

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRECIPITAÇÃO DA BACIA DO RIO PITIMBU - RN

Giulliana Karine Gabriel Cunha¹; Rodrigo Felipe de Lima Rosa²;

& Jonathan Mota da Silva³

Abstract: Precipitation is a key climatic variable that directly influences the water balance and guides natural resource planning, especially in small tropical watersheds. This study analyzed the impacts of climate change on rainfall patterns in the Pitimbu River Watershed (BHRP), located in Rio Grande do Norte, Brazil, by comparing historical data (1970–2000) with future projections (2021–2040) from the MIROC6 global climate model under the intermediate SSP2-4.5 scenario. Results indicate a decrease in average monthly precipitation from 118.1 mm to 94.47 mm, along with reductions in maximum and minimum values. This downward trend suggests a drier and more uniform future, posing risks to aquifer recharge, human water supply, and ecosystem stability. The Jiqui Lagoon, which provides around 30% of the water supply for southern Natal, becomes particularly vulnerable in this scenario, exacerbated by urbanization and nitrate contamination in groundwater. Although climate models are essential tools, their inherent uncertainties call for the use of multiple climate normals and emission scenarios. The study concludes that incorporating climate projections into territorial planning is crucial for adaptive strategies such as efficient water use, soil conservation, and the protection of strategic areas within the watershed.

Resumo: A precipitação é uma variável climática fundamental para o balanço hídrico e o planejamento dos recursos naturais, especialmente em pequenas bacias tropicais. Este estudo analisou os impactos das mudanças climáticas sobre o regime de chuvas na Bacia Hidrográfica do Rio Pitimbu (BHRP), no Rio Grande do Norte, comparando dados históricos (1970–2000) com projeções futuras (2021–2040) obtidas por meio do modelo climático MIROC6, sob o cenário intermediário SSP2-4.5. Os resultados indicam uma redução da média mensal de precipitação de 118,1 mm para 94,47 mm, além de declínio nos valores extremos. Essa tendência aponta para um futuro mais seco e uniforme, com riscos à recarga de aquíferos, ao abastecimento humano e à manutenção dos ecossistemas. A Lagoa do Jiqui, que responde por cerca de 30% do abastecimento da zona sul de Natal, torna-se especialmente vulnerável frente a esse cenário, agravado pela urbanização e pela presença de nitrato nas águas subterrâneas. Embora modelos climáticos sejam ferramentas indispensáveis, é necessário considerar suas incertezas e complementá-los com múltiplas normas climatológicas. Conclui-se que a integração de projeções climáticas ao planejamento territorial é essencial para desenvolver estratégias de adaptação, como manejo eficiente da água, conservação do solo e proteção das áreas estratégicas da bacia.

Palavras-Chave – Modelos climáticos; Worldclim; Variabilidade pluviométrica

¹)Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, giullianakarine12@gmail.com

²)Técnico em Geociências. Serviço Geológico do Brasil, rodrigo.rosa@sgb.gov.br

³)Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, jonathan.mota@ufrn.edu.br

INTRODUÇÃO

A precipitação é uma variável climática crítica que molda diretamente o balanço hídrico e orienta o planejamento dos recursos naturais, especialmente em pequenas bacias hidrográficas tropicais (Alitane et al., 2022). Sua variabilidade afeta diretamente os sistemas agrícolas, os recursos hídricos, a biodiversidade e a dinâmica socioeconômica de comunidades (NANDI & MANNE, 2020). A distribuição sazonal da precipitação determina o ciclo de cultivo, o armazenamento de água em reservatórios, a recarga de aquíferos e o funcionamento de ecossistemas aquáticos e terrestres (Kalfas et al., 2024). Dessa forma, alterações nos padrões de chuva podem gerar impactos em cadeia, afetando desde a segurança alimentar até a disponibilidade hídrica para consumo humano e industrial.

