

Como o aumento das temperaturas médias globais pode alterar a deficiência hídrica no início do calendário de plantio de grãos?

Vania Rosa Pereira¹, Rafael Ferreira Galib², Aryeverton Fortes de Oliveira³, Santiago Vianna Cuadra³, José Eduardo Boffino de Almeida³, Daniel de Castro Victoria³

¹Pós-doutorado, Embrapa Agricultura Digital; ²Bolsista, Embrapa Agricultura Digital; ³Pesquisador, Embrapa Agricultura Digital; E-mail: vania.pereira@colaborador.embrapa.br

Resumo - O risco de produção para a agricultura de sequeiro é altamente dependente do clima. O fator que mais afeta a produtividade de grãos no Brasil é a falta de água em diferentes fases de desenvolvimento da planta, por isso avaliações dos componentes do balanço hídrico são consideradas ferramentas essenciais para o planejamento territorial. Avaliamos as possíveis alterações na deficiência hídrica no calendário de plantio a partir dos cenários de mudanças climáticas do CMIP6, considerando os SSPs 2-4.5 e 5-8.5, nos níveis médio de aquecimento global de 1,5 °C, 2,0 °C e 3 °C acima do período pré-industrial. Avaliamos o déficit hídrico na escala mensal para os meses que marcam o início do calendário de plantio de grãos no Brasil, i.e., setembro, outubro, novembro e dezembro. Os cenários avaliados indicam aumento da deficiência hídrica nos meses avaliados, especialmente na porção central do Brasil. Os aumentos das temperaturas médias globais podem interferir nos componentes do balanço hídrico, alterando a demanda atmosférica, via aumentos de temperatura do ar, o que pode favorecer aumentos no risco climático e aumentar a vulnerabilidade do sistema de dupla safra no país.

Palavras-chave: Balanço Hídrico, deficiência hídrica, CMIP6.

Climate Change Scenarios at the Onset of the Grain Planting Season: How Can Rising Global Temperatures Alter Water Deficit?

Abstract - Production risk in rainfed agriculture is highly dependent on climate. The primary factor affecting grain productivity in Brazil is water scarcity during different stages of crop development. Therefore, assessments of the components of the water balance are considered essential tools for territorial planning. In this study, we evaluate potential changes in water deficit throughout the planting calendar based on CMIP6 climate change scenarios, considering SSPs 2-4.5 and 5-8.5 at global warming levels of 1.5°C, 2.0°C, and 3.0°C above the pre-industrial period. We analyze monthly water deficit during the months that mark the onset of the grain planting season in Brazil, i.e., September, October, November, and December. The scenarios analyzed indicate an increase in water deficit during these months, particularly in the central region of the country. Rising global mean temperatures may affect the components of the water balance by altering atmospheric demand through increased air temperature, which can amplify climatic risk and increase the vulnerability of Brazil's double-cropping system.

Key-words: Water balance, water deficit, CMIP6.

Introdução

A agricultura de sequeiro, amplamente praticada no Brasil, baseia-se na semeadura das culturas durante o período chuvoso, aproveitando a umidade natural do solo para o desenvolvimento das plantas. Embora essa estratégia reduza custos com irrigação, ela também torna a produção altamente dependente da variabilidade climática, especialmente da distribuição temporal e espacial das precipitações. Nessas condições, a produção agrícola torna-se uma atividade de risco, uma vez que estiagens mesmo de curta duração,

se ocorrerem em fases críticas do ciclo da cultura, como emergência, florescimento ou enchimento de grãos, podem comprometer significativamente o rendimento final.

No caso do sistema de dupla safra, como o da soja seguida de milho, sistema de dupla safra de destaque no Brasil, o período de germinação e emergência é particularmente sensível ao déficit hídrico. A insuficiência de água nessa etapa pode dificultar a emergência uniforme das plântulas, reduzir o estande de plantas e, conseqüentemente, limitar o potencial produtivo da lavoura. Em regiões onde a janela de plantio é estreita, como ocorre em áreas com sucessão soja-milho safrinha, o risco associado à ocorrência de déficit hídrico nos primeiros estágios do ciclo é ainda mais crítico, pois pode reduzir ou até mesmo eliminar a janela de baixo risco para o milho safrinha.

Diante desse contexto, compreender o comportamento dos componentes do balanço hídrico sequencial-climatológico - em especial a deficiência hídrica - torna-se essencial pois apresenta um primeiro olhar para as variáveis de entrada de modelos agroclimáticos. O conhecimento de como as mudanças climáticas podem influenciar o comportamento do déficit hídrico ao longo do calendário agrícola permite identificar zonas de maior vulnerabilidade climática e, assim, subsidiam estratégias de adaptação às mudanças climáticas. Além disso, informações detalhadas sobre a deficiência hídrica são fundamentais para o zoneamento agrícola de risco climático, a seleção de cultivares mais adaptadas e o planejamento de sistemas produtivos mais resilientes.

