diferentes e em até certo ponto conflitantes.

## **2. Objetivo**

O estudo objetivou investigar a tendência de redução da cobertura vegetal no corredor fluvial do rio Paraguai no município de Cáceres-MT, de 1985 a 2022, projetando cenários futuros.

## **3. Material e Métodos**

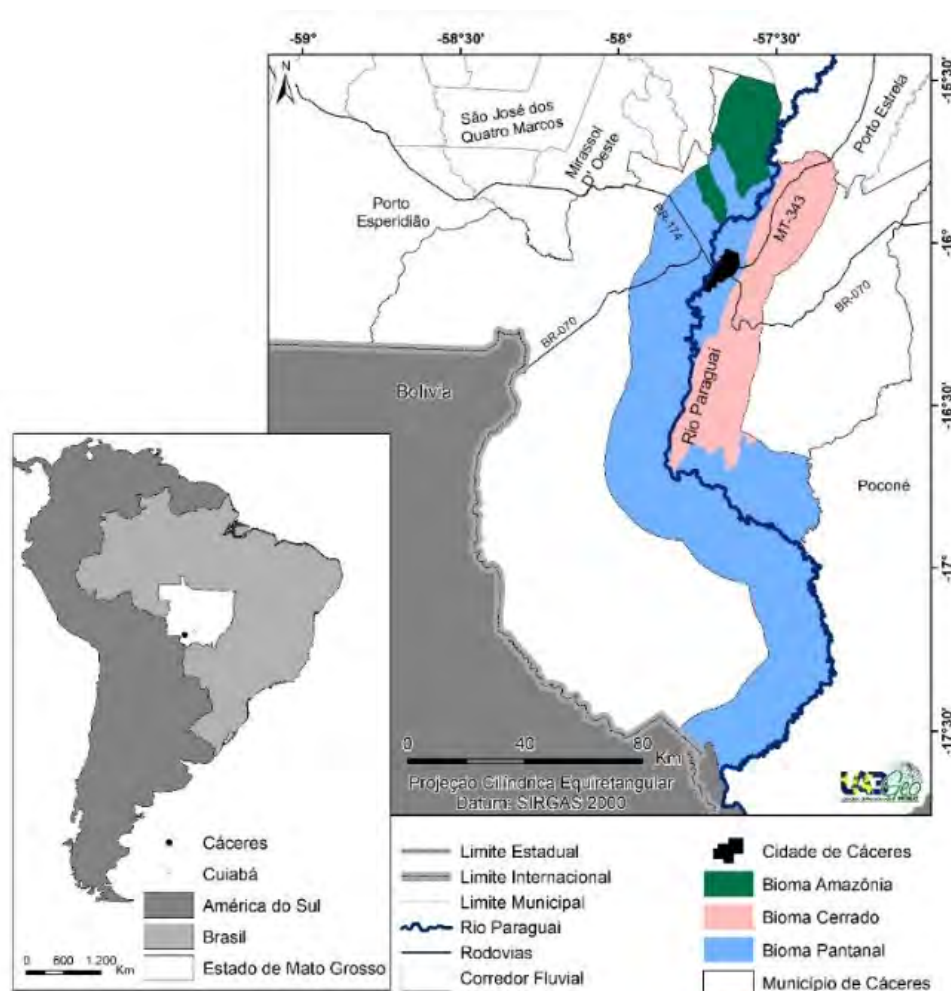
### **3.1 Área de Estudo**

O corredor fluvial do rio Paraguai no município mato-grossense de Cáceres. Na delimitação foram consideradas as Áreas de Preservação Permanente do rio Paraguai e Afluentes e, além disso, áreas influenciadas pelas cheias e vazantes do Rio, considerando que a maioria da área de estudo está inserida no bioma Pantanal.

A área de estudo perfaz a extensão territorial de 9.406,89 km<sup>2</sup>, estando assim distribuída nos biomas: Pantanal, com 71,08%; Cerrado perfazendo 20,86%; e Amazônia, ocupando 8,06% (Figura 1).

O clima de Cáceres, segundo a classificação de Köppen é do tipo Tropical Quente e Úmido, com inverno seco e a temperatura média anual do município é de 26,24°C. A precipitação média anual do município é de 1355 milímetros, sendo que o período de concentração das chuvas vai de dezembro a março e o período de maior estiagem ocorre entre junho e agosto Neves et al. (2011).





**Figura 1.** Área de estudo nos contextos sul-americano, brasileiro, mato-grossense e intermunicipal.

Fonte: Autores (2024).

### 3.2 Procedimentos metodológicos

Inicialmente foi delimitada a área de estudo utilizando o arquivo vetorial do rio Paraguai, extraído da base de hidrografia disponibilizada pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente do estado de Mato Grosso – SEMA Mato Grosso, (2024). A base cartográfica do rio Paraguai foi importada para o Sistema de Informação Geografia ArcGis, módulo ArcMap (ESRI, 2020). Neste SIG foi utilizada a ferramenta Buffer, presente no módulo Analysis Tools, com a definição de 20 km ao redor de cada margem do Rio. Em seguida, as áreas que excediam o limite do município de Cáceres foram excluídas.

As informações necessárias da cobertura vegetal e uso da terra do Corredor Fluvial do Rio Paraguai situadas no município de Cáceres foram obtidas nos arquivos matriciais da coleção 8, do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura Vegetal e Uso do Solo no Brasil – MapBiomias (2023).

Os arquivos matriciais do MapBiomias foram convertidos em arquivos vetoriais no ArcMap, em seguida seguintes classes foram unificadas na categoria Cobertura Vegetal: Campo Alagado e Área Pantanosa, Floresta Alagável, Formação Campestre, Formação Florestal e Formação

Savânica. As classes de Usos da Terra que são mapeadas na área de estudo foram unificadas na categoria Uso da Terra a saber: Agricultura, Área Urbanizada, Mosaicos de Usos, Outras Áreas Não Vegetadas, Pastagem e Silvicultura.

Em seguida foi executado o recorte pela área de estudo dos mapeamentos e foi elaborada a avaliação da tendência de supressão da cobertura vegetal do período de 1985 a 2022, através da proposta de Silva et al. (2011), em que a Tendência Média Geométrica de Desmatamento é calculada via essa equação:

$$TMGD = \left( \frac{D(t+n)}{D(t)} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Onde:

- n: é igual ao número de anos do intervalo para o cálculo da taxa;  
D(t+n): é igual a área desmatada calculada posteriormente (ou no final do período) em km<sup>2</sup>;  
D(t): é igual a área desmatada calculada em km<sup>2</sup>;  
(1/n): é igual ao número inverso de anos para o cálculo da taxa de desmatamento.

A partir das informações obtidas pelo cálculo da tendência de desmatamento da área de estudo foi estimado, por meio de cenários futuros, a quantidade de anos que seria necessário para ocorrer a completa supressão da cobertura vegetal e dos corpos hídricos da área de estudo. No entanto, para que os cenários projetados ocorram, devem ser mantidos os padrões atuais de alteração na cobertura vegetal e nos usos da terra na área de estudo.

#### 4. Resultados e Discussão

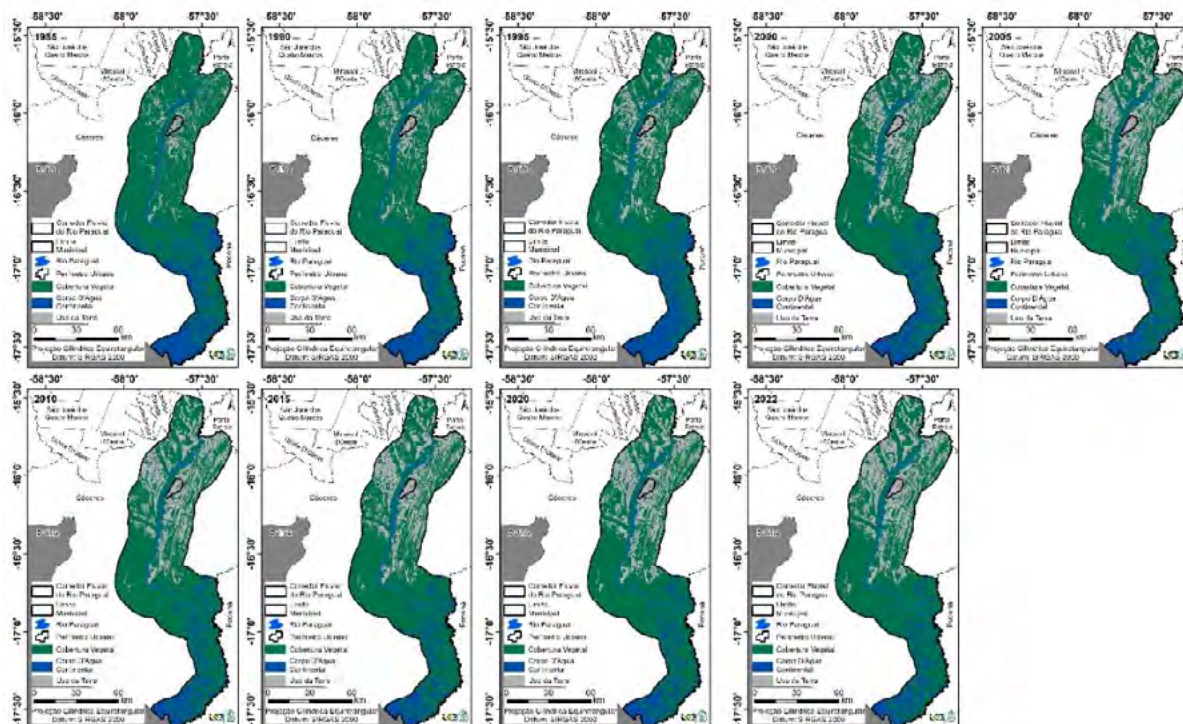
Constatou-se a supressão da cobertura vegetal e a redução da área ocupada pela classe de Água durante o período analisado no estudo. A classe que abrange os rios, córregos e lagoas presentes na área de estudo apresentou redução de 87% e a Cobertura Vegetal de 9%, entre os anos de 1985 até 2022. Enquanto os usos da Terra aumentaram cerca de 66% (**Figura 2**).

Parte da supressão da cobertura vegetal que aconteceu na área de estudo, principalmente nos anos de 2020 a 2022, foi devido aos incêndios florestais que atingem o município nos períodos de seca. De acordo com Neves et al. (2011), o período de seca no município tem duração de oito meses, iniciando no mês de abril e se estendendo até novembro, sendo que o período mais intenso de seca ocorre entre os meses de julho e agosto.

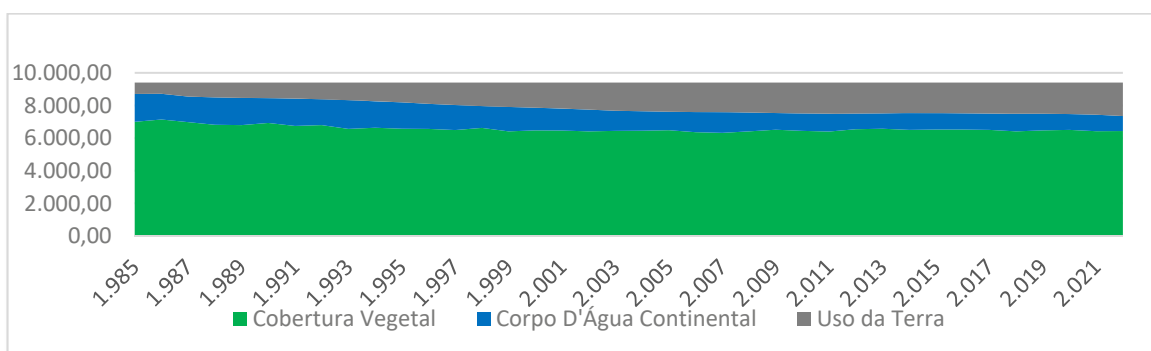
A redução das classes de Cobertura Vegetal durante o período de análise está atrelada à expansão das atividades agropecuárias no município e, como mencionado anteriormente, as queimadas. Neste contexto, Miranda et al. (2018) apontam que a Floresta Aluvial, Savanas (Arborizada, Florestada e Gramíneo), além da Pecuária, foram as que mais foram atingidas pelas queimadas que ocorreram no município.

A redução das classes de Cobertura Vegetal e a expansão dos Usos da Terra é similar aos resultados encontrados por Neves et al. (2019), que constataram a redução das classes de Cobertura Vegetal e Água ao mesmo tempo, em que a classe que engloba os Usos da Terra expandiu (**Figura 3**).

A redução da classe de Corpo D'Água Continental pode estar relacionada ainda ao método de construção dos mosaicos das imagens dos satélites Landsat para a elaboração dos mapeamentos executados. Ganem et al. (2017) destacam que no caso do bioma Caatinga até a data daquele estudo, a equipe do MapBiomias executava uma caracterização climático-temporal para a construção dos mosaicos, pois a sazonalidade climática é um fator de impacto nas classificações de Cobertura Vegetal e Uso da Terra.



**Figura 2.** Cobertura vegetal, uso da terra e água no corredor fluvial do Rio Paraguai no município de Cáceres/MT.  
 Fonte: Autores (2024).



**Figura 3.** Cobertura Vegetal e Usos da Terra no período de 1985 a 2024.  
 Fonte: Autores (2024).

Neste sentido, MapBiomias (2023) destaca que os mosaicos de imagens Landsat são construídos, com contraste e com a janela temporal otimizada, para o mapeamento de classes de Cobertura Vegetal e Uso da Terra, sendo que estes devem possuir a menor quantidade de nuvens possíveis.

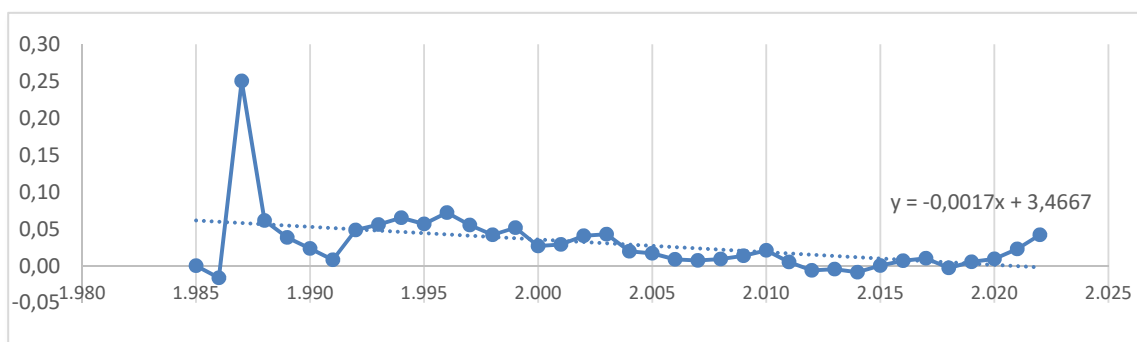
Considerando que no Bioma Pantanal, que predomina na área de estudo, os mosaicos que o MapBiomias constrói, visam a menor quantidade possível de nuvens MapBiomias, (2023), e conforme Neves et al. (2011), o período chuvoso, em que as imagens de satélite captarão maior quantidade de nuvens, ocorre entre os meses de novembro e março, pode-se considerar que os mosaicos serão construídos com imagens do período seco.

Na área de estudo, de acordo com Brasil (1982), predominam as vegetações do tipo Savana (Cerrado) e Floresta Estacional. Ambas as classes de vegetação possuem como característica serem caducifólias, ou seja, no período de estresse hídrico que ocorre nos meses secos, estas perdem parte de suas folhas que se acumulam no solo e se transforma em matéria orgânica a partir de sua decomposição (serapilheira). As formações vegetais que possuem este tipo de característica podem influenciar nos mosaicos, construídos pelo MapBiomas com imagens dos satélites Landsat e por consequência nos mapeamentos.

Durante a elaboração do mapeamento da cobertura vegetal, o mesmo irá mapear o solo exposto ou, de forma equivocada, irá designar áreas que possuem Cobertura Vegetal como sendo desmatadas ou que possuem algum tipo de Uso da Terra como, por exemplo, áreas de Savana serem mapeadas como Pastagem.

A área que abrange o corredor fluvial do rio Paraguai possui ocupação com atividades agropecuárias desde o momento em que o município foi fundado, em 1754, quando as fronteiras de Portugal e Espanha foram definidas no Tratado de Madri (1750). Sendo que durante o período colonial existiram fazendas produtoras de mercadorias oriundas da pecuária no município Iphan (2014).

A taxa de desmatamento da área de estudo apresentou seu pico máximo no ano de 1987, quando atingiu o valor de 0,27% no ano. Após esta data, ela se manteve positiva até o período de 2012 a 2014, quando, devido à mudança do satélite Landsat 5 para o Landsat 8, os valores obtidos apresentaram variação negativa, quando em teoria a Cobertura Vegetal aumentou, em vez de manter o padrão de queda registrado até aquele ano (**Figura 4**).



**Figura 4.** Tendência de desmatamento no período de 1985 a 2024.

Fonte: Autores (2024).

Os valores encontrados no presente estudo corroboram com Silva et al. (2011), aonde estes autores estimaram a tendência de desmatamento para o Bioma Pantanal e constataram que a taxa de desmatamento da região foi maior até o ano de 1984 e em seguida continuou, porém, em menor ritmo que o anterior.

De acordo com MapBiomas (2023), cada mosaico anual é construído pixel a pixel e cada pixel é qualificado a partir do número de observações disponíveis para aquela área. Conforme a metodologia, a quantidade de observações varia de 0 a 23 observações por pixel. Para o período em que a tendência de desmatamento foi negativa, provavelmente, foram utilizados mosaicos com poucas observações, conforme pode ser observado na **Figura 5**. No ano de 2012 há um predomínio das cores amarelo e vermelho, indicando que foram feitas poucas observações para a composição do mosaico no município de Cáceres/MT.



**Figura 5.** Quantidade de observações do MapBiomass no ano de 2012.  
Fonte: MapBiomass (2023).

A partir do ano de 2020, a tendência de desmatamento ganhou força, tendo atingido valores próximos aos que eram obtidos nos primeiros anos do mapeamento. De acordo com Abdo (2024), no ano de 2020 ocorreram mais de 16 mil focos de incêndio em todo o bioma, sendo que os autores destacaram que a maioria desses incêndios foi causado por ação antrópica, principalmente para a substituição da vegetação nativa por cultivares exóticas de pastagem.

No ano de 1985, os Usos da Terra totalizavam 7% da extensão territorial da área de estudo, constituindo a pastagem a principal classe de Uso mapeada, sendo que somente esta classe foi responsável por 4,5% da área degradada. Em 2022, os Usos da Terra totalizaram 22% da extensão de estudo, em que a pastagem foi responsável por ocupar 19,53% do corredor fluvial, representando uma expansão de 77% no período estudado.

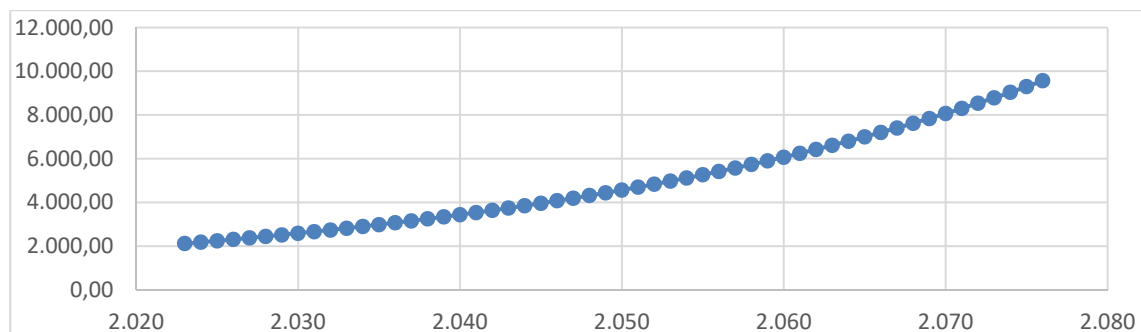
A expansão da pastagem encontrada no presente estudo, corrobora com os resultados obtidos por Souza et al. (2024), que durante o seu estudo na Região Sudoeste de Planejamento do estado de Mato Grosso constataram que a pecuária expandiu cerca de 252% enquanto as Cobertura Vegetais tiveram redução de 24% na sua extensão.

Outra característica relevante constatada no mapeamento do Corredor Fluvial do Rio Paraguai foi a redução da classe Corpo D'Água Continental que abriga o rio Paraguai, afluentes, lagoas e as áreas que ficam inundadas durante um período do ano ou todo o ano. No ano de 1985 a classe ocupava 1.708,04 km<sup>2</sup> e no ano de 2022 reduziu para 915,42 km<sup>2</sup>, desta forma a redução da classe foi de aproximadamente 87% no período estudado.

Os resultados encontrados no estudo são consistentes aos obtidos por Silva et al. (2023), que na bacia hidrográfica do rio Vaza Barris, localizada entre os estados da Bahia e Sergipe, em que houve redução nas classes de Cobertura Vegetal e Cursos Hídricos, enquanto que as áreas de agropecuária expandiram.

A taxa média estimada de desmatamento foi de 1,03% ao ano durante o período analisado. A partir dos dados de tendência encontrados e se forem mantidos os padrões atuais de desmatamento e conversão de áreas naturais em usos, em 54 anos, 100% da área será convertida

em usos. Isto implica na completa supressão de áreas de vegetação nativa e na extinção do Pantanal incluindo os cursos hídricos, inclusive o Rio Paraguai (**Figura 6**).



**Figura 6.** Cenários Futuros da Tendência de Desmatamento do Corredor Fluvial do Rio Paraguai no município de Cáceres-MT/Brasil.

Fonte: Autores (2024).

Neste sentido, Abdo et al. (2024) destacaram que as catástrofes que atingem o Bioma Pantanal e que em sua grande maioria são causadas por atividades humanas, não se tornem algo normal, pois isso resultará em perdas irreparáveis para a biodiversidade pantaneira. Autores como Silva et al. (2011) identificaram que, se os padrões de supressão da Cobertura Vegetal forem mantidos até a década de 2050, haverá a total supressão da vegetação da Bacia do Alto Paraguai, excetuando as áreas protegidas pela Legislação (APPs e Reservas Legais).

Silva et al. (2021) constataram que, caso os padrões de alteração da paisagem sejam mantidos, a bacia hidrográfica do rio Sepotuba, que deságua no rio Paraguai no município de Cáceres, terá a sua paisagem totalmente alterada para Degradada ou Muito Degradada até o ano de 2058. Como o rio Sepotuba deságua no rio Paraguai na área de estudo desta pesquisa, as alterações que acontecem nos afluentes do rio Paraguai vão impactar diretamente o Pantanal Mato-grossense.

Os resultados da pesquisa evidenciam que, se os padrões de alteração da paisagem no Corredor Fluvial do Rio Paraguai em Cáceres forem mantidos, até o ano de 2076, haverá a completa supressão da Cobertura Vegetal.

## 5. Conclusões

Constatou-se que os padrões de alteração da paisagem no Corredor Fluvial do Rio Paraguai em Cáceres, materializado através da supressão da Cobertura Vegetal para a implantação de atividades agropecuárias, se manteve em alta durante todo o período analisado.

A Tendência Média Geométrica de Desmatamento do Corredor Fluvial de Cáceres foi positiva em praticamente todo o período de análise, sendo negativa apenas no período de transição entre os satélites Landsat 5 e Landsat 8.

Com a utilização de projeções para os cenários futuros, foi possível constatar que, se os padrões de alteração na Cobertura Vegetal forem mantidos, até a década de 2070, haverá a completa supressão da vegetação e os corpos hídricos deverão desaparecer.

Para que os cenários previstos nesta pesquisa não ocorram é necessário que a legislação ambiental (Código Florestal) seja aplicada no que diz respeito à Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente.

É necessário também que os gestores façam investimentos no combate a incêndios

florestais. Nos últimos anos, as queimadas se tornaram a atividade que mais degrada a paisagem do corredor fluvial e, se não houver investimentos no combate aos incêndios, novos desastres devem acontecer no bioma Pantanal.

## 6. Agradecimentos

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de doutorado do primeiro autor; e ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa “Trajetória evolutiva das alterações ambientais das paisagens da Bacia Hidrográfica do Rio Jauru, Mato Grosso/Brasil”.

## 7. Referências

- Abdo, J. P., Ronda, I. C. P. S. B., Pin A, J. C., Oliveira, A. K. M. A ameaça das queimadas no Pantanal: a supressão progressiva do bioma e a amnésia coletiva. **Contribuciones a las ciencias sociales**, v. 17, n. 3, p. 01-16, 2024.
- Abdon, M. M.; Silva, J. S. V.; Souza, I. M.; Romon, V. T.; Rampazzo, J.; Ferrari, D. L. Desmatamento no Bioma Pantanal até o ano 2002: Relações Com a Fitofisionomia e Limites Municipais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, p. 17-24, 2009.
- Alho, C. J. R. Concluding remarks: overall impacts on biodiversity and future perspectives for conservation in the Pantanal biome. **Braz. J. Biol.**, vol. 71, n. 1, p. 337-341, 2011.
- Camargo, L. S.; Silva, C.; Pimentel, L. C. G.; Silva, R. W.; Sobrinho, M. A. B.; Landau, L. Geotechnologies as decision support strategies for the identification of fire susceptible areas in Rio de Janeiro State. **Environ Monit Assess**, v. 194, n. 557, p. 01-26, 2022.
- Chaves, H.; DE Jesus, J.; Figueira, G. Uso do sensoriamento remoto na avaliação da dinâmica do uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Vaza Barris. **Sitientibus**, v. 1, n. 64, p. 1-5, 2024.
- Esri. Environmental Systems Research Institute. **ArcGis advanced: realease 10.8**. Redlands: ESRI, 2020.
- Felfili, J. M.; Carvalho, F. A.; Haidar, R. F. **Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas cerrado e pantanal**. Brasília/DF: Universidade de Brasília. 60 p.
- Fernandes, T. F. N. U.; Campello, L. G. B. A Proteção Jurídica do Pantanal, na Época do Antropoceno, e a Garantia do Direito Humano ao Meio Ambiente Equilibrado. **Revista Argumentum – RA**, v. 24, n. 3, p. 477-500, 2023.
- Ganem, K. A.; Baptista, G. M. de M.; Da Franca Rocha, W. de J. S.; Vasconcellos, R. N.; ROSA, M. R.; De Souza, D. T. M. Comparação Entre Dados Com e Sem Correção Atmosférica na Classificação da Cobertura da Terra de Uma Área da Caatinga Utilizando o Google Earth Engine. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 6, p. 1053-1074, 2017.
- Iphan. Cáceres (MT), 2014. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/367/#:~:text=Em%20fevereiro%20de%201754%2C%20foi,em%201778%2C%20no%20Pantanal%20Matogrossense.>> Acesso em: 11 de jun. 2024.
- Mapbiomas. **MapBiomas General “Handbook”: Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)**. MapBiomas, 2023. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/atbd-entenda-cada-etapa/>>. Acesso em: 10 de jun. 2024.
- Mapbiomas. Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/>>. Acesso em: 07 de mai. de 2024.
- Mato Grosso. GeoPortal Sema. Disponível em: <<https://geoportal.sema.mt.gov.br/#/>>. Acesso em: 31 de mai. 2024.
- Miranda, M. R. S.; Neves, L. F. S.; Kreitlow, J. P.; Neves, S. M. A. S.; Neves, R. J. Distribuição de Queimadas e Mudanças na Cobertura Vegetal e Uso da Terra no Bioma Pantanal, Cáceres-Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 19, n. 65, p. 91-108, 2018.