No contexto das mudanças climáticas globais, espera-se que os padrões de precipitação sofram alterações significativas, tanto em intensidade quanto em distribuição temporal e espacial, o que pode comprometer a resiliência de sistemas naturais e antrópicos frente a eventos hidrometeorológicos extremos, como secas prolongadas, enchentes, deslizamentos e períodos de estiagem severa (Calvin et al., 2023). Essas mudanças tendem a se manifestar de forma desigual entre as regiões do planeta (Sharif et al., 2025; Wasko et al., 2021), sendo particularmente críticas em áreas tropicais e semiáridas, onde a variabilidade natural já é elevada e os sistemas de suporte são mais sensíveis às flutuações climáticas.

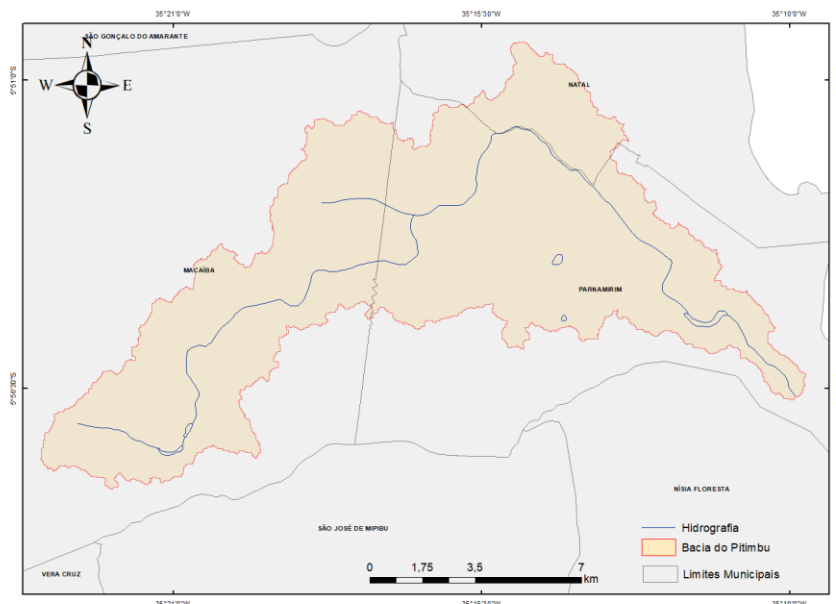
Nesse contexto, as projeções climáticas se tornam ferramentas indispensáveis para o planejamento territorial e a formulação de políticas públicas adaptativas (Carlino et al., 2022). Por meio de modelos climáticos, é possível simular cenários futuros com base em diferentes trajetórias de emissões de gases de efeito estufa, permitindo antecipar tendências de longo prazo e avaliar os possíveis impactos em nível regional e local. A análise dessas projeções fornece subsídios para decisões mais informadas na gestão de recursos hídricos, agricultura, infraestrutura, saúde pública e conservação ambiental (Daron et al., 2021). Além disso, quando associadas a dados históricos de alta resolução, as projeções climáticas possibilitam identificar mudanças já em curso e orientar estratégias de mitigação e adaptação mais precisas e eficazes (Lempert et al., 1996).

Neste trabalho, propõe-se a análise comparativa entre os dados de precipitação média mensal do período histórico de 1970 a 2000, obtidos no banco de dados WorldClim v2.1, e as projeções futuras para o período de 2021 a 2040, geradas pelo modelo climático global MIROC6, no cenário de emissões intermediário SSP2-4.5.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Bacia Hidrográfica do Rio Pitimbu (BHRP), localizada no Rio Grande do Norte, abrange partes dos municípios de Natal, Macaíba e Parnamirim, integrando a porção superior da bacia do rio Pirangi (Figura 1). Nas últimas décadas, a região tem passado por intensas transformações urbanas, resultando em alterações significativas na cobertura do solo. A bacia abriga a lagoa do Jiqui, principal manancial superficial de Natal, responsável por cerca de 30% do abastecimento da zona sul da cidade. Contudo, o despejo de águas pluviais contaminadas e resíduos urbanos tem comprometido a qualidade hídrica, afetando aproximadamente 348 mil pessoas. A gestão sustentável da bacia é considerada estratégica para a segurança hídrica local (SEMURB, 2024).

