

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).

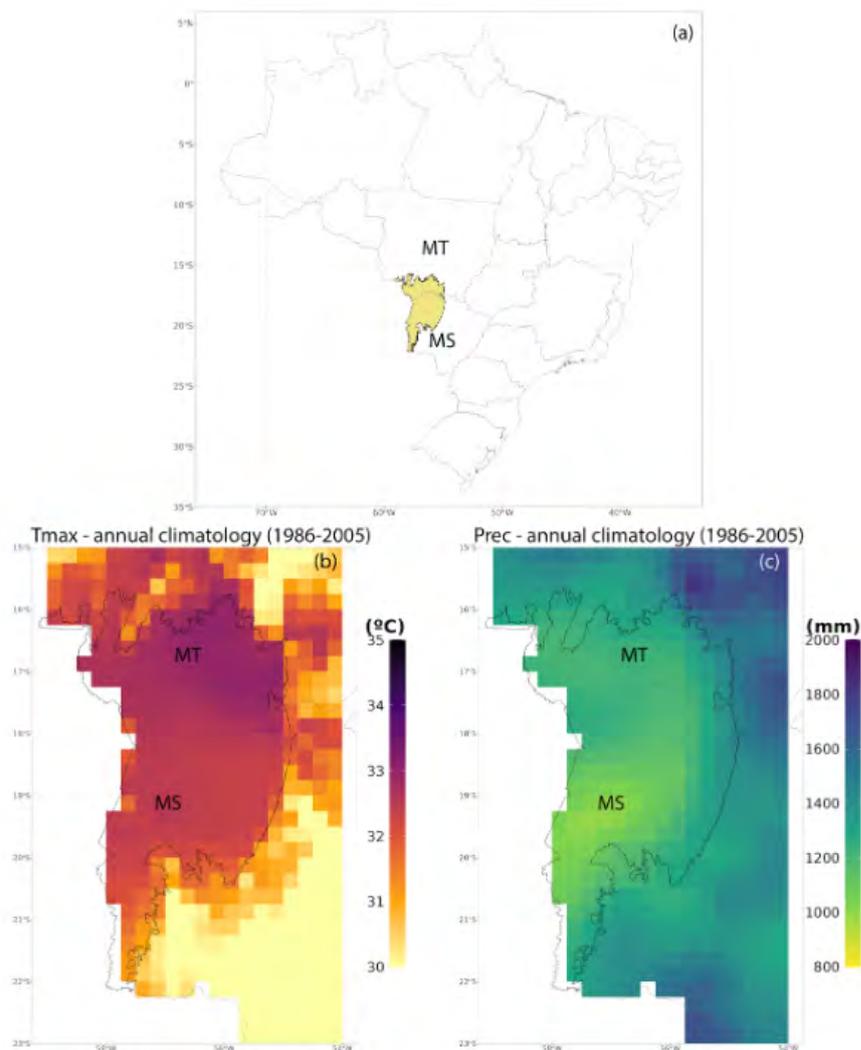


Figura 1. Localização da área de estudos. A Figura 1.a Mostra o bioma do Pantanal no contexto dos estados brasileiros. A Figura 1.b Mostra a climatologia anual da temperatura máxima, para o período de 1986 a 2005. A Figura 1.c Mostra a climatologia anual de 1986-2005 para a precipitação.

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).