- Nagel, G. W.; Novo, E. M. L. M.; Kampel, M. Nanosatellites applied to optical Earth observation: a review. **Rev. Ambient. Água**, v. 15, n. 3, p. 01-19, 2020.
- Neves, A. K.; Körting, T. S.; Fonseca, L. M. G.; Escada, M. I. S. Assessment of TerraClass and MapBiomas data on legend and map agreement for the Brazilian Amazon biome. **Acta Amazonica**, v. 50, n. 2, p. 170-182, 2020.
- Neves, S. M. A. S.; Kreitlow, J. P.; Miranda, M. R. S.; Galvanin, E. A. S.; Silva, J. S. V.; Cruz, C. B. M.; Vicens, R. S. Dynamics and environmental state of vegetable coverage and land use in landscape regions of the southwestern portion of the Brazilian state of Mato Grosso. **R. Ra'e Ga**, v. 46, n. 3, p. 155-175, 2019.
- Neves, S. M. A. S.; Nunes, C. M.; Neves, R. J. Caracterização das Condições Climáticas de Cáceres/MT-Brasil, No Período de 1971 a 2009: Subsídio às Atividades Agropecuárias e Turísticas Municipais. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 55-68, 2012.
- Padovani, C. R. **Conversão da vegetação natural do Pantanal para uso antrópico de 1976 até 2017 e projeção para 2050**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2017. 6 p.
- RadamBrasil. Folha SE 21 Corumbá e parte da folha SE. 20; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. 452p. (Levantamento de Recursos Naturais, 27).
- Ramos, A. W. P.; Azevedo, U. R.; Xavier, F. V.; Neves, S. M. A. S.; Galvanin, E. A. S. Padrões de Desmatamento nos Biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai, Mato Grosso – **Brasil. Rev. Geogr. Acadêmica**, v.17, n.2, p. 136-158, 2023.
- Rudke, A. P.; Souza, V. A. S.; Santos, A. M.; Xavier, A. C. F.; Rotunno Filho, O. C.; Martins, J. A. Impact of mining activities on areas of environmental protection in the southwest of the Amazon: A GIS- and remote sensing-based assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 263, n. 1, p. 01-12, 2020.
- Santana, C.; Pagani, C. H. P.; Mascarenhas, A. R. P. Avaliação Multitemporal da Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Mororó em Jarú, Rondônia. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 43, n. 2, p. 289-297, 2020.
- Silva, G. J. O.; Neves, S. M. A. S.; Ramos, A. W. P.; Galvanin, E. A. S. Dinâmica da Cobertura Vegetal e Uso da Terra da Bacia Hidrográfica do Rio Sepotuba-MT, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 80, p. 81-96, 2021.
- Silva, J. S. V.; Abdon, M. M.; Neves, S. M. A. S.; Moraes, J. A. Evolution of deforestation in the Brazilian pantanal and surroundings in the timeframe 1976 – 2008. **Geografia**, v. 36, n. Especial, p. 35-55, 2011.
- Souza Junior, C. M.; Shimbo, J. Z.; Rosa, M. R.; Parente, L. L.; Alencar, A. A.; Rudorff, B. F. T.; Hasenack, H.; Matsumoto, M.; Ferreira, L. G.; Souza Filho, P. W. M.; Oliveira, S. W.; Rocha, W. F.; Fonseca, A. V.; Marques, C. B.; Diniz, C. G.; Costa, D.; Monteiro, D. Rosa, E. R.; Vélez-Martins. E.; Weber, E. J.; Lenti, F. E. B.; Paternost, F. F.; Pareyn, F. G. C.; Siqueira, J. V.; Vierira, J. L.; Ferreira Neto, L. C.; Sairaiva, M. M.; Sales, M. H.; Salgado, M. P. G.; Vasconcelos, R.; Galano, S.; Mesquita, V. V.; Azevedo, T. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sens.**, v. 12, n. 1, p. 01-27, 2020.
- Souza, D. C.; SILVA, J. S. V.; Neves, S. M. A. S. Dinâmica da Agropecuária na Região de Planejamento Sudoeste de Mato Grosso no Período de 1985 a 2018. **Revista Equador (UFPI)**, v. 12, n. 3, p. 322-341, 2023.



## Hierarquia fluvial dos cursos de água da bacia hidrográfica do Rio Jauquara, Mato Grosso – brasil

Emili Vitória da Silva Oliveira<sup>1</sup>  
Sandra Mara Alves da Silva Neves<sup>1</sup>  
Andressa Geovana Santiago Schiavinato<sup>1</sup>  
Wesley dos Santos Leite

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT  
Laboratório de Geotecnologias Unemat (LabGeo Unemat)  
Av. Santos Dumont S/. Bairro: Lobo – Cidade Universitária  
78211-260 – Cáceres/MT, Brasil  
{emili.vitoria; ssneves; geovana.schiavinato; Santos.wesley}@uemat.br

**Resumo.** A hierarquia fluvial define como um dos principais parâmetros morfológicos a serem investigados numa bacia hidrográfica, referindo-se à classificação dos rios de acordo com o tamanho de sua bacia e a extensão de cada curso. O presente estudo tem como objetivo realizar a hierarquização da rede fluvial da Bacia Hidrográfica do Rio Jauquara/MT, visando a disponibilização de dados e informações que contribuam no planejamento ambiental da paisagem. No ArcGis foi realizado a vetorização dos cursos d'água, a partir da imagem de satélite Landsat-5, com resolução espacial de 30 metros. Na calculadora geométrica (Calculate Geometry) da extensão ArcMAP foram obtidos os parâmetros de hierarquia fluvial. O rio principal da bacia é o Jauquara, que desagua na margem esquerda do rio Paraguai, na Província Serrana. Verificou-se que há 297 segmentos, com predomínio dos rios de primeira ordem, classificados como nascentes. Com 184 segmentos são de primeira ordem, 74 de segunda, 29 de terceira, 9 de quarta e 1 de quinta ordem. Concluiu-se que há um predomínio de canais de primeira ordem, indicando a abundância de nascentes, e maior dissecação do relevo, indicando uma grande fragilidade da paisagem, o que demanda intensificação dos cuidados no manejo do uso da terra.

**Palavras-chave:** análise morfométrica, geoprocessamento, geotecnologias, sensoriamento remoto, gestão hídrica.

**Abstract.** The fluvial hierarchy is defined as one of the main morphological parameters to be addressed in a river basin, referring to the classification of rivers according to the size of their basin and the length of each course. The aim of this study is to establish the hierarchy of the river network in the Jauquara River Basin/MT. In ArcGis, the watercourses were vectorized using the Landsat-5 satellite image, with a spatial resolution of 30 meters. In the geometry calculator (Calculate Geometry) of the ArcMAP extension, the river hierarchy parameters were obtained. The main river in the basin is the Jauquara, which flows into the left bank of the Paraguay River in the Serrana Province. It was found that there are 373 segments, with a predominance of first-order rivers, classified as springs, with 184 first-order segments, 89 second-order segments, 29 third-order segments, 52 fourth-order segments and 16 fifth-order segments. It was concluded that the predominance of the percentage of first-order channels, which represented a greater number of springs, indicated greater dissection of the relief, reflecting greater fragility of the landscape, which requires intensified care in land use management.

**Key-words:** morphometric analysis, geoprocessing, geotechnologies, remote sensing, water management.

## 1. Introdução

Em face da importância desse componente ambiental, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei Federal n.º 9.433/1997, designa as bacias hidrográficas como unidades territoriais para estudo, gestão e gerenciamento dos recursos hídricos (Brasil, 1997), pois estas são áreas delimitadas por divisores topográficos que captam naturalmente a água precipitada, assim, constituindo os canais de escoamento (rede de drenagem) que confluem até formarem um canal principal, direcionado a um único ponto de saída, denominado exutório (Villela; Mattos, 1975).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei n.º 9.433/1997, introduz princípios e normas para a gestão de recursos hídricos e seguindo a definição de bacias hidrográficas como uma unidade de estudo e gestão. Desta forma, é essencial para gestores e pesquisadores a compreensão do conceito de bacia hidrográfica e de suas subdivisões Brasil (1997).

Assim, segundo Parente (2020), por se compreender como uma unidade de planejamento que envolve fatores de particularidades distintas e abranger vários elementos naturais e antrópicos, que estão em constante interação, é indispensável o conhecimento de todas as características de uma bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica caracteriza-se como uma área da superfície terrestre de captação natural da água da chuva que drenam para um rio principal e seus tributários que confluem até resultar em um leito único no seu exutório, sendo limitada pelos divisores topográficos (Botelho, 1999). Esta pode ser espacialmente delimitada por um divisor topográfico determinado por uma linha imaginária que liga pontos de maiores altitudes região em função da direção de fluxo, e que forma a área de contribuição desta bacia hidrográfica Silva (2020); Souza (2021).

O regime das águas constitui-se um importante fator para manutenção das planícies, permanentes ou temporariamente inundadas, que mantêm a dinâmica de erosão e deposição de sedimentos Souza (2012).

A rede fluvial é o padrão complexo de drenagem formado por um conjunto de rios dentro de uma área específica Christofolletti (1980), no caso a bacia hidrográfica. Basicamente, a rede fluvial representa a organização natural dos cursos de água em uma região, revelando a estrutura e a interconexão dos rios que formam esse sistema hidrográfico. Nessa ótica, tem-se o segmento fluvial que é o trecho do rio ou canal ao longo do qual a ordem (no sentido utilizado por Strahler (1954) que lhe é associada permanece constante.

A maior participação percentual de canais de primeira ordem indica maior dissecação do relevo, frequentemente causada por controle estrutural, como falhas, fraturas ou dobramentos, refletindo assim uma maior fragilidade da paisagem.

A hierarquia fluvial consiste no processo de classificação de curso d'água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. Isso é realizado com o objetivo de simplificar e tornar mais eficientes os estudos morfométricos das bacias hidrográficas. A hierarquia fluvial é utilizada em estudos ambientais para avaliar o estado dos ecossistemas dos rios, a qualidade da água e os impactos de atividades antrópicas.

Dessa forma, pode-se afirmar que os aspectos geomorfológicos e hidrológicos estão diretamente relacionados nas bacias de drenagens pela dinâmica dos processos hidrogeomorfológicos Vestena (2011).

As análises de redes de drenagem ganharam maior precisão graças às contribuições de Horton, que criou um conjunto de leis conhecidas como "Leis da Composição de Drenagem" por meio da morfometria. Essas leis ajudaram especialmente na organização dos canais. A ordem dos rios é um método de classificação que mostra o nível de ramificação ou divisão dentro de uma bacia hidrográfica. Para isso, utiliza-se um mapa detalhado da bacia que inclui todos os canais. A classificação da ordem dos rios é um sistema que indica o nível de ramificação ou divisão dentro de uma determinada bacia hidrográfica. A partir da ordenação, é possível obter os elementos necessários para o cálculo de outros índices morfométricos, tais como: a magnitude e frequência ou a densidade de segmentos.

Com isso, a definição morfométrica de uma determinada bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns métodos executados em análises hidrográficas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar várias questões associadas ao relevo e a dinâmica do escoamento superficial de uma bacia. Essa análise é feita com base nas principais medidas físicas e serve de instrumento para diversas aplicações relacionadas aos recursos hídricos. (Teodoro, 2007).

Dessa maneira, as descrições apresentadas para bacia hidrográfica assemelham-se ao conceito mencionado por Barrella (2001), sendo caracterizado como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas relevo por divisores de água, nos quais as águas da chuva escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou as águas infiltram no solo para a formação de nascentes e do lençol freáticos.

Conforme Laszlo, Rocha (2014), o levantamento das características de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns métodos a serem feitos em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo esclarecer as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental de uma determinada bacia hidrográfica.

## 2. Objetivo

O objetivo desse estudo é realizar a hierarquização da rede fluvial da Bacia Hidrográfica do Rio Jauquara/MT, visando a disponibilização de dados e informações que contribuam no planejamento ambiental da paisagem.

## 3. Material e Métodos

### 3.1. Área de estudo

Essa pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Geotecnologia da Universidade do Estado de Mato Grosso (LabGeo Unemat), no Campus de Cáceres.

A Bacia Hidrográfica do Rio Jauquara (BHRJ) possui área territorial de 1.400 km<sup>2</sup> (**Figura 1**), estando situada entre as coordenadas geográficas 14°10' e 16°30' de latitude S e 56°00' e 57°00' de longitude O. Sua extensão territorial está distribuída nos municípios de Barra do Bugres, com área territorial é de 5.976 km<sup>2</sup>, tendo 29.403 pessoas residente no município e a densidade demográfica sendo 4.92 hab/km<sup>2</sup>; Porto Estrela tem sua área territorial de 2.045 km<sup>2</sup>,

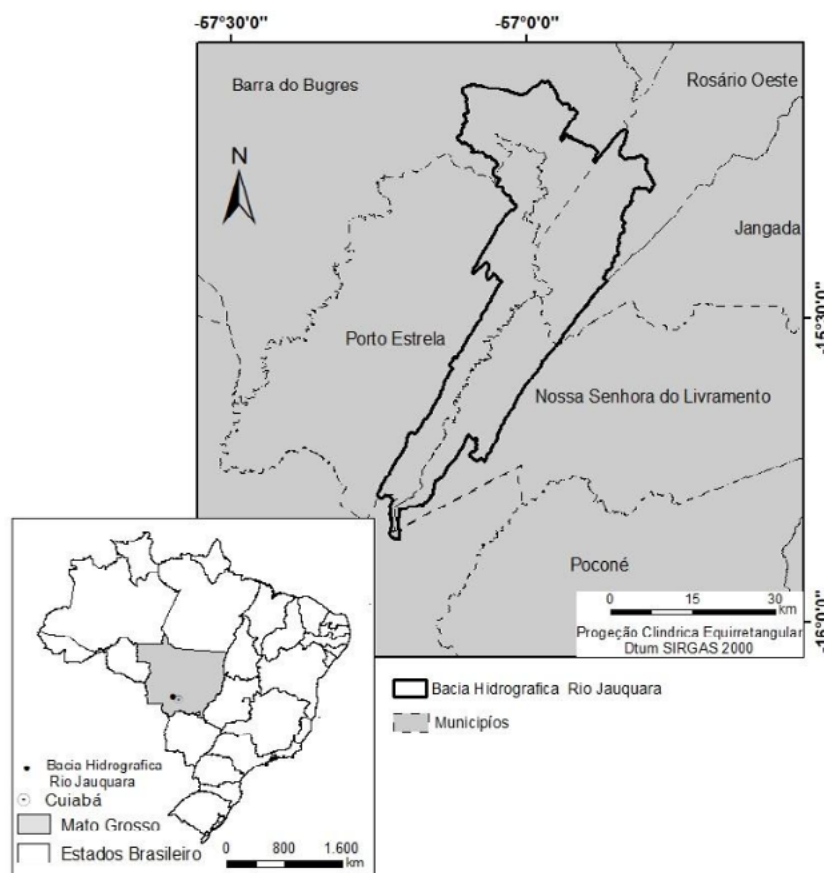
a população residente é de 3.224 pessoas e 1,58 de densidade demográfica; Nossa Senhora do Livramento com área territorial de 5.537 km<sup>2</sup>, 12.940 de população residente e 2,34 hab/km<sup>2</sup> de densidade demográfica; e Rosário Oeste que possui área territorial de 7.339 km<sup>2</sup>, população residente de 15.453 de pessoas e densidade demográfica 2,11 hab/km<sup>2</sup> em Mato Grosso.

No seu território está localizada a Estação Ecológica Serra das Araras, que é uma Unidade de Conservação de proteção integral, criada pelo Decreto n.º 87.222, de 31 de maio de 1982 Brasil (1982).

São atividades predominantes econômicas, a pecuária de corte, o plantio da cana de açúcar, com a finalidade de processamento para a obtenção do álcool e a cana-de-açúcar. Contam também com atividades da agricultura familiar, vinculadas aos Quilombos e aos assentamentos da reforma agrária Cassettari e Queiroz (2019).

A BHRJ configura-se como importante aglomerado de tributários que compõem o conjunto de Bacias Paraguai/Jauquara (BHPJ), que conta com mais oito bacias e se expande pela margem esquerda do Rio Paraguai Casarin et al. (2008).

O clima na bacia é do tipo Tropical, com duas estações bem definidas, sendo uma mais chuvosa, no período correspondente ao verão, e outra mais seca, no inverno Fenner (2014). A temperatura do ar é elevada, atingindo a média anual de 25°C, mas as máximas diárias podem ultrapassar 40°C, principalmente durante a primavera e a mínima cair para próximo de 0°C, no inverno Neves et al. (2006).



**Figura 1.** Bacia Hidrográfica do Rio Jauquara, nos contextos nacional, estadual e intermunicipal. Fonte: Autores (2024).

### 3.2. Procedimentos metodológicos

A pesquisa bibliográfica foi efetuada conforme proposto por Marconi e Lakatos (2017), constituída pelas seguintes etapas: escolha tema; levantamento das bibliografias; definição do problema; aprofundamento e ampliação do levantamento bibliográfico; seleção textos (fontes); localização; fichamento; análise interpretação e redação da pesquisa bibliográfica (fundamentação teórica e interpretação/discussão dos dados).

Primeiramente, foram utilizadas bases cartográficas na escala de 1:100.000, que serviram como referência fundamental para a análise espacial. A delimitação da bacia hidrográfica foi realizada automaticamente através do processamento do Modelo Digital de Elevação (DEM) gerado pela Missão Topográfica de Radar Embarcado (SRTM), no ArcGis, versão 10.7.1 (Esri, 2019).

Em seguida, procedeu-se ao processamento de imagens de sensoriamento remoto obtidas pelo satélite Landsat-5, da órbita ponto 227/71, trabalhadas no Spring Câmara et al. (1996). Feita a composição colorida da imagem, procedeu-se o recorte pela área de pesquisa e a vetorização da rede hidrográfica de forma manual.

Assim, ao efetuar a hierarquização da bacia de estudo, foi atribuída a ordem adequada a cada curso de água, utilizando-se a classificação de Strahler (1954):

(...) em que os menores canais sem tributários são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem podendo receber tributários das ordens inferiores e assim sucessivamente, até a última ordem que corresponde à ordem geral da bacia considerada, refletindo o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem.

Sendo assim, em uma bacia hidrográfica cada segmento de uma ordem específica é responsável pela drenagem de uma determinada área, incluindo todos os afluentes de ordens de menor grau. Melhor dizendo, a área de uma bacia de quinta ordem acumula água da bacia de primeira, segunda, terceira e quarta ordem.

Com forme Cochev et al.(2018):

(...) o uso das geotecnologias ou tecnologias de espaciais (Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informações Geográficas, Banco de Dados Geográficos, Sistema de Posicionamento Global, Cartografia Digital, Modelo Digital de Elevação etc.) tem se tornado essencial na realização dos estudos geográficos ao possibilitarem a geração de mapas temáticos, cartas-imagem, entre outros tipos de representações cartográficas, que auxiliam na gestão, nas análises, nos diagnósticos territoriais, no ensino etc.

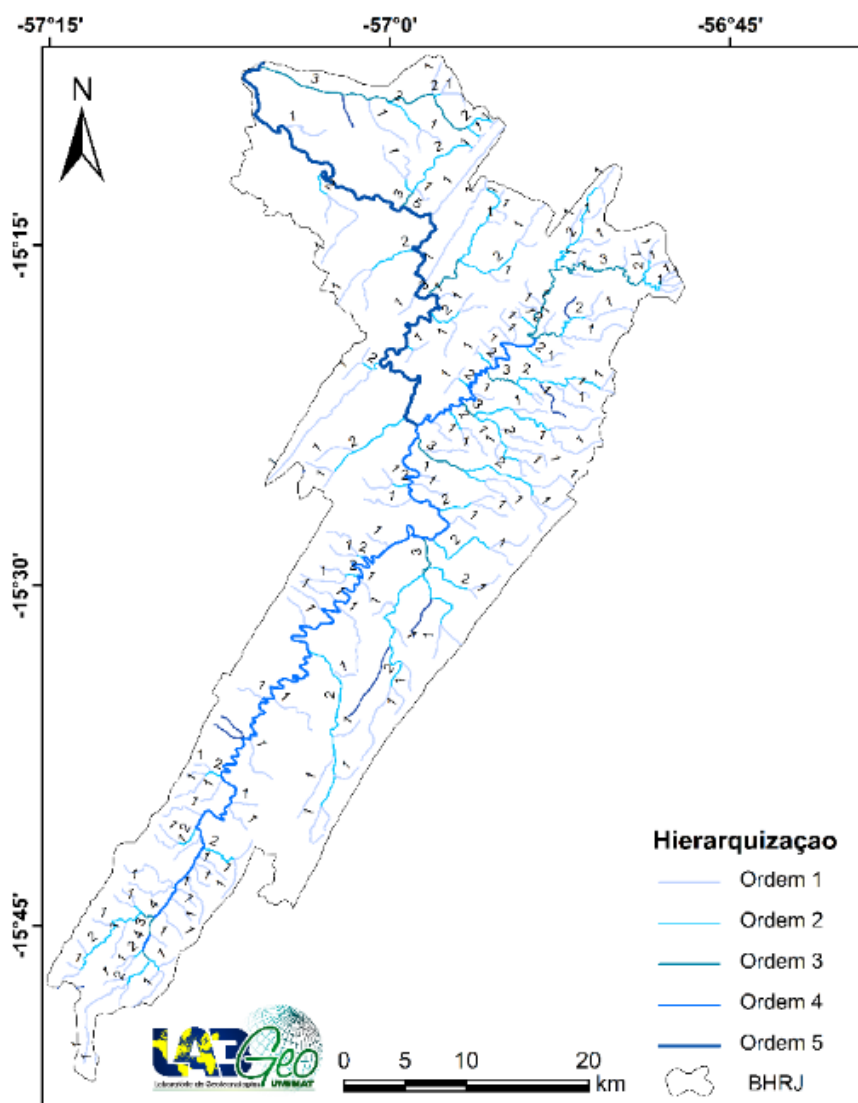
### 4. Resultados e Discussão

Adotando-se a metodologia de hierarquização fluvial proposta por Strahler (1952) em que os canais de primeira ordem são aqueles que não apresentam tributários, sendo canais de cabeceiras de drenagem, os canais de segunda ordem são subsequentes à confluência de dois canais de primeira ordem e assim sucessivamente, e aplicando-os na BHRJ constatou-se que essa é de quinta ordem (**Figura 2**), por conta da vasta densidade hidrográfica e fator de drenagem, elevando assim a sua extensão de água no percurso superficial, o que requer um manejo adequado da área, em relação a sua vegetação, para não comprometer as nascentes dos

cursos fluviais.

Com isso, Christofolletti (1974), diz que:

(...) primeiramente é importante salientar algumas concepções empregados na análise hierárquica de uma bacia hidrográfica. A rede fluvial é o padrão inter-relacionado de drenagem formado por um conjunto de rios em determinada área, a partir de qualquer número de canais até a desembocadura, da referida rede. Confluência é o lugar onde dois canais se encontram: fonte ou nascente de um rio é o lugar onde o mesmo se inicia.



**Figura 2.** Hierarquia fluvial da Bacia Hidrográfica do Rio Jauquara/MT.

Fonte: Autores (2024).

Após analisar a hierarquia fluvial da Bacia Hidrográfica do Rio Jauquara verificou-se que há 297 segmentos, com predomínio dos rios de primeira ordem, classificados como nascentes, com 184 segmentos são de primeira ordem, 74 de segunda, 29 de terceira, 9 de quarta e 1 de quinta ordem. Esses valores indicam uma elevada quantia estrutural das nascentes do rio, resultando assim na formação de afluentes e em seguida, na formação do curso fluvial.

Quanto maior a quantidade de canais de primeira ordem, em uma determinada bacia hidrográfica maior será a fragilidade da paisagem, considerando que os mesmos canais demonstram maior dissecação do relevo, que pode ser causada por um controle estrutural, como falhas, fraturas ou dobramentos (Laszlo, Rocha. 2014), como é o caso das serras das Província Serrana presente na bacia de estudo.

Nas palavras de Queiroz et al. (2017) a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas descreve as características e a modelagem do relevo dos sistemas fluviais, identifica possíveis alterações antropogênicas dentro desse sistema e é utilizada em estudos ambientais na tentativa de compreender a dinâmica fluvial.

Contudo, é necessário que estes elementos sejam considerados no ensino, pois, por ser uma unidade territorial ambiental, agrega informações de geologia, geomorfologia, pedologia, hidrografia, ecologia, população, uso da terra, economia, entre outras, que são assuntos abordados no contexto da Geografia escolar, como salienta Souza (1995):

(...) quais são as características geocológicas e os recursos naturais de uma certa área, o que se produz em um dado espaço de tempo, ou ainda quais as ligações afetivas e de identidade entre um grupo e outro (SOUZA, 1995: p. 78).

Nesse sentido, de acordo Cunha e Bacani (2019), as características morfométricas de uma bacia hidrográfica desempenham um papel fundamental nos processos do ciclo hidrológico, influenciando diretamente em diversos componentes, tais como, a infiltração, a evapotranspiração e nos escoamentos superficial e subsuperficial, como também na quantidade de água produzida e manutenção da vegetação.

De maneira geral, a caracterização morfométrica é primordial para o conhecimento das particularidades de uma bacia hidrográfica, o que colabora com sua manutenção sustentável, uma vez que define seus aspectos geométricos, hidrológicos e de relevo, possibilitando a detecção de quais são as fragilidades e/ou potencialidades presentes no sistema, como: propensão a enchentes, suscetibilidade a assoreamento, degradação ocasionada por processos erosivos e entre outras Martins et al.(2021); Bucker et al. (2023).

As bacias hidrográficas são territórios que agregam fatores semelhantes, porém, com diversos territórios político-administrativos - cidades e municípios - que compartilham e usufruem dos seus recursos, seguindo políticas de uso e preservação regida por um poder administrativo único, formada por representantes de cada município e organizações sociais Cochev et al. (2018).

Um fator interessante a se destacar no âmbito da hierarquia fluvial é a sua importância nas variações e possíveis rupturas de declive nos perfis longitudinais dos rios, quando a confluência de rios caudais expressivos, ou seja, quando à confluência de cursos d'água com ordens hierárquicas bem distintas Laszlo, Rocha (2014).

Em outras palavras, quando um rio de ordem superior se encontra com um rio de ordem inferior, a diferença de tamanho e volume de água entre eles pode causar mudanças marcantes no declive do perfil longitudinal do sistema fluvial. Essas variações podem resultar em ajustes na morfologia do leito do rio, alterando seu fluxo e impacto sobre o ambiente ao redor. Assim, a interação entre rios de diferentes ordens hierárquicas é essencial para compreender a dinâmica e a evolução dos sistemas fluviais.

## 5. Conclusões

A hierarquização da rede fluvial da Bacia Hidrográfica do Rio Jauquara/MT, possibilitou na organização e classificação dos rios e seus afluentes, essa classificação tornou-se fundamental para análise dos cursos hídricos e da proteção das áreas de vegetação, para que não haja degradação dos componentes da paisagem, visto que sua fragilidade deriva do indicativo de

maior dissecação do relevo. Sendo assim, o resultado gerou dados e informações sobre a rede de drenagem o que possibilitou hierarquizar as ordens dos cursos d'água.

É importante destacar que o rio Jauquara caracteriza-se como um dos principais afluentes da margem esquerda do Paraguai, desempenhando um papel crucial como uma das nascentes de cabeceira do Pantanal. A gestão adequada e o monitoramento do regime hídrico na Bacia Hidrográfica do Rio Jauquara (BHRJ) são essenciais para a sustentabilidade e o uso múltiplo dos cursos hídricos da bacia tornando-se indispensável para a preservação da vegetação das APPs e Reservas legais.

## 6. Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de Iniciação Científica PIBIC-AF/CNPq.

## 7. Referências

- Botelho, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacias hidrográficas. In: Guerra, A. J. T.; Silva, A. A.; Botelho, R. G. M. (Org.) **Erosão e Conservação dos Solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- Brasil. Lei Federal 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>.
- Brasil. Decreto n.º 87.222, de 31 de maio de 1982. Cria as Estações Ecológicas do Seridó, Serra das Araras, Guaraqueçaba, Caracará e dá outras providências. Brasília, DF, 31 maio 1996. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 mai. 1982. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/D87222.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D87222.htm)>.
- Bucker, P. O. M.; Pons, N. A. D.; Melloni, E. G. P. Caracterização morfométrica e análise estrutural da Bacia Hidrográfica do Rio Castelo, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 4, p. 2228-2243, 2023.
- Casarin, R.; Neves, S. M. A. S.; Neves, R. J. Uso da terra e qualidade da água da bacia hidrográfica Paraguai/Jauquara-MT. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 2, n.1, p. 33-42, 2008.
- Cassettari, G. A.; Queiroz, T. M. Morphometric characterization of the hydrographic basin of Jauquara river in the transition between the Cerrado and Amazon biomes in Mato Grosso-Brazil. **Floresta**, v. 49, n. 2, p. 325-334, 2019.
- Cassettari, G. A.; De Queiroz, T. M. Balanço hídrico e classificação climática na bacia do rio Jauquara, região de transição entre o cerrado e Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 1-19, 2020.
- Cochev, J. S.; Neves, R. J.; Neves, S. M. A. S. O Ensino de Geografia e as Bacias Hidrográficas: estudo de caso na Bacia Hidrográfica Paraquai-Jauquara/MT. **Boletim de Geografia**, v. 36, n. 2, p. 45-60, 2018.
- Cunha, E. R.; Bacani, V. M. Influência da resolução do MDE na caracterização morfométrica de bacia hidrográfica. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 59, p. 1029-1043, 2019.
- Christofletti, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974, 186p.
- Esri. **ArcGIS advanced**: release 10.7.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2019.
- Fenner, W.; Moreira, P. S. P.; Ferreira, F. S.; Dallacort, R.; Queiroz, T. M.; Bento, T. S. Análise do balanço hídrico mensal para regiões de transição de Cerrado-Floresta e Pantanal, estado de Mato Grosso. **Acta Iguazu**. v. 3, n. 1, p. 72-85, 2014.
- Laszlo, M. J.; Rocha, P. C. Composição hierárquica dos canais fluviais das bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe. **Revista Geonorte**, v. 10, n. 1, p. 228-232, 2014.
- Marconi, M. A.; Lakatos, E. M. Metodologia do trabalho científico: projetos de pesquisa/pesquisa bibliográfica/teses de doutorado, dissertações de mestrado, trabalhos de conclusão de curso. São Paulo: Atlas, 2017.
- Martins, D. D. S.; Camargo, R. V.; Maciel, G. F.; Serra, J. C. V.; Zukowski Junior, J. C. Caracterização



morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras no município de Palmas – TO. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales**. Investigación, Desarrollo y Práctica, v. 14, n. 1, p. 377-391, 2021.