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Pitimbu – RN



Os dados de precipitação utilizados neste estudo foram extraídos do banco de dados WorldClim, versão 2.1, que fornece informações climáticas derivadas da interpolação de registros históricos de estações meteorológicas. Foram utilizados dados com resolução espacial de 1 km (30 segundos de arco), referentes ao período de 1970 a 2000 (Fick & Hijmans, 2017).

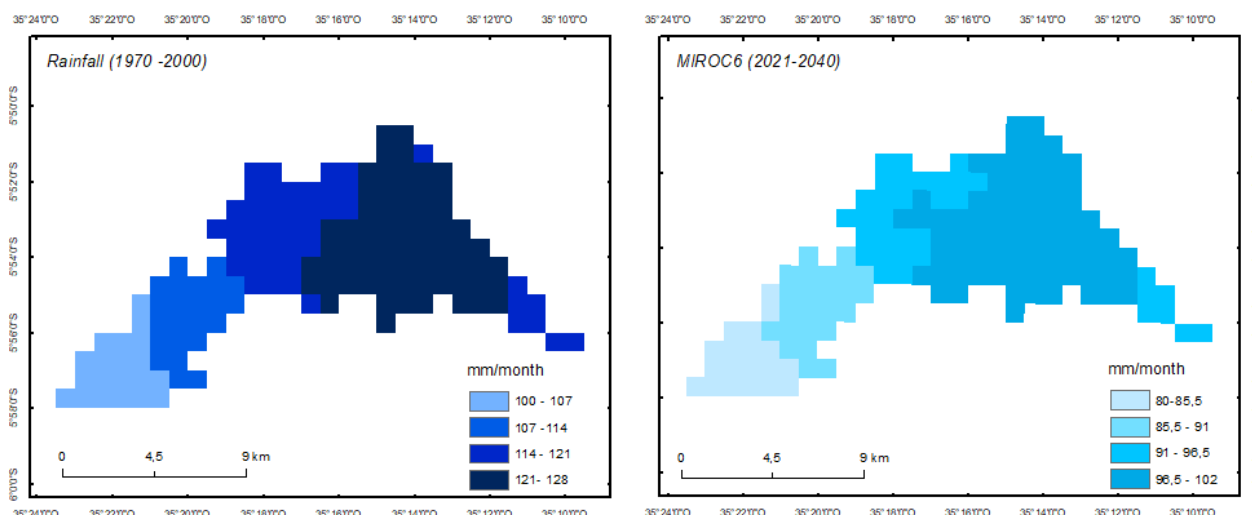
As projeções climáticas utilizadas neste estudo foram obtidas a partir da versão 2 do banco de dados WorldClim (Fick & Hijmans, 2017), considerando o período de 2021 a 2040 sob o cenário intermediário SSP2-4.5. Para a análise, foi selecionado o modelo climático global do sistema terrestre MIROC6. A escolha desse modelo se deve ao seu bom desempenho na simulação da localização da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Atlântico tropical, conforme evidenciado nos resultados de Saad et al., (2024).

O MIROC6, modelo global do CMIP6, foi avaliado e validado como eficaz na simulação do clima médio, variabilidade interna e sensibilidade climática (Tatebe et al., 2019). Esse modelo foi escolhido por simular adequadamente os máximos de precipitação próximos à América do Sul e a inclinação da convergência de ventos no Atlântico tropical, aspectos influenciados pela ZCIT (Saad et al., 2024). Essas características tornam o modelo adequado para análises na BHRP, localizada no Rio Grande do Norte, região impactada por tais padrões climáticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da distribuição espacial da precipitação média mensal indica alterações no regime de chuvas da BHRP ao comparar o período histórico de 1970 a 2000 com as projeções do modelo climático miroc6 para os anos de 2021 a 2040 (Figura 2). Conforme ilustrado, o período de 1970 a 2000 apresenta valores médios mensais de precipitação variando entre 110 mm e 128 mm. As áreas centrais da bacia concentram os maiores volumes, evidenciando um padrão pluviométrico relativamente elevado. Em contraste, o cenário futuro (2021–2040), baseado no modelo MIROC6 projeta uma redução na precipitação, com valores oscilando entre 80 mm e 102 mm/mês.

