

Mudanças Climáticas e a Escassez Hídrica no Cariri Oriental: Desafios e Perspectivas de Adaptação

Rosilene Barros Gomes

ORCID: 0000-0001-8086-8851

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

rosilenebgomes2018.2@gmail.com

Ângela Maria Cavalcanti Ramalho

ORCID: 0000-0002-8567-4367

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

angelamcr@uepb.edu.br

Denilson de Oliveira Silva

ORCID: 0009-0000-4031-7772

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

denilson.oliveira.silva@aluno.uepb.edu.br

1) Introdução

As mudanças climáticas constituem um dos maiores desafios contemporâneos, afetando de forma direta e interconectada os sistemas naturais, econômicos e sociais em escala global. Diversos estudos apontam que o aumento da temperatura média da Terra, observado desde o século XX, tem provocado profundas alterações nos regimes de precipitação, na frequência de eventos extremos e nos padrões de circulação atmosférica (IPCC, 2023; Marengo; Alves, 2022). Esses fenômenos impactam significativamente a disponibilidade de recursos hídricos, a produção agrícola e a estabilidade ecológica de diferentes ecossistemas, configurando um cenário de incertezas e riscos crescentes para a sustentabilidade planetária (Nobre et al., 2019).

No contexto brasileiro, os efeitos das mudanças climáticas manifestam-se de forma desigual, com o Semiárido Nordeste despontando como uma das regiões mais vulneráveis do país (Silva; Lucena, 2021). Essa vulnerabilidade decorre de características intrínsecas do clima semiárido, marcado pela irregularidade das chuvas, pela alta evapotranspiração potencial e pela dependência de sistemas hídricos artificiais, como açudes e barragens, para o abastecimento humano e produtivo (Souza; Reboita, 2020). Além disso, o avanço da desertificação, a degradação dos solos e o uso insustentável da vegetação nativa agravam ainda mais os impactos, comprometendo a resiliência dos ecossistemas locais e o bem-estar das populações (Torres et al., 2022).

A Paraíba destaca-se como um dos estados mais suscetíveis aos efeitos da variabilidade e das anomalias climáticas, com longos períodos de estiagem e acentuada variabilidade interanual das precipitações (Moura; Silva, 2021). A escassez hídrica na região tem implicações diretas sobre a segurança alimentar, hídrica e energética, uma vez que a economia local é fortemente dependente da agricultura de sequeiro e da pecuária

extensiva. Nos últimos anos, observa-se também um aumento na vulnerabilidade social, com a intensificação dos fluxos migratórios e a redução da produtividade agrícola em função das secas prolongadas (Alvalá et al., 2019).

Entre as sub-regiões mais afetadas do estado, o Cariri Oriental Paraibano ocupa posição de destaque. Trata-se de uma área caracterizada por baixos índices pluviométricos anuais, frequentemente inferiores a 600 mm, com chuvas concentradas em poucos meses do ano e longos períodos de estiagem (Lima; Andrade, 2022). O relevo predominantemente cristalino e os solos rasos reduzem a capacidade de armazenamento hídrico, o que, somado à degradação ambiental e ao aumento da demanda por água, agrava os efeitos da escassez. Esses fatores comprometem o desenvolvimento socioeconômico regional, elevam o risco de colapsos no abastecimento e reforçam a necessidade de estratégias de planejamento territorial e gestão sustentável dos recursos hídricos (Carvalho et al., 2023). Assim, compreender a distribuição e o comportamento das chuvas no Cariri Oriental é fundamental para subsidiar políticas públicas voltadas à adaptação climática e ao uso eficiente da água. Estudos que integrem análise espacial e temporal de precipitação, como o desenvolvido nesta pesquisa, contribuem para o diagnóstico da vulnerabilidade climática e para a formulação de medidas mitigadoras, essenciais à convivência sustentável com as adversidades do Semiárido (Medeiros; Gomes, 2022).

2) Objetivo

2.1 Geral

Analisar os impactos das mudanças climáticas sobre a escassez hídrica no Cariri Oriental, identificando os desafios socioambientais e as estratégias de adaptação viáveis para a região.