Neves, S. M. A. S.; Casarin, R.; Brandão, A. M. P. M. O Clima na Região da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraguai. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. **Anais...** 6. Os climas e a Produção do Espaço no Brasil. Rondonópolis/MT: UFMT, 2006.

Parente, Y. Y.; Mendes, A. C.; Miranda, A. G. O.; Dourado Júnior, O. C. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Curuçá (Pará) e demarcação de nascentes fluviais como subsídio à gestão. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 10, n. 3, p. 138-152, 2020.

Pessoa Neto, A. G.; Silva, S. R.; Barbosa, I. M. B. R. Mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. **Boletim de Geografia**, v. 40, n. 40, p. 277-296, 2022.

Pessoa, S. P. M.; Galvanin, E. A. S.; Neves, S. M. A. S. Mapping and use of forest occupation in the Paraguay River - Barra do Bugres/MT. **Brazilian Journal of Cartography**, v. 6, n. 66, p.1295-1303, 2014.

Queiroz, P. H. B.; Crispim, A. B.; Silva, J. M. O.; Sales, M. C. L. Parâmetros morfométricos lineares e zonais aplicados a um segmento do médio curso da bacia hidrográfica do rio Pacoti - CE. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 19, n. 1, p. 140-153, 2017.

Souza, M. J. L. de. O Território: sobre espaço e poder, autonomia e desenvolvimento. In: **Geografia: Conceitos e Temas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 77-116.

Souza, E. G. F.; Nascimento, A. H. C.; Cruz, E. A.; Pereira, D. F.; Silva, R. S.; Silva, T. P.; Freire, W. A. Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1530-1540, 2021.

Souza, C. A.; Souza, J. B.; Ferreira, E.; Andrade, L. N. P. S. Bacia hidrográfica do rio Paraguai. In: Souza, C. A. (Org.). **Bacia hidrográfica do rio Paraguai – MT: dinâmica das águas, uso, ocupação e degradação ambiental**. São Carlos-SP: ed. Cubo, 2012.

Strahler, A. N. Hypsometric analysis of erosional topography. **Geologic Society American Bulletin**, v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952.

Teodoro, V. L. I.; Teixeira, D.; Costa, D. J. L.; Fuller, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

Vestana, L. R.; Checchia, T.; Kobayama, M. Análise morfométrica e geomorfológica da bacia hidrográfica do caeté, Alfredo Wagner/SC. **Boletim de Geografia**, v. 29, n. 2, p. 93-106, 2011. Villela, S. M.; Mattos, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil, p. 245, 1975.

Villela, S. M.; Mattos, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. Silva, J. S. A.; Rodrigues, R. S. S.; Bittencourt, G. M. Aplicação de diferentes MDE's para extração de variáveis morfométricas de uma bacia hidrográfica. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 10, n. 1, p. 10-19, 2020.

## **Análise dos impactos socioambientais nos córregos Gumitá, Barbado e do rio Coxipó para a cidade de Cuiabá-MT.**

Diego Carvalho dos Santos  
Levi Jefferson Santos Andrade

Universidade Federal de Mato Grosso  
diego.santos1@sou.ufmt.br  
leviandrade71@gmail.com

**Resumo.** A região de Chapada dos Guimarães e Cuiabá, em Mato Grosso, Brasil, são cruciais para a ecologia local e o abastecimento hídrico do maior aglomerado urbano do estado de Mato Grosso, com atenção especial ao rio Coxipó, que dessedenta mais de 250 mil habitantes da Capital. Nesse contexto, somam-se ao Coxipó, os córregos Gumitá e Barbado, amplamente urbanizados o que afetam diretamente a qualidade da água e a vida aquática e terrestre no trecho urbano do Rio Cuiabá. A falta de um aterro sanitário em Chapada dos Guimarães, com resíduos sendo descartados inadequadamente, pode gerar graves problemas ambientais, especialmente pela posição de uma das nascentes do rio Coxipó estar no terço inferior da vertente usada para esse lixão. O Rio Cuiabá, essencial para o Pantanal, depende dos cursos d'água da região e enfrentam impactos devido à urbanização e poluição. O estudo propõe revisar e consolidar informações sobre esses cursos d'água para melhorar a gestão dos recursos hídricos, usando análises textuais, imagens e mapas para identificar impactos e propor soluções.

**Palavras-chave:** Pantanal, urbanização, biodiversidade.

**Abstract:** The region of Chapada dos Guimarães and Cuiabá, in Mato Grosso, Brazil, is crucial for local ecology and the water supply of the largest urban area in the state of Mato Grosso, with special attention to the Coxipó River, which provides water for over 250,000 inhabitants of the state capital. In addition to the Coxipó, the Gumitá and Barbado streams, which are highly urbanized, directly affect water quality and aquatic and terrestrial life in the urban stretch of the Cuiabá River. The absence of a sanitary landfill in Chapada dos Guimarães, with waste being improperly disposed of, can lead to severe environmental issues, particularly because one of the sources of the Coxipó River is located in the lower third of the slope used for this dumping. The Cuiabá River, essential for the Pantanal, depends on the watercourses in the region and faces impacts due to urbanization and pollution. This study aims to review and consolidate information on these watercourses to improve water resource management, using textual analysis, images, and maps to identify impacts and propose solutions.

**Keywords:** Pantanal, Urbanization, Biodiversity.

## 1. Introdução

A região de Chapada dos Guimarães e Cuiabá, localizada no estado de Mato Grosso, Brasil, é caracterizada por uma complexa rede de corpos d'água que desempenha um papel crucial na ecologia local e no abastecimento hídrico das comunidades urbanas e rurais. Entre esses corpos d'água, o Rio Coxipó que nasce em Chapada dos Guimarães e deságua no rio Cuiabá são de particular interesse devido à sua importância na manutenção dos ecossistemas e na gestão dos recursos hídricos regionais. Estes cursos d'água, o córrego do Barbado, o córrego Gumitá e o córrego do Coxipó, são elementos essenciais do sistema hídrico regional, influenciando tanto a qualidade da água quanto a vida aquática e terrestre. A compreensão detalhada desses córregos é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo e conservação dos recursos hídricos. Estudos acadêmicos e relatórios institucionais têm abordado diversos aspectos desses cursos d'água, desde suas características físicas e hidrológicas até seu impacto ambiental e socioeconômico. No entanto, há uma necessidade contínua de aprofundar o conhecimento sobre esses córregos para assegurar a sua proteção e garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos da região.

Este trabalho visa revisar e consolidar as informações disponíveis sobre os corpos d'água que têm sua origem em Chapada dos Guimarães e atravessam Cuiabá, com foco em aspectos como suas características hidrológicas, impacto ambiental e importância para a gestão dos recursos hídricos. Através da análise de literatura acadêmica, relatórios institucionais e outras fontes relevantes, pretende-se fornecer uma visão abrangente sobre o papel desses corpos d'água na ecologia e na vida da região, contribuindo para o desenvolvimento de políticas e práticas de gestão mais eficazes.

## 2. Objetivo

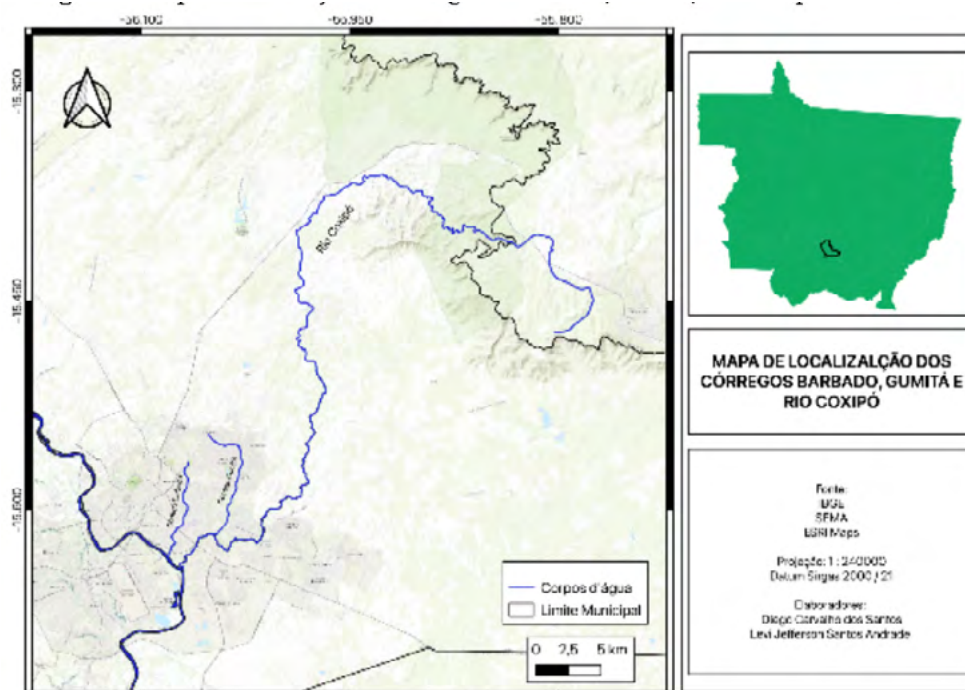
Apresentar um mapeamento com os limites municipais e as principais áreas com impactos nos cursos d'água do Rio Coxipó e córregos do Gumitá e Barbado, no perímetro urbano de Cuiabá.

## 3. Material e Métodos

Para a realização deste estudo foram utilizadas análises textuais, bem como a interpretação de fotografias, imagens de satélites e mapas, para a construção de um mapa de localização dos rios (**Figura 1**). Os dados utilizados são da Secretaria do Estado de Meio Ambiente do estado de Mato Grosso SEMA, onde localizamos as nascentes do Gumitá 15°33'25"S 56°3'37"W, a principal nascente do Barbado 15°35'06,351"S 56°04'36,319"W, e Coxipó 15° 28' 21.76"S 55° 48'5.59"W, no projeto Águas para o futuro. Para análise de impacto ambiental, compreende-se necessária o emprego da teoria geral dos sistemas de Bertalanffy (1968), que descreve a sistemática dos sistemas abertos e fechados, por homeostase, hierarquia ou equifinalidade.

Sendo esta a base da análise Bertrandiana da paisagem que observa as conexões e influências, que por parte de um sistema geocológico, que segundo Mateo (2014).

Ao incluir em sua interpretação as diferentes categorias de análise utilizada pela Geografia, a Geocologia das Paisagens, assimila conceitos de espaço/paisagem natural, espaço geográfico e paisagem cultural, como princípios para a compreensão do território, da região e do meio geográfico, em suas diferentes dimensões. Assume uma postura teórico-metodológica interdisciplinar em razão das realidades espaciais decorrentes das inter-relações Sociedade e Natureza.



**Figura 1.** Mapa de localização do córrego do Barbado, Gumitá, Rio Coxipó e Rio Cuiabá.  
Fonte: Autores (2024).

A geocologia da paisagem é a forma de análise ambiental mais integrada (holística), combinando aspectos da geografia física, ecologia e das ciências ambientais compreendendo as interações entre os seres vivos, meio físico e paisagem. Desta forma elencamos 1 nascente de água mineral no município de Chapada dos Guimarães considerando seu perímetro ao entorno da fonte. Com o uso de imagens e dados obtidos do Earthstar Geographics, ESRI e IBGE, hiposometria, declividade e altitude foi analisado o impacto de cada nascente pela sua forma de uso e ocupação. A escolha da nascente em Chapada dos Guimarães foi feita considerando diferentes tipos de impactos nas mesmas, para podermos perceber como diferentes localizações têm diferentes resultados, que são oriundos do ambiente ocupado em que se encontram, como áreas urbanas e rurais. Além do impacto existente na cidade de Chapada dos Guimarães, este corpo d'água segue seu percurso para o rio Cuiabá que agora é ocupada de forma desarranjada e densamente populosa, o que acarreta em várias formas de impacto, como desmatamento da mata ciliar, supressão das encostas através de moradias irregulares, edificações, despejo de esgoto diretamente nos córregos sem nenhum tipo de tratamento impactando severamente a biota e biodiversidade aquática, despejo de resíduos sólidos, o despejo de efluentes contaminados por produtos domésticos e principalmente a falta de planejamento. Neste contexto entende-se que

todos os corpos d'água que tem seu destino final o rio Cuiabá e conseqüentemente o Pantanal, observa-se a gravidade do grau de impacto direta ou indiretamente causado pela má gestão dos recursos hídricos e da deficiência de educação ambiental difundida deficientemente para população que infelizmente se encontra em situação vulnerável socioeconomicamente, vivendo em áreas de riscos nas encostas dos corpos d'água.

Estas formas de ocupações contrariam o Código Florestal Lei nº 12.651/2012 que define a proteção das margens dos rios, corpos d'água e nascentes para a preservação da vegetação e espécies ou áreas recuperadas para a manutenção dos cursos d'água e proteção estabelecendo largura das faixas marginais variando conforme a largura do rio ou córrego. Ignora também a Lei nº 9.433/1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, visando planejar a gestão sustentável dos recursos hídricos definindo a água como patrimônio e domínio público, um recurso essencial para a vida agregação de valor econômico. Neste sentido fica também categorizado os critérios para o licenciamento ambiental para empreendimentos que podem impactar corpos d'água ou nascentes através da resolução do CONAMA nº 01/1986. Através do Serviço Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), é realizada a fiscalização das APP 's, que facilita na gestão e fiscalização ambiental, serviço disponibilizado pelo Governo Federal utilizado também para esta pesquisa.

#### 4. Resultados e Discussão

A cidade de Chapada dos Guimarães não possui um aterro sanitário, conforme exigido pela Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos desde 2014, que deu um prazo de 10 anos para as prefeituras se adequarem, terminando em outubro de 2024. A prefeitura, apesar de ter incluído a construção do aterro no plano diretor de 2013, não tomou medidas para implementá-lo, ignorando essa realidade que pode acarretar a grandes problemas ambientais e ao descumprimento da lei.

Atualmente, o lixo da cidade (**Figura 2**) é descartado em um (lixão), sem separação de materiais recicláveis ou hospitalar, que está situado em uma área ambientalmente sensível, próxima a nascentes, cachoeiras turísticas. A zona rural, que é impactada pelo uso do solo e de agrotóxicos, dos quais contaminam inicialmente e com o passar do tempo. O impacto do uso do solo nas zonas rurais de Chapada dos Guimarães é primeiramente, de forma física, com o desmatamento para cada vez maiores porções de terra destinados a grandes latifundiários, e também o desgaste físico-químico dos solos, a contaminação pela percolação do solo, por chorume, gás, e outros tóxicos em composição.

A cidade não tem planos definidos para mitigar os danos ambientais causados pelo lixão, nem pelo agronegócio, nem pela população residente. Isso pode ser um dos empecilhos que acabam prejudicando o município a ser reconhecido como um Geoparque da UNESCO.

O Córrego do Gunitá **Figura 3**. Barbado **Figura 4**. e Coxipó **Figura 5**, durante seu percurso na capital estão estrangulados pelas ocupações que cada vez mais são suprimidas em trechos pela especulação imobiliária de alto padrão e que em áreas menos valorizadas são rodeadas pelos bairros mais humildes e por ocupações irregulares sendo o tipo de ocupação mais presente nos córregos.

Segundo Figueiredo (2018), o estudo da distribuição espacial do estado de conservação das nascentes e percurso dos corpos d'água mostrou que o processo de degradação não é aleatório, mas segue um padrão espacial e temporal definido. Ocorre preferencialmente no contato entre zonas de baixa densidade da malha urbana com zonas de densidade média a alta. Nessas áreas normalmente ocorrem obras de infraestrutura e/ou construções de condomínios horizontais ou verticais. São nessas áreas que ocorrem preferencialmente o aterramento, enquanto nas áreas de renda mais baixa, a degradação está mais relacionada com o lançamento de esgoto e resíduos.



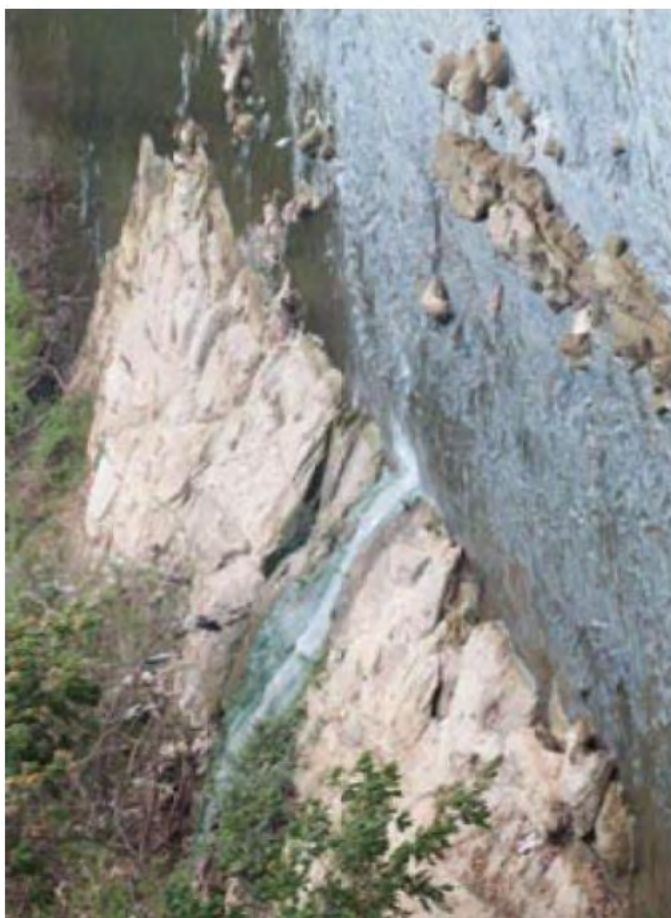
**Figura 2.** Descarte irregular de resíduos (lixão) de Chapada dos Guimarães-MT.  
Foto: Diego Carvalho dos Santos. 2024.



**Figura 3.** Córrego do Gumbá, bairro Planalto.  
Foto: rdnews, 2018.



**Figura 4.** Córrego do Barbado impactado desaguando no rio Cuiabá.  
Foto: iberadetchapacruz, 2018.



**Figura 5.** Cachoeira de esgoto in natura na ponte Rio Coxipó.  
Foto: Chico Ferreira, 2017.

Podemos perceber que, dependendo do impacto urbano gerado, um corpo d'água pode ser degradado de várias formas, além das rugosidades urbanas, como centros históricos e cemitérios. Um bom exemplo é o cemitério da cidade de Chapada dos Guimarães, que está localizado no meio da cidade, em que fica dentro do raio de 5km delimitados, sendo um poluidor em potencial. Os cemitérios são perigosos para a saúde pública, caso não sejam preparados de maneira correta e tenham um tratamento adequado dos gases e necrochorume (preparando uma interdição dos líquidos), podendo acarretar em contaminação do solo e de águas subterrâneas Marques e Da Silva (2017). Pensando em um modelo de análise para os impactos nos corpos d'água, apresenta-se a observação da área de estudo, a atual situação do impacto, realizar o diagnóstico das ações antrópicas, causas, ocupação e infraestrutura, os impactos de difícil monitoramento e controle. Para um diagnóstico socioambiental propõe-se o parcelamento das causas e identificação dos impactos orientando-se através das bacias hidrográficas, estabilizando a infraestrutura e ocupação buscando minimizar os impactos e facilitar o controle e monitoramento das áreas de risco seguindo o esquema de Zeilhofer e Miranda (2012).

A articulação da rede hidrográfica com o processo de ocupação urbana se dará através da valorização do conceito de corredor natural, favorecendo-se a acessibilidade da população aos corpos hídricos e a área ao longo do seu curso, através de acessos pontuais onde a exploração longitudinal e marginal se deva dar a pé ou com veículos leves não motorizados. Deve ser prevista também a recuperação de toda área de preservação permanente, renaturalizando os córregos e tentando devolver a eles o seu caminho com os meandros e acidentes naturais. Onde foram executados canalizações para evitar inundações, deverá ser remanejada toda ocupação da área passível de inundação, com construção de “parques lineares” e áreas de lazer que, além de passarem a constituir extensa área permeável para melhorar os índices de infiltração e diminuir o escoamento superficial, poderão assimilar, em épocas de elevada precipitação, as inundações que hoje colocam a população residente em risco. Para valorizar as áreas ribeirinhas, entende-se que todos os loteamentos a ser implantados poderão, em função de seu tamanho e sua localização, ser isentados da destinação local obrigatória de áreas verdes e áreas para uso institucional, em troca da implantação de um projeto ambiental na transição entre a área ocupada e as áreas de preservação permanente marginais aos córregos, prevendo-se nesse projeto, calçadas para pedestres, trilhas, cicloviárias, equipamentos comunitários, áreas para prática de esportes e de lazer previamente designadas. As calçadas para pedestres, além de proporcionarem a circulação dos moradores, consistirão em elemento delimitador entre a área pública e privada, nesses corredores. As unidades residenciais situadas nessa região limítrofe deverão ser articuladas urbanisticamente de modo a, preferencialmente, terem suas frentes voltadas para o córrego e não o contrário como acontece hoje, de forma a fomentar-se a requalificação e valorização desses espaços.

## 5. Conclusões

O Rio Cuiabá é um dos mantenedores fluviais mais importantes do pantanal. Logo seus córregos são de vital importância para sua manutenção, os corpos d'água são responsáveis por manter o fluxo e leito do rio Cuiabá auxiliando no ecossistema aquático, obedecendo assim um sistema biodiverso de redes, fluxos de energia e vida onde observamos a diversidade de conexões ecológicas pelo fornecimento de água que auxilia na dispersão de nutrientes e microrganismos, fornecendo o habitat ideal para a reprodução de várias espécies únicas do ambiente nas planícies alagadas do pantanal. Por serem de grande importância na manutenção do rio Cuiabá, estes corpos d'água sofrem impactos severos onde há o adensamento urbano de Chapada dos Guimarães e Cuiabá. Desde a supressão das nascentes pela ocupação habitacional e malha



asfáltica, estes corpos d'água são usados principalmente para despejo de resíduo séptico direto, sem tratamento ou direcionamento. Na capital o cenário se intensifica pela forma desordenada e pelo fato de não haver estrutura ou planejamento por parte do Estado, que ignora as situações vulneráveis de cidadãos que buscam moradia digna e acabam ocupando então as encostas onde os córregos serpenteiam pela cidade, sendo a realidade da área do perímetro urbano de Cuiabá e de várias cidades do Brasil e no mundo.

## 6. Referências

- Tucci, C.E.M. (2002). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).
- Rodrigues, L.C., Cavalcanti, E.A.H. (2011). Geocologia da Paisagem e Análise Ambiental. Editora da UFF
- Bertalanffy, L. (1968). General System Theory: Foundations, Development, Applications. George Braziller.
- Brasil. Município de Chapada dos Guimarães. Lei Complementar Nº 43, de 21 de julho de 2010. Dispõe sobre o Plano Diretor Participativo do Município de Chapada dos Guimarães e dá outras providências. Diário Oficial do Município de Chapada dos Guimarães, Chapada dos Guimarães, 21 de julho de 2010. Acesso em: 24 mar. 2024.
- Costa, M. A. et al. O Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e a Reestruturação da Região Metropolitana. Brasília: IPEA, 2021.
- Institucional. História de Chapada dos Guimarães. Disponível em: <https://www.chapadadosguimaraes.mt.gov.br/Institucional/Historia/>. Acesso em: 24 mar. 2024. Sanitários
- Figueiredo, R. R. D., Subtil, L. P., Tasca, B. F., Neves, R. de A., Campos, P. A. dos S., Xavier, F. V., & Siqueira, A. J. B. (2019). Expansão Urbana E Degradação De Nascentes: Identificando Padrões Espaço-Temporais De Um Processo Crônico Em Cuiabá, Mt. *Nativa*, 7(4), 396–406. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i4.7051>
- Nascente - Localização e Características Gerais. UFMT - MPMT. Disponível em: <https://aguaparaofuturo.mpmt.mp.br/nascentes> Acesso: 25 jul. 2024.
- Na beira de córregos, mais de 6 mil famílias vivem em áreas de risco. Kethlyn Moraes, 2023. RDNews. Disponível em: <https://www.rdnnews.com.br/cidades/conteudos/182288> Acesso: 25 jul. 2024.
- Coxipó baixo expõe toda sujeira da cidade que vai para o rio. Chico Ferreira, Gazeta Digital. Disponível em: [https://www.gazetadigital.com.br/editorias/cidades/coxipo-baixo-expoe-toda-sujeira-da-cidade-que-vai-para-o-rio/521374?enquete\\_titulo=eleicoes&enquete=1173](https://www.gazetadigital.com.br/editorias/cidades/coxipo-baixo-expoe-toda-sujeira-da-cidade-que-vai-para-o-rio/521374?enquete_titulo=eleicoes&enquete=1173) Acesso: 25 jul. 2024
- Da Silva, J. A., Marques, M. J. D. P. (2017). **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias**. Curitiba, PR, v.2, n.1, 14, jan./ jun. 2017. Disponível em: <https://revistas.ifpr.edu.br/index.php/mundimaa/article/download/608/429/1609#:~:text=Os%20cemitério%20s%C3%A9rios%20s%C3%A3o%20fontes%20potenciais, presente%20uma%20infinitude%20de%20microrganismos.>
- Rodriguez, M. M.; Silva, E. V. Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geocologia das paisagens e da teoria geossistêmica.
- Zeilhofer, P; Miranda, C. S. Proposta de Parcelamento e Infraestrutura em Bacias Urbanas: Estudo de caso - Córrego do Moinho, Cuiabá, Mt Geosp - Espaço e Tempo, São Paulo, Nº 31, pp. 37 - 53, 2012
- Conama. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/resolucao/1986/001.html>. Acesso em: jul ago. 2024.
- Sisnama. Sistema Nacional De Meio Ambiente – Sisnama. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/sisnama.html>. Acesso em: 30 jul. 2024.
- PNRH. Plano Nacional de Recursos Hídricos 2023. Disponível em: <http://www.agenciaagua.gov.br/pnhr2023.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2024.

## **Análise das áreas urbanizadas na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (2019)**

Bruna Aparecida Silva Dias  
Carolina Garcia de Figueiredo Colin  
Vera Aparecida de Figueiredo  
Luiz Antônio Falaguasta Barbosa  
João dos Santos Vila da Silva

Embrapa Agricultura Digital - CNPTIA  
Av. André Tosello, 209 - Caixa Postal 6041  
13083-886 - Campinas - SP, Brasil  
{bruna.aparecida, carolina.colin, vera.figueiredo}@colaborador.embrapa.br  
{luiz.barbosa, joao.vila}@embrapa.br

**Resumo:** A urbanização é um processo transformador que altera a dinâmica e a paisagem local, e conciliar a ocupação urbana com a proteção do meio ambiente tem se tornado um desafio para os gestores. Sendo assim, este artigo analisa as áreas urbanizadas da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (BAP) abrangendo partes dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, com base nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2019. O estudo utilizou diferentes bases de dados para processar os dados vetoriais no software QGis e produzir os mapas de urbanização e densidade. A análise revelou que, apesar de a urbanização representar apenas 0,22% (793,3 km<sup>2</sup>) da área total da BAP, ela apresenta impactos significativos, especialmente nas áreas urbanas densas, que corresponde a 66,5% das áreas urbanas da região, podendo agravar problemas como inundações e poluição devido à impermeabilização e à redução de áreas verdes. As áreas pouco densas ocupam apenas 27,8% (220,4 km<sup>2</sup>), porém desempenham um papel crucial na conectividade ecológica, enquanto os loteamentos vazios foram 5,7% (45,2 km<sup>2</sup>) e podem oferecer oportunidades para um planejamento urbano mais sustentável. Conclui-se que o gerenciamento eficaz dessas áreas urbanizadas é fundamental para mitigar os impactos negativos da urbanização e promover um desenvolvimento que esteja em conformidade com as leis ambientais e de gestão do território.

**Palavras-chave:** áreas urbanas, região hidrográfica, expansão urbana, densidade urbana.

**Abstract.** Urbanization is a transformative process that alters local dynamics and landscapes, making it increasingly challenging for managers to reconcile urban development with environmental protection. This article analyzes the urbanized areas of the Paraguay River Basin (PRB), which spans parts of the states of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul, using data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) for the year 2019. The study employed various datasets to process vector data in QGIS software and produce urbanization and density maps. The analysis revealed that although urbanization accounts for only 0.22% (793.3 km<sup>2</sup>) of the PRB's total area, it has significant impacts, particularly in densely urbanized areas, which make up 66.5% of the region's urban areas, and may exacerbate issues such as flooding and pollution due to increased impermeability and reduced green spaces. Sparse urban areas cover only 27.8% (220.4 km<sup>2</sup>) but play a crucial role in ecological connectivity, while vacant lots, accounting for 5.7% (45.2 km<sup>2</sup>), present opportunities for more sustainable urban planning. The study concludes that effective management of these urbanized areas is essential to mitigate the negative impacts of urbanization and to promote development that complies with environmental laws and land management policies.

