ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DE PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA A PARTIR DE BASE DE DADOS ESPACIALIZADA EM ALTA RESOLUÇÃO

Fernando Vítor Andrade Santos[1]*; Ronaldo Guilherme Santos Lima*[2]*; Vania Elisabete Schneider*[3] *& Ludmilson Abritta Mendes*[4]

Palavras-Chave – Análise de tendências, Mudanças climáticas.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas alteram o comportamento das variáveis hidroclimatológicas, favorecendo a ocorrência de eventos extremos e desastres climáticos em diferentes regiões do mundo (IPCC, 2022). Portanto, é imprescindível investigar essas variáveis, a fim de identificar padrões e tendências que as caracterizam (Lima *et al.*, 2026). Na porção semiárida do Nordeste Brasileiro (NEB), o déficit crônico de precipitação representa um desafio significativo, principalmente por se tratar da região semiárida mais densamente povoada do mundo (Marengo *et al*., 2011). Destaca-se que 81% das comunidades quilombolas do Brasil vivem nessa área, onde a população rural mais pobre é a mais afetada pelos eventos de seca (Da Silva; Bezerra, 2020). Nesse contexto, este estudo teve como objetivo analisar a evolução espaço-temporal da precipitação e de suas tendências no semiárido brasileiro.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo compreende os estados do Nordeste brasileiro, Minas Gerais e Espírito Santo, conforme a Figura 1, totalizando 2.190.588 km² e aproximadamente 79 milhões de habitantes (IBGE, 2022).

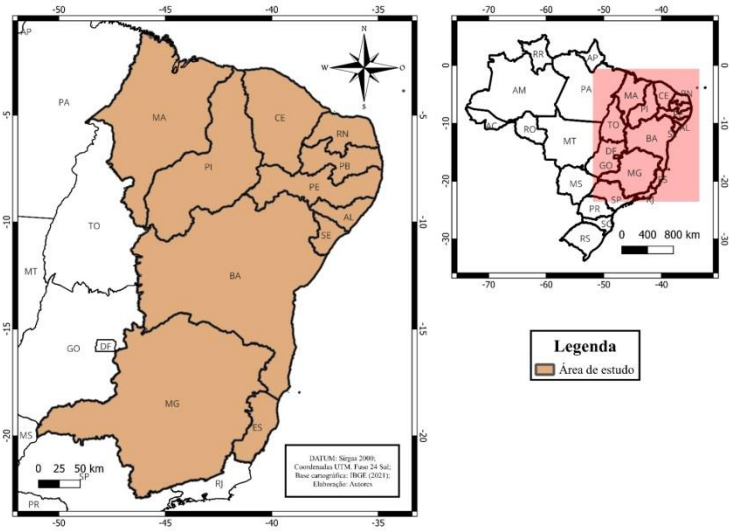


Figura 1: Área de estudo

[1] Instituto de Pesquisa sobre Desastres (IPD), Universidade Federal de Sergipe (UFS). E-mail: fvitor.fva@gmail.com
[2] Instituto de Pesquisa sobre Desastres (IPD), Universidade Federal de Sergipe (UFS). E-mail: ronaldomuri424@gmail.com
[3] Instituto de Pesquisa sobre Desastres (IPD), Universidade Federal de Sergipe (UFS). E-mail: veschnei@ucs.br
[4] Instituto de Pesquisa sobre Desastres (IPD), Universidade Federal de Sergipe (UFS). E-mail: lamendes@academico.ufs.br

Obtenção dos dados

Utilizou-se a base de dados *Brazilian Daily Weather Gridded Data* (BR-DWGD), com resolução espacial de 0,1° x 0,1º, desenvolvida por Xavier *et al.* (2022), para obter as séries diárias de precipitação (P), com cobertura temporal de 1961 a 2020, sendo o Período 1 de 1961 a 1990 e o Período 2 de 1991 a 2020. Este trabalho foi desenvolvido a partir de uma rotina em ambiente de programação R (Posit Team, 2024), que utiliza um *shapefile* dos estados estudados elaborado no QGIS (QGIS, 2026), para extrair as informações da base de dados. Ainda no R, foi calculada a média anual de P (mm).