2.2 Específicos

- Avaliar os padrões de variabilidade climática e suas consequências para a disponibilidade de água no Cariri Oriental.
- Investigar os efeitos da escassez hídrica sobre a agricultura de subsistência, a pecuária e a qualidade de vida das comunidades locais.
- Identificar e analisar estratégias de adaptação socioambiental, incluindo tecnologias de captação de água, práticas agroecológicas e políticas públicas de gestão hídrica.

3) Metodologia

A metodologia adotada neste estudo baseou-se na utilização de dados climáticos obtidos no portal WorldClim, reconhecido mundialmente pela disponibilização gratuita de dados meteorológicos interpolados em alta resolução espacial. Foram extraídos dados de precipitação média mensal referentes ao período de 2009 a 2023, no formato raster (.tif), o que possibilitou a análise contínua da variabilidade espacial e temporal das chuvas na região do Cariri Oriental, no estado da Paraíba. O formato raster foi escolhido por permitir a representação espacial contínua de fenômenos ambientais, sendo amplamente empregado em estudos de climatologia e geoprocessamento (Oliveira et al., 2020).

Após a aquisição dos dados, procedeu-se ao processamento e análise no ambiente estatístico R, versão mais recente, o qual apresenta suporte robusto para manipulação e visualização de dados espaciais. Foram utilizados pacotes especializados, como “raster”, “terra” e “sp” (Pebesma; Bivand, 2023), que permitem a leitura, o recorte, a reprojeção e a geração de produtos cartográficos a partir de dados matriciais. O primeiro passo consistiu na definição da área de estudo, delimitando o recorte geográfico do Cariri Oriental paraibano por meio de shapefiles obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).

Em seguida, realizou-se o recorte espacial das camadas de precipitação para o limite territorial do Cariri Oriental, utilizando a função `crop()` do pacote *raster* e a função `mask()` para restringir os pixels apenas à área de interesse. Esse procedimento garantiu maior precisão na representação dos valores pluviométricos regionais e evitou distorções decorrentes de pixels externos à área de estudo (Santos et al., 2021). Posteriormente, aplicou-se uma análise temporal para o período de 2009 a 2023, calculando-se médias anuais e identificando possíveis tendências de aumento ou redução na precipitação, conforme metodologia sugerida por Silva et al. (2020).

Para a elaboração dos mapas temáticos de precipitação, foram utilizadas escalas cromáticas progressivas que facilitam a interpretação visual dos dados, com gradações de azul representando a intensidade das chuvas. Os mapas foram produzidos por meio das funções `plot()` e `tm_shape()` do pacote “tmap” (Tennekes, 2018), que oferece recursos de composição cartográfica aprimorada, permitindo ajustes finos de legenda, escala gráfica, título e layout final. Essa abordagem garantiu representações visuais de alta qualidade e cientificamente consistentes, favorecendo a identificação de padrões espaciais de precipitação e possíveis zonas de concentração ou escassez de chuvas.

Por fim, todos os resultados cartográficos foram exportados em alta resolução (300 dpi) para fins de análise visual e integração a relatórios técnicos e artigos científicos. A metodologia adotada segue padrões consolidados em estudos climatológicos e geográficos, assegurando a reprodutibilidade dos resultados e a comparabilidade com

