



CONSTRUÇÃO DE UM MAPA HÍBRIDO DE USO E COBERTURA DO SOLO NA REGIÃO DAS BACIAS DE RIO VERDE E MARCELINO, MA

Ana Beatriz Freitas da **Silva**¹; Hilton Luis Ferraz da **Silveira**²

Nº 24509

RESUMO – Este trabalho teve como objetivo criar um mapa híbrido para calcular o estoque de carbono de acordo com o uso e cobertura do solo de ocupações diversas. A área de estudo compreende as bacias dos rios Verde e Marcelino, sul do Maranhão, no bioma Cerrado. Foram comparados produtos de mapeamento existentes, como “WorldCover 10 m (Sentinel-1 and Sentinel-2)”, da European Space Agency (ESA); “Sentinel-2 10-meter Land Use/Land Cover”, da Environmental Systems Research Institute (ESRI); TerraClass Cerrado (TC), projeto de colaboração entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe); e, por fim, “Cobertura e Uso da Terra”, da coleção 8.0 do MapBiomas (MB). Os dados adquiridos foram processados usando ferramentas de sistemas de informações geográficas (SIG), como a calculadora raster. A validação do mapa híbrido foi feita por meio do coeficiente kappa. Os resultados indicam que os produtos da ESA e ESRI não atendem às necessidades da pesquisa, devido à sua generalização, enquanto MapBiomas e TerraClass Cerrado apresentam maior detalhamento. O uso de álgebra de mapas permitiu criar um mapa híbrido com concordância considerável nas classificações de cultura e vegetação, mas não obteve resposta adequada na distinção de algumas áreas, devido à classe “mosaico de usos” do MapBiomas. A criação de um mapa híbrido resultante da combinação de produtos de uso e cobertura existentes é eficaz, porém é necessária uma correspondência mais adequada para classes de uso agrícola e pecuário.

Palavras-chaves: estoque de carbono, geoprocessamento, mapeamento, uso e ocupação do solo.

1 Autora, Estagiária: Graduação em Geografia, UNICAMP, Campinas-SP; anabf.silva@colaborador.embrapa.br.

2 Orientador: Analista da Embrapa Territorial, Campinas-SP; hilton.ferraz@embrapa.br.



ABSTRACT – *This work aimed to create a hybrid map for calculating carbon stock in several land use and cover situations. The study area comprises the Verde and Marcelino river basins, south Maranhão, in the Cerrado biome. Existing mapping products were compared, such as "WorldCover 10 m (Sentinel-1 and Sentinel-2)", from the European Space Agency (ESA); "Sentinel-2 10-meter Land Use/Land Cover", from the Environmental Systems Research Institute (ESRI); TerraClass Cerrado (TC), a collaborative project between the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa) and the Brazilian National Institute for Space Research (Inpe); and, finally, "Land Cover and Use", from MapBiomass' (MB) collection 8.0. The acquired data were processed using GIS tools, such as the raster calculator. The hybrid map was validated using the kappa coefficient. The results indicate that ESA's and ESRI's products did not meet this research's needs due to their generalization, while MapBiomass and TerraClass Cerrado provided greater detail. The use of map algebra allowed for the creation of a hybrid map with considerable agreement in crop and vegetation classifications, but did not achieve adequate distinction in some areas, due to MapBiomass' "Mosaic of Uses" class. The creation of a hybrid map resulting from the combination of existing land use and cover products is effective, however, a more appropriate correspondence regarding agricultural and livestock use classes is necessary.*

Keywords: carbon stock, geoprocessing, mapping, land use and land cover.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam um desafio significativo para o meio ambiente e para a sociedade, visto que desastres naturais têm sido cada vez mais frequentes e recorrentes. Reduzir as emissões de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂), e promover a estocagem de carbono fazem parte de uma estratégia possibilitadora de mitigação de danos permanentes à natureza. No Brasil, o desmatamento para a abertura de novas áreas para a agricultura constitui um dos principais emissores de carbono para a atmosfera. Ademais, “as dinâmicas de sequestro e estoque de carbono estão intrinsecamente ligadas às mudanças de uso e cobertura do solo” (Soares et al., 2023).

