





ANÁLISE DE ÍNDICES DE PRECIPITAÇÃO UTILIZANDO DADOS BR-DWGD NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TERRA NOVA, PERNAMBUCO

*Analysis of precipitation indexes using BR-DWGD data in
Terra Nova watershed, Pernambuco*

*Análisis de índices de precipitación a partir de datos BR-
DWGD de la cuenca hidrográfica Terra Nova, Pernambuco*

Juarez Antônio da Silva Júnior  

Universidade Federal de Pernambuco

juarez.silvajunior@ufpe.br

Resumo: Este estudo investigou a variabilidade temporal dos índices de precipitação na bacia hidrográfica do Rio Terra Nova, localizada no estado de Pernambuco, utilizando diferentes índices climáticos de precipitação. Foram analisados o Índice de Concentração de Precipitação (PCI), Índice de Anomalia de Precipitação (RAI), Índice de Intensidade Simples Diária (SDII), além de índices absolutos como R0 mm, R0,1 mm e R50 mm, e o teste de Mann-Kendall. Os dados empregados consistem em séries históricas de precipitações diárias provenientes do produto Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD), abrangendo o período de 1961 a 2022. A análise revelou que a bacia apresentou um PCI médio de 21 e um RAI médio de -0,14, sugerindo um padrão de seca persistente, e irregularidade na distribuição das chuvas. Foi constatada uma média anual de 127 dias sem precipitação, com apenas sete anos registrando chuvas diárias superiores a 50 mm. O SDII médio foi de cerca de 6 mm/dia, valor considerado um dos mais baixos do Brasil, segundo estudos anteriores. O teste de Mann-Kendall foi aplicado com bom rendimento para identificar tendências, embora não tenham sido detectadas tendências estatisticamente significativas nos índices e nas precipitações em diferentes escalas. Este estudo mostrou a capacidade do uso de dados BR-DWGD em descrever detalhadamente a metodologia utilizada para avaliar o regime de chuvas em bacias hidrográficas, oferecendo uma visão clara dos padrões hidrológicos de forma rápida, sendo uma ferramenta útil para a gestão de recursos hídricos.

Palavras-chave: Eventos extremos. Mudanças climáticas. Índice de Anomalia da Chuva.

Abstract: This study investigated the temporal variability of precipitation indices in the Terra Nova River basin, located in the state of Pernambuco, using different climatic precipitation indices. The Precipitation Concentration Index (PCI), Precipitation Anomaly Index (RAI), Simple Daily Intensity Index (SDII), as well as absolute indices such as R0 mm, R0.1 mm and R50 mm, and the Mann-Kendall test

were analyzed. The data used consist of historical series of daily precipitation from the Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD) product, covering the period from 1961 to 2022. The analysis revealed that the basin presented an average PCI of 21 and an average RAI of -0.14, suggesting a persistent drought pattern and irregularity in rainfall distribution. An annual average of 127 days without precipitation was observed, with only seven years recording daily rainfall above 50 mm. The average SDII was approximately 6 mm/day, a value considered one of the lowest in Brazil, according to previous studies. The Mann-Kendall test was applied with good performance to identify trends, although no statistically significant trends were detected in the indices and precipitation at different scales. This study demonstrated the ability of using BR-DWGD data to describe in detail the methodology used to assess the rainfall regime in river basins, offering a clear view of hydrological patterns quickly, being a useful tool for water resource management.

Keywords: Extreme events. Climate change. Rainfall Anomaly Index.