**Keywords:** urban areas, hydrographic region, urban expansion, urban density.

## 1. Introdução

A urbanização no Brasil tem sido um processo acelerado e complexo, caracterizado por uma rápida transformação das áreas rurais em urbanas. Esse fenômeno foi impulsionado por diversos fatores, como: industrialização, a migração interna e o crescimento econômico, resultando na concentração populacional nas grandes metrópoles do país. No entanto, esse crescimento urbano desenfreado trouxe outros tipos de desafios, como aumento da desigualdade social, expansão desordenada das periferias e a degradação ambiental.

Nesse contexto, a identificação e classificação de áreas urbanas são fundamentais para o estabelecimento de políticas públicas eficazes, especialmente em regiões que desempenham papéis críticos no equilíbrio ambiental, como é o caso da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (BAP). A urbanização desordenada pode gerar impactos ambientais e socioeconômicos significativos, afetando todo o ecossistema local.

Portanto, o uso de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto se mostra eficiente no levantamento e caracterização dessas áreas, auxiliando no direcionamento de investimentos públicos para gestão do território, na melhoria das condições de vida da população local e promovendo melhorias ambientais para além dos limites municipais Câmara (2001). O uso das técnicas de sensoriamento remoto não só facilita o mapeamento das áreas urbanas, mas também permite a análise das transformações espaciais ao longo do tempo, possibilitando a identificação de padrões de urbanização e suas correlações com diversos outros aspectos ambientais, sociais e antrópicos Rodrigues (2011).

A BAP encontra-se na porção Oeste dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, desempenha um papel importante no abastecimento hídrico do bioma Pantanal. Ela é composta dos afluentes que abastecem o Pantanal, e a interação da população, de empresas e fazendas que utilizam esse manancial reflete nas mudanças que podem ocorrer no bioma. Assim, mapear e monitorar tal região hidrográfica com o auxílio de ferramentas de sensoriamento remoto pode trazer celeridade na resposta a danos causados pelo homem.

Sendo assim, a compreensão das dinâmicas urbanas na BAP é crucial para o desenvolvimento sustentável da área, em alinhamento com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), especificamente o ODS 11, que visa “Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis ONU (2015)”. A urbanização quando mal planejada, pode levar à degradação ambiental e à perda de biodiversidade, ameaçando não apenas o bioma Pantanal, mas todas as comunidades locais que dependem dos recursos naturais da região.

Dessa forma, o estudo das áreas urbanizadas com base em dados robustos, como os fornecidos por fontes oficiais, como o IBGE, permite uma avaliação mais acurada das pressões

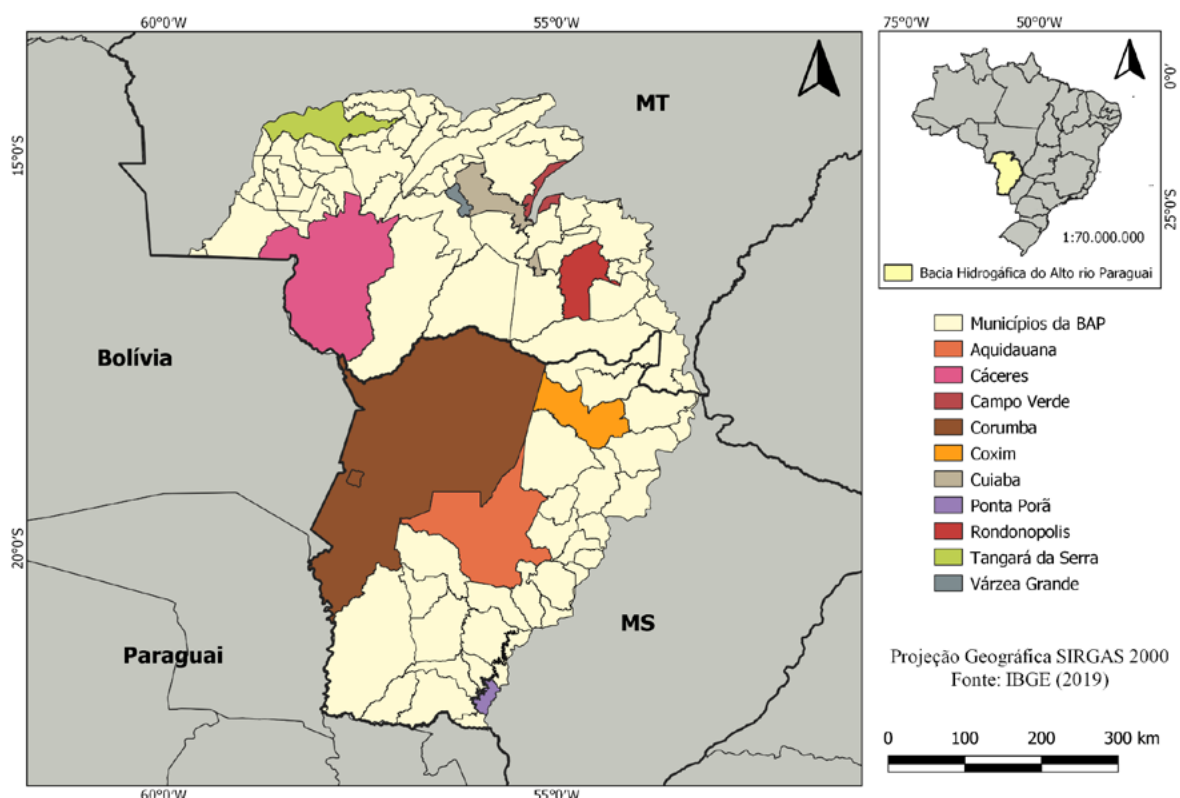
antrópicas e orienta a criação de políticas públicas voltadas para o ordenamento do território, preservação ambiental e desenvolvimento equilibrado da região.

## 2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise das áreas urbanizadas da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (BAP), utilizando como base os dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2019. Através dessa análise, busca-se identificar padrões de urbanização, avaliar o impacto dessas áreas na região e fornecer subsídios para os gestores públicos e privados no suporte à tomada de decisão.

## 3. Material e Métodos

A região de estudo (**Figura 1**) corresponde a Bacia do Alto Paraguai (BAP) e possui uma área de 363.446 km<sup>2</sup>, ou seja, 4,3% do território brasileiro, ocupando parte dos estados do Mato Grosso (MT) e Mato Grosso do Sul (MS). A BAP abrange limites municipais de 94 municípios de ambos os estados (59 no MT e 35 no MS), destacando em termos de relevância econômica as cidades de Cuiabá, Várzea Grande, Corumbá, Cáceres e Rondonópolis. De acordo com a Ana (2015), a BAP encontra-se bastante antropizada, devido a aberturas das fronteiras para exploração e produção agropecuária, carvão vegetal e lenha, e, em menor escala, o uso localizado e intensivo para mineração.



**Figura 1.** Mapa de localização da região de estudo.

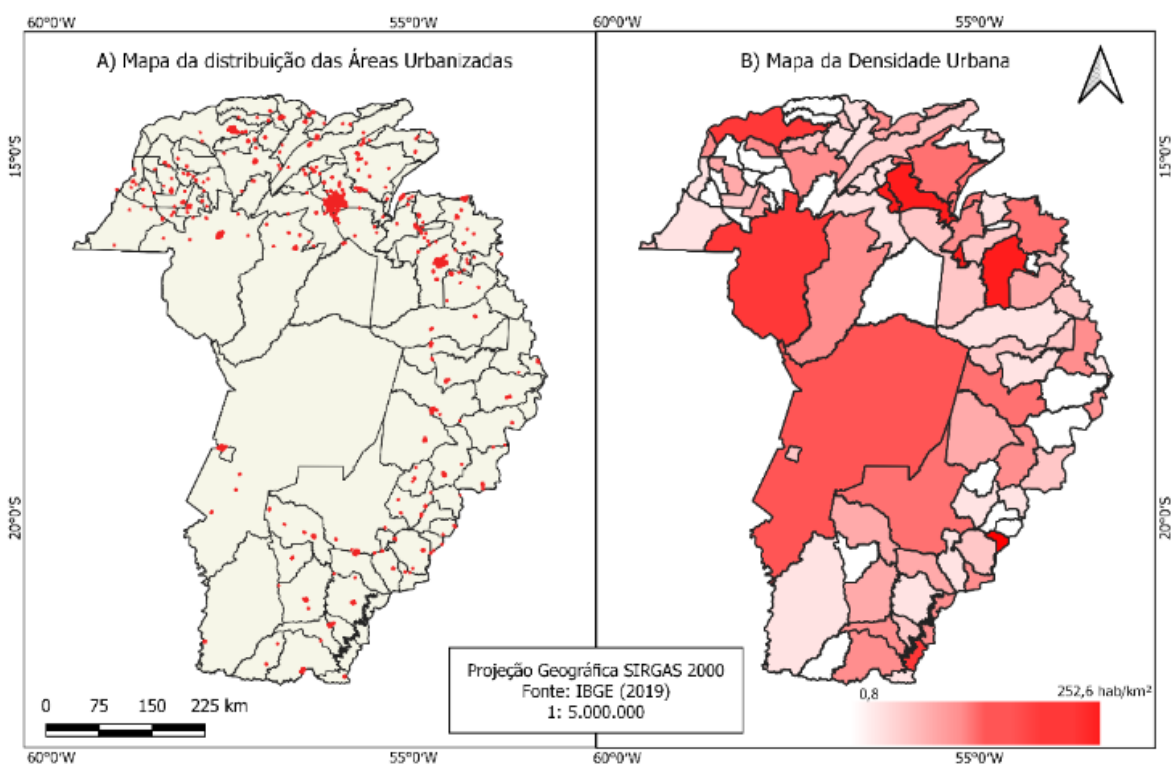
O mapeamento foi realizado a partir da utilização da base de dados de áreas urbanizadas disponibilizada pelo IBGE (2019) tanto em formato vetorial quanto no arquivo de texto em formato csv. Outros arquivos vetoriais do mesmo órgão também foram utilizados, como os de

unidades de federação do país e os limites dos municípios que integram a Bacia Hidrográfica do Alto rio Paraguai. Além disso, utilizou-se o limite da BAP e o arquivo de rodovias estaduais e federais dos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul disponibilizado nos metadados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico Ana (2016, 2018).

Para realizar a análise, o arquivo de áreas urbanizadas foi processado no software QGIS versão 3.28. Foi realizado o recorte da área urbanizada na BAP e foram criados os mapas com a espacialização das áreas urbanas e densidade urbana. Na sequência foram selecionados os dez municípios que possuíam as maiores áreas urbanas em km<sup>2</sup> para análise detalhada das áreas urbanizadas.

#### 4. Resultados e Discussão

A análise das áreas urbanizadas dos municípios da BAP, de acordo com os dados do IBGE para o ano de 2019, revela a distribuição espacial das áreas urbanas em diferentes municípios e a densidade urbana dessas áreas (**Figura 2**). Esse padrão de urbanização reflete tanto no crescimento econômico quanto na dinâmica populacional regional, assim como nas políticas de ordenamento territorial em vigor.



**Figura 2.** A) Mapa da distribuição das áreas urbanizadas, B) Mapa da densidade urbana dos municípios da BAP hab/km<sup>2</sup> (2019).

Como um dos principais vetores de transformação ambiental, a urbanização impacta de forma significativa todas as regiões hidrográficas do mundo. Na BAP, a área urbanizada representou 0,22% (793,3 km<sup>2</sup>) da área total da bacia. Essa distribuição se desdobra em 220,4 km<sup>2</sup> (27,8%) de áreas pouco densas, caracterizadas pela presença de feições urbanas, porém com uma ocupação mais espaçada, 527,7 km<sup>2</sup> (66,5%) de áreas densas, descritas como ocupação

urbana contínua, com pouco espaçamento entre as construções e maior abrangência de vias; e 45,2 km<sup>2</sup> (5,7%) de loteamentos vazios, evidenciando um padrão de ocupação diversificado e com distintas implicações ambientais e sociais IBGE (2015).

A urbanização em bacias hidrográficas, mesmo quando representa uma pequena fração da área total, como no caso da BAP, pode gerar impactos desproporcionais em termos de qualidade da água, alteração de fluxos hidrológicos e perda da biodiversidade Marengo (2008). As áreas urbanizadas densas, que compõe a maior parte da área urbanizada da BAP (527,7 km<sup>2</sup>), são particularmente críticas. Nessas áreas, o aumento da impermeabilização do solo, associado à redução de áreas verdes, contribui para o aumento do escoamento superficial, potencializando o risco de inundações e a poluição dos corpos hídricos Cohen (2003).

Por outro lado, as áreas pouco densas (220,4 km<sup>2</sup>), embora representem uma ocupação mais esparsa, podem atuar como zonas de transição entre o espaço urbano e as áreas naturais, desempenhando um papel crucial na conectividade ecológica e na manutenção de serviços ecossistêmicos. No entanto, se mal manejadas, essas áreas podem sofrer com a expansão desordenada, levando à fragmentação de *habitats* e ao aumento de conflitos socioambientais.

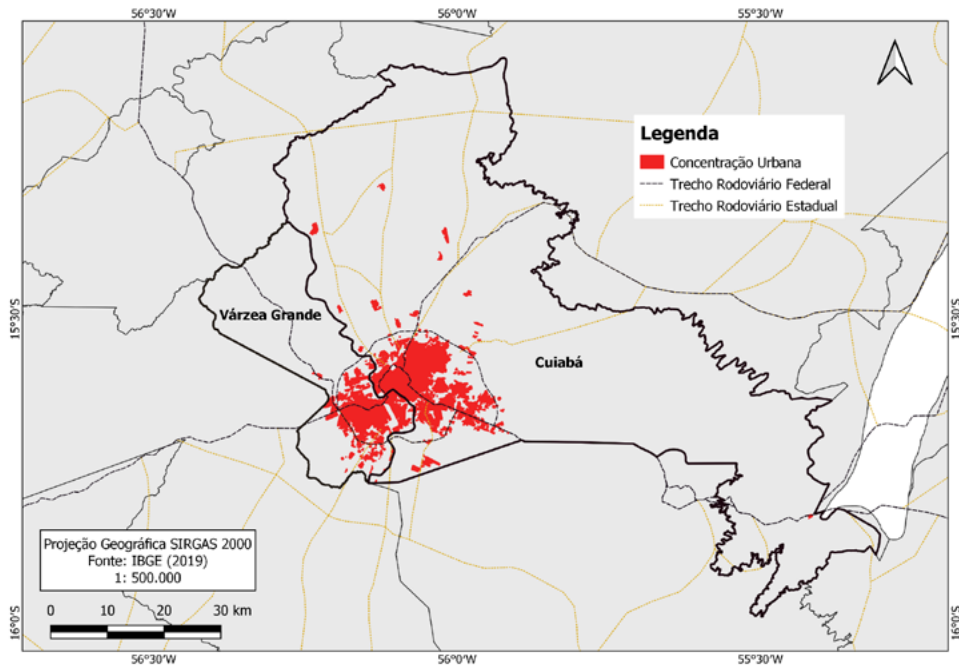
Os 45,2 km<sup>2</sup> (5,7%) de loteamento vazios representam uma porção significativa da área urbanizada que ainda não foi ocupada. Essa condição pode ser tanto uma oportunidade quanto um desafio para a gestão territorial. A urbanização futura dessas áreas, se realizada de maneira planejada e sustentável, poderia mitigar alguns dos impactos negativos associados à urbanização densa, como a criação de espaços verdes e a implementação de infraestrutura urbana sustentável Dias (2024). Entretanto, sem uma estratégia clara, há o risco de expansão urbana descontrolada, que pode agravar os problemas ambientais já existentes.

Complementando os mapas, temos na **Tabela 1** os municípios com as maiores áreas urbanizadas em km<sup>2</sup> da BAP, observa-se que Cuiabá e Várzea Grande (MT), juntas, formam uma conurbação significativa com áreas urbanizadas de 160,59 km<sup>2</sup> e 86,24 km<sup>2</sup>, respectivamente (**Figura 3**). Esse aglomerado urbano é característico de regiões metropolitanas que experimentam o crescimento acelerado, como discutido por Maricato (2014), onde a expansão urbana é impulsionada pela proximidade entre centros urbanos e pela busca por moradia acessível em áreas periféricas. Além disso, o crescimento e fortalecimento do agronegócio por meio da demanda de serviços vinculados ao setor contribuíram no avanço das áreas urbanizadas Silva (2020).

**Tabela 1.** As 10 maiores áreas urbanas em km<sup>2</sup> da BAP (2019).

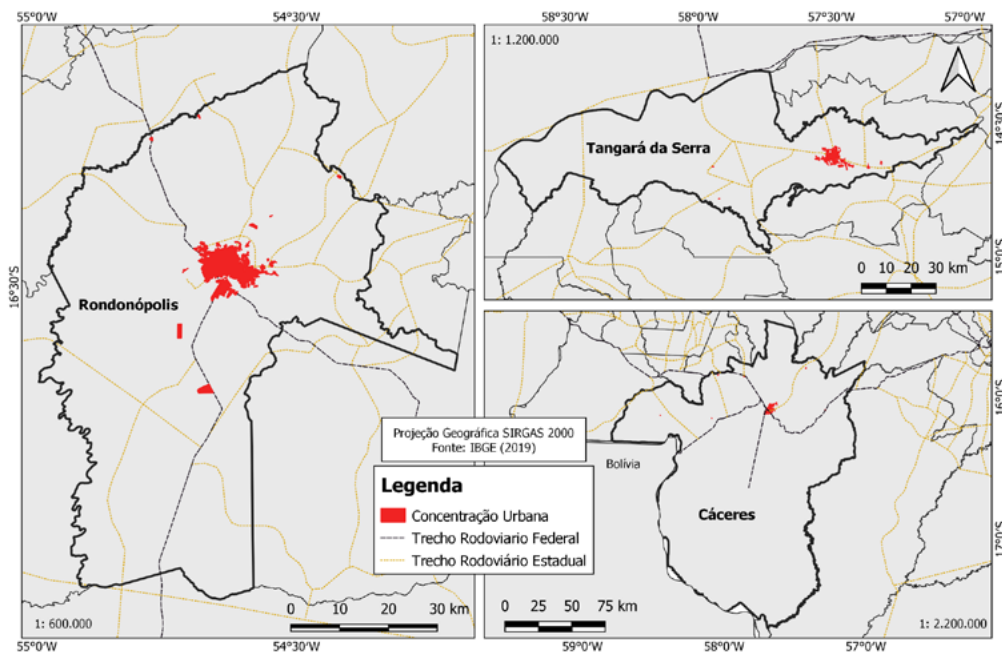
Município	UF	Área Urbana (km <sup>2</sup> )	População
Cuiabá	MT	160,59	612.547
Rondonópolis	MT	87,01	232.491
Várzea Grande	MT	86,24	284.971
Cáceres	MT	33,15	94.376
Ponta Porã	MS	32,47	92.526
Tangará da Serra	MT	30,97	103.750
Corumbá	MS	23,06	111.435
Campo Verde	MT	15,66	44.041
Aquidauana	MS	15,53	47.871
Coxim	MS	13,72	33.543

Fonte: IBGE (2019), Autores (2024).



**Figura 3.** Mapa da concentração urbana de Cuiabá e Várzea Grande (MT) em 2019.

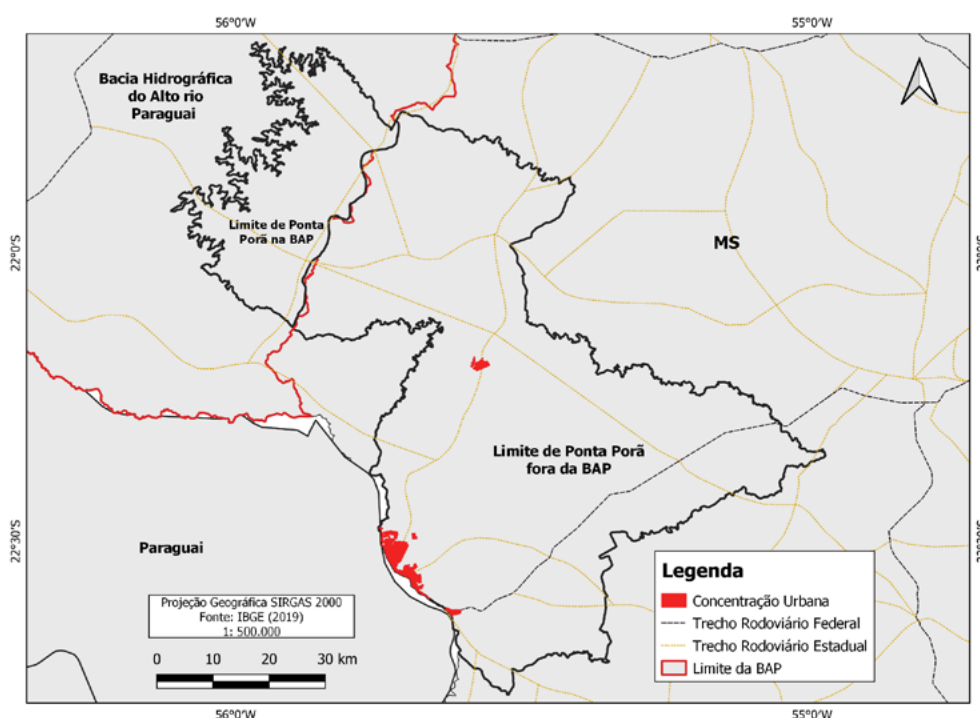
As cidades médias (conceito do IBGE para cidades que possuem entre 20 a 500 mil habitantes) como Rondonópolis-MT (87,01 km<sup>2</sup>), Tangará da Serra- MT (30,97 km<sup>2</sup>) e Cáceres-MT (33,15 km<sup>2</sup>), possuem populações variando entre 94 e 232 mil habitantes (**Figura 4**), demonstrando uma correlação direta entre o crescimento urbano e o desenvolvimento agrícola,



**Figura 4.** Mapa da concentração urbana de Rondonópolis, Tangará da Serra e Cáceres (MT) em 2019.

o que corrobora no aumento da especulação imobiliária e fundiária dos municípios Bezerra (2022). De acordo com Becker (2005), o avanço da fronteira agrícola, incentivos fiscais e econômicos, e o crescimento urbano no Centro-Oeste brasileiro foram um motor significativo para a urbanização dessas cidades, que atualmente servem como centros de apoio logístico, comercial e financeiro para o agronegócio.

A cidade de Ponta Porã, situada no estado do Mato Grosso do Sul, possui área urbana de 32,47 km<sup>2</sup> e quase 100 mil habitantes (**Figura 5**), destaca-se por sua localização estratégica na fronteira com o Paraguai, o que influencia diretamente sua dinâmica urbana, econômica e cultural. Além disso, a cidade apresenta uma baixa densidade demográfica (17,17 hab/km<sup>2</sup>) quando comparada a capital Campo Grande (111,11 hab/km<sup>2</sup>), o que reflete um equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e a preservação de áreas menos densamente ocupadas.

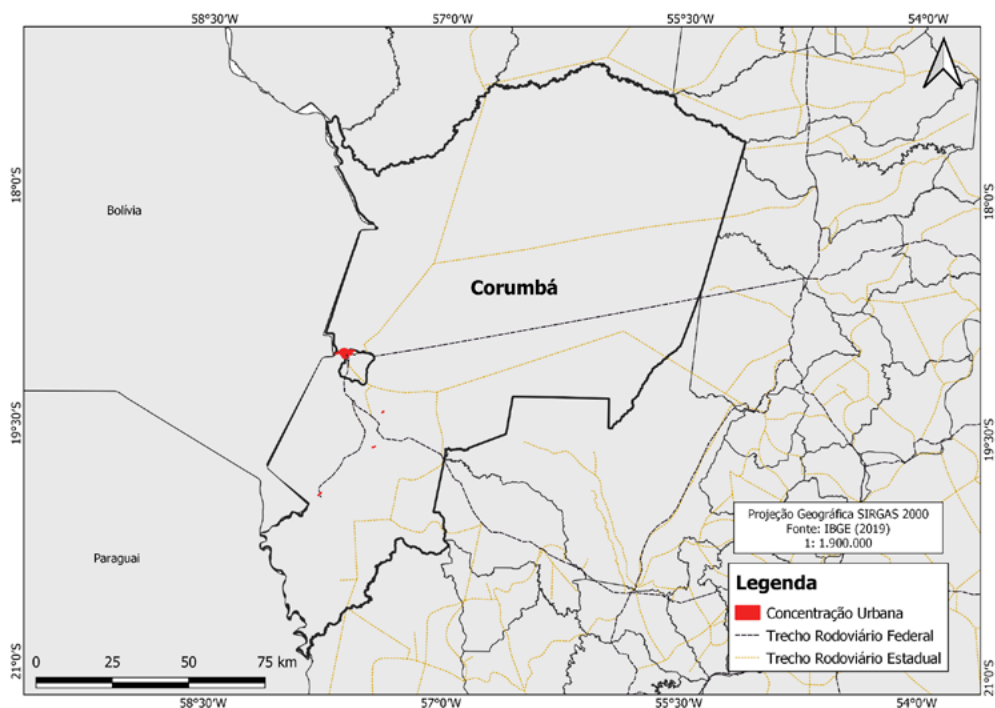


**Figura 5.** Mapa da concentração urbana de Ponta Porã (MS) em 2019.

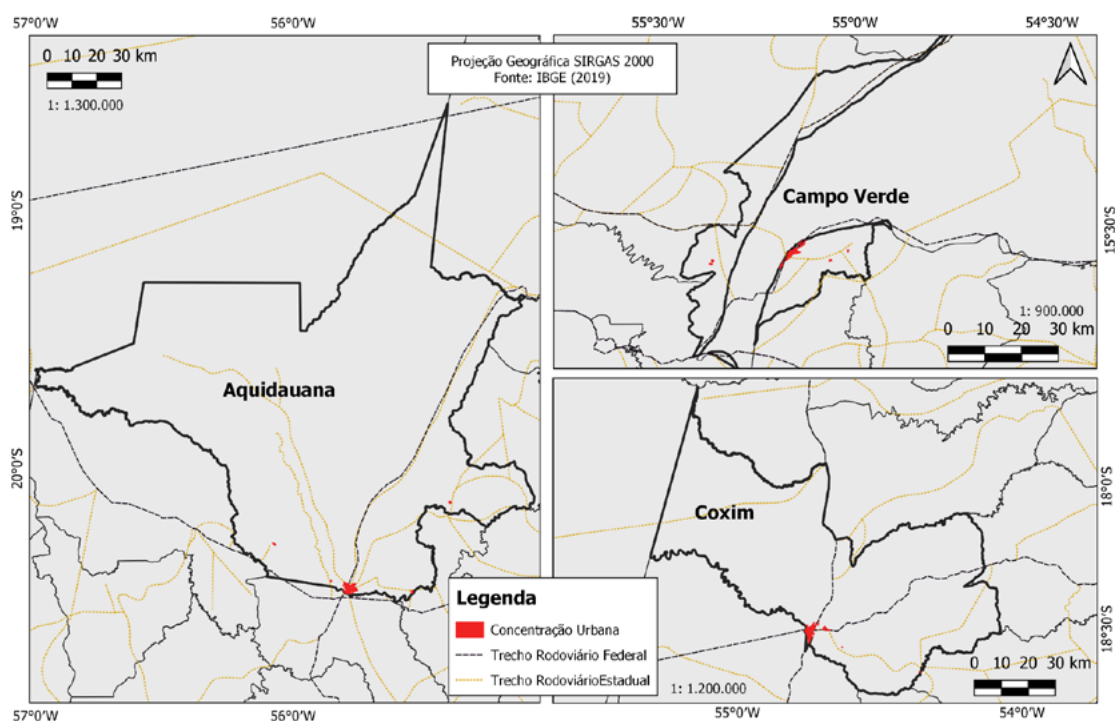
O município de Corumbá (MS), com 23,06 km<sup>2</sup> de área urbanizada (**Figura 6**), destaca-se por ser o maior em área territorial do estado do Mato Grosso do Sul (64.432,4 km<sup>2</sup>) segundo o IBGE (2022), e por localizar-se no Pantanal, um bioma de extrema importância ambiental. A urbanização nessa região enfrenta desafios específicos, como apontado por Paulo (2011), no qual destaca a necessidade de conciliar crescimento urbano com a preservação ambiental, especialmente em áreas sensíveis como o Pantanal.