Nesse cenário, instituições de países como Argentina, Uruguai, França, Colômbia e Brasil, sob a iniciativa da European Joint Programme (EJP), desenvolveram um projeto que tem como pressuposto estabelecer relações entre os estoques de carbono e o uso do solo em áreas de expansão e consolidação agrícola na América do Sul. No Brasil, a fim de entender a dinâmica do carbono nos diversos reservatórios (como o carbono no solo, a biomassa acima do solo e a matéria morta), foi escolhida uma bacia localizada na região do Matopiba, representativa dos processos de expansão agropecuária no Cerrado brasileiro.



É fundamental, então, dispor de um mapa de uso e ocupação do solo que reflita as classes existentes na área de estudo, uma vez que os modelos utilizados para estimar espacialmente as massas de carbono estocadas baseiam-se fortemente nesse tipo de dado, para obtenção de um cálculo mais preciso.

A grande oferta de dados de sensoriamento remoto e o aumento do poder de processamento, especialmente em nuvem, têm possibilitado o desenvolvimento de diversas iniciativas de mapeamento de uso e cobertura de abrangência mundial e continental. Entretanto, os mapeamentos de larga escala podem não refletir as especificidades locais, em função de escolhas semânticas dos projetos. Um mapa híbrido, que combina elementos de diferentes bases cartográficas para proporcionar uma visão mais informativa e detalhada, torna-se o material de interesse. Nesse contexto, é objetivo deste trabalho comparar resultados obtidos entre mapeamentos já existentes e, com eles, elaborar um mapa híbrido e identificar a melhor acurácia atingida.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi feito para as áreas de contribuição dos rios Verde e Marcelino (Figura 1), sub-bacias integrantes da bacia hidrográfica do Rio Parnaíba, localizada na região sul do estado do Maranhão, e situada entre os municípios de Coqueiro, Chiqueiro, Angicos, Salto e Baviera. Juntas, as bacias totalizam uma área de 134 mil hectares. Com características do bioma Cerrado, o clima da região é Aw segundo a classificação climática de Köppen (Corrêa et al., 2023), do tipo Tropical, com baixa variação de temperatura ao longo do ano, tendência de chuvas no verão e de períodos de seca no inverno.

