

CENÁRIOS DE ÍNDICES EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE CRATEÚS, SEMIÁRIDO CEARENSE

THALES BRUNO RODRIGUES LIMA ¹; GLÁUBER PONTES RODRIGUES ² E JOSÉ CARLOS DE ARAÚJO ³

¹ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará; Brasil, limatbr@alu.ufc.br; <https://orcid.org/0000-0002-5331-6223>

² Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará; Brasil, pontesglauber@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7427-6104>.

³ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará; Brasil, jcaraujo@ufc.br; <https://orcid.org/0000-0002-2649-151X>

1 RESUMO

Este estudo analisou dois índices pluviométricos (precipitação anual total e a frequência de eventos de chuva ≥ 100 mm) em Crateús, semiárido cearense, comparando projeções de dois Modelos Climáticos Regionais (Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5) para o clima atual com dados observados de um posto pluviométrico centenário. Também foram avaliadas as projeções dos modelos para o clima futuro sob os cenários RCP 4.5 e 8.5, em horizontes de curto (2006-2040), médio (2041-2070) e longo prazo (2071-2099). Ambos os modelos representaram bem o histórico (1976-2005), simulando sete eventos R100mm, próximos aos oito observados. As projeções apontam aumento das chuvas até cerca de 2050, seguido de queda a partir de 2060, independente do RCP. O cenário mais pessimista (HadGEM2-ES sob RCP8.5) indicou os menores índices de precipitação após 2060, com uma variação de até -19,4% em relação ao histórico. Esses resultados são fundamentais para a gestão hídrica e o planejamento de políticas públicas em uma região com escassez hídrica e vulnerabilidade climática.

Keywords: Mudanças climáticas, Modelo Eta, Regiões secas.

LIMA, T. B. R.; RODRIGUES, G. P.; DE ARAÚJO, J. C.
SCENARIOS OF EXTREME PRECIPITATION INDICES FOR THE
MUNICIPALITY OF CRATEÚS, SEMI-ARID REGION OF CEARÁ

2 ABSTRACT

This study analyzed total annual precipitation and the frequency of rainfall events ≥ 100 mm in Crateús, a semiarid region of Ceará, by comparing projections from two regional climate models (Eta-HadGEM2-ES and Eta-MIROC5) for the current climate with observed data from a centennial rain gauge station. The models' projections were also evaluated for future climate under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios across short (2006--2040), medium (2041--2070), and long-term (2071--2099) horizons. Both models effectively represented the historical period (1976--2005), simulating seven R100 mm events that were close to the eight events observed. Projections indicate an increase in rainfall until approximately 2050, followed by a decline after 2060, regardless of the RCP scenario. The most pessimistic scenario (HadGEM2-ES under

RCP8.5) projected the lowest precipitation indices after 2060, with a variation of up to -19.4% compared with the historical period. These results are crucial for water resource management and public policy planning in regions characterized by water scarcity and climate vulnerability.

Keywords: Climate change, Eta model, Dry regions.

3 INTRODUÇÃO

O conhecimento dos índices anuais de precipitação (IAP) é essencial para a gestão dos recursos hídricos. Nas terras secas, que incluem o semiárido brasileiro, a elevada variabilidade espacial e temporal das chuvas (Andrade *et al.*, 2016) torna ainda mais relevante a obtenção do registro histórico desses índices. O planejamento da infraestrutura hídrica que atenderá aos diversos usos (abastecimento humano e dessedentação animal, agrícola, industrial) e o manejo de solos agrícolas exige a sistematização desses IAP tais como total anual de precipitação (PRCPTOT) e número de dias por ano com precipitação igual ou superior a 100 mm (R100mm).