Neste trabalho, avaliamos as possíveis alterações nos padrões da deficiência hídrica ao longo do calendário de plantio de culturas de grãos no Brasil Central, com base em cenários de mudanças climáticas do CMIP6. A análise foca os meses de setembro a dezembro, que marcam o início do calendário agrícola das principais culturas de grãos no país. Os resultados obtidos visam apoiar o planejamento em uma perspectiva de longo prazo, frente aos desafios impostos pela variabilidade e mudança climática.

Material e métodos

Bases de dados climáticos: Este estudo utilizou dados brutos provenientes do conjunto de modelos climáticos globais (MCGs) do CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6). Como base observacional de referência, utilizou-se o conjunto de dados meteorológicos BR-DWGD (Xavier et al., 2022), com resolução original de 10 km, regradeada para 25 km de resolução espacial, considerando o período de 1986 a 2005.

Seleção de modelos climáticos com melhor performance para o Brasil em relação à climatologia: A seleção dos MCGs com melhor desempenho foi realizada com base na comparação entre as climatologias anuais e sazonais das três variáveis (precipitação, temperatura máxima e mínima), utilizando o diagrama de Taylor (Taylor, 2001). Essa abordagem gráfica permite avaliar a similaridade entre padrões observados (BR-DWGD) e simulados (MCGs-CMIP6) considerando: correlação linear, erro quadrático médio e razão entre as variâncias.

Correção de viés e downscaling estatístico: Considerando as limitações inerentes aos modelos climáticos globais, como baixa resolução espacial e erros sistemáticos, foi aplicado um pós-processamento utilizando o método de downscaling estatístico Empirical Quantile Mapping (EQM). Este método baseia-se na correção da função de distribuição acumulada (CDF) das variáveis simuladas em relação aos dados observados, promovendo um ajuste mais robusto às estatísticas históricas locais (Themeßl et al., 2011; Lafon et al., 2013;

Enayati et al., 2021). A correção foi realizada individualmente para cada mês do ano, com extrapolação constante em casos de valores fora da distribuição histórica de referência.

Abordagem por Níveis de Aquecimento Global (GWL): Com o objetivo de subsidiar avaliações voltadas ao planejamento de longo prazo e à adaptação da agricultura de sequeiro às mudanças climáticas, adotou-se a abordagem por Níveis de Aquecimento Global (Global Warming Levels - GWL), conforme recomendação do IPCC (AR6, 2022; Meinshausen et al., 2022). Essa abordagem permite avaliar os impactos projetados em relação a níveis médios de aquecimento global, independentemente do caminho específico de emissões. Foram considerados os GWLs de 1,5-°C, 2,0-°C e 3,0-°C acima do período pré-industrial (1850-1900), refletindo níveis críticos para políticas climáticas como o Acordo de Paris (UNFCCC, 2015; Seneviratne et al., 2018).

Cenários socioeconômicos (SSPs): As simulações consideraram dois cenários de trajetórias socioeconômicas. O SSP2-4.5 representa um mundo com continuidade moderada das tendências históricas, avanços desiguais no desenvolvimento e desafios médios para mitigação e adaptação às mudanças climáticas (Riahi et al., 2017; O'Neill et al., 2016). O SSP5-8.5 é considerado um cenário intensivo em combustíveis fósseis, caracterizado por forte crescimento econômico, alta demanda energética, intensificação do uso de recursos naturais e baixos desafios para adaptação porém altos desafios para mitigação das emissões.

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).

Impacto das mudanças climáticas: Avaliamos as climatologias do déficit 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 selecionados a partir da mediana.

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 foram utilizados para o cálculo do ensemble.

O cenário SSP2-4.5 (Figura 1) registrou aumentos de déficit hídrico da ordem de 25 a 100 mm^{mes}, nos meses de setembro e outubro, nas regiões mais centrais do Brasil, nas latitudes de 5°S a 20°S. Quanto maior o nível de aquecimento médio global, maior o aumento no déficit hídrico.