Análise estatística das series temporais

As análises estatísticas foram realizadas no ambiente de programação R. Inicialmente, a série de precipitação anual completa, 1961 a 2020, disponibilizada por Xavier *et al.* (2022), foi submetida aos testes de aleatoriedade, homogeneidade e independência (Pohlert, 2020) e estacionariedade (Trapletti; Hornik; Lebaron, 2020), com o objetivo de verificar sua adequação à aplicação do teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), amplamente empregado na detecção de tendências em variáveis climatológicas e hidrológicas (Mahapara; Hamid; Samanaray, 2025; Souza *et al*., 2025; Todote *et al*., 2025, Lima *et al*., 2026).
Após a verificação da presença de autocorrelação serial na série de P, foi aplicado o teste de Mann-Kendall Modificado (MMK), (Hamed; Rao, 1998). As áreas que apresentaram tendências estatisticamente significativas foram destacadas e classificadas de acordo com os valores do coeficiente τ de Mann-Kendall, em que valores próximos de 1 indicam tendências crescentes mais intensas, enquanto valores próximos de -1 representam tendências decrescentes mais pronunciadas (Sen, 1968; Naghettini; Pinto, 2007).

RESULTADOS

Entre 1961 e 1990, as áreas que apresentaram precipitação anual total menor que 600 mm se localizavam predominantemente no norte da Bahia, sul de Pernambuco, leste do Piauí e na região central da Paraíba e do Rio Grande do Norte, bem como de forma pontual em Alagoas, Ceará e Sergipe, Alagoas e, em especial, o Ceará, que tinham pequenas áreas com P < 600 mm no período 1, apresentaram aumento significativo no período 2. Neste mesmo intervalo, mais de 60% do território de Pernambuco apresentou índice pluviométrico anual inferior a 600 mm (Figura 2A).

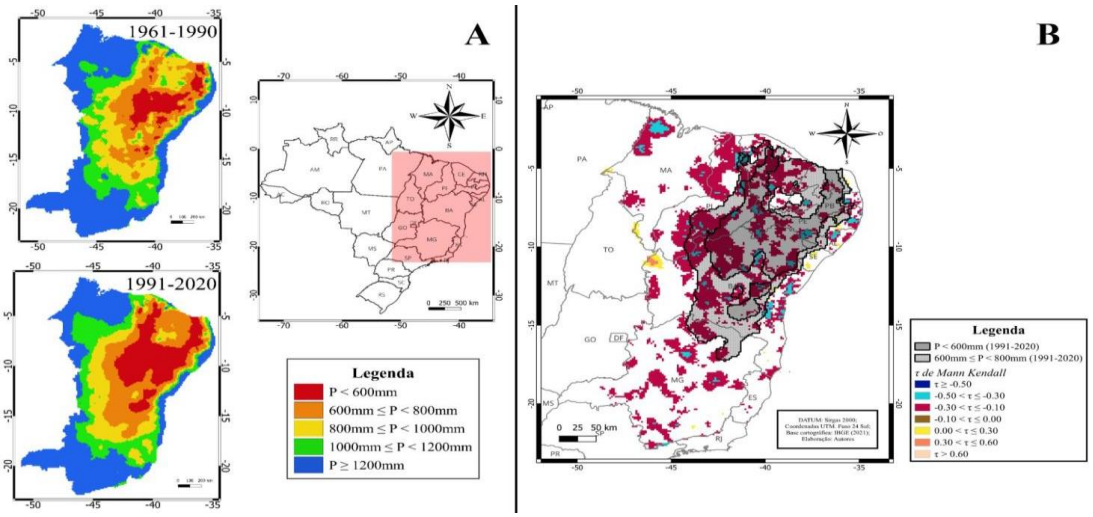


Figura 2: (A) Evolução temporal de P; (B) Análise estatística.

As regiões com P entre 600 e 800 mm registraram crescimento, com mudança na distribuição espacial das classes de precipitação, como demonstra a Tabela 1. Os pixels, que no período 1 apresentaram valores de precipitação mais elevados, estão apresentando valores menores. Esse padrão evidencia um deslocamento ou redistribuição da precipitação anual ao longo do tempo.

Tabela 1: Evolução da precipitação na área de estudo.

Precipitação (mm)		≤ 600	600-800	800-1000	1000-1200	≥ 1200
% da área total	Período 1	7,30	16,74	19,27	17,53	39,10
	Período 2	15,67	19,49	15,43	17,08	32,40

Fonte: Desenvolvida pelos autores.

No litoral leste da área de estudo, a região com precipitação média anual superior a 1200 mm vem reduzindo sua extensão ao longo do tempo. Da Silva *et al*. (2021) relatam comportamento semelhante em Alagoas, atribuído pelos autores à influência de sistemas atmosféricos de grande escala, especialmente o dipolo do Oceano Atlântico e El Niño Oscilação Sul (ENSO).

