

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

PROJEÇÕES CLIMÁTICAS DOS MODELOS HADGEM3-GC31-LL E MIROC6 PARA CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZOS EM UMA TÍPICA BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

*Carolynne Wanessa Lins de Andrade Farias¹; Aline Maria Soares das Chagas²; Abelardo Antônio
de Assunção Montenegro³ & Richarde Marques da Silva⁴*

Abstract: Climate change represents one of the main challenges for the semiarid region, due to the worsening of extreme drought events. The aim is to analyze the projections of global climate models from CMIP6 in the Taperoá River basin, considering an observed period (1994–2018) and three future periods (2023–2047; 2048–2073 and 2074–2100), from two global climate models (HadGEM3-GC31-LL and MIROC6) under two emission scenarios, SSP2.4-5 and SSP5.8-5. Daily precipitation (mm) and maximum and minimum temperatures (°C) data were considered. The observed data were obtained from ANA, AESA and INMET and the future climate data from CLIMBra. In the historical period, the highest accumulated precipitation occurs in the months of January to June, representing 77% of the annual total. The lowest rainfall concentrations in the basin occur in the months of August to December. In the future, the highest concentrations of precipitation will occur between January and April, while the dry months will occur between June and December, indicating a shortening of the rainy season in relation to the baseline, and an extension of the dry season. Forecasts point to a gradual increase in temperatures throughout the century, in both SSP scenarios evaluated. This increase is more intense in the most pessimistic scenario, SSP5-8.5. The highest maximum temperature values will occur in the months of September to November, in all periods and in both models analyzed. Therefore, adaptation strategies to climate change must be adopted to guarantee regional water security.

Keywords – Climate change; CMIP6; SSP; Precipitation; Temperature.

Resumo: As mudanças climáticas representam um dos principais desafios para a região semiárida, devido ao agravamento dos eventos extremos de seca. Objetiva-se analisar as projeções de modelos climáticos globais do CMIP6 na bacia do Rio Taperoá, considerando um período observado (1994 – 2018) e três períodos futuros (2023 – 2047; 2048 – 2073 e 2074 – 2100), de dois modelos climáticos globais (HadGEM3-GC31-LL e MIROC6) sob dois cenários de emissão, SSP2.4-5 e SSP5.8-5. Foram considerados dados diários de precipitação (mm), e temperaturas máxima e mínima (°C). Os dados observados foram obtidos junto à ANA, AESA e INMET e os climáticos futuros junto ao CLIMBra. No período histórico, os maiores acumulados de precipitação ocorrem nos meses de janeiro a junho, representando 77% do total anual. Nos meses de agosto a dezembro ocorrem as

1) Professora, Departamento de Geociências, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba–UFPB, João Pessoa, PB, Brasil. E-mail: carolyne.andrade@academico.ufpb.br

2) Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco– UFRPE, Recife, PE, Brasil, e-mail: alinemschagas@gmail.com

3) Professor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco– UFRPE, Recife, PE, Brasil, e-mail: montenegro.ufrpe@gmail.com

4) Professor, Departamento de Geociências, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba–UFPB, João Pessoa, PB, Brasil. E-mail: richarde.marques@gmail.com

menores concentrações de chuva na bacia. No futuro, as maiores concentrações de precipitação ocorrerão entre os meses de janeiro a abril, enquanto os meses secos ocorrerão entre junho e dezembro, indicando um encurtamento do período chuvoso em relação ao *baseline*, e um prolongamento do período seco. As previsões apontam para um aumento gradual nas temperaturas ao longo do século, em ambos os cenários SSP avaliados. Esse aumento é mais intenso no cenário mais pessimista, o SSP5-8.5. Os maiores valores de temperatura máxima ocorrerão nos meses de setembro a novembro, em todos os períodos e em ambos os modelos analisados. Assim, estratégias de adaptação frente às mudanças no clima devem ser adotadas, a fim de garantir a segurança hídrica regional.

Palavras-Chave – Mudanças climáticas; CMIP6; SSP.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são consideradas como um dos principais problemas deste século, pois agravam problemas globais como eventos hidrológicos extremos de secas e inundações (Vaghefi *et al.* 2017; Silva *et al.* 2020; Mohammadi *et al.* 2024). O Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) aponta que as mudanças climáticas recentes são generalizadas, rápidas, intensificadas e sem precedentes nos últimos 6.500 anos, e que algumas dessas mudanças são irreversíveis e já estão afetando todas as regiões da Terra de diversas maneiras. Em regiões semiáridas, os eventos de seca extrema tenderão a aumentar em frequência e gravidade, com previsões indicando uma redução de 22% na precipitação e um aumento de 6,7 °C na temperatura do ar até o final do século (IPCC, 2023).