Cidades menores como Campo Verde-MT (15,66 km<sup>2</sup>), Aquidauana-MS (15,53 km<sup>2</sup>) e Coxim-MS (13,72 km<sup>2</sup>) possuem áreas urbanizadas mais restritas, ou seja, além do tamanho físico menor, muitas vezes, há uma menor densidade de infraestrutura urbana (**Figura 7**). Campo Verde, apesar de menor, é relevante no setor do agronegócio; Aquidauana é influenciado tanto por sua proximidade com o Pantanal quanto por suas funções regionais de serviço; e Coxim, também desempenha um papel importante na região, especialmente no suporte às atividades agropecuárias.





**Figura 6.** Mapa da concentração urbana de Corumbá (MS) em 2019.



**Figura 7.** Mapa da concentração urbana de Campo Verde (MT), Aquidauana (MS) e Coxim (MS) em 2019.

Em comparação com a edição anterior (2015), a metodologia do IBGE para identificar as áreas urbanizadas passou por mudanças significativas, refletindo avanços tecnológicos e mudanças nos critérios de análise. Em 2015, o mapeamento se restringia apenas às Concentrações Urbanas, definidas pelo IBGE (2016) como arranjos populacionais (agrupamento de dois ou mais municípios com forte integração populacional) e os municípios isolados (aqueles que não fazem parte de arranjos populacionais) com mais de 100.000 habitantes. Esse mapeamento utilizou imagens do satélite *RapidEye*, com resolução espacial de 5 metros associadas a técnicas de interpretação manual, tendo a base de setores censitários para delimitação da área urbana. As desvantagens desta metodologia eram: a falta de padronização rigorosa em termos de densidade e ocupação do solo: processamento de dados manual e dependência de intérpretes especializados, que além de laborioso podia sofrer alterações conforme interpretação visual de cada intérprete: inconsistências na demarcação dos setores urbanos, pois existiam áreas extensas não urbanizadas, com presença de agricultura, matas nativas, pastagens e outras formas de ocupação não coerentes com a respectiva classificação Farias (2017).

A partir de 2019, o mapeamento passou a abranger todos os municípios do território nacional. Além disso, passou a empregar as imagens do satélite Sentinel-2/MSI com resolução espacial de 10 metros. Foram adotadas técnicas mais avançadas de sensoriamento remoto, com a incorporação de mais automação no processo de análise, a partir da utilização de algoritmos de classificação e segmentação para identificar as áreas urbanizadas, reduzindo a subjetividade e aumentando a consistência dos resultados, com padronização mais clara. Foram incluídos critérios específicos para densidade de edificações, continuidade da mancha urbana, inclusão de áreas de uso específico como industriais ou comerciais, e acrescentada a identificação da classe de loteamentos vazios, não contemplada na edição anterior. Isso resultou em uma delimitação mais coerente e precisa das áreas urbanas.

Vale ressaltar que desde a primeira edição do mapeamento das áreas urbanas no Brasil, divulgada em 2005 até a edição atual de 2019, houveram alterações metodológicas, que de acordo com o IBGE (2019) estão relacionadas à disponibilidade do insumo de imagens de sensoriamento remoto, frutos de contínuas mudanças das geotecnologias para o imageamento da superfície terrestre. Portanto, tais mudanças tornaram imprópria a comparabilidade das informações resultantes, em termos de área.

Em suma, a urbanização na BAP, ainda que limitada em extensão, exige uma gestão cuidadosa, preparada e informada. A literatura destaca a importância de um planejamento urbano integrado que considere as particularidades das diferentes áreas de urbanização, promovendo o equilíbrio entre desenvolvimento urbano e conservação ambiental (Borges, 2017). A gestão eficiente dessas áreas pode garantir a sustentabilidade da bacia, preservando seus recursos hídricos e integrando as estratégias públicas de uso e ocupação da terra, garantindo a qualidade e quantidade de recursos disponíveis para as atuais e futuras gerações.

## 5. Conclusões

Este estudo teve como objetivo analisar as áreas urbanizadas da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (BAP) utilizando dados do IBGE de 2019, identificando padrões de urbanização e avaliando o impacto dessas áreas na região. A análise revelou que, embora a urbanização na BAP represente apenas 0,22% de sua área total, suas implicações são significativas, podendo afetar a qualidade da água, os fluxos hidrológicos e a biodiversidade local.

A presença de áreas urbanas densas, que constitui a maior parte da urbanização na BAP, intensifica os riscos de inundações e poluição devido à impermeabilização do solo e à redução das áreas verdes. Por outro lado, as áreas urbanizadas pouco densas desempenham um papel

crucial na conectividade ecológica e na manutenção de serviços ecossistêmicos, desde que geridas de forma adequada.

Os loteamentos vazios, que ainda não foram ocupados, oferecem uma oportunidade para um planejamento urbano sustentável, que poderia mitigar os impactos negativos da urbanização densa e contribuir para a criação de espaços verdes e infraestrutura sustentável. Ademais, esses lotes apresentam distribuições mais variadas, o que demanda estudos específicos para avaliar essas distribuições e as causas associadas. As principais cidades da BAP, como Cuiabá e Várzea Grande, destacam-se pela sua importância econômica e pelo crescimento acelerado, enquanto as cidades menores mostram uma correlação entre crescimento urbano e desenvolvimento agrícola.

A comparação com a edição anterior do mapeamento de 2015 mostra avanços significativos na metodologia, com o uso de imagens de sensores remotos mais recentes e técnicas mais avançadas de processamento de dados, resultando na delimitação mais precisa das áreas urbanas. Essas mudanças ao decorrer dos anos refletem a evolução das geotecnologias e destacam a necessidade de um planejamento urbano integrado e adaptativo.

A gestão das áreas urbanizadas na BAP deve, portanto, ser cuidadosamente planejada para equilibrar o desenvolvimento urbano com a preservação ambiental garantindo atingir o objetivo da ODS. Para isso, políticas públicas eficazes devem considerar as particularidades regionais para garantir a sustentabilidade da bacia, preservando seus recursos hídricos e integrando estratégias de uso e ocupação da terra.

## 6. Agradecimentos

Ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) pelo financiamento do projeto de pesquisa “Aperfeiçoamento do Cadastro Ambiental Urbano (CAU), com ênfase na agricultura”, por meio da Embrapa Agricultura Digital e pela Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (FAPED).

## 7. Referências

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Ana). Base Cartográfica Vetorial Contínua. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraguai. 2018. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/bdc7c120-39c0-439a-86c6-4599c29643f0>. Acesso em: 18 ago. 2024.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Ana). Regiões Hidrográficas do Brasil: Conjuntura dos Recursos Hídricos 2015. Brasília: ANA, 2015. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/regioeshidrograficas2014.pdf>. Acesso em: 01 set. 2024.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Ana). Rodovias Estaduais dos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/ff37f924-e88d-4ee4-82e7-14a3e5efe0fd>. Acesso em: 18 ago. 2024.
- Bezerra, P. F. R. Rondonópolis-MT: cidade média contemporânea. 2022. 125 f. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola de Direito, Negócios e Comunicação, Goiânia, 2022. Disponível em: <http://tede2.pucgoias.edu.br:8080/handle/tede/4797>. Acesso em: 22 ago. 2024.
- Becker, Bertha K. Geopolítica da Amazônia. Estudos Avançados, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 71-86, 2005. DOI: 10.1590/S0103-40142005000100005.
- Borges, Juarez Camargo. A gestão do espaço urbano e a evolução do processo de urbanização a partir do surgimento dos condomínios horizontais fechados nos municípios de Capão da Canoa e Xangri-Lá (RS). In: Ladwig, Nilzo Ivo; Schwalm, Hugo (Org.). Planejamento e gestão territorial: gestão integrada do território. Criciúma: UNESC, 2017. p.226-237. DOI: <http://dx.doi.org/10.18616/plan16>. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/5165>>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- Câmara, G. Davis, C.; Monteiro, A.M.; D’Alge, J.C. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos

Campos, INPE, 2001 (on-line, 2a. edição, revista e ampliada).

Cohen, J. E. Human population: the next half century. *Science*. v. 302, n.5648, p.1172-1175. 2003. doi: 10.1126/science.1088665. PMID: 14615528.

Dias, S. I. S. Desafios urbanos. *Urbanismo: teorias da urbanização*. Cascavel: Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, 2024. 66.

Farias, A. R.; Mingoti, R.; Valle, L. B.; Spadotto, C. A.; Lovisi Filho, E. Identificação, mapeamento e quantificação das áreas urbanas do Brasil. *EMBRAPA Territorial, Gestão Territorial: Campinas*, 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Corumbá. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ms/corumba.html>. Acesso em: 19 ago. 2024.

\_\_\_\_\_. Áreas urbanizadas do Brasil. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html>. Acesso em: 19 ago. 2024.

\_\_\_\_\_. Áreas urbanizadas do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. (Série relatórios metodológicos, v. 44). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?edicao=15952>. Acesso em: 26 ago. 2024.

\_\_\_\_\_. Arranjos populacionais e concentrações urbanas do Brasil. *Coordenação de Geografia*, 2.ed, Rio de Janeiro: IBGE, 2016. 167 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99700.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2024.

\_\_\_\_\_. Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2019. Disponível em: [https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\\_de\\_Populacao/Estimativas\\_2019/estimativa\\_dou\\_2019.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2019/estimativa_dou_2019.pdf). Acesso em: 22 ago. 2024.

Marengo, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, 2008, Vol. 22, p. 83-96.

Maricato, E. O impasse da política urbana no Brasil. 3. ed. Petrópolis: Vozes, 2014. 214 p.

Organização das Nações Unidas (ONU). *Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Nova York: United Nations, 2015. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>. Acesso em: 01 set. 2024.

Paulo, Carla Moura de. Dinâmica territorial no Pantanal brasileiro: impactos do turismo e propostas de planejamento. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. doi:10.11606/D.90.2011.tde-22022012-153945. Acesso em: 22 ago. 2024.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Versão 3.28. Open-Source Geospatial Foundation Project, 2023. Disponível em: <https://qgis.org/>. Acesso em: 14. ago 2024.

Rodrigues, C. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidro-geomorfológicos. Desenvolvimento e aplicação de metodologia na grande São Paulo. 2011. *Revista Do Departamento De Geografia*, 20, 111-125. <https://doi.org/10.7154/RDG.2010.0020.0008>

Silva, R. B. Centralidade de comércio e serviços na conurbação Cuiabá-Várzea Grande - MT e a precarização do trabalhador. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 24, p. e42, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/44322>. Acesso em: 22 ago. 2024.

## Uma breve análise sobre a espacialização de áreas urbanizadas, na Bacia do Alto Paraguai (BAP), no ano de 2019

Natália de Souza Santos  
João Paulo da Silva  
Marcos de Castro Santos Junior  
Jean Victor Barrozo Chaves  
Eduardo Antonio Speranza  
João dos Santos Vila da Silva

Embrapa Agricultura Digital - CNPTIA  
Av. André Toselo, 209 - Caixa Postal 6041  
13083-886 - Campinas - SP, Brasil  
{natalia.santos, joao-paulo.silva, marcos.junior, jean.chaves}@colaborador.embrapa.br  
{eduardo.speranza, joao.vila}@embrapa.br

**Resumo.** O estudo do crescimento urbano possibilita a identificação e a análise de tendências quanto à expansão preferencial da mancha urbana. Essas informações auxiliam na definição de estratégias de planejamento para atender aos aspectos sociais, econômicos e ambientais. Este estudo tem por objetivo realizar uma descrição analítica do mapeamento da área urbanizada realizado pelo projeto MapBiomias nos municípios da Bacia do Alto Paraguai, referente ao ano de 2019, relacionando com o mapeamento de referência gerado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Nos métodos, foi realizada a quantificação das áreas urbanas mapeadas pelo projeto MapBiomias e uma análise das conformidades e discrepâncias dos fragmentos urbanizados de ambos os inventários, em 2019 na Bacia do Alto Paraguai. Tendo como base o processo de reclassificação das imagens Sentinel, com resolução espacial de 10m. Os resultados apontam que ambos os mapeamentos apresentam uma acurácia de 86%. Outro resultado importante desse levantamento de dados, dentro dos 93 municípios que fazem parte da Bacia do Paraguai, 64 municípios possuem menos de 500ha de área urbanizada, enquanto 29 municípios apresentam mais de 500ha de áreas urbanizadas.

**Palavras-chave:** bacia hidrográfica, área urbanizada e fragmentos urbanos.

**Abstract.** The study of urban growth allows us to identify and analyze trends regarding the preferential expansion of urban areas. This information helps define planning strategies to address social, economic, and environmental aspects. This study aims to provide an analytical description of the mapping of urban areas carried out by the MapBiomias project in the municipalities of the Upper Paraguay Basin, for the year 2019, relating it to the reference mapping generated by the Brazilian Institute of Geography and Statistics. The methods used included the quantification of urban areas mapped by the MapBiomias project and an analysis of the conformities and discrepancies of the urbanized fragments of both inventories in 2019 in the Upper Paraguay Basin. Based on the process of reclassifying Sentinel images, with a spatial resolution of 10m, the results indicate that both mappings have an accuracy of 86%. Another important result of this data survey is that of the 93 municipalities that are part of the Paraguay Basin, 64 municipalities have less than 500ha of urbanized area, while 29 municipalities have more than 500ha of urbanized area.

**Key-words:** watershed, urbanized area and urban fragments.

## 1. Introdução

A expansão urbana é um fenômeno humano natural que ocorre ao longo do tempo, “pois espontaneamente atrai pessoas de diversos lugares e regiões, sendo acelerado o adensamento populacional, de acordo com características empreendedoras de cada município e/ou necessidades específicas” (Vendramini et al., 2016).

Na maioria das cidades, o ampliamiento urbano ocorre sem planejamento prévio, o que acarreta a degradação do meio ambiente devido às ações humanas exageradas neste processo. Espaços inapropriados são ocupados de forma irregular como, por exemplo, o estabelecimento em margens de rios, que ocorrendo a supressão da vegetação que ajuda a reter a água dos rios em épocas de alagamento. A expansão desordenada também traz problemas para o meio urbano, como, as ilhas de calor e a poluição do ar, ambos com impactos na saúde da população (MMA, 2021).

Conhecer e monitorar a dinâmica da evolução das áreas urbanas é uma tarefa trabalhosa operacionalmente e financeiramente para ser executada em escala de campo com abrangência espacial e temporal. Dessa forma, a perspectiva de utilizar imagens de satélite para monitoramento de áreas urbanas tem sido promissora, mas também demanda a aplicação de técnicas e metodologias para facilitar o processamento e a extração de informações úteis a respeito dessas áreas. Nesse contexto, a detecção de áreas urbanas e suas características empregam técnicas baseadas em algoritmos e modelos de mineração de dados para executar esta tarefa (Arif et al., 2023; Khusni et al., 2020; Shafique et al., 2022).

No Brasil, a iniciativa promovida pelo projeto MapBiomias (MapBiomias, 2022) tem o objetivo de mapear, entre outras classes, as áreas urbanizadas a partir de algoritmos de classificação supervisionada. Além desta, e seguindo uma metodologia própria, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) também se dispõe a mapear as áreas urbanizadas do Brasil, classificando os arranjos e estruturas em tipologia que facilitam o entendimento da dinâmica de expansão e desenvolvimento urbano.

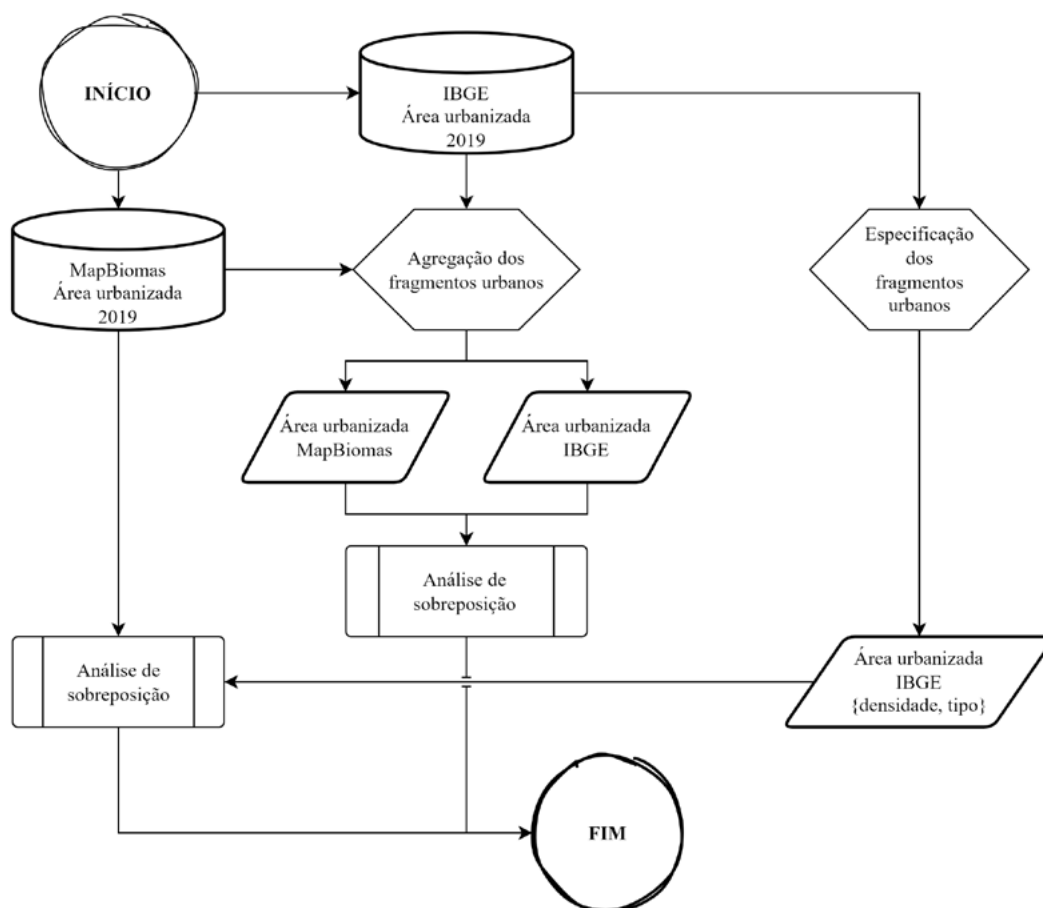
## 2. Objetivo

Realizar uma descrição analítica do mapeamento da área urbanizada realizado pelo consórcio MapBiomias nos municípios da Bacia do Alto Paraguai, referente ao ano de 2019, relacionando com o mapeamento de referência gerado pelo IBGE.

## 3. Material e métodos

A estrutura adotada no desenvolvimento deste trabalho (**Figura 1**) envolve o emprego de

técnicas de estatística descritiva e geoprocessamento para avaliar a qualidade da sobreposição do mapeamento realizado pelo projeto MapBiomas em relação ao levantamento realizado pelo IBGE (ano), em área total e sobre os fragmentos urbanos.

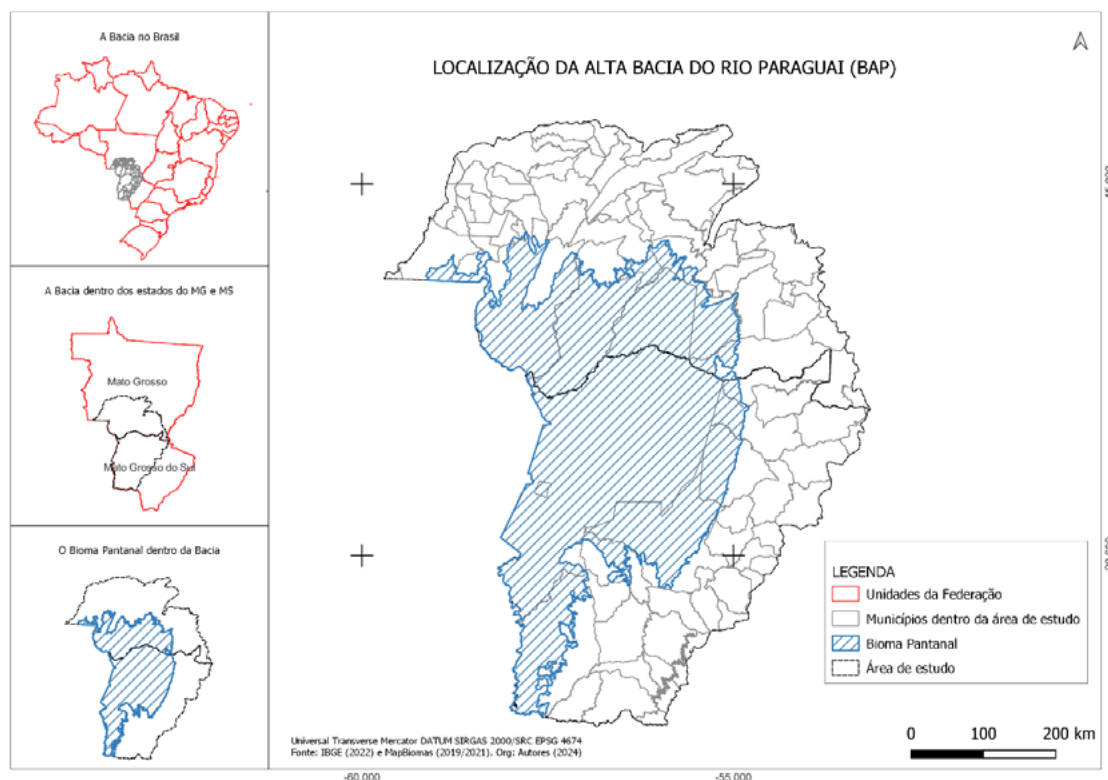


**Figura 1.** Estrutura adotada no desenvolvimento do estudo.  
Fonte: Autores (2024).

A delimitação espacial da área de estudo é a Bacia do Alto Paraguai com 361.66 mil km<sup>2</sup> (Silva & Abdon, 1998), englobando o bioma Pantanal na sua totalidade. Compreende 94 municípios dos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (**Figura 2**).

A tipologia do mapeamento de referência para áreas urbanizadas (IBGE, 2022) classificou os fragmentos urbanizados com relação a sua densidade (áreas densas, áreas pouco densas e loteamentos vazios) e tipo (áreas urbanizadas, loteamento vazio, outros equipamentos urbanos e vazios intraurbanos). Nessa classificação, a estrutura das áreas densas representa predominantemente centros urbanos bem estabelecidos, com ruas bem definidas e poucos espaços verdes e, quando presentes, quintais com espaços reduzidos. No caso das áreas pouco densas, esta classificação se distingue por apresentar maior espaçamento entre as construções e arruamento menos definido, sendo, portanto, características de áreas periféricas.

Quanto aos loteamentos vazios, estes representam áreas antropizadas e preparadas para urbanização, porém ainda aquém das características necessárias para classificá-los como áreas pouco adensadas ou adensadas. O tipo das áreas se aplica apenas às áreas densas ou pouco densas, e na sua classificação se encontram as seguintes categorias: (i) vazios intraurbanos, que são áreas dentro do perímetro urbano não ocupadas por construções (e.g., áreas verdes) e



**Figura 2.** Mapa da Área de Estudo, Bacia do Alto Paraguai (BAP).  
Fonte: Autores (2024).

limitadas à 0,25km<sup>2</sup> e 2,5km<sup>2</sup>; (ii) outros equipamentos urbanos, caracterizados por instrumentos de infraestrutura não residenciais (e.g., prédios públicos, pistas de poucos, shoppings, estações de energia, dentre outros); (iii) loteamentos vazios, que são as mesmas áreas definidas na classificação homônima de densidade; e (iv) áreas urbanizadas, que são as áreas que não se encaixam nas categorias anteriores. Mais detalhes relacionados aos critérios de identificação e classificação estão disponíveis na publicação original (IBGE, 2022).

Os dados de mapeamento das áreas urbanas gerados pelo MapBiomias (MapBiomias, 2022) foram gerados a partir de algoritmos de aprendizado de máquina (Machine learning) que analisaram a série histórica de imagens dos satélites Landsat (30m de resolução espacial) para quantificar e qualificar a evolução dessas áreas desde 1985. Nesse caso, apenas o ano de 2019 foi considerado por ser a data mais próxima do mapeamento de referência (IBGE, 2022).

A análise da convergência entre as duas bases se deu de duas maneiras, uma para análise em área total dos municípios e outra para comparação das áreas tipológicas do mapeamento de referência. Em ambos os casos, a métrica adotada foi a acurácia (ACC), que também significa o percentual de sobreposição entre as duas classificações (**Equação 1**):

$$ACC = \frac{CC}{TC}$$

Sendo:

ACC:

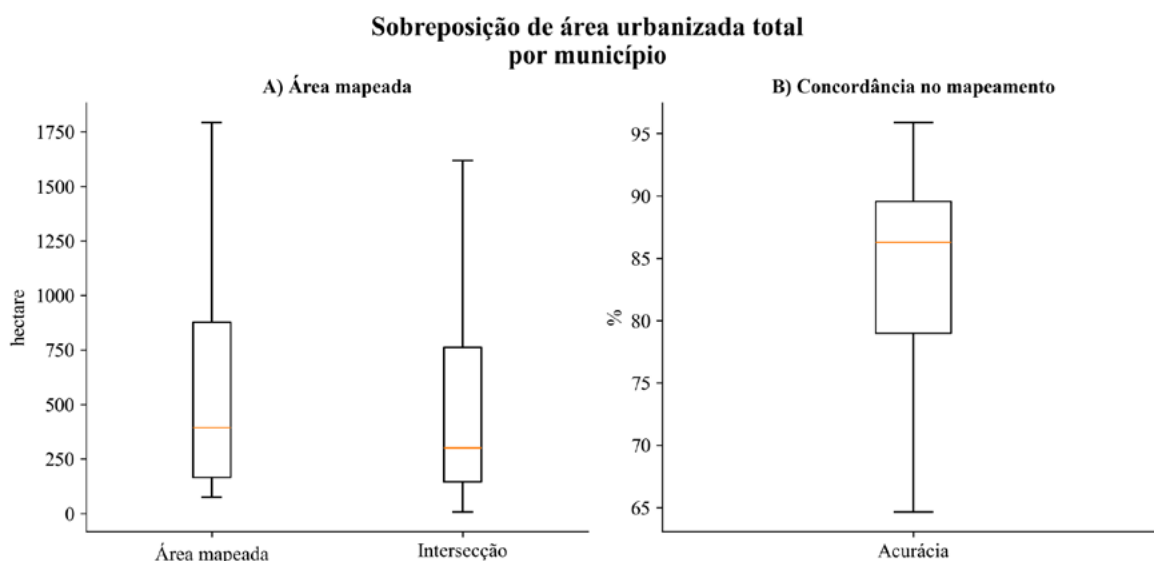
CC: Classificações Corretas entre o mapeamento do MapBiomias;

TC: Todas as Classificações.



#### 4. Resultados

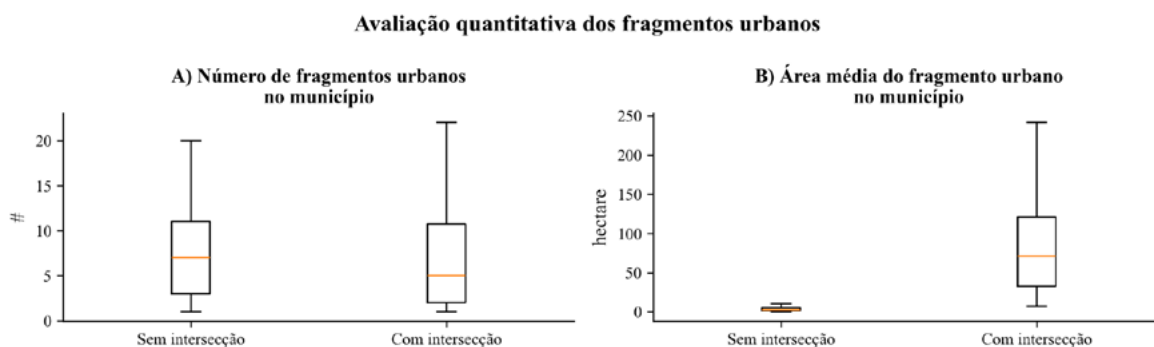
No contexto geral, a comparação das áreas mostrou concordância entre as áreas mapeada e de referência e resultou em uma ACC mediana (Q2) de 86%. Do conjunto de municípios destacam-se Ribas do Rio Pardo-MS (ACC=95,89%) e Jangada-MT (ACC=95,75%), com as maiores intersecções entre os dois mapeamentos, e Porto Murtinho-MS (ACC=53,58%) e Ladário-MS (ACC=09,27%) com as menores. As duas capitais, Cuiabá-MT e Campo Grande-MS, apresentaram, respectivamente, ACC iguais a 87,13% e 91,63%, evidenciando a convergência entre os dois mapeamentos (**Figura 3**).



**Figura 3.** Sobreposição de área urbanizada total por município: (A) área mapeada e (B) Concordância no mapeamento.

Fonte: Autores (2024).