Resumen: Este estudio investigó la variabilidad temporal de los índices de precipitación en la cuenca del río Terra Nova, ubicada en el estado de Pernambuco, utilizando diferentes índices de precipitación climática. El Índice de Concentración de Precipitaciones (PCI), el Índice de Anomalía de Precipitaciones (RAI), el Índice de Intensidad Diaria Simple (SDII), además de índices absolutos como R0 mm, R0.1 mm y R50 mm, y el Mann-Kendall. Los datos utilizados consisten en series históricas de precipitación diaria del producto Brazil Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD), que cubre el período de 1961 a 2022. El análisis reveló que la cuenca tenía un PCI promedio de 21 y un RAI promedio de -0,14, lo que sugiere un patrón de sequía persistente y distribución irregular de las precipitaciones. Se encontró un promedio anual de 127 días sin precipitación, registrándose sólo siete años de precipitaciones diarias superiores a 50 mm. El SDII promedio rondaba los 6 mm/día, valor considerado uno de los más bajos de Brasil, según estudios anteriores. Se aplicó la prueba de Mann-Kendall con buen desempeño para identificar tendencias, aunque no se detectaron tendencias estadísticamente significativas en los índices y la precipitación a diferentes escalas. Este estudio demostró la capacidad de utilizar datos BR-DWGD para describir en detalle la metodología utilizada para evaluar el régimen de precipitaciones en las cuencas fluviales, ofreciendo una visión clara de los patrones hidrológicos rápidamente, siendo una herramienta útil para la gestión de los recursos hídricos.

Palabras clave: Eventos extremos. Cambio climático. Índice de Anomalía de Precipitaciones.

Submetido em: 09/01/2025

Aceito para publicação em: 21/09/2025

Publicado em: 17/01/2025

1. INTRODUÇÃO

O planejamento para a análise dos impactos adversos de eventos extremos em bacias hidrográficas brasileiras depende essencialmente de dados espaciais e climáticos, que podem ser obtidos por meio de monitoramento e previsões. Esses processos, em geral, podem ser baseados em índices climáticos, que fornecem informações quantitativas cruciais para auxiliar os tomadores de decisão sobre as características desses eventos (Jain et al. 2015).

A maioria dos regimes hidrológicos apresenta uma sazonalidade clara, e a mudança climática esperada pode modificar o regime de fluxo sazonal em diversas regiões por meio de diferentes mecanismos, como alterações no padrão espacial e temporal de precipitação e nas taxas de evaporação devido à temperatura. Assim, os estudos sobre os impactos regionais das mudanças climáticas na sazonalidade dos fluxos de água têm ganhado destaque, especialmente quando se utilizam projeções climáticas aplicadas a um conjunto de bacias hidrográficas (Eisner et al. 2017). Portanto, é fundamental investigar as mudanças climáticas nessas bacias para fornecer informações confiáveis, que auxiliem no planejamento de medidas de mitigação e adaptação.

Nas bacias do extremo norte da Bahia, pertencentes à Bacia do Rio São Francisco, fatores como o crescimento populacional, o aumento da demanda por água devido à expansão das áreas irrigadas, a Transposição do São Francisco e a ausência de políticas eficazes para o uso racional dos recursos hídricos representam desafios preocupantes. Além disso, as mudanças climáticas tendem a intensificar a ocorrência de eventos extremos de precipitação ao longo do século XXI (Souto, Beltrão e Teodoro, 2019). Para analisar tais eventos, a Organização Meteorológica Mundial, em parceria com a Comissão de Climatologia e a Equipe de Especialistas em Detecção de Mudanças Climáticas (OMM/CCI/ETCCDMI/CLIVAR), desenvolveram um conjunto de índices que servem como referência padronizada para estudos regionais do clima (Bezerra et al., 2018). Esses índices, amplamente adotados em diversas partes do mundo, têm sido especialmente relevantes no Nordeste brasileiro, com destaque para aqueles baseados em precipitação.

Para analisar eventos climáticos extremos, a Organização Meteorológica Mundial, em parceria com a Comissão de Climatologia e a Equipe de Especialistas em Detecção de Mudanças Climáticas (OMM/CCI/ETCCDMI/CLIVAR), desenvolveu um conjunto de índices que

servem como diretriz comum para a análise regional do clima (Bezerra et al., 2018). Esses índices, amplamente utilizados globalmente, têm se destacado no Nordeste brasileiro, especialmente aqueles relacionados à precipitação. Eles são fundamentais para compreender os aspectos hidrometeorológicos das bacias hidrográficas da região, que desempenham um papel essencial em atividades como abastecimento urbano, indústria, pesca, navegação, geração de energia hidrelétrica e irrigação. No semiárido nordestino, a alta variabilidade espacial e temporal do regime de chuvas, aliada à ocorrência de eventos hidrológicos extremos, representa uma ameaça significativa (Silva et al., 2022).