No Nordeste do Brasil (NEB), particularmente no semiárido, os efeitos das mudanças climáticas são ainda mais severos, uma vez que a região é caracterizada pela alta irregularidade pluviométrica, altas taxas de evapotranspiração, rios intermitentes, flutuações no escoamento superficial, o que resulta em uma grande vulnerabilidade social e econômica. Essa região é uma das áreas semiáridas mais povoadas do mundo e está entre as áreas mais vulneráveis às mudanças climáticas (Marengo *et al.* 2018, 2022; Pilz *et al.* 2019; Silva *et al.* 2022). Dentro deste contexto, estudos voltados à compreensão de previsões futuras advindas de modelos climáticos globais são cruciais para a criação de estratégias de gestão adaptativa para sistemas locais de recursos hídricos.

As análises dos efeitos das mudanças climáticas têm sido realizadas a partir de simulações computacionais advindas de Modelos Climáticos Globais (MCG) (Marengo, 2008; Gonzalez *et al.* 2010; Teutschbein e Seibert, 2012; Jing *et al.* 2015). Os MCGs são representações complexas em escala global de processos físicos na atmosfera, descrevendo a dinâmica climática no espaço e no tempo. De acordo com o IPCC, existem 112 modelos acoplados (Xue *et al.* 2022). Os modelos climáticos são baseados em diferentes cenários de possíveis condições futuras para as emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos. A Fase 6 do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP6) desenvolveu cinco cenários-chave de mudanças climáticas, chamados de “Caminhos Socioeconômicos Compartilhados” (SSPs), que representam possíveis desenvolvimentos sociais e caminhos políticos resultando em níveis designados de forçamento radiativo até o final do século (O'Neill *et al.* 2016; Riahi *et al.* 2017; Nazarenko *et al.* 2022; CCKP, 2023).

A bacia hidrográfica do Rio Taperoá, localizada na região semiárida do estado da Paraíba, representa um dos principais afluentes do Rio Paraíba, uma das bacias mais importantes do estado. O Rio Taperoá, que apresenta regime intermitente, é utilizado para a irrigação local e deságua no Açude Epitácio Pessoa, que é responsável pelo abastecimento da cidade de Campina Grande e de cidades circunvizinhas, suprindo mais de meio milhão de habitantes (Cardoso *et al.* 2021). Por ser uma bacia

de clima semiárido e tipicamente rural, se torna uma região vulnerável aos efeitos das alterações do clima, elevando a insegurança hídrica para a população e para o desenvolvimento regional.

Dentro deste contexto, o objetivo deste estudo é analisar as projeções de mudanças na precipitação e temperaturas de modelos climáticos globais do CMIP6 para a bacia hidrográfica do Rio Taperoá, semiárido do NEB, a fim de subsidiar a proposição de estratégias de gestão sustentável dos recursos hídricos na região.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá (BHRT) possui uma área de 5.660 km² (Figura 1), localiza-se na porção central do estado da Paraíba, e pertencente à bacia hidrográfica do Rio Paraíba (20.071 km²). Segundo a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), seu principal rio é o Taperoá, de regime intermitente, que nasce na Serra do Teixeira e desemboca no Rio Paraíba, no Açude de Boqueirão – Presidente Epitácio Pessoa. A bacia apresenta clima BSw^h, isto é, semiárido quente, onde as precipitações médias se situam em torno de 400 mm e o período seco compreende entre 8 e 9 meses. As temperaturas médias do ar variam de 18 a 22°C. A vegetação natural dominante na região é de Caatingas hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. As áreas desmatadas e utilizadas para a agricultura são em geral ocupadas pelas culturas de palma forrageira, agave, algodão, milho e feijão.

