AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE DE MODELOS DO CMIP6 NO REGIME PLUVIOMÉTRICO EM PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA SITUADA NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO-MG

Rafael de Sousa Fabiano[1] ; Viviane Borda Pinheiro Rocha [2]& Luiza Virginia Duarte [3]

Palavras-Chave – Mudanças Climáticas, CMIP6, Modelos Climáticos.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm se consolidado como um dos principais desafios na contemporaneidade na área de recursos hídricos, uma vez que alterações nos padrões de variáveis hidrometeorológicas, a exemplo da precipitação, foco deste trabalho, tanto em termos de intensidade quanto de frequência, têm potencial para impactar diretamente estruturas hidráulicas já projetadas, podendo acarretar impactos socioeconômicos e ambientais expressivos.

Nesse sentido, projeções estimadas a partir de Modelos de Circulação Global (GCMs) para variáveis como precipitação e temperatura, considerando-se cenários distintos em termos de emissões de carbono, têm sido utilizadas para se estimar os impactos sobre a infraestrutura hídrica a partir de modelagens hidrológicas e hidráulicas. No entanto, constata-se ausência de uma metodologia única e consolidada para utilização de projeções como essas, a exemplo daquelas provenientes da campanha NASA NEX-GDDP CMIP6 (Thrasher *et al.*, 2022), em estudos desse tipo aplicados a pequenas bacias, o que provavelmente decorre das diferenças entre as escalas temporais e espaciais dessas bacias e dos dados disponíveis até então. Ademais, os modelos climáticos podem apresentar desempenhos distintos na representação de determinada localidade, o que reforça a necessidade de critérios para seleção e avaliação dessas projeções. Neste estudo, a avaliação descrita a seguir foi realizada para uma bacia hidrográfica no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, com uma área de drenagem de 3,56 km², localizada na cabeceira de um afluente ao rio das Velhas. O objetivo final foi avaliar o impacto de um cenário de mudança climática (SSP2-4.5, conforme IPCC, 2023) sobre a operação de um sistema extravasor de barragem de rejeitos para distintos hidrogramas de cheia. Os resultados mostrados presentemente concernem à etapa de seleção dos GCMs representativos do regime de chuvas diárias na bacia em questão.

METODOLOGIA

A fim de selecionar o melhor grupo de GCMs do CMIP6 cujas séries históricas de precipitação diária aderem aos valores observados nos pluviômetros situados no entorno da bacia analisada, realizou-se inicialmente avaliação da importância relativa dos modelos climáticos, por meio da utilização das métricas *lmg*, *last*, *first*, *betasq*, *pratt*, *genizi* e *car*, estimadas com o pacote *Relaimpo* disponível para a linguagem R (Groemping e Lehrkamp, 2023), e conforme realizado em estudos como os de Saadi

1) Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Pampulha - 31 270-901 - Belo Horizonte, rafaelsousa.fabiano@gmail.com.
2) Professora do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos e do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901, e-mail: viviane.pinheiro@ehr.ufmg.br
3) Doutoranda em Recursos Hídricos do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901, e-mail: luisavirginiaduarte@gmail.com

et al. (2024) e Ershadfath *et al.* (2025). Ressalta-se que, no presente caso, como havia estações pluviométricas no entorno da bacia, mas não em seu interior, procedeu-se a uma ponderação por polígonos de Thiessen a fim de se estimar a sua série de precipitação diária histórica, valendo-se de registros concomitantes extensos nos postos disponíveis na região. A Figura 1 mostra a bacia hidrográfica estudada, o pixel das projeções disponibilizadas na campanha CMIP6, que tem resolução espacial de 0,25º × 0,25º, bem como os postos pluviométricos analisados e os polígonos de Thiessen definidos.

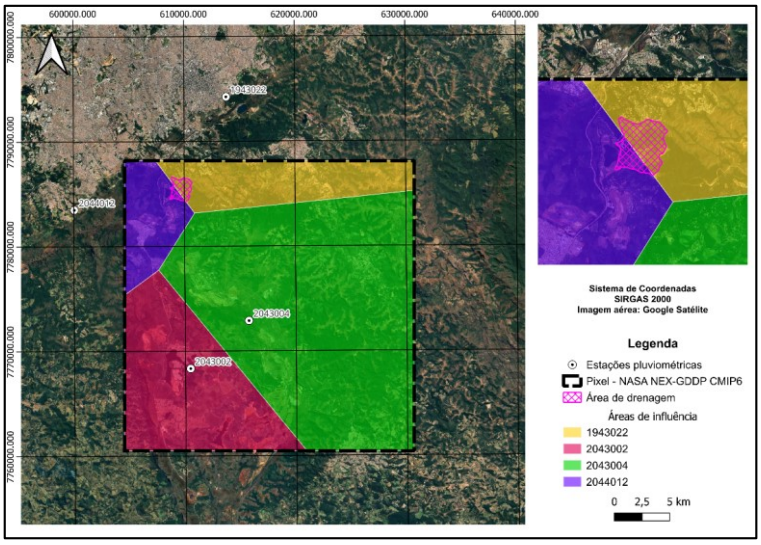


Figura 1 – Bacia hidrográfica estudada, estações pluviométricas avaliadas e polígonos de Thiessen definidos para a bacia e o pixel das projeções climáticas

A etapa posterior concerne na aplicação do Índice de Programação de Compromisso (CPI), para classificar e selecionar os modelos mais representativos. No presente estudo, as métricas provenientes dos índices de importância relativa, calculadas anteriormente, foram integradas, de modo a se avaliar conjuntamente o desempenho dos modelos climáticos e identificar o conjunto mais adequado para a representação da precipitação na escala da bacia.

