

TENDÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E IMPACTOS SOBRE PROCESSOS EROSIVOS NO SERTÃO DOS INHAMUNS: INDEPENDÊNCIA, CEARÁ**JOSÉ BRENNO CARNEIRO DE LIMA¹; GABRIELA DOMINGOS LIMA² E GLÁUBER PONTES RODRIGUES³**¹ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará; Brasil, jbcarneiro@alu.ufc.br; <https://orcid.org/0000-0001-5895-7356>.² Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará; Brasil, gabrieladomingoslima@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9981-7226>.³ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará; Brasil, pontesglauber@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7427-6104>.**1 RESUMO**

O monitoramento das variáveis ambientais é importante para a compreensão dos processos naturais. Sob esta perspectiva, este estudo buscou avaliar a ocorrência de mudanças no padrão da precipitação pluviométrica e erosividade da chuva no semiárido brasileiro, onde foi aplicado o teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall. Os resultados indicam uma tendência de queda nos valores de precipitação e erosividade, entretanto, estatisticamente não significativa, apontando uma redução na precipitação de aproximadamente 8mm por década indicando um decréscimo médio de 80mm durante a janela temporal analisada (~100 anos). Dessa forma, conclui-se que houve uma sutil mudança no padrão de precipitação da região.

Keywords: Variação de precipitação, Erosão, Semiárido.**LIMA, J. B. C. DE; LIMA, G. D.; RODRIGUES, G. P.****RAINFALL TREND AND IMPACTS ON EROSION PROCESSES IN THE SERTÃO DOS INHAMUNS: THE CASE OF INDEPENDÊNCIA, CEARÁ****2 ABSTRACT**

Monitoring environmental variables is important for understanding natural processes. From this perspective, this study sought to assess the occurrence of changes in rainfall patterns and rain erosivity in the semiarid region of Brazil via the Mann–Kendall nonparametric statistical test. The results indicate a downward trend in rainfall and erosivity, although this trend is not statistically significant, indicating a reduction in rainfall of approximately 8 mm per decade and an average decrease of 80 mm over the time window analyzed (~100 years). Thus, it is concluded that there has been a subtle change in the region's precipitation pattern.

Keywords: Precipitation variability, Erosion, Semi-arid Climate

3 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é caracterizado pelo forte balanço hídrico negativo, pela ocorrência de chuvas irregulares e por longos períodos sem precipitação pluviométrica, tais características tornam a gestão de recurso hídricos uma tarefa desafiadora na região (Campos *et al.*, 2016; Araújo; Güntner; Bronstert, 2006). A precipitação pluviométrica, quando ocorre, desempenha papel fundamental sobre a hidrologia e na dinâmica ambiental, influenciando diretamente processos de escoamento superficial e na infiltração (Costa *et al.*, 2016).

No entanto, essa mesma precipitação, quando concentrada em eventos intensos, está intimamente relacionada com a erosão do solo, fenômeno que afeta significativamente a capacidade de suporte da terra, a produtividade agrícola e a manutenção dos recursos naturais (Simplício *et al.*, 2021). Logo, percebe-se que a importância da chuva no semiárido cearense não se restringe, apenas, à recarga hídrica.

Eventos de precipitação intensos, por exemplo, podem causar severo escoamento superficial, uma vez que o processo de escoamento na região é predominantemente hortoniano (Lima *et al.* 2022; Figueiredo *et al.*, 2016), que, combinado à frágil cobertura vegetal, resulta na desagregação das partículas e consequentemente um incremento na erosão do solo. Essa realidade é agravada pelos cenários de mudanças climáticas, nos quais se espera uma maior

frequência de acontecimentos de eventos extremos, como chuvas torrenciais, que podem alterar de forma drástica os padrões de precipitação e modificar os processos erosivos na região (Figueiredo *et al.*, 2016; Alencar; Araújo; Teixeira, 2020). Logo, torna-se relevante estudar mudanças nos padrões de precipitação e sua relação com a erosão em áreas particularmente vulneráveis, como a região semiárida do Brasil.

Nesse contexto, foi realizado um estudo com objetivo de avaliar a ocorrência de mudanças no padrão da precipitação pluviométrica no município de Independência, no Estado do Ceará, inserida na sub-região dos Inhamuns, com mais de cem anos de dados de chuva.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido para o município de Independência, inserido na Bacia Hidrográfica dos Sertões de Crateús (Figura 1). A bacia tem área de aproximadamente 10.700 km², com precipitação média anual de 740 mm, evaporação potencial de 3.350 mm.ano⁻¹ (INMET, 2024) e está totalmente inserida em região semiárida. Os dados de precipitação utilizados são provenientes de duas estações meteorológicas, cujas características estão descritas na Tabela 1.