A partir dos registros históricos, projeções de cenários futuros dos IAP têm sido construídas com o emprego de modelos climáticos globais (*Global Climate Model* – GCMs) e regionais (*Regional Climate Model* – RCMs). Nas regiões semiáridas, essas projeções têm sido exploradas para investigar como as mudanças climáticas irão impactar a disponibilidade dos recursos hídricos (Rodrigues *et al.*, 2024) e a demanda de água para a irrigação (Gondim *et al.*, 2018). A reduzida reserva hídrica na Bacia Hidrográfica dos Sertões de Crateús, mesmo em anos de aporte satisfatório em escala estadual, reforça a vulnerabilidade da

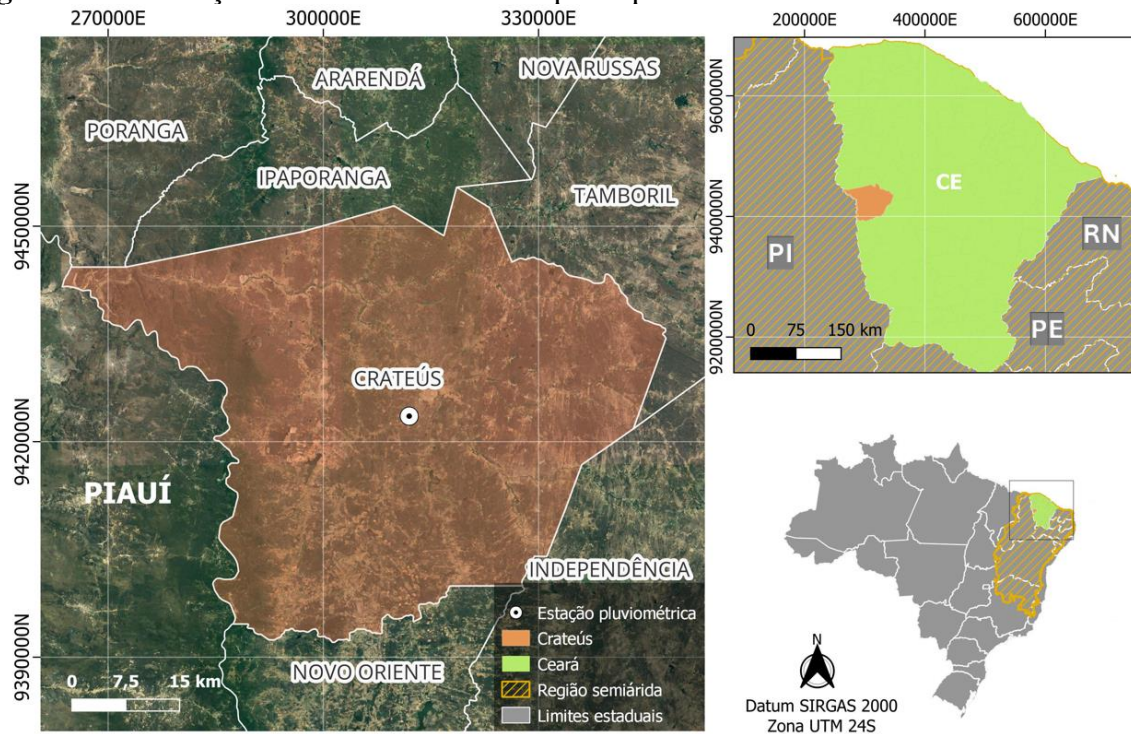
área aos efeitos das mudanças climáticas (Secretaria dos Recursos Hídricos, 2024).

Ante isso, o presente trabalho objetiva analisar os índices PRCPTOT e R100mm de série histórica centenária de precipitação de posto pluviométrico situado no Município de Crateús, semiárido cearense, e as projeções de PRCPTOT e R100mm derivadas dos RCMs Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 (Chou *et al.*, 2014) nos caminhos representativos de concentração de gases de efeito estufa (*Representative Concentration Pathways* – RCPs) 4.5 e 8.5 (Gütschow *et al.*, 2021) para curto (2006-2040), médio (2041-2070) e longo prazo (2071-2099).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido no município de Crateús (Figura 1), pertencente à Bacia Hidrográfica dos Sertões de Crateús. O município tem área de aproximadamente 2.985 km², com precipitação média anual de 695 mm (para o período de 1992 – 2022, sem considerar o ano de 2008 em virtude da ausência de registros no mês de janeiro), evapotranspiração potencial de 1900 mm (INMET, 2024) e está completamente inserido no semiárido brasileiro.