Figura 2 – Distribuição espacial da precipitação média mensal na BHRP estudada nos períodos de 1970–2000 e 2021–2040



A Tabela 1 apresenta os valores médios, máximos e mínimos de precipitação média mensal para os períodos de 1970–2000 (dados observados) e 2021–2040 (projeção do modelo MIROC6). Observa-se uma redução significativa na média mensal de precipitação, que passou de 118,1 mm/mês no período histórico para 94,47 mm/mês no cenário futuro, representando uma diminuição absoluta de aproximadamente 23,6 mm/mês.

Além disso, os valores extremos também apresentaram declínio. A precipitação máxima mensal caiu de 128 mm para 102 mm, enquanto a mínima reduziu-se de 110 mm para 80 mm. Esses resultados indicam uma tendência de redução generalizada da precipitação, tanto nos valores médios quanto nos extremos, sugerindo um futuro mais seco para a região estudada.

Tabela 1 – Valores médios, máximos e mínimos da precipitação média mensal (em mm) para os períodos de 1970–2000 e 2021–2040

Período	Média (mm/mês)	Máx (mm/mês)	Mín (mm/mês)
1970 – 2000 (observado)	118,1	128	110
2021 – 2040 (MIROC6)	94,47	102	80

Esses resultados estão em consonância com estudos anteriores que apontam para o enfraquecimento do regime de chuvas em regiões tropicais devido ao aquecimento global e às mudanças nos padrões de circulação atmosférica (Elouissi et al., 2017). A redução da precipitação pode comprometer a recarga dos aquíferos, a manutenção dos fluxos ecológicos e a disponibilidade de água para abastecimento humano, irrigação e geração de energia, especialmente em bacias hidrográficas de pequeno porte, mais sensíveis a alterações no regime hídrico (Strauch et al., 2017).

Outro aspecto relevante é que a diminuição da variabilidade espacial, observada nos mapas comparativos, pode resultar na perda de zonas de maior concentração de precipitação, que tradicionalmente atuam como áreas de captação e regulação hídrica. Esse fenômeno tende a aumentar

a vulnerabilidade das comunidades locais, principalmente da agricultura de sequeiro, que depende diretamente da regularidade das chuvas (Alehu & Bitana, 2021).

É importante destacar, contudo, que modelos climáticos como o MIROC6, embora amplamente utilizados, estão sujeitos a incertezas e limitações, podendo tanto superestimar quanto subestimar as variações futuras de precipitação. Estudos mostram que resultados podem variar significativamente dependendo do modelo utilizado. Por isso, recomenda-se a utilização de múltiplas normais climatológicas e diferentes cenários climáticos como forma de aumentar a confiabilidade das projeções e apoiar melhor a tomada de decisão em planejamento hídrico.

No contexto das mudanças climáticas, a Lagoa do Jiqui, responsável por cerca de 30% do abastecimento de água do sistema sul de Natal, enfrenta riscos crescentes devido à redução das chuvas, maior frequência de eventos extremos e urbanização acelerada. Esses fatores comprometem a recarga hídrica e agravam a contaminação por nitrato, colocando em risco a qualidade da água e a segurança hídrica da cidade.

Portanto, os resultados reforçam a importância de incorporar cenários climáticos nas estratégias de planejamento e gestão dos recursos hídricos, priorizando ações de adaptação ao novo regime pluviométrico, como o manejo eficiente da água, reuso, conservação do solo e reflorestamento de áreas estratégicas da bacia.