Figura 1. Localização das estações pluviométricas utilizadas no estudo e Região Hidrográfica dos Sertões de Crateús

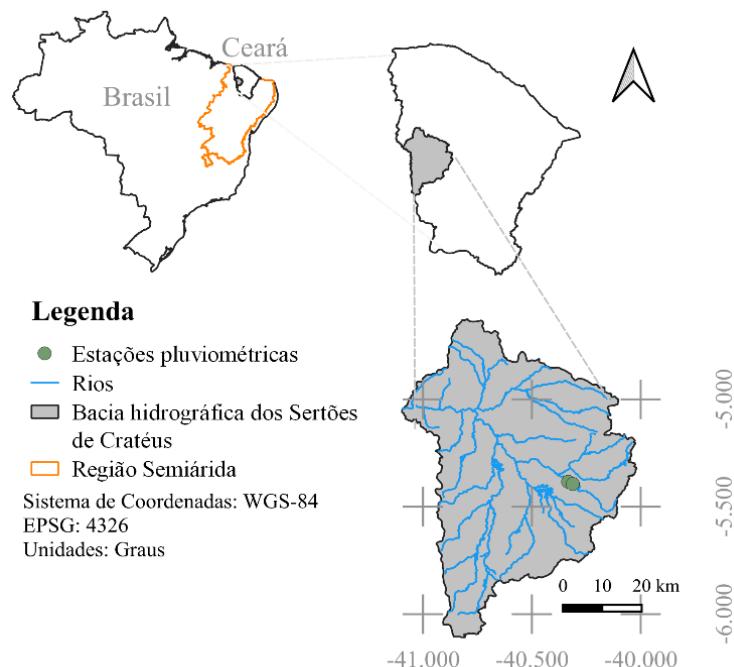


Tabela 1. Dados das estações meteorológicas utilizadas

Código	Município	Operadora	Período de registro	Latitude	Longitude
540016	Independência	DNOCS	10/1910 a 11/1985	-5.3833	-40.3333
540019		FUNCME	03/1964 a 04/2024	-5.3936	-40.3128

Devido à relativa proximidade de ambas (3km) e às características edafoclimáticas uniformes, os dados da estação 540016 (interrompidos em 1985) foram preenchidos com os da 540019 (presentes até 2024).

Os dados utilizados neste estudo abrangem o período de 1911 a 2023, provenientes de duas estações pluviométricas. Optou-se por excluir os dados de 2024 devido à presença de falhas significativas durante a estação chuvosa. 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, totalizando 111 anos.

4.2 Análise de tendência

A análise de tendência foi conduzida utilizando o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Kendall, 1948; Mann, 1945), que é um método estatístico recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) para avaliar a ocorrência de tendências em séries temporais de variáveis hidrometeorológicas. Para determinar a significância dos resultados, foi adotado um nível de significância de 5% ($p < 0.05$), ou seja, apenas tendências com probabilidade inferior a 5% de terem ocorrido foram consideradas estatisticamente significativas. Complementarmente, foi estimada a

magnitude da variação ao longo do tempo (taxa de variação) aplicando o método de Sen (Sen, 1968), que consiste na determinação do coeficiente angular após o ajuste de uma regressão linear não paramétrica.

4.3 Erosividade

Na Equação Universal de Perda de Solos (USLE), R é o fator de erosividade da chuva ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$), e neste trabalho foi calculado a partir da Equação 1, desenvolvida por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992). Para o cálculo da erosividade da chuva anual, deve-se somar os valores calculados para cada mês (Equação 2).

Tabela 2. Classificação da Erosividade da Chuva

Erosividade	Classe
$R \geq 1250$	Alta
$800 < R < 1.250$	Média
$R \leq 800$	Baixa

Fonte: International Soil Reference and Information Center (1996)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados não indicaram mudanças significativas no padrão da precipitação pluviométrica ao longo do período analisado. O teste de Mann-Kendall sugeriu possível tendência de diminuição nos valores de precipitação ($z = -1.149$), mas a magnitude dessa variação foi pequena, o