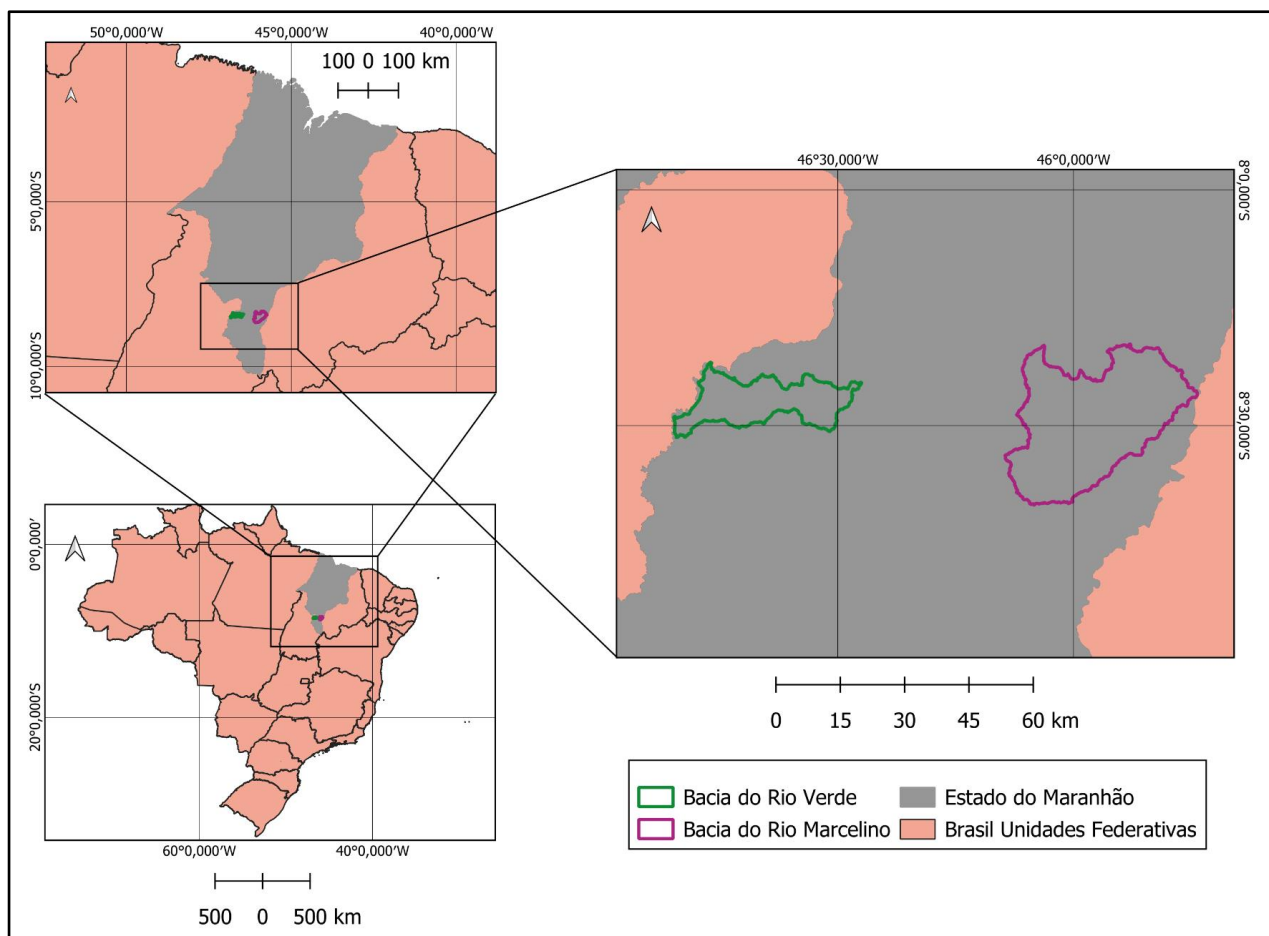


Figura 1. Mapa das bacias hidrográficas dos rios Verde e Marcelino, MA.

2.2 Especificação do projeto e mapa híbrido de uso e cobertura

Inicialmente foram definidas as seguintes classes, que deveriam constar de um mapa de uso e cobertura: pastagem, agricultura de um ciclo, agricultura de dois ciclos, integração lavoura-pecuária e vegetação natural. Foram analisados e comparados os produtos: “WorldCover 10 m (Sentinel-1 and Sentinel-2)”, da European Space Agency (ESA); “Sentinel-2 10-meter Land Use/Land Cover”, da Environmental Systems Research Institute (ESRI, 2023); TerraClass Cerrado (INPE, 2023), projeto de colaboração entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe); e, por fim, “Cobertura e Uso da Terra” da coleção 8.0 do MapBiomas (MapBiomas, 2023). As classificações dos produtos foram comparadas a 196 pontos amostrais coletados em campo pela equipe na área de estudo entre os dias 1 e 11 de outubro de 2023. Assim, cada classe de uso em cada produto foi avaliada como “Correlato”, “Incongruente” e “Sem definição ou Inconclusivo”, com base na correlação entre a semântica da legenda e a realidade das imagens do campo (Tabela 1).



Especificação do projeto	ESA	ESRI	TerraClass	MapBiomias
Pastagem	Shrubland/Grassland	Rangeland	Pastagem/Cultura	Pastagem
Agricultura de um ciclo	Cropland	Crops	Cultura temporária de 1 ciclo	Agricultura
Agricultura de mais de um ciclo	Cropland	Crops	Cultura temporária de mais de 1 ciclo	Agricultura
Integração lavoura-pecuária	Cropland/Grassland	Crops/Rangeland	Pastagem/Cultura	Agricultura/Pastagem
Vegetação Natural	Tree cover	Rangeland	Veg. primária/ Veg. Secundária	Formação Campestre

Tabela 1. Tabela comparativa entre as legendas dos produtos WorldCover 10 m (ESRI), Sentinel-2 10-meter Land Use/Land Cover (ESA), TerraClass e MapBiomias.

Nesta primeira avaliação, verificou-se que os produtos “WorldCover 10 m” e “Sentinel-2 10-meter Land Use/Land Cover” não atendiam à delimitação de classes necessária ao trabalho, já que foram elaborados em escala global e, portanto, algumas particularidades buscadas no projeto não eram atendidas. Dentre essas particularidades está a mistura entre pastagens e áreas de Cerrado, agrupadas em muitos casos como *rangeland*, e sendo, portanto, desconsideradas. Já as bases de dados do MapBiomias (MB) e TerraClass Cerrado (TC), embora não atendessem plenamente as necessidades das classes do projeto, com uma semântica coerente para o cálculo de estoque de carbono (classificação de sistema integrado lavoura-pecuária, ciclos mistos), traziam classes com melhor estruturação para o ambiente local.