Quanto às tendências (Figura 2B), destaca-se a difusão da tendência negativa da precipitação por toda a região. A situação é mais preocupante no Piauí e no Ceará, com mais de 60% de seus territórios em redução. Notou-se acréscimo de chuva apenas em pequenos núcleos no oeste do Maranhão, noroeste da Bahia e leste de Sergipe, Alagoas, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

Shimizu, Anochi e Kayano (2022) observaram essa tendência de redução de precipitação no NEB e tendência de intensificação do ciclo hidrológico no norte da região, aumentando a possibilidade de eventos de cheias e secas, isso pode estar associado ao aumento da circulação Hadley, a qual inibe a formação de nuvens nessa região, reduzindo a precipitação. Os autores complementam que a maior parte das mudanças observadas na precipitação nas bacias é atribuída à variabilidade natural do sistema climático, a Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO) e ao ENSO . Os autores, porém, não descartam a influência dos fatores antropogênicos, especialmente o aumento de gases de efeito estufa, que, provavelmente, estão relacionados às tendências negativas de precipitação.

A área com precipitação inferior a 600 mm no período 2, sobreposta ao mapa das tendências das séries de precipitação, demonstra a expansão dessa abrangência nas regiões da Bahia, Piauí e Ceará. Da mesma forma, ao sobrepor a área com precipitação entre 600 e 800 mm no período 2, observou-se o crescimento dessa abrangência no norte do Ceará, leste e sudeste do Piauí, noroeste e leste da Bahia e norte de Minas Gerais. Considerando-se que um dos critérios da SUDENE para identificação de semiaridez é precipitação anual inferior a 800 mm (LIMA *et al.*, 2025), observa-se uma expansão de 46% das áreas nessa situação, que no período 2 envolvia 35% de toda a região.

CONCLUSÕES

Entre 1961-1990 e 1991-2020, observou-se expansão das áreas com precipitação inferior a 800 mm, indicando redistribuição espacial da precipitação na área de estudo. Já as tendências foram predominantemente negativas, destacando-se Piauí e Ceará como os estados com maior redução da precipitação. A sobreposição entre os mapas de precipitação e de tendências indica potencial expansão das áreas mais secas, especialmente na Bahia, Piauí e Ceará. Esse cenário de expansão das áreas com precipitação inferior a 800 mm, coincidindo com as regiões de redução mais intensa, indica avanço da semiaridez, associada a sistemas de grande escala e possível influência antrópica.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022). Cidades e Estados: Alagoas. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al/.

DA SILVA, D. F.; SOUZA NETO, P. F.; SILVA, S. D.; et al. (2021). "Identificação das causas climáticas dos eventos extremos e dos impactos dos ENOS Canônico e Modoki nas macrorregiões de Alagoas". Revista Brasileira de Geofísica, v. 14, n. 4, p. 1880-1897.

DA SILVA, F. E. L.; BEZERRA, J. A. (2020). "Região e Território: um breve olhar sobre a nova delimitação do Semiárido brasileiro". Revista Homem, Espaço e Tempo, v. 14, n. 2, p. 66-82.

HAMED, K. H.; RAO, A. R. (1998). "A modified Mann–Kendall trend test for autocorrelated data". Journal of Hydrology, v. 204, p. 182–196.

IPCC (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability: contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

KENDALL, M. G. (1975). Rank Correlation Methods. 4. ed. Charles Griffin, Londres.

LIMA, R. G. S.; SOUZA NETO, I. R.; ALMEIDA, A. Q.; SCHNEIDER, V. E.; MENDES, L. A. (2026). "Spatiotemporal Evolution of Hydroclimatic Variables in the Brazilian Semi-Arid Region Through the Aridity Index and Susceptibility to Desertification". International Journal of Climatology, v. 46, n. 5, p. 2351-2369.

LIMA, R. G. S.; SOUZA NETO, I. R.; SCHNEIDER, V. E.; MENDES, L. A. (2025). "Delimitação do Semiárido brasileiro: Avaliação dos critérios de inclusão municipal". Scientia Plena. v. 21, p.119912-1.

MANN, Henry B. Non-parametric tests against trend. Econometrica, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945.

MAPBIOMAS (2025). Projeto MapBiomas – Coleção 10 de Mapas Anuais de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. MapBiomas, São Paulo.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. (2011). "Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro", in Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas. Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. A. (2007). Hidrologia estatística. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, 552 p.

POHLERT, T. (2020). Trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R Package . POSIT TEAM (2024). RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC, Boston.

QGIS DEVELOPMENT TEAM (2026). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.

SEN, P. K. (1968). "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau". Journal of the American Statistical Association, v. 63, p. 1379–1389.

SHIMIZU, M. H.; ANOCHI, J. A.; KAYANO, M. T. (2022). "Precipitation patterns over northern Brazil basins: climatology, trends, and associated mechanisms". Theoretical and Applied Climatology, v. 147, p. 767-783

TRAPLETTI, A.; HORNIK, K.; LEBARON, B. (2020). Package "tseries" – Time Series Analysis and Computational Finance. R Package.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. (2022). "New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020)". International Journal of Climatology, p. 1-15.