Figura 1. Localização da área de estudo e do posto pluviométrico utilizado.

4.2 Dados de precipitação

Os dados de precipitação utilizados são provenientes de dois postos

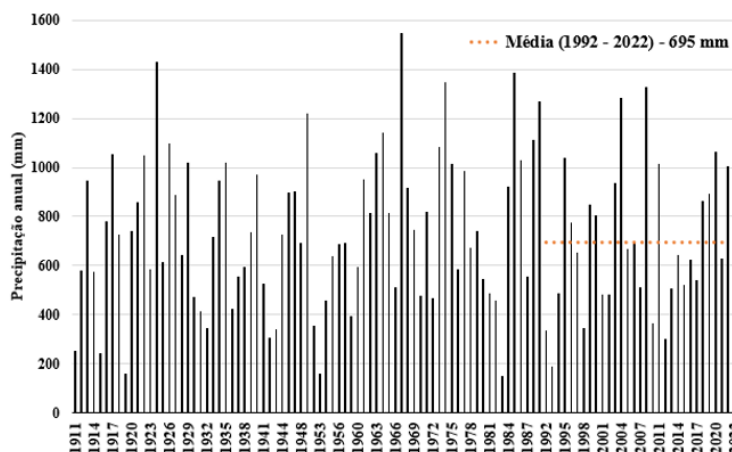
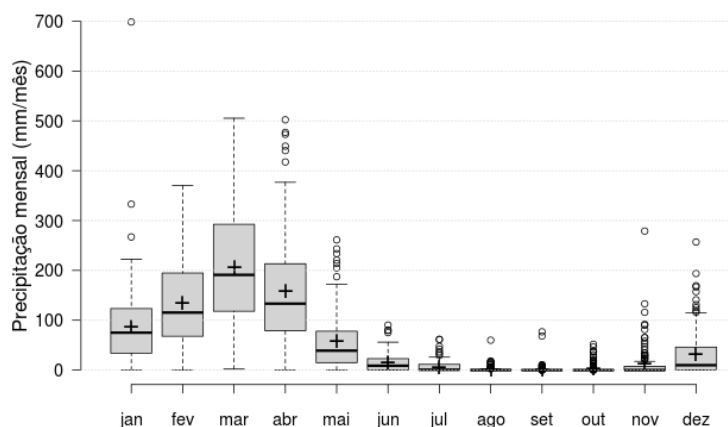
pluviométricos em Crateús, cujas características estão descritas na Tabela 1 (ANA, 2024; Funceme, 2024).

Tabela 1. Dados das estações meteorológicas utilizadas

Código	Município	Operadora	Período de registro	Latitude	Longitude
540020	Crateús	DNOCS/Funceme	12/1910 a 06/2023	-5.2108	-40.7036
A342	Crateús	INMET	A partir de 07/2023	-5.1866	-40.6722

Como critério de exclusão, foram considerados apenas os anos sem falhas na estação chuvosa (janeiro a maio). Para os anos com falhas na estação seca, foi utilizada a média histórica para preencher os valores ausentes, visto que, nesta época do ano, as precipitações tendem a ser muito baixas, com médias próximas de zero. Essa abordagem garantiu uma base de dados consistente e representativa para o período

analisado. Na Figura 2 tem-se a evolução da precipitação anual (mm) observada a partir de 1911 (ANA, 2024). Essa série centenária de dados de chuva representa um relevante registro hidrológico para a análise da variabilidade climática e dos eventos extremos no semiárido brasileiro (Nunes; Medeiros, 2020). A precipitação concentra-se nos meses de janeiro a maio (Figura 3).