Para o tratamento dos dados e a elaboração do mapa final, foi utilizado, inicialmente, o software de mapeamento ArcGIS Pro. Durante esta etapa do processo, as imagens do MB e TC foram recortadas utilizando o limite das bacias dos rios Verde e Marcelino. Em seguida, um novo mapa foi gerado através de álgebra de mapas (Figura 2), cujo algoritmo hibridizava os conteúdos do MB e TC, a fim de trazer a combinação das classificações de uso e cobertura do solo necessária ao objetivo do projeto.

Para elaborar o mapa híbrido, foi necessário reclassificar as camadas *raster* referentes ao MB e TC, utilizando operações condicionais disponíveis na ferramenta “Calculadora Raster” do ArcGIS Pro para, então, gerar uma nova camada com informações combinadas e modificadas conforme critérios específicos, como a exclusão de classes não necessárias (cultura perene, semiperene, mosaico de usos) e a inclusão de outras (cultura de 1 ciclo, cultura de mais de 1 ciclo). A expressão algébrica usou a função “Con”, cuja funcionalidade é repetir comandos para cada pixel das camadas *raster* dentro de uma árvore de decisão, com base nos valores de cada classe dos *raster* base, como é exemplificado na Figura 2.

No caso deste estudo, as classes da camada *raster* de interesse mantinham-se dentro da condição, as indesejadas eram substituídas pela classe de outra camada *raster* e, caso houvesse classes de valores iguais, a de interesse era multiplicada por um número primo. Para encerrar a equação e para as condições não atendidas, atribuiu-se o valor de *No Data*. Nota-se que as camadas *raster* usadas na equação são recortes da área, ou seja, “mapbacia.tif” e “TerraClassBacia.tif” correspondem aos produtos de uso e cobertura do MapBiomias e TerraClass, respectivamente.

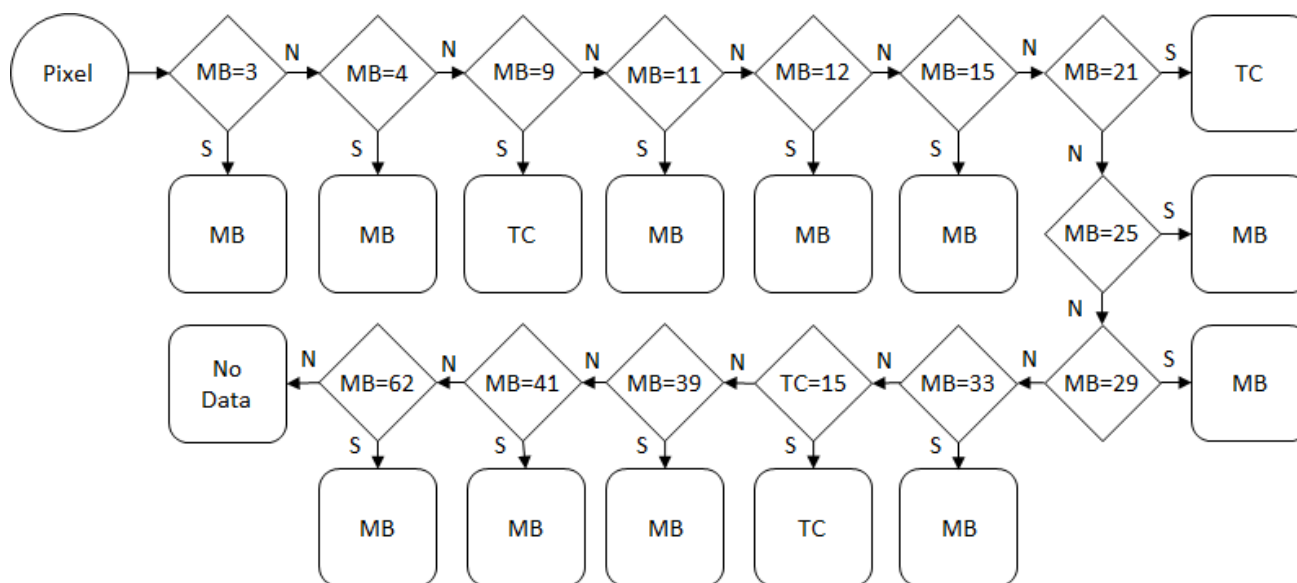


Figura 2. Algoritmo de hibridização com os valores das classes de mapeamento do MapBiomias (MB) e TerraClass (TC) para um determinado pixel.