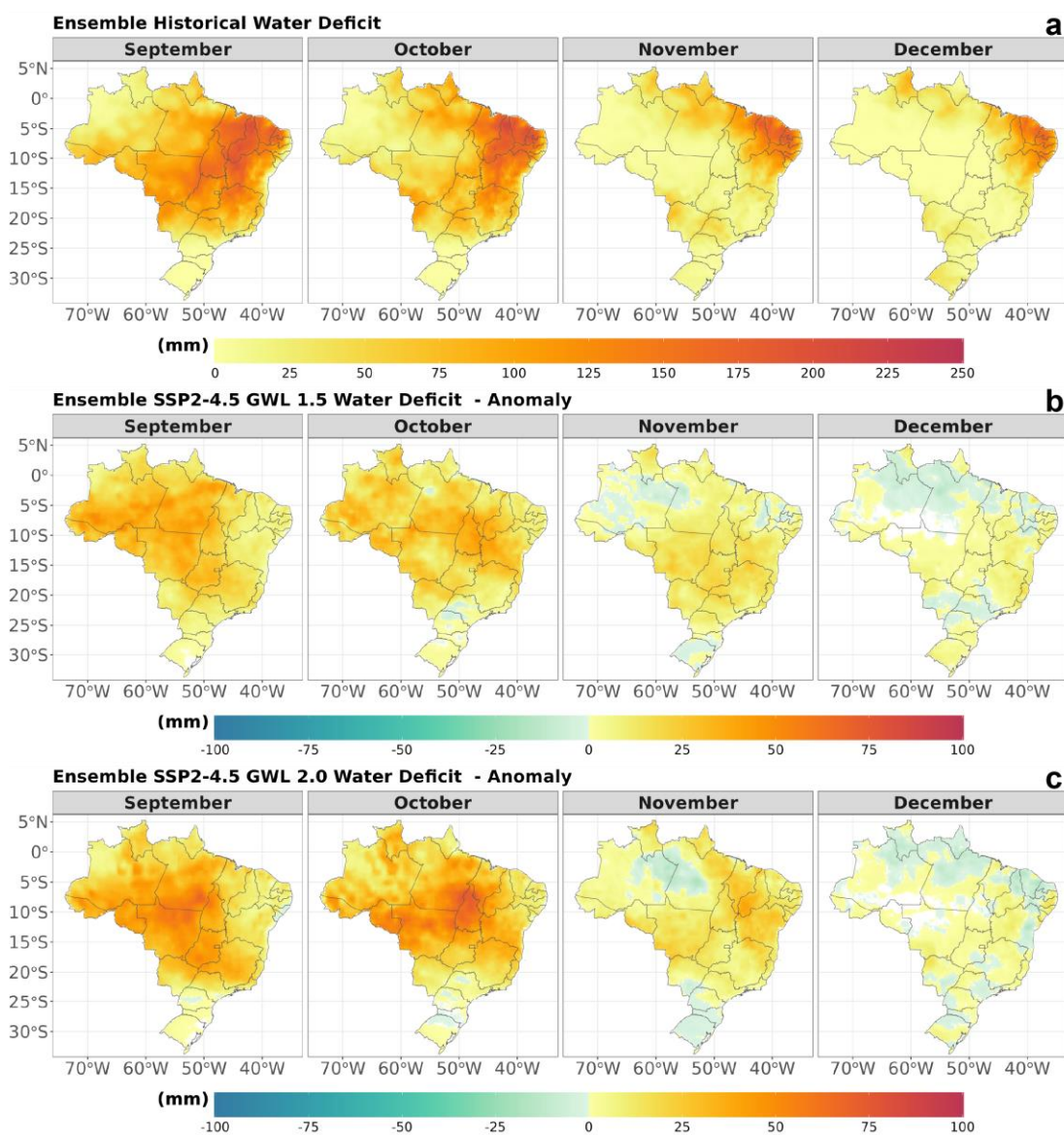


Figura 1. Déficit hídrico para os meses de setembro a dezembro. A figura 1.a apresenta o ensemble (mediana) dos 6 MCGs selecionados, para o período histórico (1986 a 2005). A figura 1.b apresenta a anomalia do SSP2-4.5 - GWL 1.5oC. A Figura 1.c apresenta a anomalia do SSP2-4.5 - GWL2,0°C.

Já o SSP5-8.5 (Figura 2), um cenário mais extremo, registrou anomalias mais intensas e que atingem maior janela temporal, de setembro a novembro, quando comparado ao cenário SSP2-4.5.