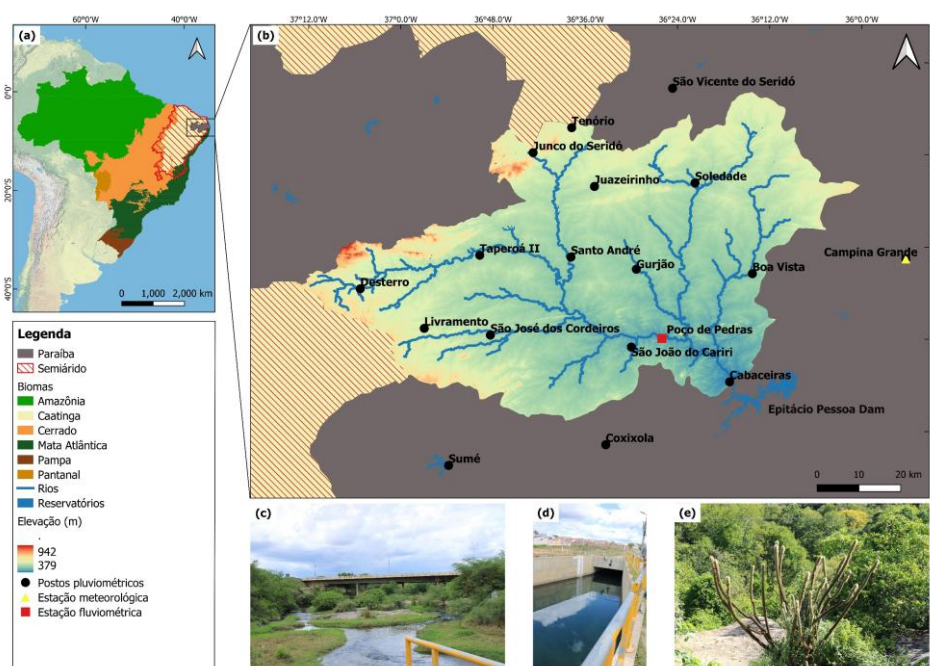


Figura 1. Mapa de localização do Brasil e seus respectivos biomas, semiárido brasileiro e estado da Paraíba (a); localização da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, com sua respectiva rede de drenagem, estações pluviométricas, fluviométrica e meteorológica (b); imagem do Rio Taperoá (c); trecho da transposição do Rio São Francisco na bacia (d); vegetação Caatinga típica da região (e).

Dados climáticos

A fim de analisar as previsões e os impactos das mudanças climáticas na BHRT, foram utilizados dados climáticos de modelos do CMIP6. Nesse estudo foram considerados dados diários de precipitação (mm), temperatura máxima (°C) e temperatura mínima (°C) de um período histórico observado (1994 – 2018) e de cenários futuros (2023 – 2100) simulados por dois modelos climáticos globais, o *Met Office Hadley Centre (MOHC) HadGEM3-GC31-LL* e o *Model for Interdisciplinary Research on Climate*, versão 6 (MIROC6).

Os dados observados (*baseline*) foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Considerando dados da ANA, AESA e INMET, foram selecionados 17 pluviômetros, uma estação fluviométrica (Poço de Pedras) e uma estação meteorológica (Campina Grande), com uma longa série de dados e baixo percentual de falhas (< 2% entre 1994 e 2018). A distribuição dos postos de monitoramento é apresentada na Figura 1.

Dentre os cenários desenvolvidos pelo CMIP6, dois foram considerados no presente estudo (SSP2-4.5 e SSP5-8.5). O SSP2-4.5 representa um cenário intermediário, onde as emissões permanecem em torno dos níveis atuais antes de começarem a cair em meados do século, atingindo zero líquido em 2100. No SSP5-8.5, o cenário mais pessimista, a exploração e o uso de recursos de combustíveis fósseis aumentam, resultando em maiores emissões de gases de efeito estufa (O'Neill *et al.* 2016; Riahi *et al.* 2017; Nazarenko *et al.* 2022; CCKP, 2023).

Os dados climáticos futuros foram coletados junto ao *Climate Change Dataset for Brazil (CLIMBra)* desenvolvido por Ballarin *et al.* (2023), disponível em <https://www.scidb.cn/en/detail?dataSetId=609b7ff93f0d4d1a9ba6eb709027c6ad#p3>. O CLIMBra fornece séries temporais diárias brutas e com correção de viés de variáveis meteorológicas em escala de grade (0,25° x 0,25°) e em escala de bacia hidrográfica (*Catchments Attribute for Brazil* – conjunto de dados CABra, desenvolvido por Almagro *et al.* 2021), a partir de 19 modelos climáticos globais (GCMs/ESMs), considerando dois cenários de emissão do CMIP6 (SSP2-4.5 e SSP5-8.5). No presente estudo, foi considerada a escala de bacia hidrográfica (i.e., bacias hidrográficas CABra 148 – Poço de Pedras e 149 – Bodocongo).

Para cada modelo e cenário estudado, a precipitação e as temperaturas máximas e mínimas divididas em um período histórico observado (1994–2018) e três períodos futuros (curto, 2023–2047; médio, 2048–2073; e longo-prazo, 2074–2100), foram analisadas estatisticamente por meio de *box-plots* utilizando a ferramenta RStudio versão 2024.12.1, além da análise das séries temporais, médias e valores extremos das séries.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variação sazonal da precipitação e da temperatura no período observado (1994 – 2018)

As precipitações mensais dos 17 postos pluviométricos, bem como as temperaturas máxima e mínima para a estação climatológica de Campina Grande – PB, considerando a média do período observado (1994 – 2018), são apresentadas na Figura 2. Verifica-se que os maiores acumulados de precipitação ocorrem nos meses de janeiro a junho, representando 77% do total anual, com média mensal máxima de 59,6 mm ocorrendo no mês de março. Nos meses de agosto a dezembro ocorrem as menores concentrações de chuva na bacia, com destaque para os meses de setembro a novembro, onde os valores não ultrapassaram 7 mm. O mês de outubro apresentou o menor valor mensal, de 4,2 mm. Segundo Souza *et al.* (2004), entre os meses de janeiro a abril ocorre a maior concentração do total precipitado, com cerca de 65% da precipitação anual.

As temperaturas máximas apresentaram os maiores valores entre os meses de novembro a janeiro, sendo superiores a 30,6 °C, ou seja, entre o final do período seco e início do período chuvoso. Após o período chuvoso, isto é, entre os meses de junho e agosto, ocorreram as menores temperaturas, com a máxima não ultrapassando 26,7 °C (mínima de 25,7 °C no mês de julho), e a mínima não ultrapassando 19,4 °C (menor valor no mês de agosto, de 18,4 °C).