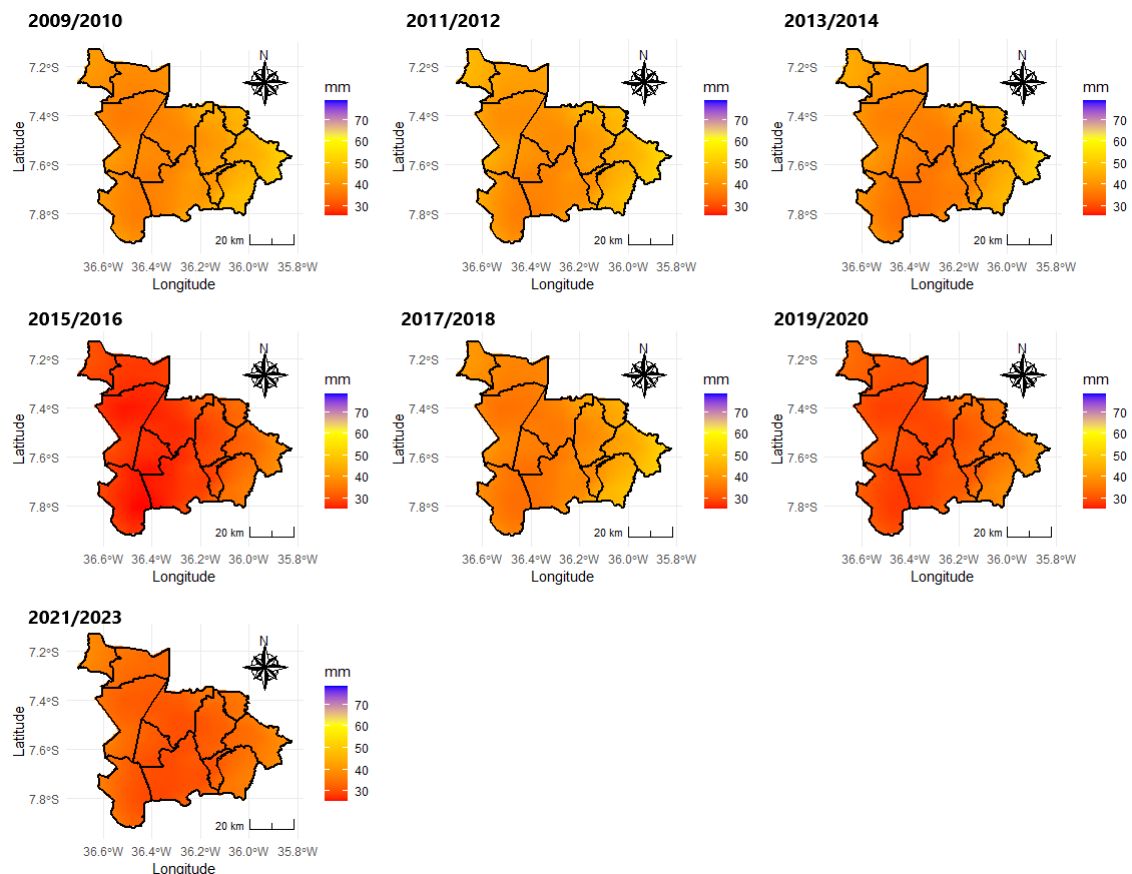
pesquisas anteriores sobre variabilidade climática no semiárido nordestino (Lima; Araújo, 2022).

4) Resultados e Discussões

A escassez hídrica no Cariri Oriental, intensificada pelas mudanças climáticas, evidencia a vulnerabilidade do semiárido, caracterizado por chuvas irregulares, altas temperaturas e dependência de açudes e barragens. A redução das precipitações, o aumento da evaporação, a degradação da Caatinga e o risco de desertificação impactam a agricultura de subsistência, a pecuária e a qualidade de vida das comunidades locais. Esses efeitos não são apenas ambientais, mas também sociais e econômicos, ampliando desigualdades e conflitos pelo acesso à água. Estratégias de adaptação, como conservação da vegetação nativa, captação e armazenamento de água, práticas agroecológicas e gestão participativa, junto a políticas públicas alinhadas aos ODS 6 e 13, são essenciais para promover resiliência socioambiental e justiça hídrica na região.