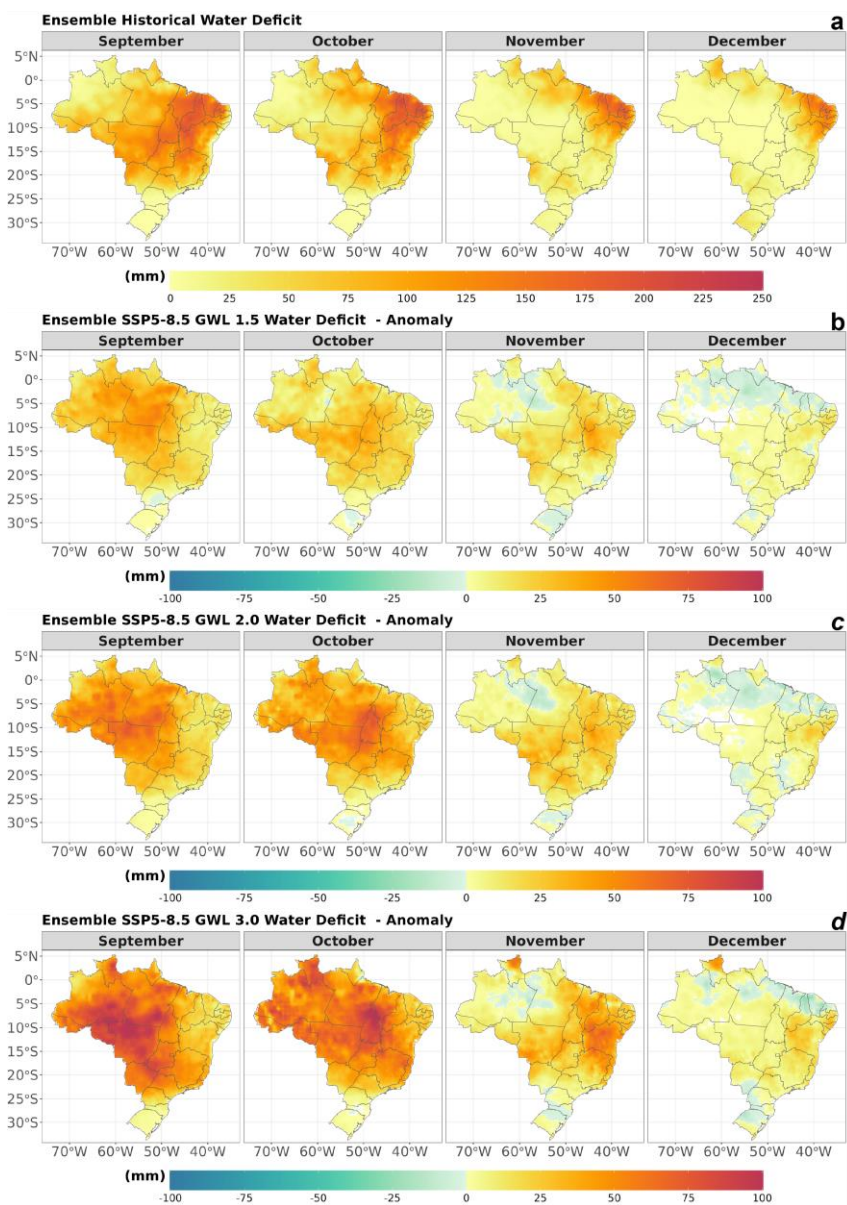


Figura 2. Déficit hídrico para os meses de setembro a dezembro. A figura 2.a apresenta o ensemble (mediana) dos 6 MCGs selecionados, para o período histórico (1986 a 2005). A figura 2.b apresenta a anomalia do SSP5-8.5 - GWL 1.5oC. A Figura 2.c apresenta a anomalia do SSP5-8.5 - GWL2,0oC. A Figura 2.d apresenta a anomalia do SSP5-8.5 - GWL3,0oC.

Conclusões

A primavera é a estação que deverá apresentar mudanças mais significativas em relação ao clima atual. Todos os cenários avaliados 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 cenários mais tecnicizados porém, menos sustentáveis, de maiores emissões apresentaram maiores aumentos de deficit hídrico e em maiores intervalos temporais. Os aumentos das temperaturas médias globais podem interferir nos componentes do balanço hídrico, alterando a demanda atmosférica, via aumentos de temperatura do ar, o que pode favorecer aumentos no risco climático e aumentar a vulnerabilidade do sistema de dupla safra no país.

Agradecimentos

Trabalho realizado com apoio financeiro do Projeto 1137 - FAPED/CNPTIA/BCB_ZARC/CNPT-23800.22/0109-7.

Referências

Boyles, R., *et al.* Approaches for using CMIP projections in climate model ensembles to address the 'hot model' problem, 2024. **U.S. Geological Survey Open-File Report 2024-1008**, 14 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20241008>.

Enayati, M., *et al.* Bias correction capabilities of quantile mapping methods for rainfall and temperature variables. **Journal of Water and Climate Change** 1 March 2021; 12 (2): 401-419. doi: <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.261>

Eyring, V., *et al.* 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., *et al.* Bias correction of daily precipitation simulated by a regional climate model: a comparison of methods, 2013 **Int. J. Climatol.** 33(6), 1367-1381.

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.

Themeßl, M. J., *et al.* Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models. **Int. J. Climatol.** 31(10), 1530-1544, 2011.

Xavier, A. C., *et al.* (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>

Riahi, K., *et al.* 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>.