As vazões médias mensais apresentam variação sazonal similar à precipitação, com os maiores valores ocorrendo logo após o início do período chuvoso (i.e., no mês de fevereiro), até o final deste período, no mês de junho. O maior valor registrado foi de 14,1 m³/s no mês de maio, enquanto as menores vazões ocorrem entre outubro e dezembro, com menor valor de 0,38 m³/s no mês de novembro.

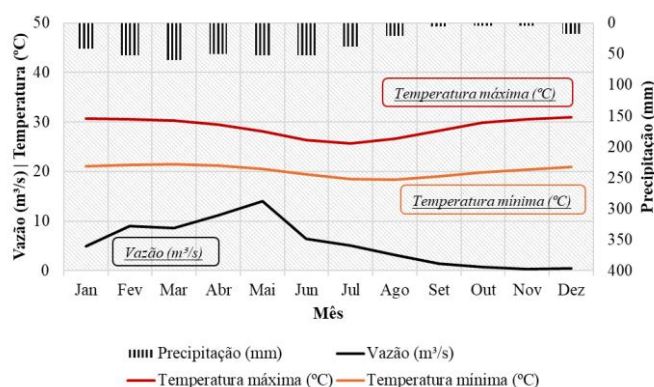


Figura 2. Médias mensais das precipitações e das temperaturas máxima e mínima para a bacia do Rio Taperoá

Projeções dos modelos climáticos globais do CMIP6 (HadGEM3-GC31-LL e MIROC6)

As projeções das precipitações mensais dos modelos HadGEM3-GC31-LL e MIROC6 a curto (2023 – 2047), médio (2048-2073) e longo prazo (2074-2100) sob os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5, na BHRT são apresentadas na Figura 3. Os modelos preveem um aumento nos valores máximos de precipitação (com 180,7 mm no mês de março do HadGEM3-GC31-LL sob o SSP2-4.5, longo-prazo e 203,1 mm no mês de março do MIROC6 sob o SSP5-8.5, curto prazo), e diminuição dos valores mínimos (com 0 mm mensais em pelo menos um mês no HadGEM3-GC31-LL e em três meses no MIROC6 em todos os períodos), evidenciando o aumento dos eventos extremos na bacia do Rio Taperoá. Marengo *et al.* (2022) destacam que as mudanças climáticas provocarão aumento da vulnerabilidade em bacias semiáridas, que já enfrentam problemas relacionados a eventos extremos, acarretando riscos substanciais tanto para a população quanto para o desenvolvimento regional.

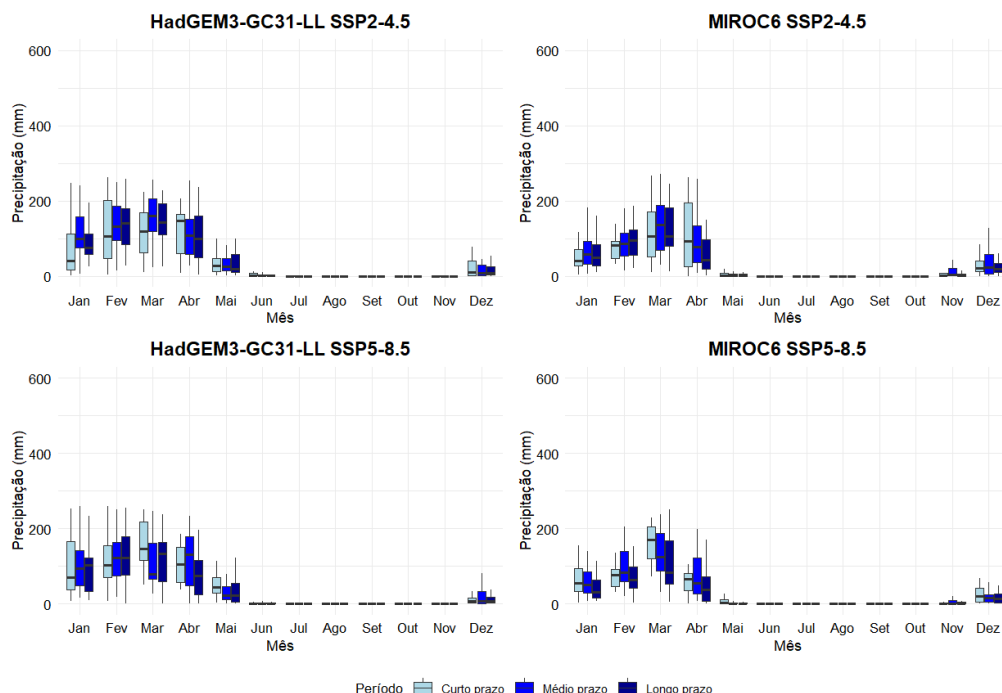


Figura 3. Projeções das precipitações mensais dos modelos HadGEM3-GC31-LL e MIROC6 a curto (2023 – 2047), médio (2048-2073) e longo prazo (2074-2100) sob os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5

As previsões das temperaturas máximas e mínimas anuais dos modelos e períodos avaliados sob os dois cenários de emissão SSP2-4.5 e SSP5-8.5 são apresentadas na Figura 4. Ambos os modelos apontam para um aumento gradual das temperaturas ao longo do próximo século, em ambos os cenários SSP avaliados, em relação ao período *baseline*. O aumento das temperaturas máximas e mínimas varia entre 0,2 e 0,8 °C no cenário SSP2-4.5, enquanto no cenário mais pessimista (SSP5-8.5), o aquecimento é mais intenso, com aumentos de temperaturas variando entre 0,9 e 1,9 °C.