Os índices climáticos sintetizam grandes volumes de dados provenientes de diferentes unidades, como o Índice Simples de Precipitação Diária (SDII) (mm/dia), permitindo estimativas mais robustas sobre o comportamento climático de uma região. Isso facilita a compreensão das tendências climáticas e garante a implementação de ações mais eficientes, sendo essencial para a tomada de decisões informadas e para a preparação diante dos desafios trazidos pelas mudanças climáticas. Diversos estudos aplicam índices climáticos em diferentes métodos de análise. Por exemplo, Medeiros et al. (2022) utilizaram o SDII e o R20mm para avaliar o desempenho de um subconjunto de 40 Modelos do Sistema Terrestre (ESMs) do Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) na simulação de oito índices de precipitação extrema no Brasil (1981–2000), além de estimar projeções para o futuro médio (2046–2065) e distante (2081–2100) sob o pior cenário de cada geração do CMIP.

Outros estudos também exploraram diferentes índices climáticos: Talchabhadel et al. (2020) analisaram onze índices de precipitação a partir de dados diários de 24 estações meteorológicas na bacia do rio West Rapti, Nepal, para o período de 1986–2015 e projeções futuras (2025–2099) com base no CMIP. Shawul e Chakma (2020) investigaram a variabilidade climática de longo prazo na bacia do Alto Awash, Etiópia, utilizando índices como o PCI, o teste de tendência de Mann-Kendall (MK) e análises de mudanças climáticas extremas. Por sua vez, Cho et al. (2023) examinaram as tendências espaço-temporais de doze índices climáticos, incluindo SDII, precipitação total anual, e os períodos máximos consecutivos de dias secos (CDD) e chuvosos (CDW), na região de Chungcheong, Coreia do Sul, de 1973 a 2020.

Devido aos impactos causados pela irregularidade das chuvas nas bacias hidrográficas do Nordeste brasileiro, torna-se essencial investigar as tendências desses eventos críticos. Neste contexto, este estudo analisou a variabilidade espacial e temporal das precipitações na

bacia do Rio Terra Nova, situada parcialmente entre os estados da Bahia e Pernambuco, bem como a ocorrência de eventos extremos no período de 1961 a 2022. Para isso, foram utilizados dados do BR-DWGD e aplicados diversos índices climáticos, incluindo o Simple Daily Intensity Index (SDII), o Índice de Concentração de Precipitação (PCI) e o Índice de Anomalia Pluviométrica (RAI), além de índices baseados em limiares. As tendências foram avaliadas por meio do teste de Mann-Kendall.

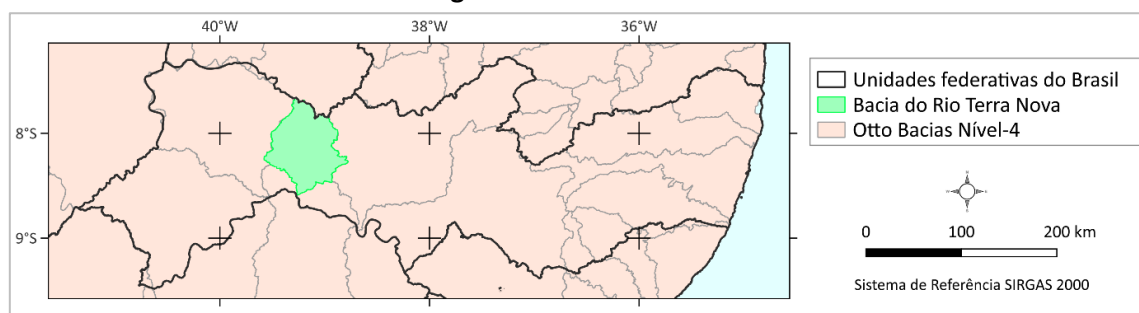
2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo e dados

Neste estudo, a análise das variações de precipitação foi realizada a partir de dados diários do produto BR-DWGD, um conjunto em grade georreferenciada com resolução espacial de $0,1^\circ$, obtido por interpolação espacial de observações provenientes de 11.473 pluviômetros e 1.252 estações meteorológicas. Essa base cobre todo o território brasileiro ao longo de 61 anos (1961–2022) (Xavier et al., 2022).