2.2.2 Cálculo de coeficiente kappa

A fim de entender a validação do novo mapeamento, criou-se um arquivo vetorial de 210 pontos aleatórios no ArcGIS Pro e analisou-se ponto a ponto se a classificação dada pelo mapa híbrido correspondia à realidade mostrada pelas imagens dos satélites. Para estipular a acurácia do mapa híbrido, utilizou-se o cálculo do coeficiente kappa. Este método estatístico é usado para quantificar a precisão do modelo de classificação e avaliar o grau de concordância entre os classificadores, neste caso os mapeamentos do MB e TC, através da avaliação da concordância observada (a classificação dada pelo mapa híbrido nos pontos de observação) e a concordância esperada (o uso e cobertura visto pelas imagens de satélite).

A princípio, foi construída uma matriz de confusão (Tabela 2) com as classes de uso e cobertura do solo (cultura, vegetação e pastagem) nas linhas, representando a classificação do modelo, e nas colunas, representando a classificação de referência. A matriz é preenchida com o número de áreas que correspondem a cada combinação de classes. Na elaboração da tabela, foram inseridas as fórmulas necessárias para o cálculo do coeficiente kappa, em ordem de processo: Equação 1, Equação 2 e Equação 3.

	Vegetação	Cultura	Pastagem
Vegetação	44	14	1
Cultura	0	141	0
Pastagem	3	3	4

Tabela 2. Matriz de confusão da classificação de referência e classificação do modelo do uso e cobertura do solo, com os resultados de kappa encontrados para cada classe (vegetação, cultura e pastagem) e para a classificação geral.

$$P_o = \frac{\sum_{i} n_{i i}}{N} \quad (1)$$

$$P_e = \sum_i \left(\frac{\sum_j n_{i j} \cdot \sum_k n_{i k}}{N^2} \right) \quad (2)$$

$$\kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (3)$$

A Equação 1 é o cálculo da proporção de concordância observada (P_o), na qual n_{ij} é o número de observações em que ambos os avaliadores concordaram na categoria i e N é o número total de observações. A Equação 2 é o cálculo da proporção de concordância esperada (P_e), na qual n_{ij} é o número de observações classificadas na categoria i pelo Avaliador 1 e na categoria j pelo Avaliador 2; n_{ik} é o número de observações classificadas na categoria i pelo Avaliador 1 e na categoria k pelo Avaliador 2; N é o número total de observações. Por fim, a Equação 3 é o cálculo de coeficiente kappa (κ). Os resultados do coeficiente de concordância κ podem ser enquadrados conforme a Tabela 3, segundo Landis e Koch (1977) citados por Amaral et al. (2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para comparar os produtos de mapeamento (ESA, ESRI, TerraClass e MapBiomas, na Tabela 1), foram usadas como base as informações adquiridas no campo, como: ponto de coleta, imagem da área e informações adicionais coletadas consideradas necessárias (se há plantação, se é área de rio, qual é o tipo de solo). Percebeu-se que os produtos da ESA e ESRI apresentavam legendas abrangentes (a falta de uma classe específica para pastagem; uma classe geral para agricultura), resultando em uma semântica insuficiente para o cálculo de carbono e, conseqüentemente, em um mapa insuficiente para atender o objetivo do projeto. Já os mapeamentos do TerraClass Cerrado e MapBiomas traziam maior riqueza de detalhes, classificando os tipos de vegetação, especificando as diferentes culturas agrícolas e diferenciando o ambiente segundo o bioma Cerrado. Estes últimos dois produtos foram escolhidos para o mapa híbrido, pois ajudariam em uma caracterização aproximada da região de estudo e com valores de contagem de carbono mais fidedignos.