Figura 2. Série histórica de precipitação para a área de estudo.**Figura 3.** Distribuição anual da precipitação na área de estudo.

4.3 Dados de modelagem climática

A simulação histórica foi obtida do Modelo Climático Regional Eta aninhado aos modelos globais HadGEM2-ES e MIROC5. Os dados obtidos em grade de 20 x 20 km (Mesinger *et al.*, 2012; Chou *et al.*, 2014; CNPq, 2024; Tavares *et al.*, 2024), são dados diários, que se distinguem por terem sido submetidos a técnica de redução de viés, que ajusta discrepâncias entre simulações e observações, tornando as projeções mais confiáveis.

Os dados estão disponíveis no período que compreende de 1976 a 2005 (simulação histórica), considerado o período de referência ou do clima presente, e de 2006 a 2099, considerado o período do clima

futuro. Para o período futuro, as projeções climáticas consideraram dois cenários de concentração dos gases de efeito estufa, RCP4.5 e RCP8.5.

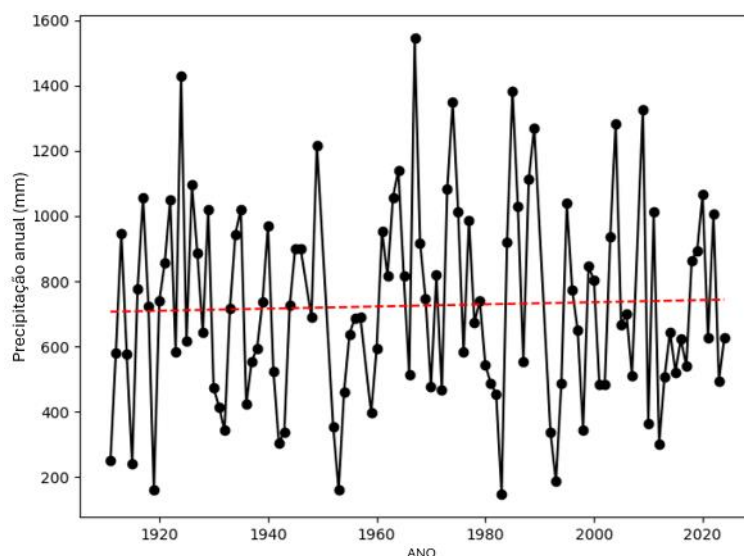
Os seguintes índices anuais de extremos climáticos relacionados à precipitação foram utilizados: total anual de precipitação (PRCPTOT) e número de dias por ano com precipitação igual ou superior a 100 mm (R100mm). Os índices são fornecidos para o cenário de clima atual (1976 - 2005) e para o cenário de clima futuro (até 2099), segmentado nos períodos de 2006 - 2040, 2041 - 2070 e 2071 - 2099 (curto, médio e longo prazo, respectivamente).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, avaliou-se se ocorreu ou não uma mudança de tendência na precipitação total anual observada entre 1911 e 2024 (Figura 4), totalizando 107 anos com registros consistentes. A partir do teste não paramétrico de Mann-Kendall é possível

afirmar estatisticamente (valor p de 0,78) que não se observa uma mudança de tendência no acumulado anual de precipitação nesse período observado. A linha de tendência (reta tracejada na cor vermelho da Figura 4) exibe uma reduzida declividade, fato que ilustra a ausência de tendência.