A Figura 1, tem-se a sequência de sete mapas representa a distribuição espacial da precipitação média acumulada no Cariri Oriental, agrupada em períodos bianuais e trienais de 2009 a 2023, com escala cromática variando do vermelho (menor precipitação) ao azul (maior precipitação). Nos primeiros intervalos (2009–2012) predominam tons avermelhados, indicando baixos índices pluviométricos em grande parte da área. A partir de 2013 observa-se uma gradual transição para tons amarelados e azulados, sugerindo aumento da pluviosidade em setores específicos, sobretudo nas porções centrais e leste. Entre 2017 e 2018 há uma maior heterogeneidade espacial, com coexistência de áreas mais úmidas e outras ainda secas. Já nos períodos mais recentes (2019–2023), as áreas azuladas tornam-se ligeiramente mais expressivas, apontando possível redistribuição das chuvas. Essa variação espacial evidencia a natureza dinâmica e irregular das precipitações no semiárido, indicando que, embora as chuvas permaneçam concentradas, há sinais de mudanças sutis na intensidade e na distribuição ao longo do tempo. A construção dos mapas seguiu procedimentos semelhantes aos aplicados por Ornelas (2018), que utilizou métodos de análise espacial na representação de variáveis.

Figura 1: Mapas de precipitação no cariri oriental entre os anos de 2009 a 2023.

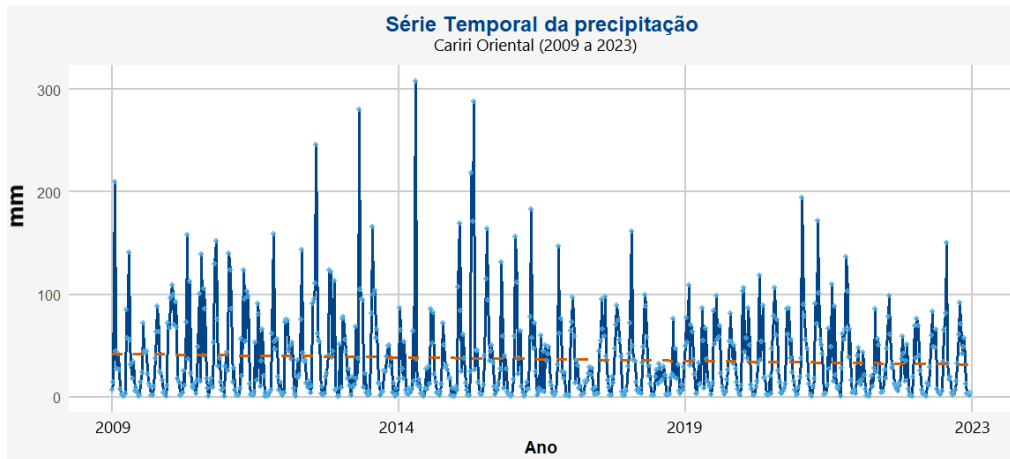


Fonte: Elaborado pelos autores, (2025).

A figura 2 apresenta a variação temporal da precipitação mensal no Cariri Oriental entre os anos de 2009 e 2023. Observa-se que o regime pluviométrico da região é marcado por uma elevada variabilidade interanual e intraanual, com períodos de chuvas intensas intercalados por longos intervalos secos. Em alguns anos, os picos de precipitação ultrapassam 200 mm, concentrando-se em poucos meses, enquanto a maioria dos registros se mantém abaixo de 100 mm. Essa oscilação revela a forte influência dos sistemas meteorológicos típicos do semiárido, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os vórtices ciclônicos de altos níveis, que determinam a irregularidade das chuvas. Nota-se também uma leve tendência de estabilização ou discreto aumento dos valores médios nos últimos anos, embora a dispersão dos dados indique ausência de padrão linear bem definido. Essa instabilidade pluviométrica é uma característica marcante da região, reforçando a necessidade de análises contínuas para compreender possíveis mudanças associadas à variabilidade climática. A análise de séries temporal foram, desenvolvidas com base na abordagem de Almeida (2017), cuja metodologia reforça o uso de modelos gráficos e estatísticos para compreender tendências climáticas e padrões de variabilidade interanual.



Figura 2: Gráfico de séries temporal da precipitação no cariri oriental entre os anos de 2009 a 2023.



Fonte: Elaborado pelos autores, (2025).

5) Referências (formato ABNT)

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. *WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas*. International Journal of Climatology, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 2017. DOI: 10.1002/joc.5086.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Malhas territoriais e limites municipais*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>.