$$R_m = 68,73 \left(\frac{P_m^2}{P_a} \right)^{0,841} \quad (1)$$

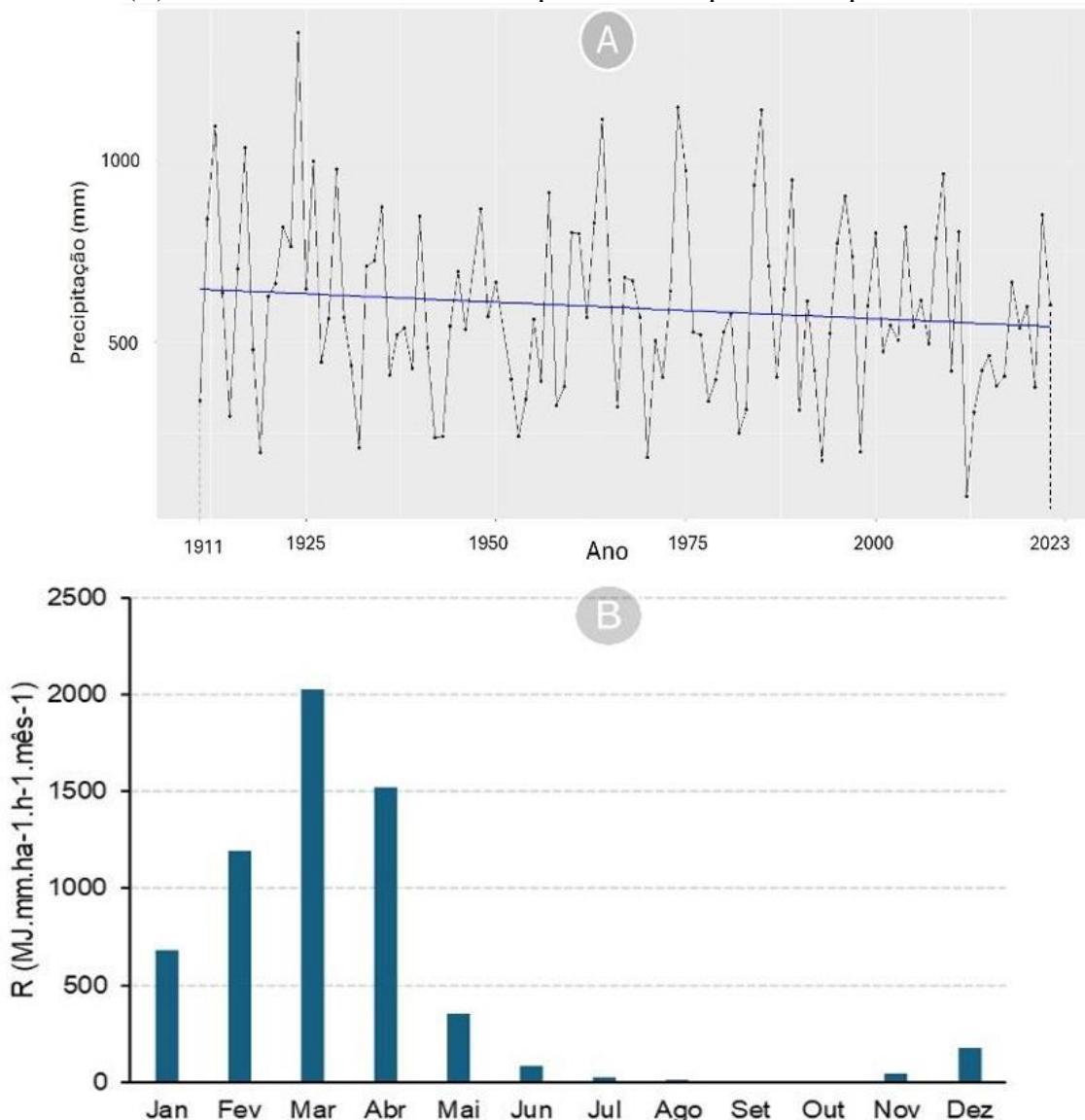
$$R = \sum_{n=1}^{12} R_m \quad (2)$$

Em que: R_m = média mensal da erosão em $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.mês^{-1}$; P_m = precipitação média mensal em mm; P_a = precipitação anual total em mm.

A classificação dos dados seguiu os critérios propostos pelo International Soil Reference and Information Center conforme apresentado na Tabela 2.

que revela uma tendência fraca. O p-valor obtido (0.25) reforça a ausência de uma tendência estatisticamente significativa. No entanto, o cálculo da inclinação de Sen (1968) apontou uma leve redução na precipitação ao longo do tempo ($\sim 8 \text{ mm.década}^{-1}$), embora esse declínio não seja expressivo.

Figura 2. (A)Tendência de precipitação anual para o município de Independência; (B)Erosividade mensal estimada para o município de Independência



Este resultado corrobora o obtido por Soares *et al.* (2024), que observaram tendência de queda da precipitação pluviométrica durante a estação chuvosa em bacia semiárida, entretanto, não significativo (*p*-valor: 0.58), apesar disso, os autores observaram que há uma tendência de uma estação seca e chuvosa mais longa.

Na Figura 2b é possível observar a erosividade média mensal obtida, onde é considerada alta para os meses de março e abril (ISRIC, 1996), meses considerados de alta precipitação em diferentes bacias no Estado (Alencar; Araújo; Teixeira, 2020;

Medeiros; Araújo, 2014). As chuvas intensas em intervalos de tempo curtos apresentam alto poder erosivo, mesmo havendo baixa precipitação anual (Medeiros; Araújo, 2014). Com isso, não há garantia de que a redução da precipitação anual (mesmo que estatisticamente não significativo) tenha menor poder erosivo.