Ao produzir a matriz de confusão, percebeu-se que as classes de cultura no mapa híbrido tiveram êxito nos 141 pontos na verificação e, por consequência, o valor de coeficiente kappa de 1,0 e variação nula. Enquanto isso, a classe de vegetação apresentou 44 pontos de acerto e 15



incongruentes, e com isso apresentou kappa de 0,6725 e variação de 0,0044. A classificação para pastagem obteve 4 acertos e 6 erros, levando a um kappa de 0,3854 e variação de 0,0237. Por fim, o mapeamento apresentou kappa de 0,7679 e variância de 0,0021. Segundo o padrão dos valores do coeficiente (Tabela 3), interpreta-se que a classe de vegetação apresenta concordância “muito boa”; a classe de cultura tem concordância “excelente”; a classe de pastagem apresenta concordância “razoável”; e o mapa híbrido apresenta concordância “muito boa”.

Uma possível justificativa para as classes de menor concordância, vegetação e cultura, terem apresentado seus respectivos resultados é a classe “mosaico de usos”. Segundo a descrição das legendas do MapBiomas, entende-se por “mosaico de usos” a classe de “áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura”. Por consequência, algumas áreas foram classificadas como vegetações naturais, como forma de substituir o “mosaico de usos”, mas na realidade eram áreas de atividades agropecuárias. Supõe-se que houve poucas áreas classificadas como pastagem, em comparação com cultura e vegetação, por essa mesma razão. A classe “cultura” apresentou o melhor desempenho, uma vez que a fusão da classificação de MB e TC na elaboração do novo mapa agregou diferentes tipos de classes a agricultura, o que trouxe mais alcance, uniformidade e acurácia em comparação às imagens de satélite.

Índice kappa (<i>K</i>)	Qualidade
$k = 0,2$	Ruim
$0,2 < k = 0,4$	Razoável
$0,4 < k = 0,6$	Bom
$0,6 < k = 0,8$	Muito bom
$k = 0,8$	Excelente

Tabela 3. Nível de exatidão de uma classificação conforme o valor de índice kappa.

Fonte: Landis e Koch (1977) citados por Amaral et al. (2009).