ALMEIDA, Bruna Griebeler de. *Modelos para previsão em séries temporais: uma aplicação para a taxa de desemprego na Região Metropolitana de Porto Alegre*. 2017. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Estatística) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Matemática, Departamento de Estatística, Porto Alegre, 2017.

ORNELAS, Adílio Rodrigues. *Aplicação de métodos de análise espacial na gestão dos resíduos sólidos urbanos*. 2018. 101 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2018.

LIMA, R. P.; ARAÚJO, L. R. *Tendências pluviométricas e variabilidade climática no semiárido paraibano*. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 3, p. 812–828, 2022.

OLIVEIRA, J. C.; MENDES, P. A.; SILVA, T. L. *Aplicação de dados raster em estudos climáticos regionais*. Revista de Geoinformação, v. 9, n. 2, p. 45–59, 2020.
PEBESMA, E.; BIVAND, R. *sp: Classes and Methods for Spatial Data*. R package version 2.1-3, 2023. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=sp>.

SANTOS, F. M.; BARBOSA, D. M.; LUCENA, A. R. *Análise espacial de precipitação no semiárido nordestino: uma abordagem com dados do WorldClim*. Revista Brasileira de Climatologia, v. 17, n. 2, p. 233–247, 2021.

SILVA, A. N.; MOURA, F. C.; PEREIRA, R. S. *Análise temporal da precipitação e tendências climáticas no Nordeste do Brasil*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, n. 1, p. 101–112, 2020.

TENNEKES, M. *tmap: Thematic Maps in R*. Journal of Statistical Software, v. 84, n. 6, p. 1–39, 2018. DOI: 10.18637/jss.v084.i06.

WICKHAM, H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. New York: Springer-Verlag, 2016.

SIEVERT, C. *Interactive Web-Based Data Visualization with R, plotly, and shiny*. Boca Raton: CRC Press, 2020.

ALVALÁ, R. C. S. et al. *Vulnerabilidade do Semiárido brasileiro às mudanças climáticas*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 34, n. 4, p. 583–602, 2019. DOI: 10.1590/0102-7786334004.

CARVALHO, T. A.; LOPES, V. M.; SANTOS, E. F. *Gestão hídrica e vulnerabilidade socioambiental no Cariri Paraibano*. Revista GeoNordeste, v. 34, n. 1, p. 112–130, 2023.

IPCC. *Climate Change 2023: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2023. DOI: 10.1017/9781009157896.

LIMA, F. J. S.; ANDRADE, M. A. *Variabilidade da precipitação e implicações socioambientais no Cariri Paraibano*. Revista Brasileira de Climatologia, v. 20, n. 2, p. 251–269, 2022.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. *Mudanças climáticas no Brasil: vulnerabilidades, impactos e adaptação*. Estudos Avançados, v. 36, n. 104, p. 7–26, 2022. DOI: 10.1590/s0103-40142022361040002.

MEDEIROS, A. P.; GOMES, R. F. *Análise espacial de precipitação no Semiárido e estratégias de adaptação climática*. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 3, p. 690–708, 2022.

MOURA, F. C.; SILVA, A. N. *Padrões de variabilidade pluviométrica no estado da Paraíba: uma análise de tendências*. Revista de Geociências, v. 18, n. 2, p. 215–230, 2021.

NOBRE, C. A. et al. *Mudanças climáticas e o futuro do Semiárido brasileiro*. Parcerias Estratégicas, v. 24, n. 49, p. 31–56, 2019.

SILVA, J. R.; LUCENA, L. R. *Vulnerabilidade climática e recursos hídricos no Semiárido Nordeste*. Revista Brasileira de Climatologia, v. 17, n. 1, p. 233–248, 2021.

SOUZA, R. M.; REBOITA, M. S. *Climatologia e variabilidade da precipitação no Semiárido brasileiro*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, n. 2, p. 245–263, 2020.

TORRES, R. A.; MENDONÇA, F. A.; ARAÚJO, P. R. *Degradação ambiental e mudanças climáticas no Nordeste brasileiro*. Revista de Desenvolvimento Regional, v. 27, n. 1, p. 175–194, 2022.