Para estimar a precipitação em toda a bacia hidrográfica (Figura 1), aplicou-se a técnica de estatística zonal com base na média global. O desempenho do BR-DWGD em estudos climáticos tem sido amplamente reconhecido: Alves et al. (2024) identificaram correlações consistentes com o banco de dados padrão, com menor ocorrência de tendências divergentes e caracterização precisa do perfil climático no leste da Amazônia; Raser et al. (2023) destacaram sua eficiência no preenchimento de lacunas e na geração de dados confiáveis para simulações de produtividade no cinturão citrícola brasileiro; e Santos, Justino e Rodrigues (2024) empregaram o BR-DWGD como referência em análises comparativas de produtos de precipitação baseados em satélites na Bacia do São Francisco.

Figura 1 -Área de estudo.



Fonte: Autor (2025).

A bacia do rio Terra Nova apresenta uma área de 4.887,71 km², que corresponde a 4,97% da área do Estado de Pernambuco. Esta bacia integra a Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO), que segue os padrões do Mapeamento Sistemático Brasileiro. Esse mapeamento estabelece os limites das bacias hidrográficas do país em diferentes níveis de escala, sendo utilizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para a gestão dos recursos hídricos. A BHO é elaborada a partir da cartografia digital da hidrografia do Brasil e organizada para fornecer informações hidrológicamente consistentes, baseadas na codificação de bacias proposta por Otto Pfafstetter (ANA, 2017).

O Nordeste brasileiro é marcado pela ocorrência de secas severas, especialmente no chamado Polígono das Secas, que abrange parte expressiva das bacias hidrográficas da região. Além da irregularidade das chuvas, estudos apontam uma redução nas vazões médias anuais dos rios, possivelmente relacionada ao decréscimo das precipitações (Ribeiro e Oliveira, 2019). Nessas áreas, a população depende, em grande parte, da agricultura de subsistência e da pecuária, atividades diretamente afetadas pela escassez hídrica. A falta de água, somada à fragilidade na gestão dos recursos hídricos, tem provocado conflitos pelo uso da água, principalmente pela sua distribuição desigual e disponibilidade limitada (Alves et al., 2022).

Nesse cenário, a captação e o armazenamento da água da chuva aparecem como alternativas viáveis para amenizar os impactos da escassez e reduzir as disputas pelo recurso (Ribeiro e Oliveira, 2019). Cabe destacar ainda que o núcleo de desertificação de Cabrobó se encontra parcialmente inserido nessa área, marcada não apenas pelas baixas precipitações, mas também por extremos climáticos, como alta radiação solar, evaporação intensa, temperaturas elevadas e baixa umidade relativa.

2.2. Índices de precipitação

O Índice de Concentração de Precipitação (PCI) é um indicador que avalia a distribuição temporal das chuvas ao longo do ano, refletindo a sazonalidade com base na variabilidade mensal da precipitação. Valores mais altos de PCI indicam uma distribuição mensal mais desigual das chuvas, permitindo a detecção de mudanças nos padrões climáticos em uma determinada região (Salameh et al. 2024). O PCI é definido pela seguinte equação:

$$(1) \quad \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} P_i)^2}$$

Onde P é a precipitação mensal no mês i. Segundo Oliver (1980), a distribuição uniforme da precipitação pluviométrica é indicada por valores menores ou iguais a 10, e à medida que esse valor aumenta, mais concentrada se torna a precipitação. Portanto, a concentração sazonal da precipitação pluviométrica é classificada conforme a Tabela 2.

Tabela 1- Classificação do PCI

PCI	Classe
PCI ≤10	Uniforme
10 < PCI <15	Moderadamente Sazonal
16 < PCI ≤20	Sazonal
PCI >20	Fortemente Sazonal

Fonte: Segundo Oliver (1980) Modificado.