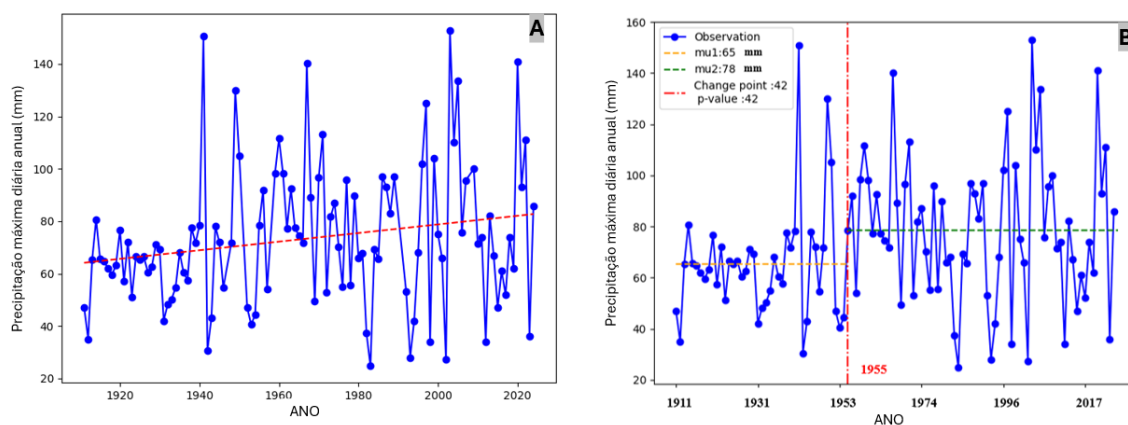
Figura 4. Teste de Mann-Kendall para a análise de tendência do total anual de precipitação (mm).



A Figura 5 (A) apresenta a evolução histórica dos eventos de precipitação máxima na escala anual. O teste de Mann-Kendall aponta (valor p de 0,023) uma tendência de incremento (linha de tendência crescente) das precipitações máximas anuais. A partir do teste de homogeneidade de Pettitt (Figura 5 B) é possível identificar

que o ano de mudança de tendência foi 1955 que corresponde ao 42º ano de registro consistente da série. Até o ano de 1954, a precipitação máxima anual média era de 65 mm. A partir de 1955, esse valor passou a ser de 78 mm.

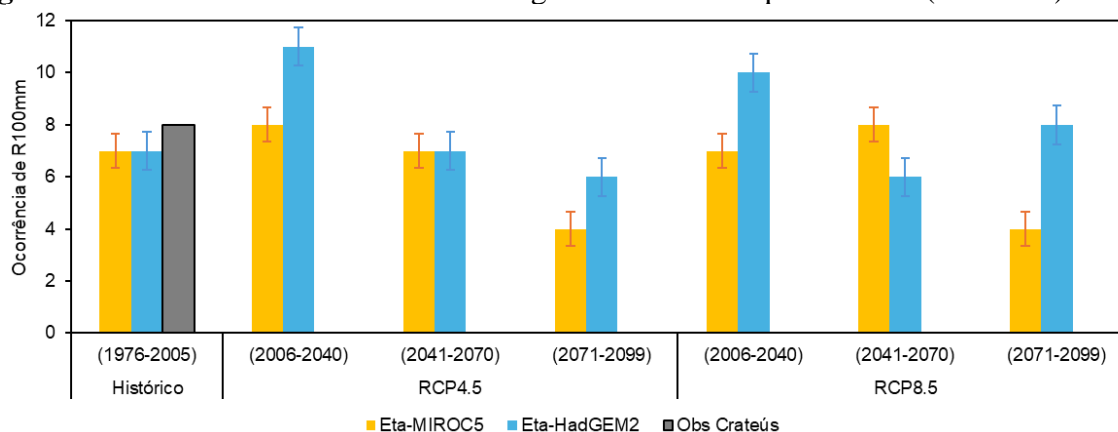
Figura 5. Teste de Mann-Kendall para a análise de tendência da precipitação máxima anual (mm) (A); e Teste de Pettitt para a análise do ano de mudança da precipitação máxima anual (mm) (B).