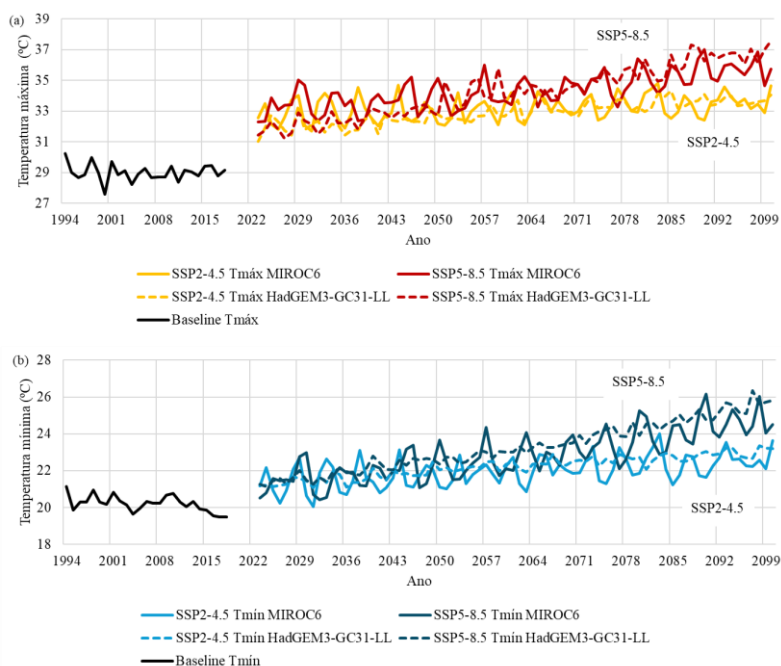


Figura 4. Projeções das temperaturas anuais máximas (a) e mínimas (b) dos modelos HadGEM3-GC31-LL e MIROC6 ao longo do século sob os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5 e o período *baseline*

As previsões das temperaturas máximas e mínimas mensais dos modelos e períodos avaliados sob os dois cenários de emissão SSP2-4.5 e SSP5-8.5 são apresentadas nas Figuras 5 e 6, respectivamente. Os maiores valores de temperatura máxima ocorrerão nos meses de setembro a novembro (período seco), em todos os períodos e em ambos os modelos analisados, com valor máximo de 36,8 °C no curto prazo, de 37,8 °C no médio prazo e de 39,6 °C a longo prazo, todos no mês de novembro sob o cenário SSP5-8.5 do modelo HadGEM3-GC31-LL. Esses resultados representam um aumento de até 8,6 °C em relação ao valor máximo do histórico observado (ocorrido no mês de dezembro).