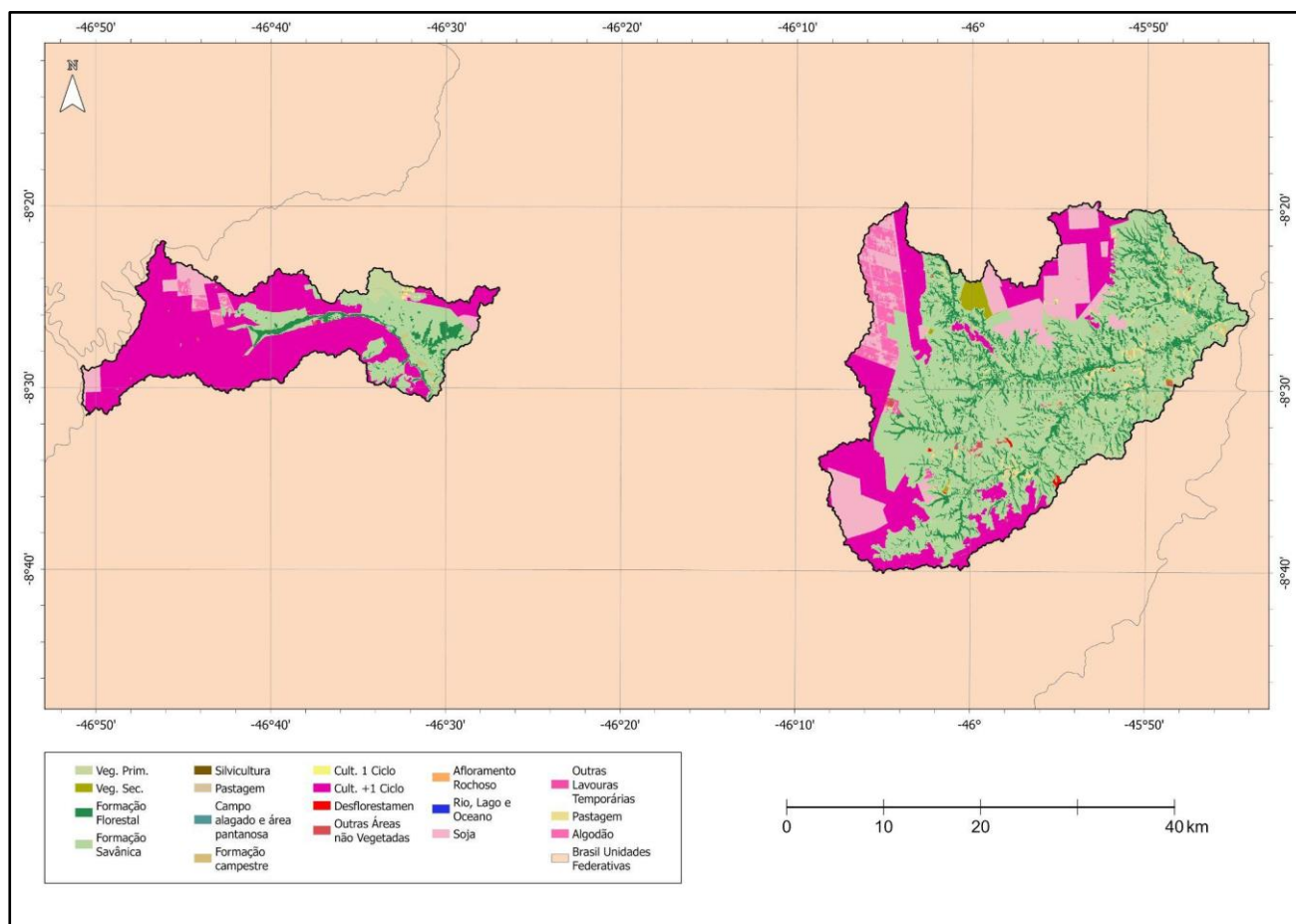


Figura 3. Mapa híbrido de uso e cobertura do solo nas bacias dos rios Verde e Marcelino, MA.

4. CONCLUSÃO

Através do uso de diferentes produtos de geoprocessamento, verificou-se que os produtos WorldCover 10 m e Sentinel-2 10-meter Land Use/Land Cover não atenderam às necessidades específicas do projeto, devido à sua generalização. Por sua vez, as classificações de uso e cobertura do solo do MapBiomass e TerraClass Cerrado, apesar de não serem perfeitas, ofereceram caracterização mais adequada para o ambiente local e para a finalidade do projeto.

As classes de cultura e vegetação apresentaram maior concordância em geral, diferentemente da pastagem, para a qual houve embates metodológicos no momento da identificação. Ainda assim, o mapa híbrido atingiu valores de concordância suficientes, e teve sua concordância enquadrada como quase perfeita.

Os resultados da metodologia utilizada indicam eficácia na elaboração de um mapa híbrido através da combinação de dois produtos de uso e cobertura já existentes. No entanto, há alguns impasses, como a classe “mosaico de usos” do produto do MapBiomass, pois, ao não ter definição conclusiva, abriu espaço para divergências de classificação e identificação de áreas com uso integrado de atividades agrícolas e pecuárias.



O aprimoramento do mapeamento híbrido da região das bacias dos rios Verde e Marcelino visando o propósito do trabalho foi satisfatório graças ao uso de tecnologias SIG, mas há necessidade de uma caracterização mais específica acerca das áreas com usos agropecuários múltiplos, uma vez que isso impacta nos cálculos de estoques de carbono.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Embrapa, pelo financiamento da bolsa por meio do projeto SEG 20.23.04.001.00.00.

6. REFERÊNCIAS

AMARAL, M. V.; SOUZA, A. L. de; SOARES, V. P.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; MARTINS, S. V.; FERNANDES FILHO, E. I.; LANA, J. M. de. Avaliação e comparação de métodos de classificação de imagens de satélites para o mapeamento de estádios de sucessão florestal. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 575–82, jun. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300019>.

CORRÊA, W.; CARVALHO, M. W. L.; MENDES, T. J. Atualização da classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 517-543, 25 abr. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16727>.

ESRI. **Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover Explore**. CA: Esri, 2023. Disponível em: <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>. Acesso em: 28 out. 2023.

INPE. **TERRACLASS: Cerrado**. São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <https://www.terraclass.gov.br/geoportall-cerrado/>. Acesso em: 28 out. 2023.

MAPBIOMAS **Mapbiomas**. 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 28 out. 2023.

SOARES, F. da S.; SACRAMENTO, B. H.; VALENTE, R. A.; SILVEIRA, H. L. Carbon Storage and Sequestration in Amazonian Rural Properties Supported by the Carbon Storage and Sequestration Model. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA, 24., 2023, São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2023.