A análise da série histórica de chuvas diárias do posto Crateús/Aeroporto (1976 - 2005) indicou a ocorrência de oito eventos diários iguais ou superiores a 100 mm (R100mm) para um total de 1658 registros de chuva nesse período, correspondendo a 0,5%. Desse total de eventos, cinco (62,5%) ocorreram na quadra chuvosa (fevereiro –

maio), um no mês de novembro e dois no mês de janeiro (pré-estação chuvosa). A Figura 6 sintetiza o número de eventos observados no período de clima presente e as projeções dos modelos nos períodos de clima presente e clima futuro (RCP 4.5 e 8.5).

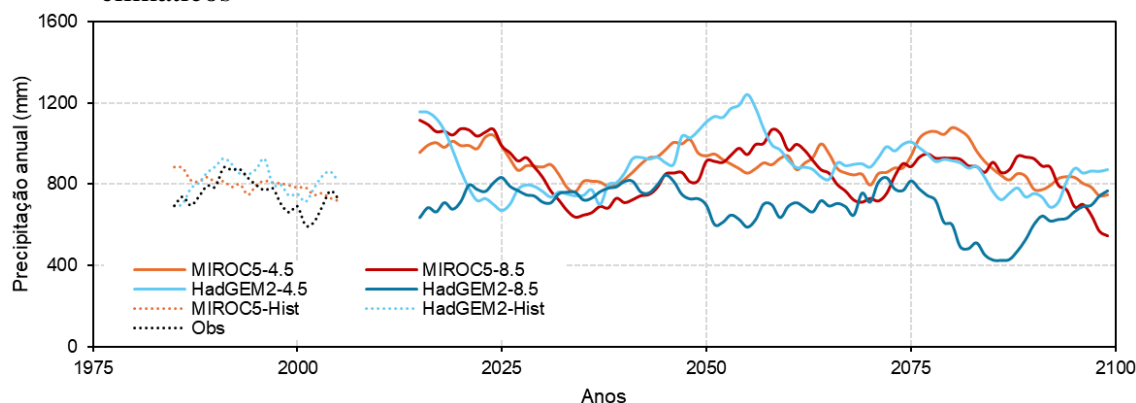
Figura 6. Ocorrência de eventos chuvosos iguais ou maiores que 100 mm (R100mm).



As simulações históricas realizadas pelos modelos climáticos regionais Eta-HadGEM2 e Eta-MIROC5 demonstraram resultados bastante próximos aos dados observados, com o Eta-HadGEM2 apresentando uma superestimativa de 7,6% e o Eta-MIROC5 de 8,3% (Figura 7). No cenário RCP4.5 que adota um cenário de

estabilização das emissões de CO₂ após 2050, ambos os modelos preveem um aumento significativo das chuvas até 2040, com o Eta-MIROC5 apontando um acréscimo de 14,7% e o Eta-HadGEM2 de 12,0%, valores que também se mantêm próximos.

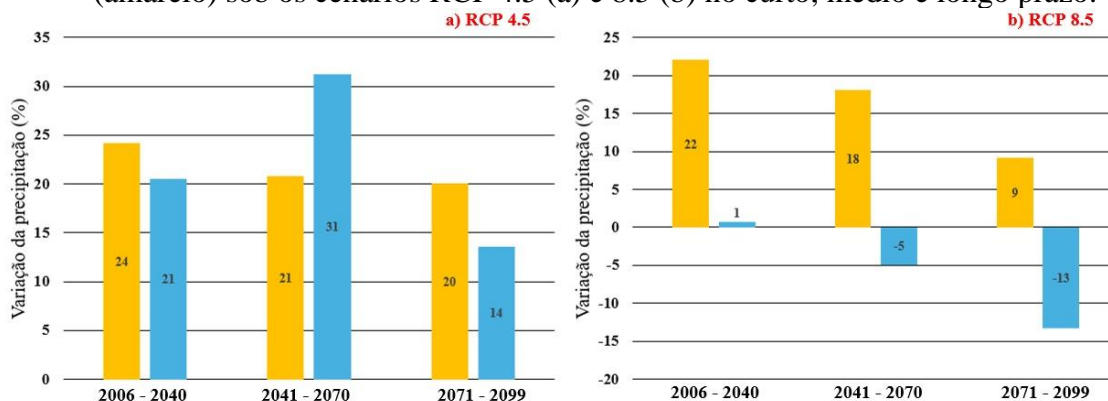
Figura 7. Precipitação anual histórica (1976-2005) e futura (2006-2099) para os quatro cenários climáticos