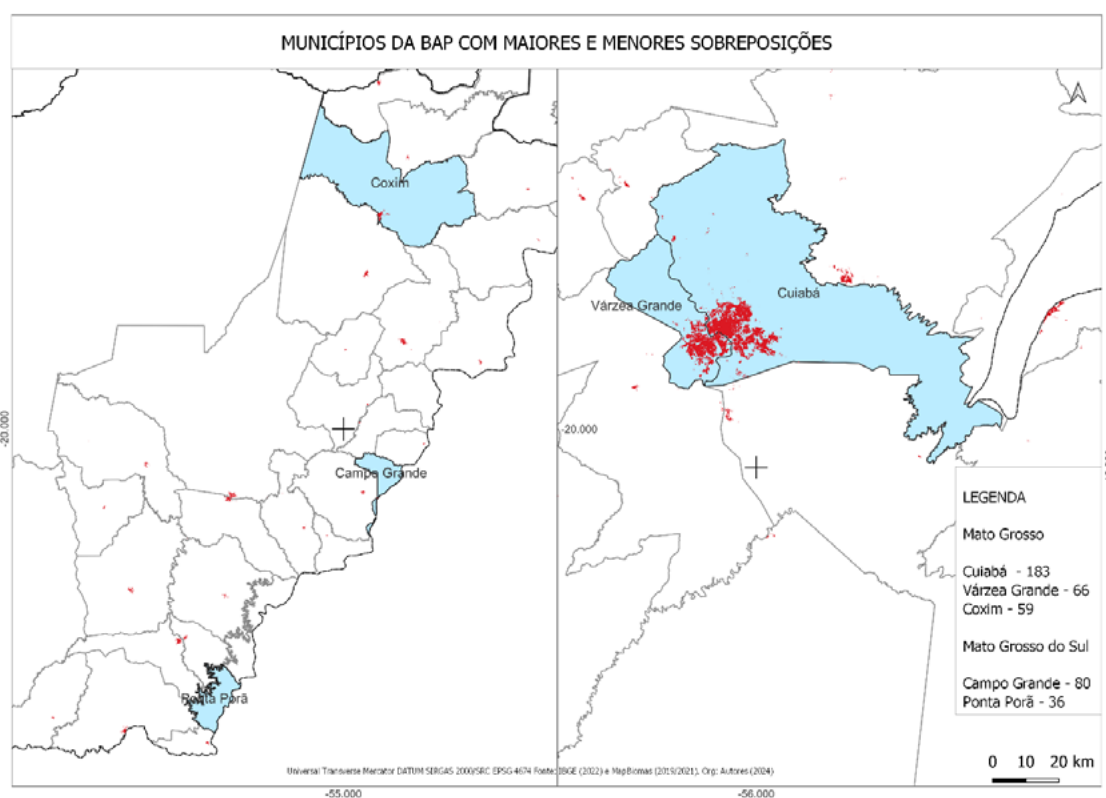
Segmentando os fragmentos urbanos mapeados verificou-se que, quantitativamente, os mapeados foram equivalentes a aqueles que o procedimento adotado pelo MapBiomas foi capaz de detectar (**Figura 4A**). Entretanto, a incapacidade de detectar os fragmentos em alguns municípios é explicada pelo tamanho reduzido desses fragmentos (**Figura 4B**), fator que pode estar relacionado à estrutura desses alvos, ou, ainda, terem sido eliminados em etapas de tratamento das imagens classificadas.



**Figura 4.** Avaliação quantitativa dos fragmentos urbanos: (A) Diferença dos fragmentos sem intersecção e com intersecção (B) Hectares dos Fragmentos sem e com intersecção.

Fonte: Autores (2024).

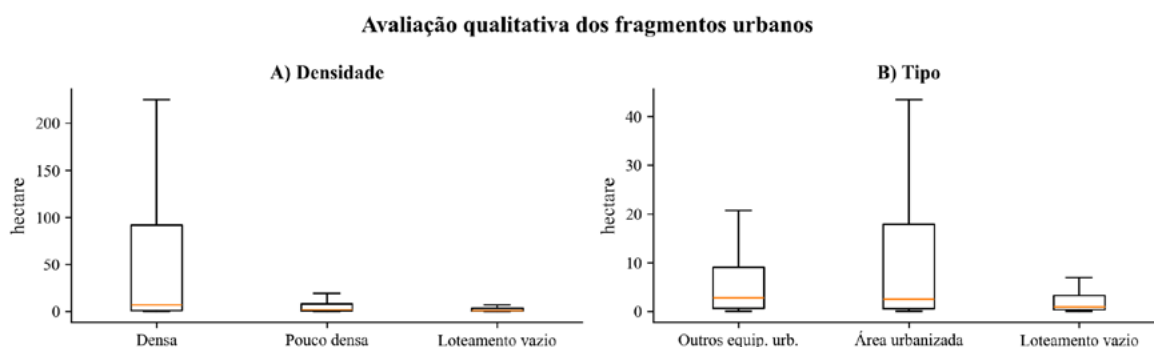
Os municípios com a maior quantidade de fragmentos urbanos não detectados (**Figura 4A**) foram Cuiabá-MT (183 fragmentos), Campo Grande-MS (80), Várzea Grande-MT (66), Coxim-MT (59) e Ponta Porã-MS (36). Esses municípios, entretanto, não foram aqueles com maior área média dos fragmentos urbanos não detectados pelo MapBiomas, sendo esta propriedade liderada pelos municípios de Diamantino-MT (15ha), Acorizal-MT (13ha), Maracaju-MS (13ha), Pontes e Lacerda-MT (11ha) e Corguinho-MS (11ha). Esses dados mostram que áreas urbanizadas em municípios menores ou com maior fragmentação podem estar sendo negligenciadas pelo sistema de mapeamento (**Figura 5**).



**Figura 5.** Áreas urbanas nos municípios da Bacia do Alto Paraguai (BAP) do estado do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, respectivamente.  
Fonte: Autores (2024).

No caso dos fragmentos urbanos com intersecção entre os dois mapeamentos, também estão na liderança deste parâmetro as duas capitais, Campo Grande-MS e Cuiabá-MT, com 152 e 144 fragmentos urbanos, respectivamente, seguidas pelos municípios de Várzea Grande-MT (93), Rondonópolis-MT (61) e Chapada dos Guimarães-MT (58). Do mesmo modo, contudo, esses municípios não lideram a continuidade da área de intersecção entre as duas metodologias de mapeamento, sendo esta posição ocupada por Porto Murtinho-MS (498ha, em média), Corumbá-MS (323ha), Costa Rica-MS (241ha), Guia Lopes da Laguna-MS (230ha) e Rio Verde do Mato Grosso (185ha). O município com o menor fragmento urbano contínuo com intersecção é Ladário-MS, com 7ha, em média.

A intersecção dos fragmentos urbanos entre as duas metodologias, mas discriminados pela tipologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), mostra maior frequência na detecção de áreas urbanizadas densas (**Figura 6A**) e de áreas urbanizadas (**Figura 6B**), que por sua vez engloba áreas consideradas densas e pouco densas.



**Figura 6.** Descrição estatística da sobreposição do mapeamento por tipologia: (A) densidade e (B) tipo.  
Fonte: Autores (2024).

Considerando que a superioridade na frequência dessas classes seja esperada devido à natureza do mapeamento explorado (áreas urbanizadas), é preciso entender melhor se as estruturas das áreas urbanizadas, principalmente aquelas presentes em municípios menores (**Figuras 4 e 5**), não estão sendo subestimadas na etapa de classificação devido a variações estruturais.

Considerar o dinamismo da infraestrutura das áreas urbanas também faz parte das conclusões de Sırmaçek e Ünsalan (2010), que empregaram uma abordagem de análise local para identificar registros candidatos a áreas urbanas. Shi et al. (2015) utilizaram uma metodologia que combina imagens de diferentes resoluções como uma forma de filtro escalonado que permitiu segmentar áreas urbanas num primeiro estágio, em seguida individualizando as características físicas das construções, considerando seus cantos e vértices construídos. Além do uso de sensores óticos, a integração com ou substituição destas fontes de dados por dados SAR também é uma opção, dado que também é possível modelar as características de áreas urbanizadas, a partir das suas características mensuráveis por sistemas SAR (Cho et al., 2021).

## 5. Considerações e sugestões

O mapeamento realizado pelo MapBiomias em relação à metodologia do IBGE, tomada como referência, apresentou acurácia maior que 50%. Tal fator implica na semelhança de mapeamentos e pesquisas que ocorrem dentro de ambas as instituições. No entanto, analisando municípios separadamente, é possível ver que alguns ainda apresentam redução na sobreposição dos resultados. Dito isso, é importante levar em consideração, que o desafio técnico-científico de mapear áreas urbanizadas descontínuas, é evidente, especialmente em municípios com áreas urbanas menores, que podem ser subdimensionadas durante o processo de classificação. Assim, podemos concluir que ambos os documentos possuem uma excelente eficiência para o estudo, principalmente em uma pequena escala. Entretanto, o Mapbiomas possui menor espaçamento entre os dados, em relação ao IBGE, o qual possui um intervalo maior entre seus metadados.

## 6. Agradecimentos

Ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) pelo financiamento do projeto de pesquisa “Aperfeiçoamento do Cadastro Ambiental Urbano (CAU), com ênfase na agricultura”, por meio Embrapa Agricultura Digital e pela Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (FAPED) pela concessão das bolsas de estudos.

## 7. Referências

- Arif, M.; Sengupta, S.; Mohinuddin, S. K.; Gupta, K. Dynamics of land use and land cover change in peri urban area of Burdwan city, India: a remote sensing and GIS based approach. **GeoJournal**, v. 88, n. 4, p. 4189-4213, 2023.
- Cho, K.; Park, S. E.; Cho, J. H.; Moon, H.; Han, S. H. Automatic urban area extraction from SAR image based on morphological operator. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, 18(5), p. 831-835, 2020. Disponível na biblioteca digital da IEEE: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9085385>>. Acesso em: 03/09/2024.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas Urbanizadas do Brasil** - 2019. Brasília: IBGE, 2022, 32p. Disponível na biblioteca digital do IBGE: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101973>>. Acesso em: 03/09/2024.
- MapBiomias. **Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra do Brasil - Coleção 7**, acessado em 27/08/2024 através do link: [https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/MapBiomias\\_Area\\_Urbanizada\\_2022\\_01\\_11\\_comentMH\\_2.pdf](https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/MapBiomias_Area_Urbanizada_2022_01_11_comentMH_2.pdf)
- Ministério do Meio Ambiente. **Programa Cidades+Verdes**, acessado em 03/09/2024 através do link: <https://www.gov.br/mma/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-projetos-acoes-obras-atividades/agendaambientalurbana/cidadesmaisverdes/ProgramaCidadesmaisVerdes.pdf>
- Khusni, U.; Dewangkoro, H. I.; Arymurthy, A. M. Urban area change detection with combining CNN and RNN from sentinel-2 multispectral remote sensing data. In: 2020 3rd International Conference on Computer and Informatics Engineering (IC2IE). **Proceedings...**: IEEE, 2020, p. 171-175.
- Shafique, A.; Cao, G.; Khan, Z.; Asad, M.; Aslam, M. Deep learning-based change detection in remote sensing images: A review. **Remote Sensing**, v. 14, n. 4, p. 871, 2022. Disponível na biblioteca digital da MDPI: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/14/4/871>>. Acesso em 03/09/2024.
- Shi, H.; Chen, L.; Bi, F. K.; Chen, H.; Yu, Y. Accurate urban area detection in remote sensing images. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, 12(9), 1948-1952, 2015. Disponível na biblioteca digital da IEEE: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7128711>>. Acesso em : 03/09/2024.
- Sirmaçek, B.; Ünsalan, C. Urban area detection using local feature points and spatial voting. **IEEE geoscience and remote sensing letters**, 7(1), p. 146-150, 2009. Disponível na biblioteca digital da IEEE: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5235099>>. Acesso em: 03/09/2024.
- Silva, J. S. V.; Abdon, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.33, Número Especial, p.1703-1711, 1998.
- Vendramini, William James. et al. **Análise espacial do crescimento urbano de Cáceres/MT, Pantanal mato-grossense**. 2016.

## Uso de imagens de satélite com diferentes resoluções espaciais para estudo da temperatura de superfície da Bacia do Alto Paraguai (BAP)

Renata Ribeiro do Valle Gonçalves<sup>1</sup>

João Paulo da Silva<sup>2</sup>

Bruna Aparecida Silva Dias<sup>2</sup>

João dos Santos Vila da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura

Cepagri/Unicamp

Av. André Toselo, 209

13083-886 - Campinas - SP, Brasil

renata@cpa.unicamp.br

<sup>2</sup>Embrapa Agricultura Digital - CNPTIA

Av. André Toselo, 209 - Caixa Postal 6041

13083-886 - Campinas - SP, Brasil

jp\_e@hotmail.com

brunadiasgeo@gmail.com

joao.vila@embrapa.br

**Resumo.** Nas últimas décadas, muitos satélites foram lançados com diferentes sensores a bordo, especialmente para adquirir a temperatura da superfície terrestre, com diferentes resoluções espaciais e temporais. A temperatura da superfície terrestre é um parâmetro crucial que reflete a interação terra-atmosfera, de fundamental importância para o balanço líquido de radiação na superfície da Terra e para monitoramento do estado das áreas vegetadas e não vegetadas. O objetivo desse trabalho foi avaliar os valores de temperatura de superfície em diferentes resoluções espaciais das áreas urbanizadas e não urbanizadas da Bacia do Alto Paraguai, utilizando imagens dos satélites Landsat-8 e GOES-16. Foram feitas duas avaliações da temperatura da superfície, uma mais global e outra local. Na avaliação global foram utilizadas imagens do GOES-16, com baixa resolução espacial e alta resolução temporal, destacando a variação da temperatura da superfície de áreas alagadas e urbanizadas ao longo do dia (6h-18h). Na avaliação local foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8, permitindo um acompanhamento da temperatura da superfície de áreas urbanizadas. As imagens de temperatura da superfície do GOES-16 mostraram um aumento da temperatura ao longo do dia, sendo que no início da manhã as temperaturas foram mais baixas para áreas urbanizadas em relação às áreas alagadas. As imagens do Landsat-8 permitiram o acompanhamento da temperatura da superfície mais detalhado para as áreas urbanizadas, detectando altas temperaturas nos grandes centros urbanos, diferentemente das imagens provenientes do GOES-16, as quais não permitiram detectar essa variação.

**Palavras-chave:** temperatura de superfície, NDVI, Landsat-8, GOES-16.

**Abstract.** In recent decades, many satellites have been launched with different sensors on board, especially to acquire Earth's surface temperature, with various spatial and temporal resolutions. Earth's surface temperature is a crucial parameter that reflects the land-atmosphere interaction, of fundamental importance for the net radiation balance on the Earth's surface, and for monitoring the state of vegetated and non-vegetated areas. The objective of this study was to evaluate surface temperature values at different spatial resolutions of urbanized and non-urbanized areas of the Upper Paraguay Basin, using images from the Landsat-8 and GOES-16 satellites. Two surface temperature assessments were made, one more global and the other local. In the global assessment, GOES-16 images were used, with low spatial resolution and high temporal resolution, highlighting the variation in surface temperature of flooded and urbanized areas throughout the day (6 am to 6 pm). In the local assessment, images from the Landsat-8 satellite were used to monitor the surface temperature of urbanized areas. The GOES-16 surface temperature images showed an increase in temperature throughout the day, with temperatures being lower in urbanized areas in the early morning than in flooded areas. The Landsat-8 images allowed for more detailed monitoring of surface temperatures in urbanized regions, detecting high temperatures in large urban centers, unlike the images from GOES-16, which did not allow for this variation to be detected.

**Key-words:** Surface temperature, NDVI, Landsat-8, GOES-16.

## 1. Introdução

A Bacia do Alto Paraguai (BAP) está localizada em três biomas: Amazônia, Cerrado e Pantanal e têm encaves de Mata Atlântica. A planície engloba todo o bioma Pantanal, enquanto o planalto, localizado nos biomas Cerrado (83%) e Amazônia (17%), abriga as nascentes e os rios, que irrigam naturalmente o bioma Pantanal. Em 2022, as áreas antrópicas ocupavam 42% da BAP (Mapbiomas, 2024).

Uma grande alteração antropogênica nos ambientes da Terra pode ser representada por ilha de calor urbana (ICU), que é um fenômeno no qual a temperatura tende a ser mais alta em zonas urbanas do que em áreas não urbanizadas (Oke, 1982). O fenômeno ICU foi observado em todo o mundo (Clinton e Gong, 2013; Li et al., 2017; Zhou et al., 2014). Ele foi amplamente atribuído à mudança na troca de energia entre superfícies urbanas e a atmosfera, que é causada principalmente pelo aumento da cobertura de superfície impermeável substituindo superfícies de vegetação evaporativa, e por liberações de calor antropogênicas (Oke, 1982; Rizwan et al., 2008). A ICU contribuiu para um conjunto de mudanças ambientais, como clima regional (Stocker, 2014), crescimento da vegetação (Zhao et al., 2016) e qualidade da água e do ar (Grimm et al. 2008). Esses fatores, por sua vez, afetam drasticamente a saúde e o bem-estar humanos e podem potencialmente levar a aumentos na morbidade e mortalidade (Patz et al. 2005) e consumo de energia (Santamouris et al., 2015) em áreas urbanas, que abrigam a maior parte da população mundial. Espera-se que o efeito e as consequências associadas sejam mais graves num clima em aquecimento (Stocker, 2014) e num mundo em rápida urbanização (Seto et al., 2012).

Para detectar e monitorar as ICUs com equipamentos de campo o custo é alto e demanda muito tempo e trabalho. Uma alternativa para monitorar a temperatura em larga escala é usar técnicas de sensoriamento remoto, pois as imagens são mais eficientes para estimar a temperatura de superfície em escalas locais, regionais e globais em menor tempo e com o menor custo. Além do uso para o cálculo da ICU, a temperatura de superfície terrestre tem sido amplamente utilizada para monitoramento ambiental, vegetação e estudos de mudanças climáticas (Shawky et al., 2023).

Sensores de infravermelho termal a bordo dos satélites são fontes comuns de temperatura da superfície terrestre e oceânica e oferecem a possibilidade de monitorar processos relacionados às mudanças climáticas espacialmente e continuamente com alta resolução espacial e temporal, o que, por exemplo, não é possível ao usar estações meteorológicas, que são distribuídas de

forma desigual e fornecem apenas resoluções espaciais grosseiras. Nas últimas décadas, muitos satélites foram lançados, fornecendo diferentes resoluções espaciais e temporais permitindo estudos globais, regionais e locais diversos da superfície, por exemplo, o Advanced Very-High-Resolution Radiometer (AVHRR), o Landsat's Thematic Mapper (TM), o Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) e o Thermal Infrared Sensor (TIRS), o Along Track Scanning Radiometer (ATSR), o Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), o Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) e o Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES) (Reiners et al, 2023).

Nesse contexto, a temperatura da superfície terrestre (TST) é uma das principais variáveis no sistema climático e meteorológico que controla a troca de calor na água, na superfície e na interface terra-atmosfera. A TST medida por satélite, no entanto, é baseada principalmente em observações da banda do infravermelho termal, que fornecem informações críticas sobre variações temporais e espaciais do estado de equilíbrio da temperatura na superfície (Yu e YU, 2020a). Para monitoramento global, a TST detectada por sensores remotos pode ser assimilada em modelos climáticos e meteorológicos para otimizar as previsões climáticas e meteorológicas (Meng et al., 2009; Zheng et al., 2012), ser aplicada como dados de entrada para modelos atmosféricos e de superfície terrestre de mesoescala para estimar o fluxo de calor sensível e o fluxo de calor latente, ou ser utilizada para avaliar o desempenho da previsão do modelo.

Para o monitoramento local, a TST tem sido amplamente usada em aplicações comerciais, incluindo a avaliação de necessidades de água para plantações e para estimar onde e quando geadas danosas podem ocorrer no inverno, além de monitorar o estado das plantações, da vegetação e temperatura de áreas urbanizadas, como ilhas de calor. A TST também pode fornecer sinais de alerta para possíveis incêndios florestais e de pastagens, bem como um indicador de possível seca (Karnieli et al., 2010; Zhang et al., 2014; Quintano et al., 2015).

O acompanhamento da variação da temperatura da superfície terrestre, tanto global quanto local, é de extrema importância para entender as mudanças que estão ocorrendo no planeta Terra, que se manifestam principalmente por meio do aumento da temperatura do ar e levam a eventos climáticos extremos.

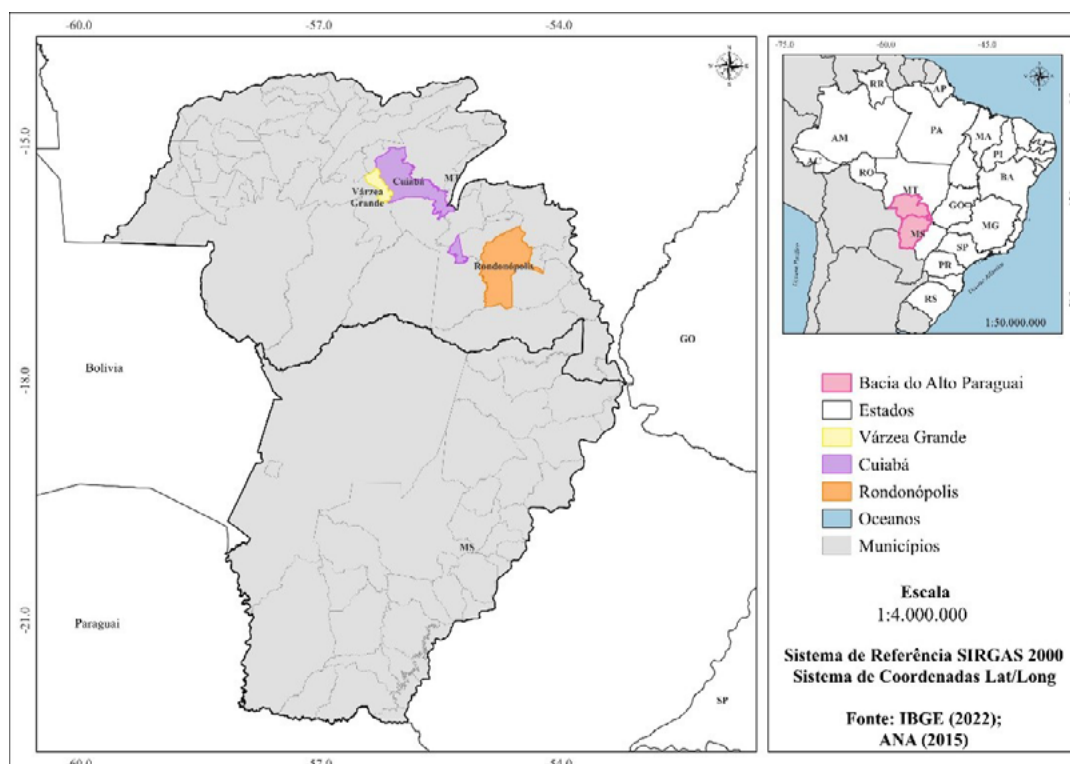
## 2. Objetivo

O objetivo desse trabalho foi avaliar os valores de temperatura de superfície em diferentes resoluções espaciais das áreas urbanas e não urbanizadas da Bacia do Alto Paraguai, utilizando imagens dos satélites Landsat-8 e GOES-16.

## 3. Material e Métodos

A área de estudo abrange a Bacia do Alto Paraguai para uma análise geral em Mato Grosso e Mato Grosso Sul, os municípios de Cuiabá, Várzea Grande e Rondonópolis, para uma análise regional e os limites das áreas urbanizadas extraídas de IBGE (2019), para uma análise local, no estado de Mato Grosso (MT) (**Figura 1**). Essas cidades são representativas no contexto urbano e apresentam dinâmicas distintas de urbanização e clima, tornando-as adequadas para o estudo da temperatura de superfície terrestre com foco na identificação de ilhas de calor urbano.

Para uma avaliação global da temperatura de superfície terrestre foram utilizadas imagens do satélite meteorológico GOES-16, disponíveis no banco de dados do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (Cepagri) da Unicamp. O sensor ABI a bordo desse satélite é composto por 16 bandas espectrais diferentes, incluindo dois canais visíveis, quatro canais de infravermelho próximo e dez canais de infravermelho. Esses



**Figura 1.** Localização da área de estudo.

Fonte: Autores (2024).

diferentes canais (comprimentos de onda) são usados por modelos e ferramentas para indicar vários elementos na superfície da Terra ou na atmosfera, como, água, nuvens, umidade, fumaça, entre outros. A resolução espacial varia de 0,5 km para o canal do visível a 1km e 2km para os canais do Infravermelho próximo e para Infravermelho ( $>2\mu\text{m}$ ), respectivamente.

O satélite GOES-16 fornece um produto de temperatura de superfície terrestre, nomeado Land Surface (Skin) Temperature – LST, calculado a partir dos canais do Infravermelho 14 ( $11,2\mu\text{m}$ ) e 15 ( $12,3\mu\text{m}$ ) (Yu e Yu, 2020b). Esse produto registra a temperatura instantânea da superfície da Terra em Kelvin, no qual as nuvens foram retiradas para ter informações da temperatura de superfície em condições de céu limpo, isto é, sem observações obstruídas por nuvens (Yu et al., 2009 e Yu et al. 2012), com resolução espacial de 10km e resolução temporal de 1h. A temperatura foi convertida para graus Celsius. As imagens adquiridas foram para os dias 04 de julho de 2023, representando o período seco e para 29 de janeiro de 2023, representando o período úmido, nos horários 6h, 9h, 12h, 15h e 18h.

Para uma avaliação mais regional e pontual foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8, mais especificamente a banda 10 do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor), que opera no espectro termal com resolução espacial de 100 metros, reamostrada para 30 metros pelo sensor. As imagens foram obtidas a partir da plataforma USGS Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), selecionando cenas com baixa cobertura de nuvens (inferior a 10%), dos dias 03 e 04 do mês de julho de 2023.

Antes da aplicação da fórmula de conversão dos dados da banda 10 para TST, foi necessário realizar a correção atmosférica. Este processo foi conduzido no software QGIS, utilizando o plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). A correção atmosférica é fundamental para remover os efeitos da atmosfera (dispersão, absorção e radiação) que podem distorcer os



valores de radiância registrados pelo satélite.

O SCP foi configurado para aplicar a correção atmosférica baseada nos metadados das imagens (MTL file) e nos parâmetros de calibração do Landsat-8. Esse passo assegura que os valores de radiância obtidos representem com precisão a radiação emitida pela superfície terrestre.

Após a correção atmosférica, a fórmula a seguir foi aplicada por meio da calculadora raster para converter os valores da banda 10 em temperatura de superfície terrestre:

$$TST = (1321.08 / \ln(774.89 / (3.3420E-04 \times \text{banda10} + 0.10000) + 1)) - 273.15$$

As constantes 1321.08 e 774.89 são parâmetros de calibração do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor) do Landsat-8. De acordo com Vale et al. (2021), essas constantes são usadas para converter a radiância espectral captada pelo sensor em temperatura de brilho (temperatura aparente da superfície).

O termo  $3.3420E-04 * \text{“banda10.tif”} + 0.10000$  converte os valores digitais (DN - Digital Numbers) da banda 10 do Landsat-8 para radiância espectral ( $L\lambda$ ). Conforme descrito por Coelho e Corrêa (2013), esse processo utiliza um fator de ganho ( $3.3420E-04$ ) e um valor de offset ( $0.10000$ ), específicos para a banda 10, para ajustar a escala de radiação térmica captada.