O CPI busca determinar a menor distância em relação a um valor ideal para obter-se uma solução de Pareto ótima para uma problemática (Salehie *et al.*, 2021). Os valores ideais adotados para essa avaliação serão os máximos obtidos na análise de importância relativa para cada métrica adotada, de modo semelhante ao realizado por Saadi *et al.* (2024). Destaca-se que as métricas de importância relativa são integradas em um único valor de CPI para cada GCM avaliado, como estratégia para se quantificar a representatividade de cada um deles quanto à precipitação diária histórica na bacia estudada.

Por fim, os resultados obtidos no CPI são integrados ao método da Classificação Otimizada de Jenks (JOC), que é utilizado para reduzir a subjetividade associada à escolha dos modelos climáticos avaliados com melhor desempenho na representação do regime de precipitação diária na bacia hidrográfica alvo. Tal metodologia utiliza os valores do Índice de Programação de Compromisso (CPI) calculados na etapa anterior para cada modelo, de modo a separar os modelos em conjuntos que visam minimizar a variância entre as classes.

RESULTADOS

Com o objetivo de avaliar o desempenho dos modelos em representar o regime de chuva diário na bacia estudada, de forma comparativa, foram elaborados boxplots para os resultados de todas as

métricas analisadas. Assim, foi possível sintetizar a distribuição dos valores obtidos para todas as métricas avaliadas para cada GCM do CMIP6, conforme demonstrado na Figura 2.

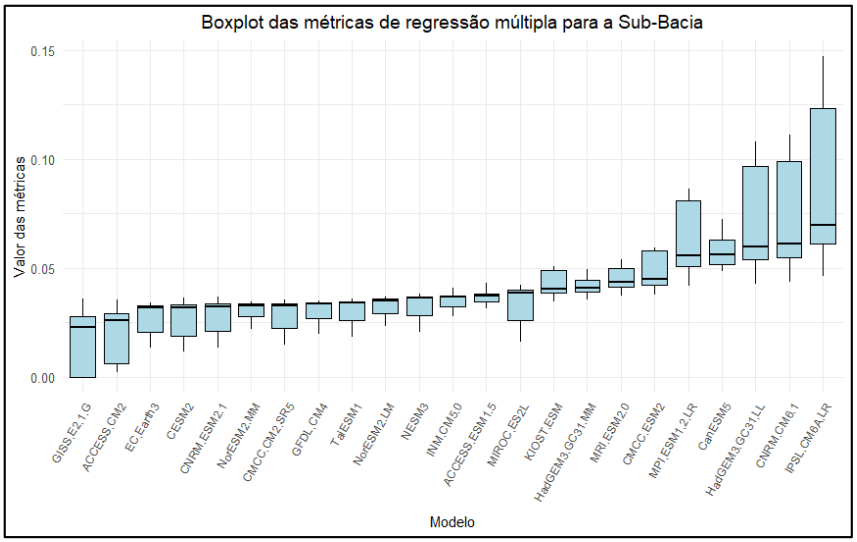


Figura 1 – Boxplot do resultado das métricas do pacote RELAIMPO para a bacia estudada

Partindo do princípio de que as métricas *lmg, first, last, bestasq, pratt, genizi e car* buscam retratar a correlação da variável preditiva (i.e., chuva diária histórica modelada por cada GCM) com a variável resposta (i.e., chuva diária observada na bacia), adotou-se como valor ideal o maior valor observado entre os modelos analisados, para composição do valor final do CPI de cada modelo. Desse modo, menores valores de CPI indicam modelos mais próximos da condição ideal, enquanto maiores valores representam maior distância em relação ao desempenho esperado.

A partir de tais valores, o método da Classificação Otimizada de Jenks segmentou os modelos climáticos em conjuntos de menor variância interna e maior variância entre classes. Nesse sentido, o sub-conjunto ideal para a bacia avaliada foi formado por 3 modelos climáticos (IPSL-CM6A-LR, CNRM-CM6-1 e HadGEM3-GC31-LL), conforme se constata pela Figura 3.