Entretanto, a partir do período de médio prazo (2041-2070), os resultados divergem (Figura 8), com o Eta-MIROC5 continuando a indicar aumento nas precipitações em 9,1% em relação ao histórico, enquanto o Eta-HadGEM2 prevê

decréscimo de aproximadamente 11,6%, destacadamente sob o cenário mais pessimista, o RCP8.5 (Figura 8b). Esse último cenário baseia-se no incremento da concentração de CO₂ até o fim do século.

Figura 8. Variação da precipitação futura dos modelos Eta-HadGEM2 (azul) e Eta-MIROC5 (amarelo) sob os cenários RCP 4.5 (a) e 8.5 (b) no curto, médio e longo prazo.



Embora os modelos Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 tenham representado bem o clima histórico, suas projeções ainda estão sujeitas a incertezas inerentes aos modelos climáticos, como a resolução espacial limitada e a dependência das condições de contorno dos modelos globais. Além disso, a variabilidade de eventos extremos pode não ser totalmente capturada. Estudos futuros podem explorar múltiplos modelos e metodologias estatísticas para reduzir incertezas, além de considerar

impactos regionais detalhados na hidrologia e na infraestrutura hídrica de Crateús.

Os resultados deste estudo são cruciais para o planejamento hídrico e a formulação de políticas públicas voltadas para a resiliência climática em Crateús. O aumento das chuvas projetado até 2050 pode representar oportunidades para a ampliação da captação e armazenamento de água, enquanto a tendência de redução após 2060 ressalta a necessidade de estratégias de adaptação, como a diversificação de fontes hídricas, a ampliação da eficiência no uso da

água e o fortalecimento de mecanismos de governança hídrica. Além disso, o monitoramento contínuo das projeções climáticas pode embasar decisões mais dinâmicas e assertivas para mitigar os impactos da variabilidade climática na região.

6 CONCLUSÃO

As projeções de precipitação futura para o Município de Crateús, semiárido cearense, indicam possíveis aumentos nas médias anuais sob o cenário de emissões moderadas (RCP 4.5) e maior incerteza sob o cenário mais extremo (RCP 8.5), variando entre incremento e redução conforme o modelo e o período. A ausência de variação no índice de eventos extremos sugere que, apesar das mudanças no acumulado anual, a frequência de chuvas extremas pode se manter estável. Esses resultados ressaltam a importância de estratégias adaptativas para o manejo hídrico e a mitigação dos impactos da variabilidade climática na região.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), na pessoa da pesquisadora Sin Chan Chou, pelos dados climáticos gentilmente cedidos; ao Comitê de Bacia Hidrográfica dos Sertões de Crateús (CBHSC) pelos convites para participação nas reuniões, à CAPES pelo financiamento da pesquisa de doutorado de Thales Lima e à Funcap pelo financiamento da pesquisa de doutorado de Gláuber Rodrigues.

8 REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. M.; SENA, M. G. T.; SILVA, A. G. R.; PEREIRA, F. J. S.; LOPES, F. B. Uncertainties of the rainfall

regime in a tropical semi-arid region: the case of the state of Ceará. **Revista Agro@mbiente**, Boa Vista, v. 10, n. 2, p. 88-95, 2016. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v10i2.3500. Disponível em: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i2.3500>. Acesso em: 20 nov. 2024.