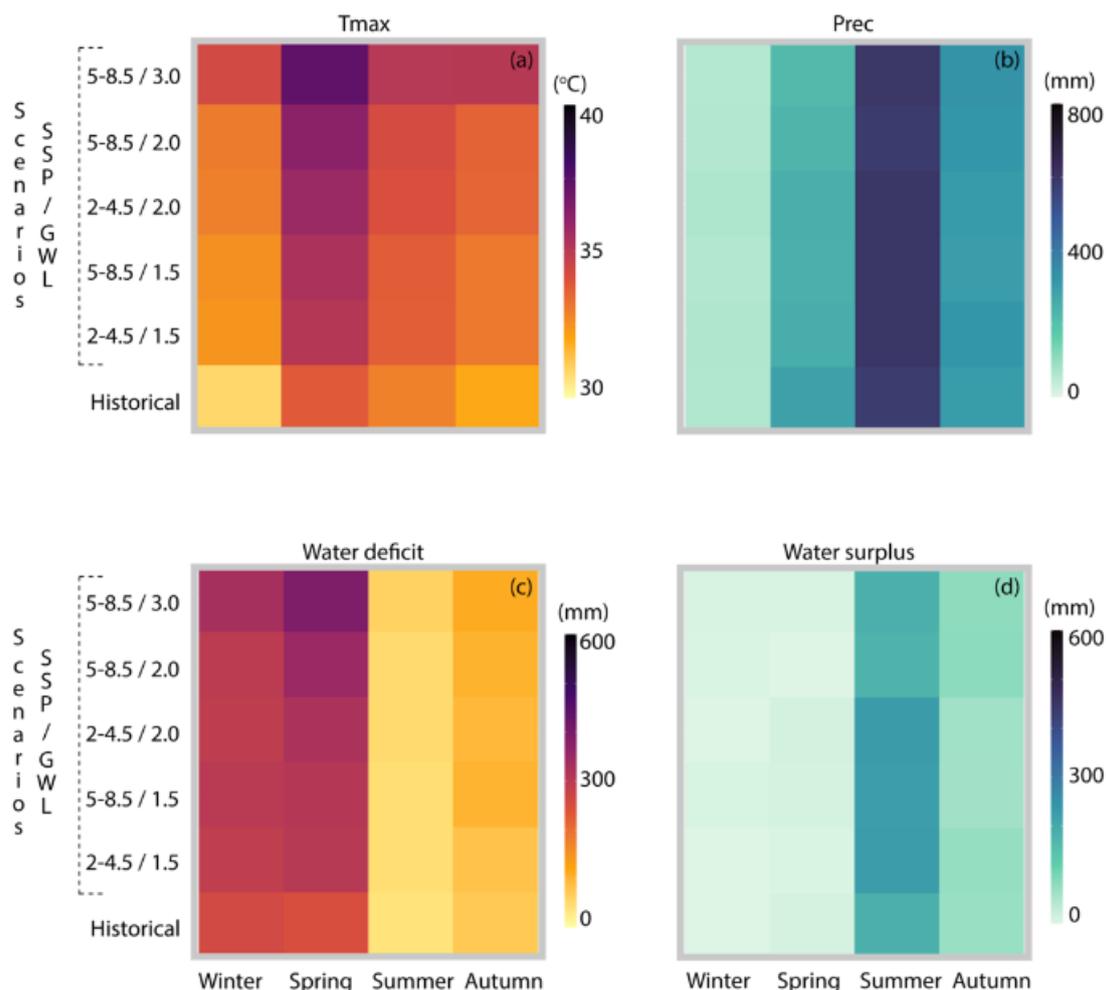


Figura 2. Resultados da mediana dos componentes do balanço hídrico para o Pantanal. A Figura 2.a apresenta a temperatura máxima, a Figura 2b a precipitação, a Figura 2c o déficit hídrico e a Figura 2.d o excedente hídrico. Os resultados estão organizados conforme a combinação de cenários e GWLs, para 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.

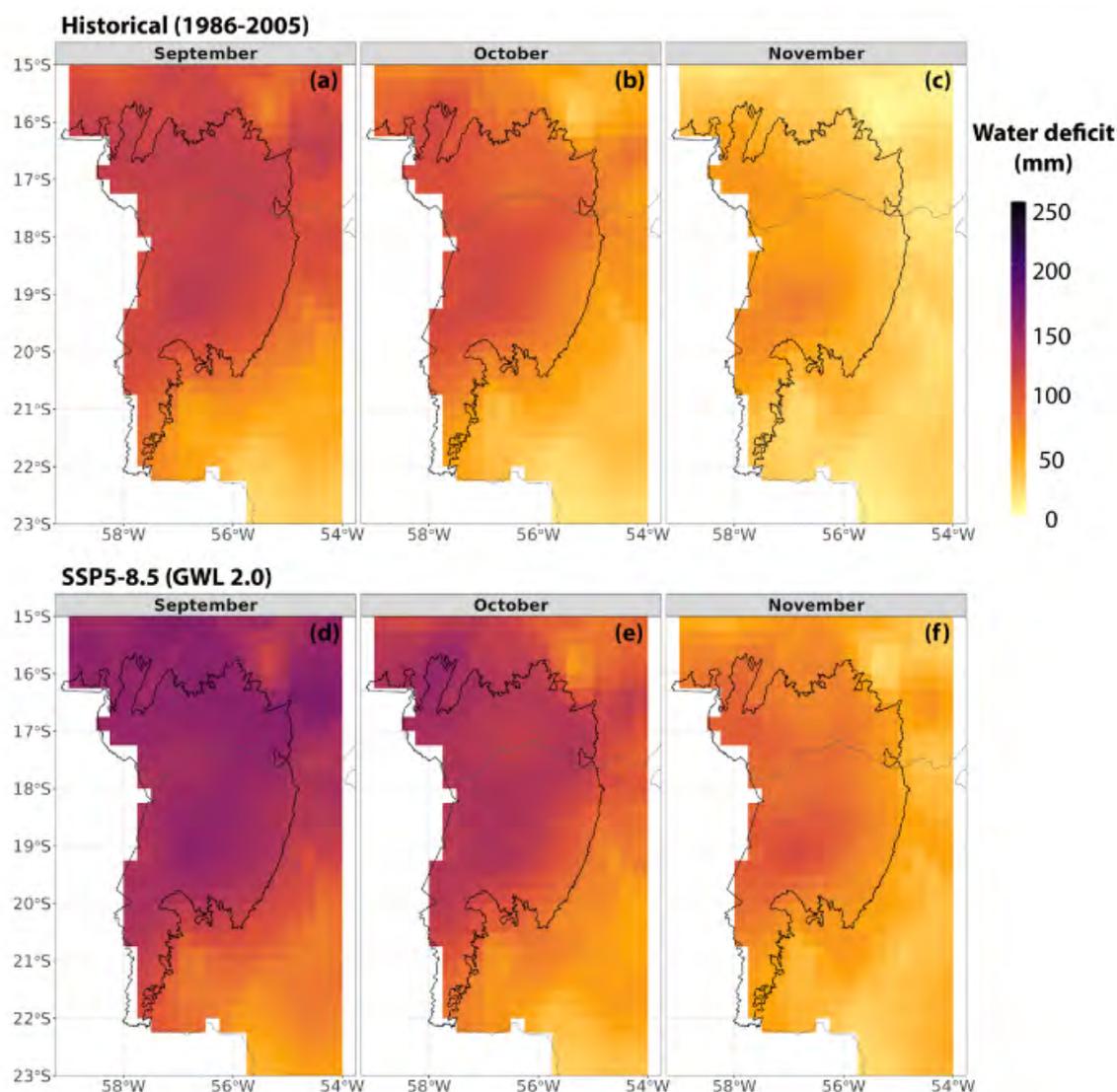


Figura 3. Déficit hídrico mensal para os meses da primavera (SON) para o histórico(1986-2005) e para o ensemble dos modelos no cenário SSP5-8.5-GWL 2,0 °C.

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>