O Índice de Anomalia de Chuva (RAI) foi desenvolvido por Rooy em 1965 e é calculado com base em dados mensais de precipitação (Rooy, 1965). Este índice de seca utiliza um procedimento de classificação para atribuir magnitudes às anomalias positivas e negativas de precipitação em séries temporais, permitindo analisar a frequência e intensidade de anos secos e chuvosos, além de identificar períodos de secas ou chuvas mais intensas e prolongadas (Silva et al. 2022). O cálculo do RAI é definido pelas seguintes equações:

$$(2) \quad RAI^+ = 3 \left| \frac{P - \Delta P}{M - \Delta P} \right|$$

$$(3) \quad RAI^- = -3 \left| \frac{P - \Delta P}{X - \Delta P} \right|$$

Onde P é a precipitação observada (mm) no ano em que o RAI será calculado, ΔP é a precipitação média anual da série histórica (mm), e M e X representam a média dos dez maiores e menores valores pluviométricos anuais da série histórica (mm), respectivamente. A partir dos valores encontrados, a precipitação pluviométrica pode ser classificada conforme a Tabela 2.

Tabela 2- Classificação do RAI

RAI	Classificação
$4 <$	Extremamente úmido
$2 - 4$	Muito úmido
$0 - 2$	úmido
$2 - 4$	Seco
$-4 - -2$	Muito seco
$-4 >$	Extremamente seco

Fonte: Rooy (1965) Modificado.

2.2.1. Limiar absoluto

Neste estudo, foram calculados os índices SDII, R0,1 mm, R50 mm e o número de dias sem chuva. O Índice de Intensidade de Precipitação Simples (SDII) mede a taxa média de precipitação em "dias úmidos", ou seja, quando a precipitação é igual ou superior a 1 mm, sendo expresso em mm/dia. O índice R0,1 mm corresponde à contagem anual de dias com precipitação diária entre 0,1 e 5 mm, enquanto o R50 mm refere-se à contagem anual de dias com precipitação diária superior a 50 mm. O R0,1 mm geralmente representa a medida mínima de chuva registrada, sendo um indicador de chuvas leves. Já o R50 mm reflete a precipitação acumulada em um período específico, indicando a ocorrência de chuvas significativas (Santos et al. 2022).

2.3. Teste de Mann-Kendall

A análise de tendência utilizando o Teste de Mann-Kendall foi aplicada para verificar a significância de tendências em séries temporais de dados de precipitação. Nesse teste, a hipótese nula pressupõe a ausência de uma tendência significativa nos dados, enquanto a

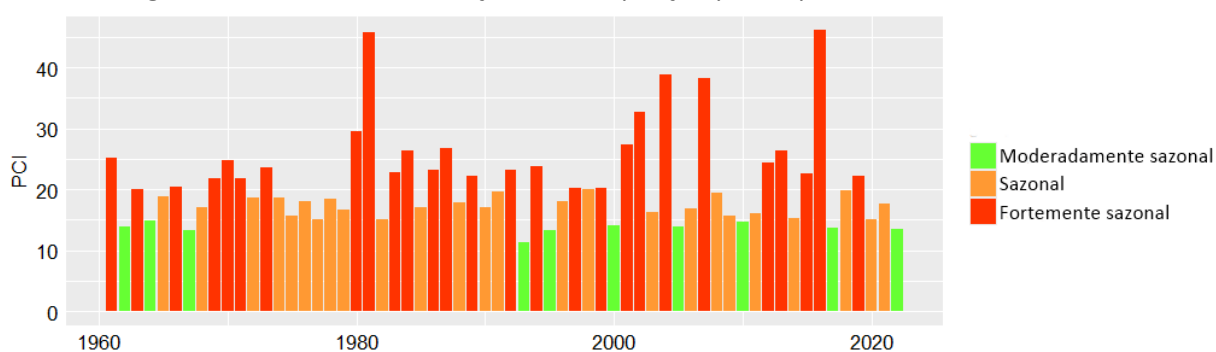
hipótese alternativa sugere o contrário. Uma tendência significativa nas precipitações é identificada quando a hipótese nula é rejeitada. O valor Z gerado pelo Teste de Mann-Kendall é uma estatística que reflete a direção da tendência ao longo do tempo. Adota-se um nível de significância de 0,05, e, no intervalo $-1,96 \leq Z \leq 1,96$, considera-se que não há tendência significativa, estando dentro da região de aceitação da hipótese nula. Valores de $Z < -1,96$ indicam uma tendência decrescente significativa, enquanto $Z > 1,96$ apontam para uma tendência crescente significativa, sendo Z uma estatística de teste normalizada (BAIG et al., 2021).