CONCLUSÃO

- Observou-se uma redução significativa na precipitação média mensal da Bacia Hidrográfica do Rio Pitimbu entre os períodos de 1970–2000 e 2021–2040, com base nas projeções do modelo MIROC6.
- As mudanças refletem os efeitos das alterações climáticas em regiões tropicais e destacam a necessidade de incorporar dados climáticos ao planejamento territorial.
- Os resultados reforçam a urgência de políticas públicas integradas que promovam a resiliência hídrica e ambiental da região diante de um cenário climático cada vez mais instável.

REFERÊNCIAS

ALEHU, B. A.; BITANA, S. G. (2021). “Assess the impacts of climate change on the patterns of rainfall, temperature, and streamflow in the Abelti Watershed of Southwestern Ethiopia”.

Disponível em: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1076340/v1>

ALITANE, A.; ESSAHLAOUI, A.; VAN GRIENSVEN, A.; YIMER, E. A.; ESSAHLAOUI, N.; MOHAJANE, M.; CHAWANDA, C. J.; VAN ROMPAEY, A. (2022). “Towards a Decision-Making Approach of Sustainable Water Resources Management Based on Hydrological Modeling: A Case Study in Central Morocco”. Sustainability (Switzerland), 14(17). Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/su141710848>

CALVIN, K. et al. (2023). “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”. IPCC, Geneva, Switzerland. Disponível em: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

- CARLINO, A.; TAVONI, M.; CASTELLETI, A. (2022). “*Self-Adaptive Multi-Objective Climate Policies Align Mitigation and Adaptation Strategies*”. *Earth’s Future*, 10(10). Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2022EF002767>
- DARON, J. et al. (2021). “*Integrating seasonal climate forecasts into adaptive social protection in the Sahel*”. *Climate and Development*, 13(6), p. 543–550. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17565529.2020.1825920>
- ELOUISSI, A.; HABI, M.; BENARICHA, B.; BOUALEM, S. A. (2017). “*Climate change impact on rainfall spatio-temporal variability (Macta watershed case, Algeria)*”. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(22). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3264-x>
- FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. (2017). “*WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas*”. *International Journal of Climatology*, 37(12), p. 4302–4315. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- KALFAS, D.; KALOGIANNIDIS, S.; PAPADEVANGELOU, O.; CHATZITHEODORIDIS, F. (2024). “*Assessing the Connection between Land Use Planning, Water Resources, and Global Climate Change*”. *Water (Switzerland)*, 16(2). Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w16020333>
- LEMPERT, R. J.; SCHLESINGER, M. E.; BANKES, S. C. (1996). “*When we don’t know the costs or the benefits: adaptive strategies for abating climate change*”. *Climate Change*, p. 235–274.
- NANDI, S.; MANNE, J. R. (2020). “*Spatiotemporal Analysis of Water Balance Components and Their Projected Changes in Near-future Under Climate Change Over Sina Basin, India*”. *Water Resources Management*, 34(9), p. 2657–2675. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02551-2>
- SAAD, S. I.; DUARTE DA SILVA, M. R.; MOTA DA SILVA, J. (2024). “*Evaluation of the climate models used by the IPCC based on the position of the ITCZ in the Equatorial South Atlantic*”. *International Journal of Climatology*, 44(6), p. 2056–2068. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.8440>
- SHARIF, R. B.; MAGGIONI, V.; DOLLAN, I. J. (2025). “*Changes in historical and future precipitation patterns across the contiguous United States*”. *Frontiers in Earth Science*, 13. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/feart.2025.1542536>
- STRAUCH, A. M. et al. (2017). “*Modeled Effects of Climate Change and Plant Invasion on Watershed Function Across a Steep Tropical Rainfall Gradient*”. *Ecosystems*, 20(3), p. 583–600. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10021-016-0038-3>
- TATEBE, H. et al. (2019). “*Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, and climate sensitivity in MIROC6*”. *Geoscientific Model Development*, 12(7), p. 2727–2765. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/gmd-12-2727-2019>
- WASKO, C.; NATHAN, R.; STEIN, L.; O’SHEA, D. (2021). “*Evidence of shorter more extreme rainfalls and increased flood variability under climate change*”. *Journal of Hydrology*, 603. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126994>