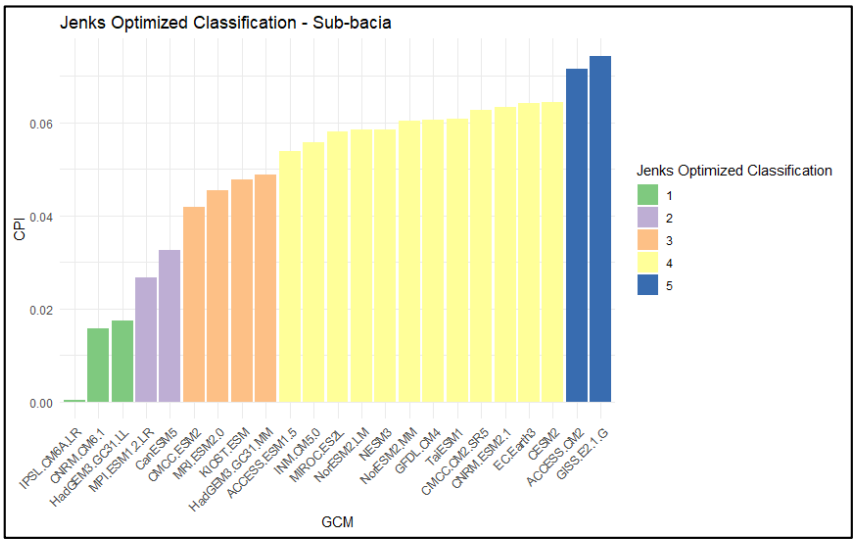


Figura 3 – Classificação Otimizada de Jenks para os modelos avaliados na bacia estudada

Uma vez selecionados os 3 modelos climáticos mais representativos do regime de chuvas diário na bacia estudada, procedeu-se à correção de viés de cada modelo, à semelhança do realizado

por Saadi *et al.* (2024), para obtenção das séries de precipitação diária histórica e projetada de cada um. Os valores diários históricos e projetados para um cenário de emissão de carbono (SSP2-4.5, conforme IPCC, 2023) foram acumulados e avaliados em termos mensais e anuais, a fim de permitir a comparação com a série histórica observada estimada na bacia pelo método dos polígonos de Thiessen, em termos de quantidade e de sazonalidade (resultados não mostrados aqui).

CONCLUSÕES

Os estudos conduzidos permitiram concluir que a disponibilidade de projeções de variáveis hidrometeorológicas, como a precipitação, para cenários de mudanças climáticas, representam um desafio para a realização de avaliações hidrológicas, sobretudo em pequenas bacias hidrográficas, nas quais seriam necessárias informações com maior resolução espacial e temporal do que aquelas disponíveis. Nesse panorama, buscou-se avaliar metodologias que possibilitam a aplicabilidade das projeções climáticas provenientes do conjunto NASA NEX-GDDP-CMIP6 (Thrasher *et al.*, 2022) na análise de precipitações diárias em escala de sub-bacia.

A avaliação dos GCMs da campanha CMIP6 demonstrou que estes apresentam desempenhos distintos na representação da precipitação observada de determinada área, sendo fundamental a utilização de metodologias de seleção criteriosas, a exemplo daquela sugerida por Saadi *et al.* (2024) e Ershadfath *et al.* (2025), reproduzida no presente estudo.

REFERÊNCIAS

ERSHADFATH, F.; DAVARPANAH, R.; SA'ADI, Z.; PINIEWSKI, M.; TROLLE, D.; OLESEN, J. E. Selecting CMIP6 precipitation models by integrating relative importance metrics, compromise programming index, and Jenks optimized classification. Science of the Total Environment, v. 1006, art. 180935, 2025. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2025.180935.

GROEMPING, Ulrike; LEHRKAMP, Matthias. relaimpo: Relative Importance of Regressors in Linear Models. Version 2.2-7. 2023. R package. Disponível em: https://prof.bht-berlin.de/groemping/relaimpo/.

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team; LEE, H.; ROMERO, J. (ed.). Geneva: IPCC, 2023. 184 p. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

SA'ADI, Z.; ALIAS, N. E.; YUSOP, Z.; IQBAL, Z.; HOUMSI, M. R.; HOUMSI, L. N.; RAMLI, M. W. A.; MUHAMMAD, M. K. I. Application of relative importance metrics for CMIP6 models selection in projecting basin-scale rainfall over Johor River basin, Malaysia. Science of the Total Environment, v. 912, art. 169187, 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.169187.

SALEHIE, O.; ISMAIL, T.; SHAHID, S.; AHMED, K.; ADARSH, S.; ASADUZZAMAN, M.; DEWAN, A. Ranking of gridded precipitation datasets by merging compromise programming and global performance index: a case study of the Amu Darya basin. Theoretical and Applied Climatology, v. 144, p. 985-1003, 2021. DOI: 10.1007/s00704-021-03582-4.

THRASHER, Bridget; WANG, Weile; MICHAELIS, Andrew; MELTON, Forrest; LEE, Tsengdar; NEMANI, Ramakrishna. NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6. Scientific Data, v. 9, n. 262, p. 1-6, 2022. DOI: 10.1038/s41597-022-01393-4.