Nesta pesquisa a erosividade média anual foi de aproximadamente 6.114 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹, valor comum em algumas bacias do Estado (Araújo, 2003). A alta erosividade da chuva está associada à alta degradação do solo, possibilitando a criação

de voçorocas (Alencar; de Araújo; Teixeira, 2020) e até mesmo áreas desérticas (Simplício *et al.*, 2021). O material erodido normalmente tende a depositar-se nos fundos dos vales locais, onde normalmente são implantadas as barragens dos açudes. Logo, a erosão impacta diretamente no assoreamento dos reservatórios e consequentemente na disponibilidade hídrica (Araújo, 2003; Araújo; Guntner; Bronstert, 2006).

Embora os resultados indiquem uma tendência estatisticamente não significativa de queda na precipitação ao longo dos anos, esses achados podem alertar para a necessidade de um monitoramento contínuo das chuvas, fornecendo subsídios valiosos para a formulação de estratégias que visem a conservação do solo e a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

6 CONCLUSÃO

Embora as tendências de queda na precipitação e na erosividade da chuva não sejam estatisticamente significativas, a redução média de 80 mm em 100 anos aponta para possíveis alterações sutis no padrão climático da região. Apesar de os dados não sejam conclusivos, tais achados podem servir como um alerta para reforçar o monitoramento contínuo e estimular mais estudos para avaliar possíveis impactos de longo prazo nas dinâmicas hidrológicas e na gestão de recursos hídricos da região.

7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

8 REFERÊNCIAS

- ALENCAR, P. H. L.; ARAÚJO, J. C.; TEIXEIRA, S. A. Physically-based model for gully simulation: application to the Brazilian Semiarid Region. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, Göttingen, v. 2019, n. 1, p. 1-26, 2020.
- ARAÚJO, J. C. Assoreamento em Reservatórios do Semi-árido: Modelagem e Validação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 39-56, 2003.
- ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 51, n. 1, p. 157-170, 2006.
- CAMPOS, J. N. B.; LIMA NETO, I. E.; STUDART, T. M. C.; NASCIMENTO, L. S. V. Trade-off between reservoir yield and evaporation losses as a function of lake morphology in semi-arid Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, São Paulo, v. 88, n. 2, p. 1113-1125, 2016.
- COSTA, C. A. G.; ARAÚJO, J. C.; LOPES, J. W. B.; PINHEIRO, E. A. R. Permanence of water effectiveness in the root zone of the Caatinga biome. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 3, p. 692-699, 2016.
- FIGUEIREDO, J. V.; ARAÚJO, J. C.; MEDEIROS, P. H. A.; COSTA, A. C. Runoff initiation in a preserved semiarid Caatinga small watershed, Northeastern Brazil. **Hydrological Processes**, Hoboken, v. 30, n. 13, p. 2390-2400, 2016.
- INMET. **Normais climatológicas do Brasil**. Brasília, DF: Inmet, 2024. Disponível em:

<https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 13 out. 2024.

ISRIC. Global assessment of land vulnerability to water erosion on a $\frac{1}{2}^{\circ}$ by $\frac{1}{2}^{\circ}$ grid. Wageningen: World Soil Information, 1996. (Working Paper, 96/08). Disponível em: https://www.isric.org/sites/default/files/isric_report_1996_08.pdf. Acesso em: 22 out. 2024.

KENDALL, M. Rank correlation methods. Oxford: Griffin, 1948.

LIMA, G. D.; LIMA, T. B. R.; SOARES, N. S.; ARAÚJO, J. C. Modelling intermittence and river flow in the semi-arid region of Brazil: The Umbuzeiro River, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 53, p. 1-13, 2022.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196. 1992.

MANN, H. B. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, Cambridge, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945.

MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C. Temporal variability of rainfall in a semiarid environment in Brazil and its effect on sediment transport processes. **Journal of Soils and Sediments**, Heidelberg, v. 14, p. 1216-1223, 2014.

SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968.

SIMPLÍCIO, A. A. F.; COSTA, C. A.; NAVARRO-HEVIA, J.; ARAÚJO, J. C. Erosion at hillslope and micro-basin scales in the Gilbués desertification region, Northeastern Brazil. **Land Degradation & Development**, Hoboken, v. 32, n. 3, p. 1487-1499, 2021.

SOARES, N. S.; COSTA, C. A. G.; LIMA, J. B. C.; FRANCKE, T.; ARAÚJO, J. C. Method for identification of hydrological seasons in the semi-arid Caatinga Biome, Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, Wallingford, v. 69, n. 3, p. 309-320, 2024.