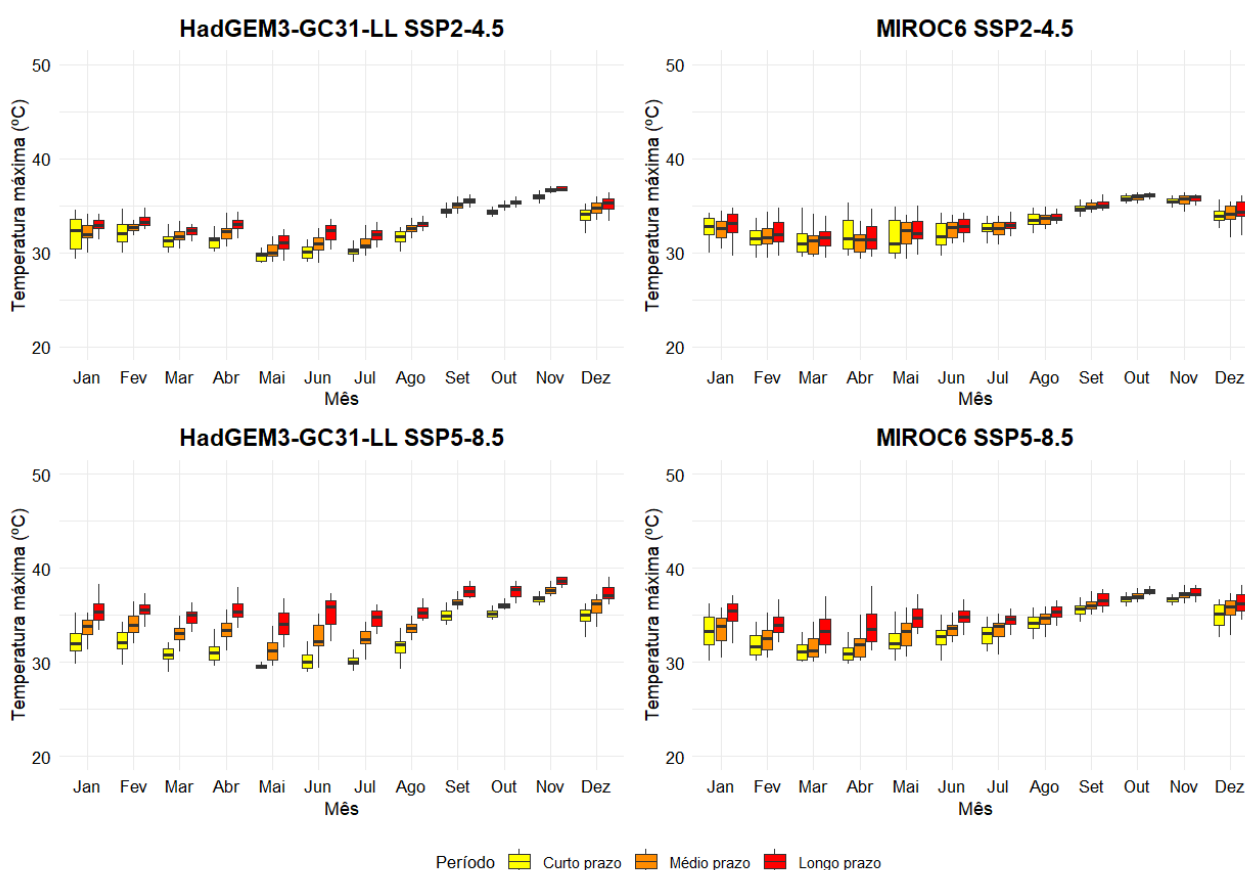


Figura 5. Projeções das temperaturas máximas mensais dos modelos HadGEM3-GC31-LL e MIROC6 a curto (2023 – 2047), médio (2048-2073) e longo prazo (2074-2100) sob os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5

As temperaturas mínimas, como apresentado para as máximas, tendem a aumentar na bacia do Rio Taperoá. Os aumentos serão mais expressivos nos meses de outubro a dezembro no modelo MIROC6, com destaque para o mês de novembro a curto prazo sob o SSP5-8.5, onde o valor máximo de 24,1 °C representa um incremento de até 2,7 °C na temperatura mínima da região; a médio prazo com o valor máximo de 24,9 °C (+3,5 °C em relação a *baseline*); e a longo prazo com máxima de 26,2 °C (+4,8 °C em relação a *baseline*). No modelo HadGEM3-GC31-LL, as previsões apontam para

um aumento da temperatura mínima principalmente nos meses de fevereiro a abril, com destaque para o mês de fevereiro, com valores máximos de 24 °C (+2,6 °C), 25,2 °C (+3,8 °C) e 27,3 °C (+5,9 °C) a curto, médio e longo prazos, respectivamente, sob o cenário SSP5-8.5.

Os resultados apresentados reforçam a necessidade de adoção de estratégias de adaptação para garantir a segurança hídrica frente às mudanças climáticas. Segundo Marengo *et al.* (2020), é essencial avaliar detalhadamente o risco de estresse hídrico e os impactos da seca na região semiárida, para diferentes períodos, considerando as mudanças climáticas antropogênicas.