ANA. **Hidroweb v3.3.8361.0**: Séries Históricas. Brasília, DF: ANA, 2024. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 7 jun. 2024.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, Durham, v. 3, n. 5, p. 438-454, 2014. DOI: 10.4236/ajcc.2014.35039. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35039>. Acesso em: 13 nov. 2024.

CNPQ. **Projeções climáticas para América do Sul regionalizadas pelo modelo Eta com correção de viés**. Brasília, DF: CNPq, 2024. Disponível em: <https://lattesdata.cnpq.br/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.57810/lattesdata/WAVGSL>. Acesso em: 25 abr. 2024.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Postos Pluviométricos**. Fortaleza: FUNCEME, 2024. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2694. Acesso em: 5 out. 2024.

- GÜTSCHOW, J.; JEFFERY, M. L.; GÜNTHER, A.; MEINSHAUSEN, M. Country-resolved combined emission and socio-economic pathways based on the Representative Concentration Pathway (RCP) and Shared Socio-Economic Pathway (SSP) scenarios. **Earth System Science Data**, Munique, v. 13, n. 3, p. 1005-1040, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-13-1005-2021>. Disponível em: <https://essd.copernicus.org/articles/13/1005/2021/>. Acesso em: 25 out. 2024.
- GONDIM, R. S.; SILVEIRA, C.; SOUZA FILHO, F.; VASCONCELOS JUNIOR, F.; CID, D. Climate change impacts on water demand and availability using CMIP5 models in the Jaguaribe basin, semi-arid Brazil. **Environmental Earth Sciences**, Bonn, v. 77, n. 15, p. 1-14, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7723-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-018-7723-9>. Acesso em: 19 out. 2024.
- INMET. **Banco de Dados Meteorológicos**. Brasília, DF: INMET, 2024. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 4 nov. 2024.
- MESINGER, F.; CHOU, S. C.; GOMES, J. L.; JOVIC, D.; BASTOS, P.; BUSTAMANTE, J. F.; LAZIC, L.; LIRA, A. A.; MORELLI, S.; RISTIC, I.; VELJOVIC, K. An upgraded version of the Eta model. **Meteorology and Atmospheric Physics**, Bonn, v. 116, n. 3/4, p. 63-79, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00703-012-0182-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00703-012-0182-z>. Acesso em: 20 out. 2024.
- NUNES, L. F. C. V.; MEDEIROS, P. H. A. Análise histórica da severidade de secas no Ceará: efeitos da aquisição de capital hidráulico sobre a sociedade. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 17, p. e18, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21168/reg.v17e18>. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=217&SUMARIO=5370>. Acesso em: 20 out. 2024.
- RODRIGUES, G. P.; BROSINSKY, A.; RODRIGUES, I. S.; MAMEDE, G. L.; ARAÚJO, J. C. Impact of reservoir evaporation on future water availability in north-eastern Brazil: a multi-scenario assessment. **Hydrology and Earth System Sciences**, Munique, v. 28, n. 14, p. 3243-3260, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-28-3243-2024>. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/28/3243/2024/>. Acesso em: 23 out. 2024.
- SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Reservatórios monitorados registram 49% de volume; Veja situação por Bacia Hidrográfica**. Fortaleza: SRH, 2024. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/reservatorios-monitorados-registram-49-de-volume-veja-situacao-por-bacia-hidrografica/>. Acesso em: 12 out. 2024.
- TAVARES, P.; PILOTTO, I. L.; CHOU, S. C.; SOUZA, S. A.; FONSECA, L. M. G.; CHAGAS, D. J. A dataset of high-resolution climate change projections over South America with bias correction. **Derbyana**, São Paulo, v. 45, n. 1, p. 1-28, 2024. DOI: <https://doi.org/10.69469/derb.v45.821>. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/derbyana/article/view/821>. Acesso em: 13 jan. 2025.