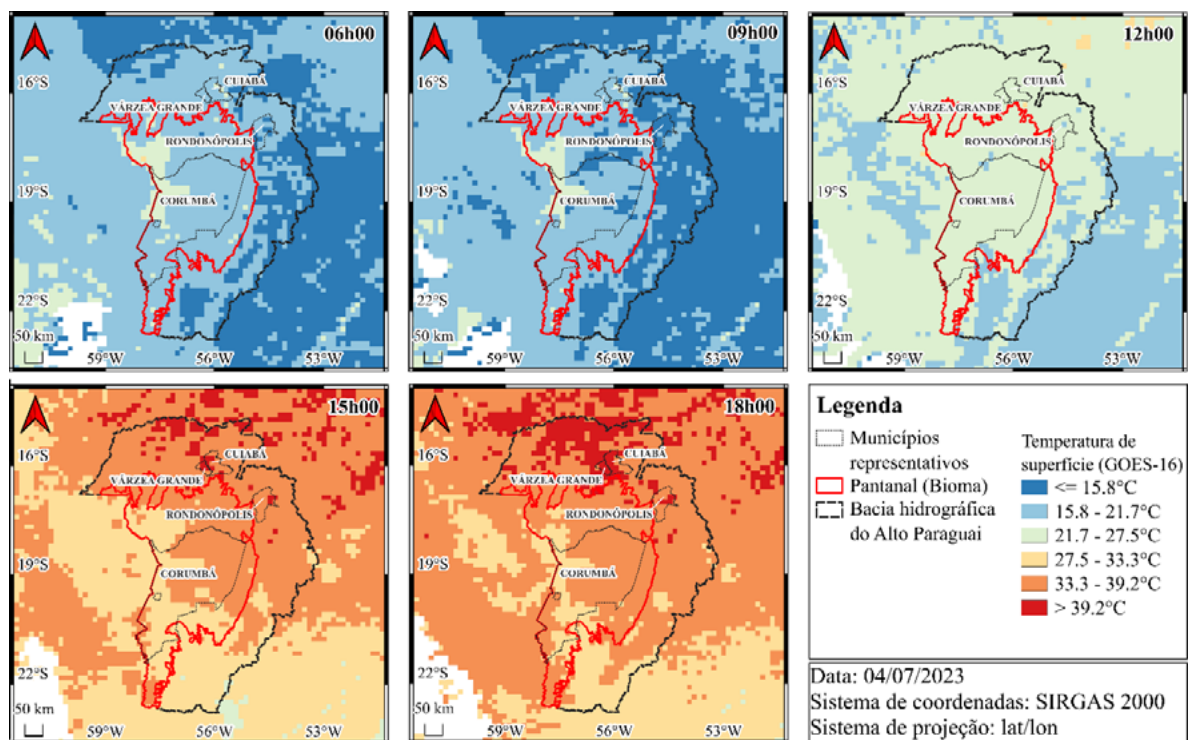
O logaritmo natural ( $\ln$ ) aplicado à razão entre a radiância registrada e a constante do sensor transforma a radiação térmica em temperatura de brilho. Esta etapa, conforme Vale et al. (2021), é importante para a obtenção da temperatura da superfície antes de se realizar a conversão para graus Celsius.

Finalmente, a subtração de 273.15 converte a temperatura de brilho, calculada inicialmente em Kelvin, para Celsius. Coelho e Corrêa (2013) explicam que essa conversão é necessária, pois as medições iniciais de temperatura térmica são feitas em Kelvin, mas para a análise de temperatura de superfície em áreas urbanas é mais comum usar graus Celsius.

#### 4. Resultados e Discussão

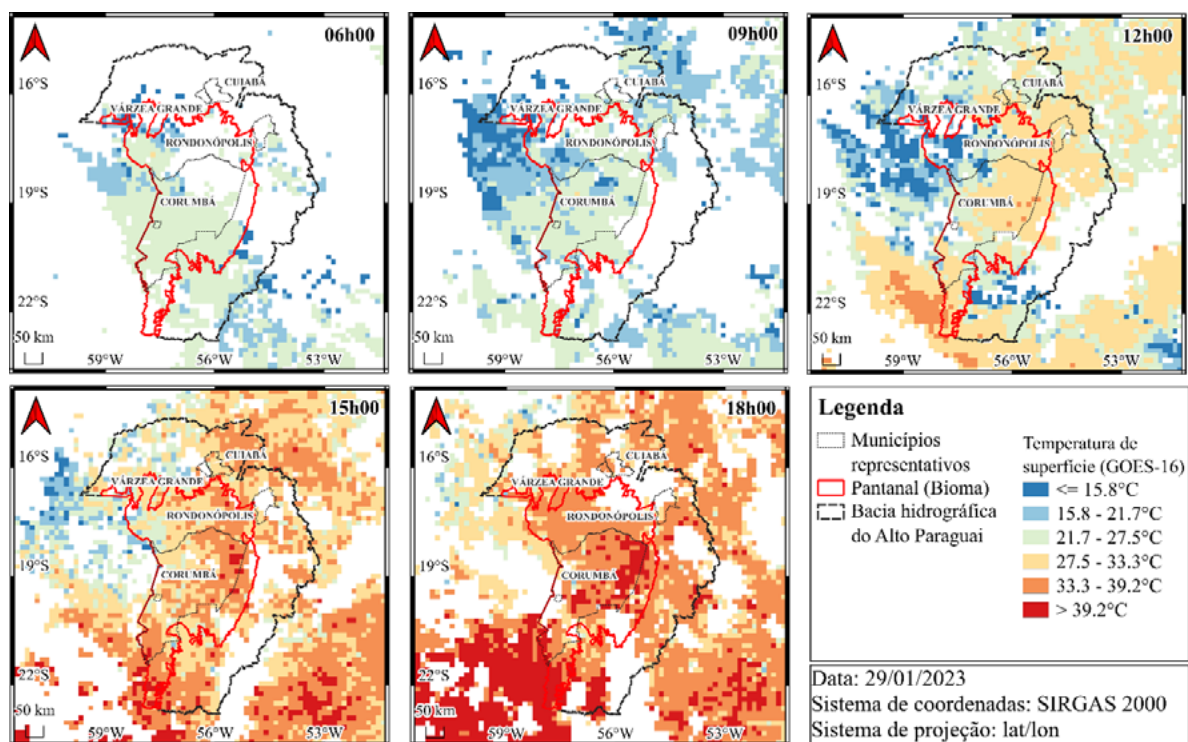
O produto de TST gerado pelo GOES-16 permitiu um acompanhamento da variação da temperatura ao longo do dia (6h, 9h, 12h, 15h e 18h) com uma visão mais global, isso é, pixel com 10km de resolução espacial cobrindo toda a área da bacia, para os períodos seco (julho) e úmido (janeiro), conforme mostram as **Figuras 2 e 3**. Vale destacar que na **Figura 3**, há vários pixels em brancos que não contém informações de temperatura de superfície, que correspondem a pixels com presença de nuvem. Isso aconteceu no período chuvoso (úmido) em que a presença de nuvens é maior.

Nos dois períodos tanto o seco quanto o úmido (**Figuras 2 e 3**), foi possível perceber o aumento da temperatura ao longo do dia, sendo que no início da manhã as temperaturas ficam em torno de 15,8°C a 21,7°C. No final da tarde a temperatura aumenta para 27,5°C, passando de 39°C. No período seco (**Figura 2**), em que não há presença de nuvem nas imagens, pode-se perceber que além da variação da temperatura ao longo do dia, há também a variação da temperatura em diferentes usos do solo ao longo do dia. Por exemplo, na imagem das 6h, as áreas alagadas no oeste da BAP, a temperatura varia de 21,7°C a 27,5°C, nas áreas urbanizadas a temperatura é menor, em torno de 15,8°C a 21,7°C. No final do dia, na imagem das 18h, as áreas alagadas apresentam temperaturas mais baixas (27,5°C a 33,3°C) em relação às áreas urbanizadas, que apresentam temperatura acima de 33,3°C. Beale et. al (2020) analisou a variação da TST dos satélites GOES e MODIS ao longo do dia e encontrou diferenças maiores em áreas montanhosas, de vegetação aberta (como pastagens e terras agrícolas) e áreas urbanas.



**Figura 2.** Temperatura de superfície terrestre do GOES-16 para a Bacia do Alto Paraguai, no período seco (julho), dia 04/07/2023, nos horários 6h, 9h, 12h, 15h e 18h.

Fonte: Autores (2024).

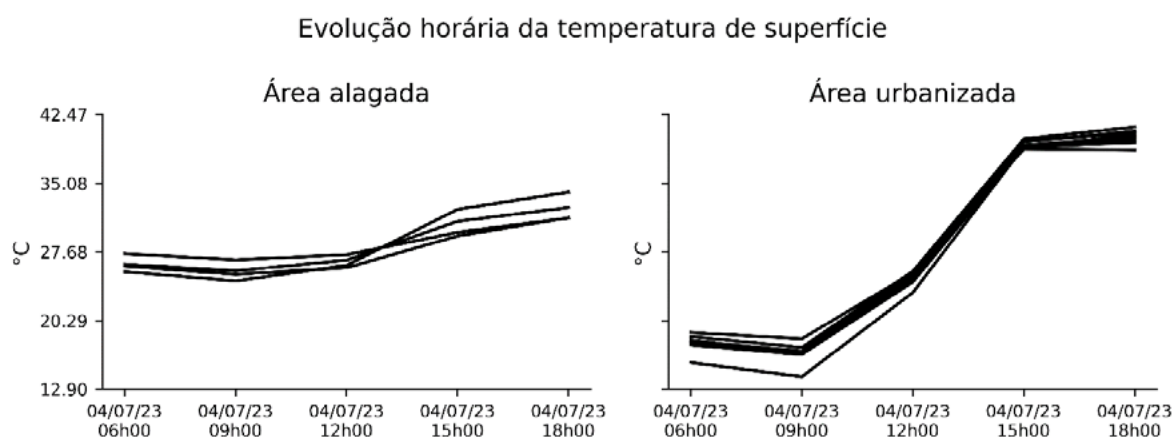


**Figura 3.** Temperatura de superfície terrestre do GOES-16 para a Bacia do Alto Paraguai, no período úmido (janeiro), dia 29/01/2023, nos horários 6h, 9h, 12h, 15h e 18h.

Fonte: Autores (2024).

Em áreas de vegetação densa, como floresta decídua e floresta mista, a diferença entre os valores de TST foi menor.

A **Figura 4** mostra a variação dessas temperaturas ao longo do dia para alguns pontos selecionados de áreas alagadas e áreas urbanizadas, comprovando o processo termodinâmico da superfície terrestre com uma visão global, onde, a água mantém sua temperatura ao longo do dia, demorando um pouco mais para aquecer e mantendo o aquecimento durante a noite, e áreas urbanizadas aquecendo rapidamente durante o dia e resfriando a noite, com uma variação da temperatura bem maior.

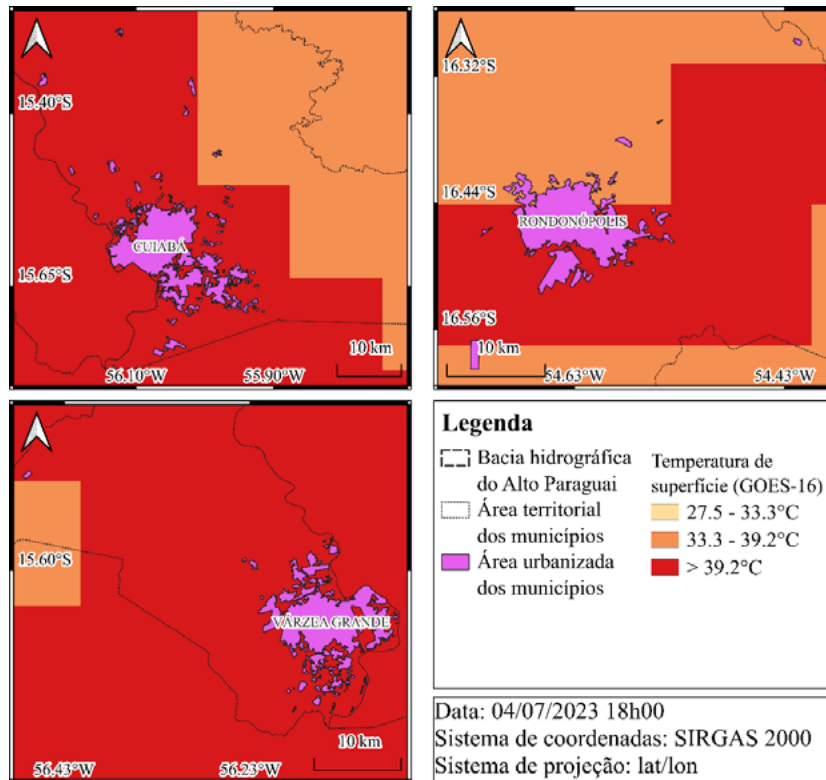


**Figura 4.** Variação da temperatura de superfície terrestre do GOES-16 ao longo do dia para as áreas urbanizadas dos municípios mato-gossense de Cuiabá, Várzea Grande, Rondonópolis, nos períodos seco e úmido.  
Fonte: Autores (2024).

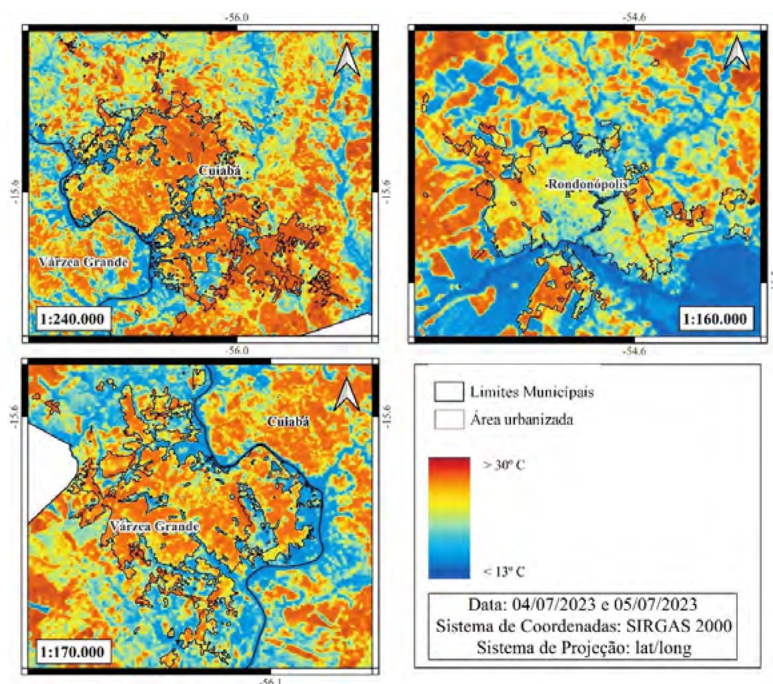
Quando se analisa a **Figura 5**, que ilustra a área urbanizada para os municípios de Cuiabá, Rondonópolis e Várzea Grande, não é possível identificar grandes variações de temperatura. O satélite GOES-16 por possuir uma resolução espacial baixa (nesse caso de 10km para TST), não permite um detalhamento da variação da temperatura para as áreas urbanizadas, apresentando somente alguns pixels com valores de temperatura bem próximos.

Para um monitoramento local da TST da área urbanizada foi utilizado as imagens do Landsat-8 (**Figura 6**), permitindo detectar com mais detalhes a variação da TST. Nessas imagens as áreas urbanizadas aparecem com valores mais altos de TST, sendo que as demais áreas (vegetação, água, agricultura) apresentam valores de TST menores. Corroborando com o trabalho de Balew e Korme (2020) em que a superfície pavimentada e as terras agrícolas apresentam valores de TST mais altos, enquanto o corpo d'água e a vegetação apresentam TST mais baixo no monitoramento da TST em áreas urbanas e arredores usando imagens Landsat.

As imagens de Cuiabá e Várzea Grande apontam valores bem mais altos (acima de 28°C) de TST, pois são um grande centro urbanizado (conurbação urbana). Rondonópolis apresenta valores de TST mais ameno e algumas áreas com valores acima de 28°C, pois a área urbanizada não é tão densa como a de Cuiabá e Várzea Grande. Isso se deve a aceleração contínua da urbanização com a consequente substituição da vegetação natural por superfícies terrestres impermeáveis, como cimento e asfalto. A complexidade das estruturas urbanas leva a mudanças nos principais fatores que controlam a troca de energia da superfície terrestre, como albedo da superfície terrestre, emissividade e capacidade térmica (Rizwan et. al, 2008). Alexandre (2020) encontrou uma variação da temperatura média entre as áreas rurais e urbanas de até 3,96 °C, enquanto a variação entre as zonas urbanas mais quentes e mais frias (com base na média e desvio padrão da TST) foi de até 13,26 °C.



**Figura 5.** Temperatura de superfície terrestre do GOES-16 para as áreas urbanizada dos municípios mato-grossense de Cuiabá, Várzea Grande, Rondonópolis, para o dia 04/07/2023 às 18h.  
Fonte: Autores (2024).



**Figura 6.** Temperatura de superfície terrestre do Landsat-8 para os municípios de Cuiabá, Várzea Grande e Rondonópolis, mostrando os limites das áreas urbanizadas.  
Fonte: Autores (2024).

As imagens do Landsat-8 (**Figura 6**) permitem futuramente o cálculo de coeficiente de ilhas de calor urbanas, diferentemente das imagens provenientes do GOES-16 (**Figura 5**) que não fornecem informações detalhadas de TST para um monitoramento local.

## 5. Conclusões

Com as imagens do satélite GOES-16, de baixa resolução espacial, é possível fazer o acompanhamento da TST de forma global e ao longo do dia mostrando a variação da TST em cinco horários distintos e sua resposta nos diferentes usos do solo, como áreas alagadas e áreas urbanizadas, tanto para o período seco quanto para o úmido. Para o acompanhamento local, como por exemplo, nas áreas urbanizadas, é necessário que as imagens tenham maior resolução espacial e as imagens Landsat-8 forneceram informações necessárias para o acompanhamento da TST, detectando altas temperaturas da superfície nas áreas urbanizadas e temperatura mais baixas para áreas ao redor das cidades, áreas de vegetação e agrícola.

Para trabalhos futuros, é importante relacionar dados de índices de vegetação, para estimar a variação da TST de áreas vegetadas de não vegetadas, pois nos últimos anos houve o aumento da urbanização e mudanças extremas associadas ao uso e cobertura do solo de áreas próximas as grandes cidades. Além disso, com imagens do Landsat-8 é possível fazer a detecção e monitoramento de ilhas de calor dos grandes centros urbanos, fornecendo informações importantes do ambiente térmico urbano aos tomadores de decisão, as quais serão essenciais para dar condições de suporte para o desenvolvimento socialmente sustentável da população.

## 6. Agradecimentos

Ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) pelo financiamento do projeto de pesquisa “Aperfeiçoamento do Cadastro Ambiental Urbano (CAU), com ênfase na agricultura”, por meio da Embrapa Agricultura Digital e pela Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (FAPED) pela concessão de bolsas de estudo.

## 7. Referências

- Alexander, C. Normalised difference spectral indices and urban land cover as indicators of land surface temperature (LST). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 86, p. 102013, 2020.
- Balew, A.; Korme, T. Monitoring land surface temperature in Bahir Dar city and its surrounding using Landsat images. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 23, n. 3, p. 371-386, 2020.
- Beale, C. et al., Comparison of Diurnal Variation of Land Surface Temperature From GOES-16 ABI and MODIS Instruments. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 17, n. 4, p. 572-576, 2020.
- Clinton, N.; Gong, P. Modis detected surface urban heat islands and sinks: Global locations and controls. **Remote Sens. Environ**, v.134, p.294–304, 2013.
- Coelho, A. L. N.; Correa, W. S. C. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.
- Grimm, N.B.; Faeth, S.H.; Golubiewski, N.E.; Redman, C.L.; Wu, J.; Bai, X.; Briggs, J.M. Global change and the ecology of cities. **Science**, v.319, p.756–760, 2008.
- Karnieli, A.; Agam, N.; Pinker, R.T.; Anderson, M.; Imhoff, M.L.; Gutman, G.G.; Panov, N.; Goldberg, A. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: merits and limitations. **J. Clim.** v. 23, n. 3, p. 618–633, 2010.
- Li, X.; Zhou, Y.; Asrar, G.R.; Imhoff, M.; Li, X. The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. **Sci. Total Environ**, v. 605, p. 426–435, 2017.
- MapBiomass, Nota Técnica: Conservação da Planície e do Planalto na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai. 2024.

- Meng, C. L.; Li, Z. L.; Zhan, X.; Shi, J.C.; Liu, C. Y. Land surface temperature data assimilation and its impact on evapotranspiration estimates from the common land model. **Water Res. Res.** v. 45, W02421, 2009.
- Oke, T.R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.** v. 108, p. 1-24, 1982.
- Patz, J.A.; Campbell-Lendrum, D.; Holloway, T.; Foley, J.A. Impact of regional climate change on human health. **Nature**, v. 438, p. 310–317, 2005.
- Quintano, C.; Fernández-Manso, A.; Calvo, L.; Marcos, E.; Valbuena, L. Land surface temperature as potential Indicator of burn severity in Forest Mediterranean ecosystems. **Int. J. Appl. Earth Obs.** v. 36, p. 1–12, 2015.
- Reiners, P.; Sobrino, J.; Kuenzer, C. Satellite-Derived Land Surface Temperature Dynamics in the Context of Global Change—A Review. **Remote Sens.**, v. 15, p. 1857, 2023.
- Rizwan, A.M.; Dennis, L.Y.C.; Liu, C. A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island. **J. Environ. Sci.** v. 20, p. 120–128, 2008.
- Santamouris, M.; Cartalis, C.; Synnefa, A.; Kolokotsa, D. On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. **Energy Build**, v. 98, p. 119–124, 2015.
- Seto, K.C.; Güneralp, B.; Hutyra, L.R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. **Proc. Natl. Acad. Sci.** v. 109, p. 16083–16088, 2012.
- Shawky, M.; Ahmed, M.R.; Ghaderpour, E.; Gupta, A.; Achari, G.; Dewan, A.; Hassan, Q.K. Remote sensing-derived land surface temperature trends over South Asia. **Ecol. Inform.** v. 74, p. 101969, 2023.
- Stocker, T. Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the 5<sup>o</sup> Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2014.
- USGS. Landsat Missions: Using the USGS Landsat8 Product. U.S. Department of the Interior - U.S. Geological Survey – NASA. Site: Acesso em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 01 set. 2024.
- Vale, W. K. S.; Diodato, M. A.; Grigio, A. M.; Saraiva, A. L. B. C.; Souza Neto, L. T. Mapeamento da Temperatura Superficial Terrestre (TST), com base em imagem de satélite: caso da área urbana de Mossoró/RN. In: Antônio Conceição Paranhos Filho; Camila Leonardo Mioto; Dhonatan Diego Pessi; Roberto Macedo Gamarra; Normandes Matos da Silva; Vinícius de Oliveira Ribeiro; Jéssica Rabito Chaves. (Org.). Geotecnologias para aplicações ambientais. 1ed.Maringá, PR: Uniedusul, 2021, v. 1, p. 277-287.
- Yu, Y.; Tarpley, D.; Privette, J. L.; Flynn, L. E.; Xu, H.; Chen, M.; Vinnikov, K. Y.; Su, D. Validation of GOES-R satellite Land Surface Temperature algorithm using SURFRAD ground measurements and statistical estimates of error properties. **IEEE Trans. Geosci. Remote Sens**, v. 50, p. 704–713, 2012.
- Yu, Y.; Tarpley, D.; Privette, J. L.; Goldberg, M. D.; Raja, M. k. R. V.; Vinnikov, K. Y.; XuYu, H. Developing algorithm for operational GOES-R Land Surface Temperature product. **IEEE Trans. Geosci. Remote Sens**, v. 47, p. 936–951, 2009.
- Yu, Y.; Yu, P. Chapter 12 - Land Surface Temperature Product from the GOES-R Series. The GOES-R Series A New Generation of Geostationary Environmental Satellites, p. 133-144, 2020a.
- Yu, Y.; Yu, P. **GOES-R Advanced Baseline Imager (ABI) Algorithm Theoretical Basis Document for Land Surface Temperature**. NOAA NESDIS Center for Satellite Applications and Research, v. 4, 2020b. 77p.
- Zhang, D.; Tang, R.; Zhao, W.; Tang, B.; Wu, H.; Shao, K.; Li, Z. Surface soil water content estimation from thermal remote sensing based on the temporal variation of land surface temperature. **Remote Sens.** v. 6, n. 4, p. 3170–3187, 2014.
- Zhao, S.; Liu, S.; Zhou, D. Prevalent vegetation growth enhancement in urban environment. **Proc. Natl. Acad. Sci**, v. 113, p. 6313–6318, 2016.
- Zheng, W.; Wei, H.; Wang, Z.; Zeng, X.; Meng, J.; Ek, M.; Mitchell, K.; Derber, J. Improvement of daytime land surface skin temperature over arid regions in the NCEP GFS model and its impact on satellite data assimilation. **J. Geophys. Res.-Atmos.** v. 117, D06117, 2012
- Zhou, B.; Rybski, D.; Kropp, J.P. The role of city size and urban form in the surface urban heat island. **Sci. Rep.** v. 7, p. 4791, 2017.

## Tutela jurídica das áreas úmidas: Pantanal, Guaporé e Araguaia

Ana Luiza A. Peterlini de Souza<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Promotora de Justiça do Ministério Público do Estado de Mato Grosso  
15ª Promotoria de Justiça Cível da Defesa do Meio Ambiente Natural  
ana.peterlini@mpmt.mp.br

**Resumo.** Diante dos desafios enfrentados pelo Brasil na gestão das Áreas Úmidas (AUs), destacam-se alguns pontos críticos, como a complexidade do arcabouço legal e do arranjo institucional, em razão da grande quantidade de instituições envolvidas e a falta de transparência em suas interações. Estima-se que as Áreas Úmidas cubram cerca de 20% (vinte por cento) do território nacional, exibindo grande variedade em termos de tamanhos e formas, a exemplo do Pantanal mato-grossense, cuja normativa no âmbito do Estado de Mato Grosso dá-se por meio da Lei Estadual nº 8.830/2008, e das Planícies pantaneiras dos rios Guaporé e Araguaia, que são qualificadas pelo Decreto Estadual nº 1.031/2017 como áreas de uso restrito, vez que autoriza o seu uso controlado e sustentável, mas unicamente para finalidades de exploração ecológica. Nesse contexto, o Brasil assinou a Convenção de RAMSAR em 1993, comprometendo-se a proteger essas áreas de importância global e a implementar uma política de manejo baseada em um conhecimento científico atualizado (*wise use*), considerando aspectos como cobertura vegetal, diversidade de espécies e práticas de manejo. No entanto, a falta de um levantamento detalhado das Áreas Úmidas existentes no país representa um obstáculo significativo para a implementação de uma política nacional de manejo sustentável e a proteção adequada dessas áreas. Verifica-se que os principais desafios incluem a ausência de definição e delineamento das Áreas Úmidas conforme as condições ecológicas que se apresentam, bem como a falta de uma classificação nacional que leve em conta as condições hidrológicas e comunidades vegetais. Assim, a importância das Áreas Úmidas no ciclo hidrológico, nos ciclos biogeoquímicos e na biodiversidade, bem como os múltiplos benefícios que proporcionam às populações locais, ressaltam a gravidade da perda significativa dessas áreas nas últimas décadas devido a projetos de construção civil, agroindustriais, canais de drenagem e hidrelétricas. Portanto, a insuficiência da aplicação do conhecimento científico específico para essas áreas, a falta de mecanismos legais adequados para a sua proteção, a ausência de diálogo entre tomadores de decisão e a comunidade científica, bem como a carência de uma legislação específica e de uma estrutura hierárquica transparente para a gestão e implementação sustentável, são apontados como as maiores ameaças a esses ecossistemas.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade ecológica, Áreas Úmidas, tutela jurídica, conhecimento científico, Pantanal mato-grossense, Guaporé, Araguaia.

## **A atuação do IBGE frente às novas tecnologias para o mapeamento urbano**

Cassio Freitas Pereira de Almeida

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE  
Av. Franklin Roosevelt, 166 - Centro, Rio de Janeiro  
20021-120, Rio de Janeiro  
cassio.almeida@ibge.gov.br

**Resumo.** A rápida evolução tecnológica impacta nas possibilidades da produção da geoinformação oficial. A era digital propicia a cada ano que produtores e usuários tenham acesso a insumos de melhor qualidade. As novas tecnologias computacionais permitem tratar um maior volume de dados e a utilização de IA amplia as possibilidades das interações entre os conjuntos de dados e do próprio ser humano com elas. Isto tem impacto direto na quantidade de novos produtos, na frequência de atualizações e possibilidades de aprimoramentos para atender demandas que já existiam e outras que surgiram impulsionadas pela tecnologia. O mapeamento de áreas urbanizadas do IBGE vem sendo aprimorado a cada lançamento. Atualmente todos os municípios são mapeados utilizando imagens de alta resolução. No processo são identificadas correções no mapeamento anterior e há inclusão de novas categorias de interesse. Porém, ainda é produzido de forma tradicional, utilizando analistas na tarefa de interpretação visual. A mudança para novas metodologias utilizando IA esbarra na inexistência de referências e normas para validação e certificação de qualidade do produto final.