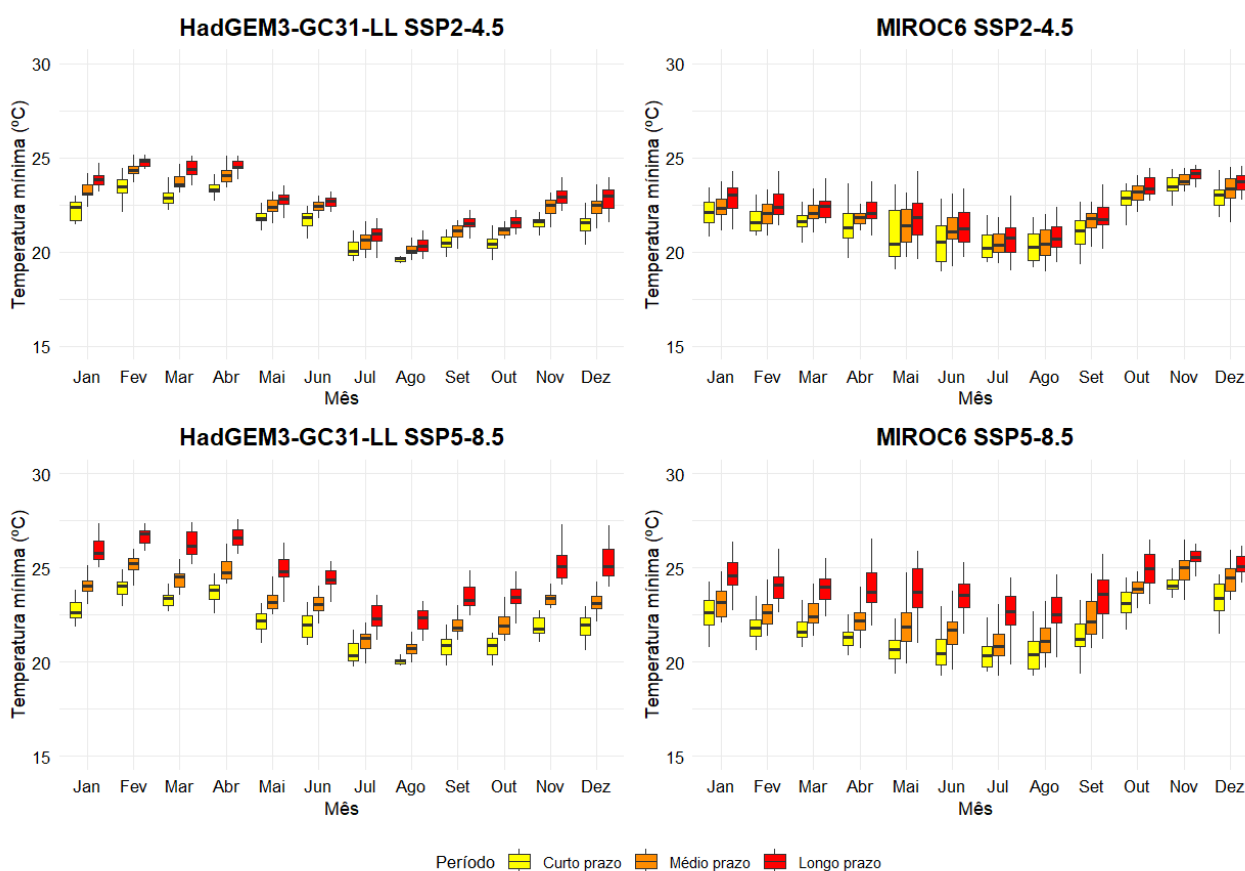


Figura 6. Projeções das temperaturas mínimas mensais dos modelos HadGEM3-GC31-LL e MIROC6 a curto (2023 – 2047), médio (2048-2073) e longo prazo (2074-2100) sob os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5

CONCLUSÕES

Os modelos climáticos globais HadGEM3-GC31-LL e MIROC6 preveem que as maiores concentrações de precipitação ocorrerão entre os meses de janeiro a abril, enquanto os meses secos ocorrerão entre junho e dezembro, indicando um encurtamento do período chuvoso em relação ao *baseline*, e um prolongamento do período seco. Com relação às mudanças previstas nas temperaturas máximas e mínimas do ar, haverá um aumento gradual ao longo do século, em ambos os cenários SSP avaliados. Esse aumento é mais intenso no cenário mais pessimista, o SSP5-8.5. Os maiores valores de temperatura máxima ocorrerão nos meses de setembro a novembro, em todos os períodos e em ambos os modelos analisados. As temperaturas mínimas tendem a aumentar principalmente nos

meses de outubro a dezembro no modelo MIROC6 e nos meses de fevereiro a abril no HadGEM3-GC31-LL. É importante destacar que há incertezas relacionadas às previsões dos modelos climáticos, advindas por exemplo, dos cenários de mudanças do clima, das diferenças de escala espacial, e das simplificações ou generalizações dos processos físicos que ocorrem no mundo real. Considerando os achados deste estudo, estratégias de adaptação frente às mudanças no clima devem ser adotadas, a fim de garantir a segurança hídrica regional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal da Paraíba e à Universidade Federal Rural de Pernambuco, por possibilitar a realização de Pós-Doutorado da primeira autora, bem como à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e à Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) pela disponibilização dos dados. Este estudo foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ).

REFERÊNCIAS

- SOUZA, B.I.; SILANS, A.M.B.P.; SANTOS, J.B. (2004). “Contribuição ao estudo da desertificação na Bacia do Taperodá”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 8(2-3), pp. 292 – 298.
- BALLARIN, A.S.; SONE, J.S.; GESUALDO, G.C.; SCHWAMBACK, D.; REIS, A.; ALMAGRO, A.; WENDLAND, E.C. (2023). “CLIMBra - Climate Change Dataset for Brazil”. Sci Data 10(47), pp. 1 – 16.
- CARDOSO, P.V.; SEABRA, V.S.; XAVIER, R.A.; RODRIGUES, E.M.; GOMES, A.S. (2021). “Mapeamento de Áreas de Caatinga Através do Random Forrest: Estudo de caso na Bacia do Rio Taperodá”. Revista Geoaraguaia 11, pp. 55 – 68.
- CCKP – Climate Change Knowledge Portal. World Bank Group. Available in: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>. Acesso: 24-08-2023.
- GONZALEZ, P.; NEILSON, R.P.; LENIHAN, J.M.; DRAPEK, R.J. (2010). “Global patterns in the vulnerability of ecosystems to vegetation shifts due to climate change”. Global Ecology and Biogeography 19(6), pp. 755 – 768.
- PCC, 2023: Summary for Policymakers. In: 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, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34.
- JING, Z.; DAN, H.; XIE, Y.; YONG, L.; YANG, Y.; HU, S.; GUO, H.; LEI, Z.; RUI, Z. (2015). “Integrated SWAT model and statistical downscaling for estimating streamflow response to climate change in the Lake Dianchi watershed, China”. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 29(4), pp. 1193 – 1210.
- MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; ALVALÁ, R.C.S.; CUNHA, A.P.; BRITO, S.; MORAES, O.L.L. (2018). “Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region”. Ann Braz Acad Sci 90(2), pp.1973–1985.
- MARENGO, J.A.; CUNHA, A.P.M.A.; NOBRE, C.A.; RIBEIRO NETO, G.G.; MAGALHAES, A.R.; TORRES, R.R.; SAMPAIO, G.; ALEXANDRE, F.; ALVES, L.M.; CUARTAS, L.A.; DEUSDARÁ, K.R.L.; ÁLVALA, R.C.S. (2020). “Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C”. Natural Hazards 103, pp. 2589 – 2611.
- MARENGO, J. A. (2008). “Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil”. Parcerias Estratégicas 27, pp. 149 – 176.

- MARENGO, J.A.; GALDOS, M.V.; CHALLINOR, A.; CUNHA, A.P.; MARIN, F.R.; VIANNA, M.S.; ALVALA, R.C.S.; ALVES, L.M.; MORAES, O.L.; BENDER, F. (2022). “*Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security*”. *Climate Resil Sustain.* 1:e17.
- MOHAMMADI, B.; VAZIFEHKHAH, S.; DUAN, Z. (2024). “*A conceptual metaheuristic-based framework for improving runoff time series simulation in glacierized catchments*”. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 127, 107302.
- NAZARENKO, L.S.; TAUSNEV, N.; RUSSELL, G.L.; RIND, D.; MILLER, R.L.; SCHMIDT, G.A.; et al. (2022). “*Future climate change under SSP emission scenarios with GISS-E2.1*”. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* 14, e2021MS002871.
- O’NEILL, B.C.; TEBALDI, C.; VAN VUUREN, D.P.; EYRING, V.; FRIEDLINGSTEIN, P.; HURTT, G.; KNUTTI, R.; KRIEGLER, E.; LAMARQUE, J.F.; LOWE, J.; MEEHL, G.A.; MOSS, R.; RIAHI, K.; SANDERSON, B.M. (2016). “The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6”. *Geosci. Model Dev.* 9 pp. 3461 – 3482.
- PILZ, T.; DELGADO, J.M.; VOSS, S.; VORMOOR, K.; FRANCKE, T.; COSTA, A.C.; MARTINS, E.; BRONSTERT, A. (2019). “*Seasonal drought prediction for semiarid northeast Brazil: about the added value of a process-based hydrological model*”. *Hydrol Earth Syst Sci Discuss* 23, pp. 1951 – 1971.
- RIAHI, K.; VAN VUUREN, D.P.; KRIEGLER, E.; EDMONDS, J.; O’NEILL, B.C.; FUJIMORI, S.; et al. (2017). “*The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview*”. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* 14(7), pp. 1 – 25.
- SILVA, A.M.; SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; LINHARES, F.M.; XAVIER, A.P.C. (2022). “*Modeling the effects of future climate and landuse changes on streamflow in a headwater basin in the Brazilian Caatinga biome*”. *Geocarto International* 37(26), pp. 12436 – 12465.
- SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, J.F.C.B.C.; SILVA, A.M.; BRASIL NETO, R.M. (2020). “*Spatial distribution and estimation of rainfall trends and erosivity in the Epitácio Pessoa reservoir catchment, Paraíba, Brazil*”. *Natural Hazards* 102, pp. 829 – 849.
- SIQUEIRA, P.P.; OLIVEIRA, P.T.S.; BRESSIANI, D.; MEIRA NETO, A.A.; RODRIGUES, D.B.B. (2021). “*Effects of climate and land cover changes on water availability in a Brazilian Cerrado basin*”. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 37 100931.
- TEUTSCHBEIN, C.; SEIBERT, J. (2012). “*Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods*”. *Journal of Hydrology* 456-457, pp. 12 – 29.
- VAGHEFI, S. A.; ABBASPOUR, N.; KAMALI, B.; ABBASPOUR, K.C. (2017). “*A toolkit for climate change analysis and pattern recognition for extreme weather conditions e case study: California-Baja California peninsula*”. *Environmental Modelling & Software* 96, pp. 181 – 198.
- XUE, P.; ZHANG, C.; WEN, Z.; PARK, E.; JAKADA, H. (2022). “*Climate variability impacts on runoff projection under quantile mapping bias correction in the support CMIP6: An investigation in Lushi basin of China*”. *Journal of Hydrology* 614 128550.