**Palavras-chave:** uso da terra, geoprocessamento, planejamento urbano.



**Jornalismo ambiental: como comunicar?**  
**Contribuição do jornalismo ambiental para a divulgação científica, conservação e  
proteção de seus recursos naturais e comunidades**

Cláudia Gaigher

Jornalista ambiental e escritora

Campo Grande, MS, Brasil  
claudia.gaigher@gmail.com

**Resumo.** Como despertar o interesse das pessoas para os temas ambientais? Como gerar engajamento e compartilhar conhecimento? Estamos na época da informação rápida. A internet eliminou distâncias e permitiu a popularização do acesso. Mas esta facilidade gerou efeito do consumo rápido e superficial e abriu caminho para informações incompletas, incorretas e parciais. Com mais de 30 anos de experiência como jornalista ambiental busco sempre a linguagem do pertencimento. Fazer as pessoas integrarem e se envolverem nos temas abordados. A comunicação científica é uma importante ferramenta na construção da narrativa com base em dados confiáveis. Mas como transformar um artigo, uma pesquisa em pauta nas grandes mídias? A abordagem, o formato, o caminho para estar na lista dos prioritários. E jornalismo ambiental tem se mostrado uma importante ferramenta na divulgação científica bem como na conscientização da população sobre os temas relacionados. A abertura de espaços de comunicação está mudando o rumo de muitas discussões. Com a participação popular, a comoção e até mesmo a indignação, a popularização de informações e a velocidade da propagação permitida pela internet e redes abertas e por assinatura tem sido um caminho importante. De aprovação de legislações de proteção, a fomentar operações de investigação diante de crimes ambientais e desrespeito aos direitos difusos e individuais. O jornalismo se mantém como a voz para a maioria das pessoas. Da denuncia de desmatamento, incêndios criminosos, ausência de ação do poder público à defesa das comunidades tradicionais e povo originários. Foi uma reportagem em rede nacional denunciando ausência de escolas para comunidade pantaneiras que forçou o poder público a criar as escolas das águas que hoje atendem mais de 300 crianças. A denúncia de corte ilegal de madeira nobre na Serra da Bodoquena impulsionou a criação do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, denúncias de incêndios florestais, de desmatamento, de uso de agroquímicos, de produção e lavouras em áreas prioritárias para conservação. Nos 26 anos de trabalhos nos biomas Pantanal, Cerrado e Amazonia posso dizer que a comunicação assertiva tem surtido efeito na missão de conservar a cuidar dos nossos biomas e valorizar a pesquisa científica e o conhecimento tradicional.

**Palavras-chave:** Pantanal, problemas ambientais, notícias jornalísticas, bacia do alto Paraguai, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso.

## **Implementação da Cultura Analítica dos Dados Geospaciais na Execução da Política Pública Ambiental Brasileira pelo IBAMA**

Daniel Moraes de Freitas

1Centro Nacional de Monitoramento e Informações Ambientais (CENIMA)  
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)  
Brasília, DF, Brasil  
Daniel-moraes.freitas@ibama.gov.br

**Resumo.** O IBAMA tem enfrentado o desafio de integrar e analisar grandes volumes de dados ambientais geospaciais para aprimorar a execução de políticas públicas. Nesta palestra, será apresentada a plataforma desenvolvida para a integração de informações ambientais, que unifica dados internos e de diversos órgãos com uma visão geoespacial abrangente. Essa plataforma permite a criação de mapas, painéis, infográficos e indicadores, facilitando o compartilhamento de informações em um ambiente único e de fácil acesso. A implementação dessa cultura analítica tem melhorado significativamente a governança de dados no IBAMA, promovendo a difusão do conhecimento e a gestão eficaz da informação ambiental e ações precisas em campo. Com a utilização de geotecnologias, o IBAMA tem acompanhado em tempo real temas prioritários, como o combate do desmatamento, fortalecendo a eficácia das ações de fiscalização e controle. Durante a palestra, também serão apresentados dados atualizados sobre o desmatamento no Bioma Pantanal, resultado do monitoramento contínuo realizado em parceria entre o IBAMA e o INPE. Serão destacados os dados do Deter Pantanal, um sistema que emite alertas quase em tempo real para apoiar as operações de fiscalização do IBAMA e ICMBio. Serão detalhadas as ações de campo no bioma Pantanal, que incluem o combate ao desmatamento e queimadas, com destaque para o uso de geotecnologias. Uma demonstração do uso do aplicativo FieldMaps para o resgate da fauna local será apresentada, evidenciando como a integração de tecnologias e operações em campo é crucial para uma gestão ambiental eficiente e para a preservação das áreas úmidas do Pantanal.

**Palavras-chave:** geotecnologias, monitoramento ambiental, Big Data, política pública, governança de dados.

## **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Pantanal (PPPantanal)**

Diego Henrique Costa Pereira

Analista Ambiental da Coordenação-Geral de Combate ao Desmatamento (CGCD)  
Departamento de Políticas de Controle do desmatamento e Queimadas (DPCD)  
Secretaria Extraordinária do Controle do Desmatamento e Ordenamento Ambiental Territorial  
(SECD)  
Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA)  
Brasília, DF, Brasil  
diego.pereira@mma.gov.br

**Resumo.** O Brasil enfrenta a maior crise climática da história o que tem causado grandes impactos para o meio ambiente e para diversas atividades econômicas, principalmente em função da intensificação dos incêndios florestais, da redução das vazões de rios, alteração do regime pluviométrico entre outros. Da mesma forma, com o avanço do uso alternativo do solo, sobretudo pela substituição da vegetação nativa por espécies de interesse agropecuário e pela especulação fundiária, além de outros, altas taxas de desmatamento têm sido registradas nos últimos anos o que indica a necessidade de recrudescimento das políticas públicas para prevenção e controle do desmatamento e queimadas em todos os biomas brasileiros. Para tanto, com objetivo de alcançar a meta de desmatamento zero até 2030, o Governo Federal instituiu por meio do Decreto n. 11.367 de 1º. de janeiro de 2023, a Comissão Interministerial Permanente de Prevenção e Controle do Desmatamento, responsável pelo lançamento dos Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento nos biomas brasileiros. Para o Pantanal, sob coordenação do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, foi elaborado o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Pantanal (PPPantanal – 2024/2027), que foi estruturado em quatro eixos: i) atividades produtivas sustentáveis; ii) monitoramento e controle ambiental; iii) ordenamento fundiário e territorial; e iv) instrumentos normativos e econômicos. O plano engloba ações de mais de 30 órgãos federais entre ministérios e instituições vinculadas, aportando políticas públicas, programas, projetos e ações nas distintas áreas, capazes de atuar de forma preventiva e controlando o desmatamento e incêndios no bioma.

**Palavras-chave:** desmatamento, queimadas, monitoramento, geoprocessamento, política pública, Pantanal.

## Desafios para o mapeamento da urbanização no Brasil usando Google Earth Engine

Edimilson Rodrigues dos Santos Junior

Centro MapBiomias  
Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP)  
São Carlos, SP, Brasil  
edimilson.rodrigues.sandos@usp.br

**Resumo.** O crescimento urbano global tem sido acelerado, com 55% da população mundial vivendo em áreas urbanas atualmente. Nas cidades, os impactos das alterações ambientais em escala planetária são amplificados, elevando os riscos para a biodiversidade, funções ecossistêmicas e populações humanas, especialmente as que vivem em condições precárias. No Brasil, onde 61% da população vive em aglomerações urbanas, o projeto MapBiomias tem sido fundamental para o mapeamento de áreas urbanas por meio da plataforma Google Earth Engine. O projeto, composto por ONGs, universidades e empresas de tecnologia e, para o tema urbano, emprega o algoritmo Random Forest para classificação de imagens Landsat, aplicando índices espectrais e regras espaciais e temporais para mapear a expansão urbana. Os resultados mais recentes indicam que, entre 1985 e 2023, as áreas urbanas passaram de 1,69 milhões para 4,13 milhões de hectares. Desse aumento, 103 mil hectares são favelas, 30 mil estão em áreas com declividade acima de 30% e 619,2 mil estão locais com até 3 metros de altitude em relação ao rio mais próximo. Estes e outros dados do projeto visam colaborar para a compreensão da urbanização e da alteração de uso e cobertura da terra ao longo do tempo para diferentes recortes espaciais, facilitando o planejamento e tomada de ações frente a mudanças ambientais contemporâneas. Nesta palestra, serão discutidas as etapas metodológicas, potencialidades e limitações dos dados urbanos do MapBiomias, incentivando seu uso e possibilitando comparações com outras fontes.

**Palavras-chave:** áreas urbanas, uso e cobertura da terra, Landsat, séries temporais.

## Seca extrema e incêndios no Pantanal em 2024 – Nota Técnica do MapBiomias

Eduardo Reis Rosa

ArcPlan  
Rua Napoleão de Barros, 1025  
04024-003 - São Paulo- SP, Brasil  
eduardo@arcplan.com.br

**Resumo.** MapBiomias é uma rede colaborativa, formada por ONGs, universidades e startups de tecnologia que produz mapeamento anual da cobertura e uso da terra e monitora a superfície de água e cicatrizes de fogo de todos os Biomas brasileiros desde o ano de 1985. Com o objetivo de analisar as relações entre a ocorrência de queimadas em eventos de seca extrema, como ocorrido no primeiro semestre de 2024 no Bioma Pantanal, consideramos os dados de superfície de água, precipitação e a área queimada. O Pantanal é a maior área úmida continental do planeta, marcado por inundações periódicas com pulsos anuais de inundação. A dinâmica de cheias e secas molda a paisagem e a biodiversidade do bioma, mas também o torna vulnerável. A extensão da área inundada depende das chuvas que caem na Bacia do Alto Paraguai e do nível do Rio Paraguai. Alterações climáticas e mudanças na cobertura e uso da terra, principalmente no planalto da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai, impactam a hidrologia na planície pantaneira. Períodos maiores de seca aumentam o risco e a intensidade dos incêndios. O Pantanal foi o bioma que mais secou ao longo da série histórica. Em 2023, o bioma apresentou uma superfície de água anual de 381 mil hectares, o que representa uma redução de 61% em relação à média histórica (956 mil ha). Comparado a 2018, o ano da última grande cheia do bioma, (775 mil ha) a superfície de água em 2023 foi 50% menor. Desde 2020, os incêndios têm atingido áreas no entorno do Rio Paraguai, que antes eram permanentemente alagadas, mas depois de 2019 apresentam períodos de seca que deixam a região suscetível ao fogo como registrados nos incêndios recentes. Em 2024, a precipitação acumulada de janeiro a maio foi de 576 mm na BAP, a mais baixa desde 2020 (ano com a segunda maior área queimada no Pantanal) e 24% abaixo da média histórica de 760 mm. Isso indica um retorno a condições de seca extrema, aumentando o risco de incêndios e os desafios de conservação no Pantanal.

**Palavras-chave:** Pantanal, Pulso de inundação, cicatriz de fogo, geotecnologia, mapeamento.

## Landscape Ecology, Grazing, and Drones

H.L. Perotto-Baldivieso<sup>1</sup>

D.J. Goodwin<sup>1</sup>

J.S. Avila-S<sup>1,2</sup>

K.F. Perez<sup>1</sup>

L. Massey<sup>3</sup>

E.P. Tanner<sup>4</sup>

J.A. Ortega-S.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Rangeland, Wildlife, and Fisheries Management, Texas A&M University,  
College Station, Texas, U.S.A.  
Humberto.perotto@ag.tamu.edu

<sup>2</sup> Borderland Research Institute, Sul Ross State University, Alpine, Texas, U.S.A.

<sup>3</sup> Texas Parks and Wildlife Department, Cotulla, Texas, U.S.A.

<sup>4</sup> Caesar Kleberg Wildlife Research Institute, Texas A&M University-Kingsville,  
Kingsville, Texas, U.S.A.

**Abstract.** The use of drones in rangelands has increased significantly in the last decade. Drone imagery has been used to measure woody cover, forage biomass, spatiotemporal changes in vegetation cover, rangeland condition, and monitor wildlife habitat in rangelands. The development of 3D models derived from drone imagery has opened up new opportunities to quantify the spatial structure of land cover at very fine spatial scales. For example, fine-scale structure changes influenced by grazing can be quantified using drones and subsequently translated to potential impacts to wildlife habitat. Technological developments like terrestrial LiDAR systems and higher resolution imagery allow us to improve our understanding of very-fine scale ecological processes in rangelands. These terrestrial sensors can add valuable information to the current airborne data collection systems. We are planning to use a variety of drone-based platforms to integrate landscape metrics at very fine scales to evaluate rangelands. We are aiming at better understanding how we can translate these analyses and metrics into practical management information. The goals of our research are to (1) use multispectral imagery to quantify the configuration of brush cover in semiarid landscapes, (2) to use 3D drone data to assess the fine-scale impact of grazing on upland game birds, and (3) to integrate LiDAR, multispectral, and RGB cameras to generate information for livestock and wildlife management. Finally, we will provide insight on how drone technology could be potentially used in the future to assist in rangeland management to forecast forage growth and multi-species use for wildlife.

**Palavras-chave:** multispectral, hyperspectral, LiDAR, landscape configuration, fine-scale analysis.

## **Brazil Data Cube: grandes volumes de imagens modeladas como cubos de dados multidimensionais e análise de séries temporais**

Karine Reis Ferreira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisão de Observação da Terra e Geoinformática (DIOTG)  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)  
São José dos Campos, SP, Brasil  
karine.ferreira@inpe.br

**Resumo.** Atualmente, satélites de observação da Terra estão gerando um grande volume de imagens, com diferentes resoluções espaciais e temporais, disponibilizadas sem custos para a sociedade. Análise de séries temporais derivadas de uma sequência de imagens de uma mesma localização ao longo do tempo nos permite identificar processos complexos associados à mudança de uso e cobertura da terra. Para suportar análise de séries temporais, esse grande volume de imagens é transformado em dados prontos para análise (*Analysis-Ready Data - ARD*) e modelado como cubos de dados multidimensionais. O projeto Brazil Data Cube (<http://brazildatacube.org/>), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), está produzindo mais de 2 petabytes de dados ARD e cubos de dados de imagens dos satélites Landsat-8/-9, Sentinel-2, CBERS-4/-4A e Amazonia, para todo o território nacional. Além de produzir esses dados, esse projeto está desenvolvendo uma plataforma computacional com componentes de software para acessar, processar e analisar esses dados. Esses componentes incluem: (1) serviços web para descoberta e acesso aos cubos de dados, extração de séries temporais de imagens a partir desses cubos e extração de trajetórias de uso e cobertura da terra a partir de diferentes conjuntos de dados; (2) portais web com interface gráfica para uso desses serviços e para consulta, visualização e download de dados; (3) pacote para classificação de uso e cobertura da terra a partir de cubos de dados e séries temporais de imagens usando *machine learning*; e (4) ambiente de ciência de dados para análise e processamento desses dados na infraestrutura computacional do INPE, sem a necessidade de fazer download desses dados para computadores pessoais. Existem diferentes iniciativas no mundo para produção de dados ARD e cubos de dados para regiões e países específicos, como o *Swiss Data Cube*, *Digital Earth Australia* e *Digital Earth Africa*. Esse projeto é a iniciativa do Brasil nessa temática.

**Palavras-chave:** big data, cubos de dados, análise de séries temporais de imagens, mudanças de uso e cobertura da terra, ciência de dados.

## **Operação do Sistema de Alerta e da RHN pelo SGB no Alto Paraguai (Pantanal)**

Mauro Campos Trindade<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pesquisador do SGB – Serviço Geológico do Brasil  
mauro.trindade@sgb.gov.br

**Resumo.** Atualmente, a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) possui cerca de 23.000 estações de monitoramento em todo o Brasil. No pantanal, cerca de 200 dessas estações monitoram variáveis como nível dos rios, vazões, precipitação, qualidade da água e sedimentos. Coordenado pela Agência Nacional da Água (ANA) e operado em grande parte pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), este sistema é essencial para o monitoramento e gestão de recursos hídricos, garantindo dados fundamentais para a sustentabilidade e segurança hídrica do país. Desde 1994, o SGB executa o “Sistema de alerta de eventos críticos da Bacia do Rio Paraguai (Pantanal)”, um projeto permanente de previsão e alerta de níveis. O sistema gera boletins semanais com previsões de nível em pontos da bacia, disponibilizados na página eletrônica da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e enviados para a Defesa Civil, Prefeituras e Sindicatos Rurais. Para as previsões, são usados modelos estatísticos com dados históricos das estações fluviométricas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), incorporando ferramentas automáticas de aquisição de dados e Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

**Palavras-chave:** Pantanal, seca e cheia, modelos estatísticos.



## **Monitoreo de Humedales a través del uso de Geotecnologías e Inteligencia Artificial: Aplicación en Humedales de la República Argentina**

Natalia V. Revollo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras,  
Universidad Nacional del Sur, Argentina.

<sup>2</sup> Instituto de Ciencias e Ingeniería de la Computación(ICIC),  
CONICET-UNS, Argentina.

nrevollo@criba.edu.ar

**Resumo.** Los humedales son zonas de la superficie terrestre que se inundan de manera permanente o intermitente, siendo fuente de agua y productividad primaria para numerosas especies vegetales y animales. A pesar de su importancia global, se estima que la mitad de los humedales del planeta han desaparecido. Actualmente existe un tratado de Convención de Humedales (Ramsar) para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos mediante acciones locales, nacionales y cooperación internacional como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo. En la Argentina existen 23 Sitios Ramsar que abarcan una superficie total de 5.687.651 hectáreas de ambientes diversos, tales como lagunas altoandinas, zonas costeras marinas, lagunas endorreicas, turberas y llanuras de inundación. El uso de información de la superficie terrestre es de vital importancia en la toma de decisiones sociales, ambientales y políticas. En los últimos años se han puesto a disposición plataformas que proveen petabytes de imágenes provenientes de sensores remotos, así como herramientas que permiten procesar y analizar esos datos. Dentro de los campos de aplicación de esta tecnología están por ejemplo el monitoreo agrícola, de zonas urbanas, de desastres ambientales, de inundaciones, de la actividad pesquera, entre otros. Es por eso que resulta interesante la investigación y desarrollo de algoritmos, técnicas y modelos que permitan procesar y analizar estos datos satelitales. En esta charla se pretende abordar el uso de geotecnologías y modelos de inteligencia artificial asociados al procesamiento y extracción de información en imágenes satelitales para el monitoreo espacio temporal de humedales protegidos en Argentina. Además se presentarán casos de estudio donde se aplicaron diversas metodologías para la obtención de información relacionada con humedales.

**Palavras-chave:** Monitoreo Remoto, Humedales, Aprendizaje de Máquina, Geotecnologias.

## **Análisis de grandes incendios en el Complejo de Reserva Pantanal Paraguayo y sus áreas de influencia mediante el uso de geotecnologías**

Paula Alejandra Paniagua Rodas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Oficial de Sistemas de Información Geográfica  
Guyra Paraguay  
Asunción, Paraguay  
Paniaguardas96@gmail.com

**Resumo.** El análisis de grandes incendios en el Complejo de la Reserva Pantanal Paraguayo y sus áreas de influencia revela que estos eventos, aunque cíclicos, son cada vez más graves, afectando vastas extensiones de terreno. Durante el incendio forestal de octubre de 2019, aproximadamente 260.000 hectáreas fueron consumidas por el fuego en el departamento de Alto Paraguay. En el Monumento Natural Cerro Chovoreca, más de 230.000 hectáreas fueron afectadas, representando el 60% del área total, mientras que el Parque Nacional Río Negro perdió el 34% de su superficie (94.000 ha). Los factores que contribuyeron a la propagación de estos incendios incluyen una sequía prolongada, acumulación de materia orgánica, vientos fuertes y temperaturas elevadas. Estos incendios, provocados mayormente por actividades humanas, generan un fenómeno natural de combustión masiva del material orgánico seco. El monitoreo y análisis del impacto de estos incendios se realizó mediante geotecnologías avanzadas como drones, sensores remotos, cámaras trampa y el uso de sistemas de información geográfica, que permitieron un seguimiento detallado de la regeneración vegetal y el impacto en la fauna local. Estos esfuerzos de monitoreo destacan la importancia de implementar franjas de seguridad, junto con el uso de geotecnologías avanzadas, para mitigar futuros incendios y preservar la biodiversidad del Pantanal Paraguayo, permitiendo una respuesta más efectiva y precisa en la gestión de estos eventos catastróficos.

**Palavras-chave:** incêndios forestales, sistemas de información geográfica, monitoreo.

## **Restauração Ecológica: A importância de um Pacto pela Restauração no Pantanal**

Solange Ikeda-Castrillon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso  
Faculdade de Ciências Agrárias e Biológicas. Campus de Cáceres. Laboratório de Educação  
Ambiental, Restauração Ecológica e Agroecologia.  
solangeikeda@unemat.br

**Resumo.** Logo após os incêndios de 2020 que atingiram cerca de 30% do Pantanal no Brasil, 40 instituições parceiras, se reuniram para dialogar e iniciar a construção de um Pacto pela Restauração do Pantanal. Os diálogos revelaram a situação de como se encontra o Pantanal, como os impactos que estão ameaçando o bioma e as consequências para sua biodiversidade, como as drásticas mudanças durante os períodos de secas extremas, incêndios, instalação de empreendimentos como a Hidrovia Paraguai-Paraná e as Pequenas Centrais Hidrelétricas nos rios que drenam o bioma. Estes e outros assuntos têm se tornado temas recorrentes durante reuniões realizadas pelas instituições que compreendem a necessidade de construir uma política de restauração do Pantanal. No ano de 2021, o Instituto Gaia e instituições parceiras como a Universidade do Estado de Mato Grosso, aprovaram o Projeto Restaura Pantanal, que tem como um dos objetivos “Fortalecer a sustentabilidade e continuidade de projetos de recuperação de áreas degradadas por meio da construção de um Pacto pela Restauração do Pantanal”. Na Década da Restauração de Ecossistemas da Organização das Nações Unidas, o Brasil pode ser considerado como um modelo de governança a ser seguido. Atualmente, todos os seus seis biomas possuem coletivos de restauração com o objetivo de impulsionar a restauração em seus respectivos territórios. Atualmente o Pacto pela Restauração do Pantanal está em processo de construção de sua metodologia de forma participativa e conta com 15 instituições e redes contribuindo em diferentes temas. Serão apresentados dados geoespaciais dos projetos de recuperação da vegetação no Pantanal.

**Palavras-chave:** Incêndios, degradação, dados geoespaciais, recuperação da vegetação.

## **A importância do Cadastramento Ambiental Rural – CAR no diagnóstico de ativos ambientais no pantanal mato-grossense, conforme a legislação estadual**

Tatiana Monteiro Costa e Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gestora do Núcleo Técnico Ambiental da Federação da Agricultura e Pecuária do estado de Mato Grosso

R. Eng. Edgar Prado Arze, s/n - Centro Político Administrativo

Cuiabá - MT, 78049-908

tatianamonteiro@famato.org.br

**Resumo.** Com a edição da Lei Federal n. 12.651 de 2012 (Código Florestal), a propriedade/posse rural passou a ser monitorada, controlada e fiscalizada, com uso de sensoriamento remoto (imagens de satélite), graças ao instrumento do Cadastramento Ambiental Rural – CAR, de caráter obrigatório, considerado um registro eletrônico de âmbito nacional que integra o Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente - SINIMA, com a finalidade de unificar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, além de potencializar planejamento territorial ambiental e econômico e o efetivo combate ao desmatamento e incêndios florestais. Com base nos dados do SIMCAR estadual, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEMA MT, já tem como planejar ações dos ativos ambientais existentes nas propriedades rurais, sobretudo os excedentes, possibilitando ao mesmo tempo a conservação do bioma por meio de políticas públicas compensatórias, como por exemplo do Pagamento por Serviço Ambiental - PSA e da Compensação de Reserva Legal. Neste sentido, convém destacar a inovação legislativa do estado de Mato Grosso, instituindo no Decreto Estadual n. 744 de 2022, a figura dos “corredores de biodiversidade e seus remanescentes”, como mapa de referência disponibilizado no sistema do CAR, com o objetivo de melhor definir as áreas de reserva legal e áreas protegidas, fomentando assim o planejamento territorial e a paisagem na planície alagável do pantanal.

**Palavras-chave:** Código Florestal, Cadastramento Ambiental Rural, reserva legal.

## **Integração de dados espaciais para monitoramento ambiental no Pantanal**

Thiago Gonçalves Rodrigues<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Visiona Tecnologia Espacial

Estrada Dr. Altino Bondensan, 500 - Eugênio de Melo – CEP: 12247-016 - São José dos Campos – São Paulo – Brasil  
thiago.rodrigues@visionaespaial.com.br

**Resumo.** A integração de dados espaciais é cada mais necessária para acompanhar a dinâmica dos biomas. A Visiona utiliza a Plataforma WebVis para integrar dados espaciais de satélites comerciais e governamentais, dessa forma utilizando de uma constelação virtual. Essa tecnologia permite monitorar de forma mais eficiente ambientes sensíveis, como o Pantanal, fornecendo informações precisas para auxiliar na gestão de recursos naturais. Com a WebVis, é possível detectar desmatamentos, monitorar áreas agrícolas e realizar análises detalhadas de biomassa, contribuindo para uma gestão ambiental e agrícola mais sustentável e informada. A plataforma oferece uma visão ampla e integrada, essencial para a tomada de decisões em tempo real.

**Palavras-chave:** Plataforma, Monitoramento, Desmatamento.

## **Projeto Map MT**

Rodrigo Bruno Zanin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Professor Adjunto da UNEMAT e Secretário Adjunto de Desenvolvimento Científico,  
Tecnológico e de Inovação de SECITECI – MT  
Rua Mistral, 457 - Jardim Bom Clima, Cuiabá - MT, 78048-135  
gsadcti@secitec.mt.gov.br

**Resumo.** O Projeto MAP MT é uma política pública inovadora da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação do estado de Mato Grosso, com o objetivo de realizar um mapeamento sistemático do uso e cobertura do solo em todo o estado. Este mapeamento utiliza imagens de satélite CBERS 4A, que oferecem alta resolução e capacidade de monitoramento contínuo, essenciais para a gestão sustentável dos recursos naturais e o planejamento territorial. O projeto visa criar uma base de informações espaciais detalhadas e atualizadas, essencial para diversas áreas, como agricultura, preservação ambiental e desenvolvimento urbano. Ao fornecer dados precisos, o Projeto MAP MT apoia a formulação e implementação de políticas públicas eficientes, voltadas para o desenvolvimento sustentável do estado. Além das imagens de satélite, o Projeto MAP MT integra técnicas avançadas de inteligência artificial, como machine learning e deep learning, para melhorar a análise e interpretação dos dados geoespaciais. Estas tecnologias permitem a automação de processos complexos, a identificação de padrões no uso da terra e a geração de insights valiosos para decisões estratégicas. Outro componente crucial é a análise de Big Data, que amplia a capacidade de processamento e interpretação de grandes volumes de dados, tornando as análises mais eficazes e precisas. Com essas abordagens, o Projeto MAP MT estabelece um novo padrão em mapeamento e gestão territorial no Brasil. Como política pública da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação, o Projeto MAP MT demonstra o compromisso de Mato Grosso com a inovação tecnológica e a sustentabilidade ambiental, proporcionando uma ferramenta robusta para o desenvolvimento equilibrado da região.

**Palavras-chave:** Políticas Públicas, Mapeamento Sistemático, Inteligência Artificial.

## **Combate aos incêndios florestais no Pantanal no ano de 2024: Geoespacialização das informações**

Lawrence Nóbrega de Oliveira<sup>1</sup>  
Bruno Monteiro Blanco<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Coordenação de Monitoramento e Combate (CMC)  
Centro Nacional de Prevenção e Combate aos incêndios Florestais (Prevfogo)  
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama)  
Brasília, Distrito Federal, Brasil  
lawrence.oliveira@ibama.gov.br

**Resumo.** Em 2024, o Bioma Pantanal enfrentou condições climáticas favoráveis a propagação de incêndios florestais. Para otimizar as operações das equipes de campo e coordenar os esforços das diversas agências envolvidas (federais e estaduais), foi desenvolvida uma ferramenta para monitorar os locais de atuação das brigadas. Por meio de webmap do Sisfogo (Sistema de Informações sobre Fogo) os incêndios florestais são geoespacializados e classificados em quatro categorias: sem combate, em combate, controlado e extinto. As atualizações são realizadas durante as reuniões do Centro Integrado Multiagência de Coordenação Operacional Federal (CIMAN). A plataforma de monitoramento integra dados de focos de calor do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de eventos de fogo do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (Censipam), bem como de cicatrizes de área queimadas mapeadas diariamente, no intuito de acompanhar a evolução de cada incêndio. As cicatrizes de área queimada são produzidas com imagens diárias fornecidas através do Programa Brasil Mais da Polícia Federal. Cada incêndio recebe uma denominação e codificação, além de informações sobre a agência responsável pela resposta. Diariamente, durante as operações de combate a incêndios em andamento, um arquivo GeoPDF é gerado, fornecendo mapas que orientam as equipes em campo e otimizam a alocação de recursos. Essa ferramenta tem se revelado essencial para o gerenciamento eficiente de recursos e a coordenação das ações de combate, contribuindo significativamente para a mitigação dos impactos dos incêndios, sobretudo no Pantanal. Também tem propiciado maior transparência às ações de combate empreendidas no bioma.

**Palavras-chave:** incêndios florestais, combate, Pantanal, cicatriz de área queimada.



# Anais do 8º GeoPantanal

Poconé, MT, 11 a 13 de novembro de 2024  
[www.geopantanal.cnptia.embrapa.br](http://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br)

## PATROCÍNIO OU APOIO FINANCEIRO



## APOIO INSTITUCIONAL