3. RESULTADOS

3.1. Índices de precipitação

A figura 2 ilustra a distribuição temporal do PCI na bacia do rio Terra Nova no período de 1961 a 2022. De modo geral, não é possível identificar anos com classes de "Sazonalidade uniforme" ($PCI < 10$), o que evidencia um padrão de baixa homogeneidade interanual no regime de chuvas. Isso é reforçado por um PCI médio de aproximadamente 21, o que indica uma instabilidade pluviométrica generalizada na região, com picos significativos de precipitação, como os que aparecem em torno de 1980 e 2020, intercalados por períodos com valores menores. A bacia hidrográfica analisada apresentou predominantemente padrões 'fortemente sazonais' e 'sazonais', com algumas variações em anos 'moderadamente sazonais'. Esse padrão sugere que, ao longo dos 61 anos, a precipitação foi, em grande parte, irregular, com períodos concentrados de chuvas intensas, intercalados com períodos de seca.

Figura 2 -Índice de Concentração de Precipitação para o período de 1961 a 2022.



Fonte: Autor (2025).

O padrão mais recorrente é a classe "fortemente sazonal", presente em 25 dos 62 anos analisados (cerca de 40%). Isso indica que, em grande parte do período, a precipitação foi altamente concentrada em determinados meses, com períodos de chuvas intensas intercalados com longos períodos de seca. A segunda categoria mais comum é "sazonal", ocorrendo em 22 anos (aproximadamente 35%). Essa classe reflete uma distribuição da chuva menos concentrada, mas ainda marcadamente sazonal. A classe "moderadamente sazonal" aparece em 15 anos (cerca de 25%), demonstrando uma distribuição de chuvas um pouco mais uniforme ao longo do ano, embora ainda com picos de precipitação. A partir de 1966 até o final da década de 1980, observa-se uma sequência significativa de anos com "fortemente sazonal", sugerindo um padrão mais seco e com chuvas concentradas. Isso também é evidente na primeira década dos anos 2000, quando essa classe aparece com frequência. Após 1990, houve uma alternância mais clara entre "sazonal" e "fortemente sazonal", com alguns anos "moderadamente sazonais". Isso sugere uma leve variação nos padrões de precipitação, com uma possível suavização das secas extremas e uma distribuição um pouco mais equilibrada em certos períodos.

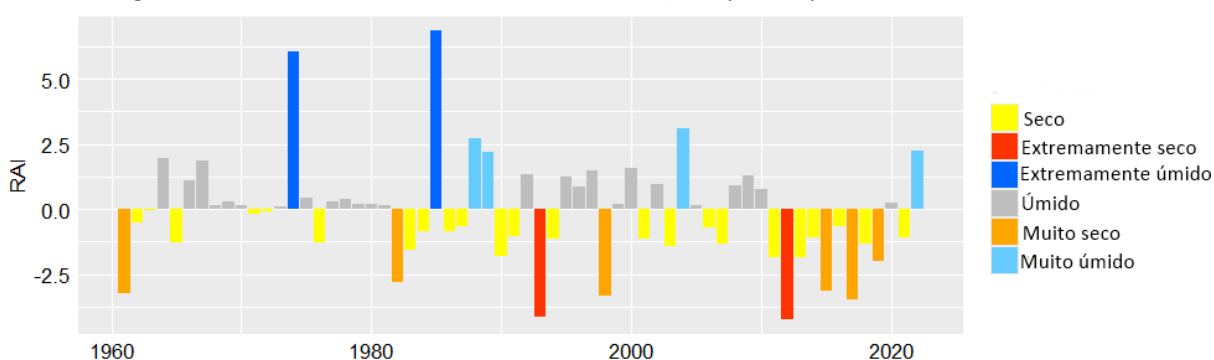
Esses resultados também foram observados por Silva et al. (2022), que relataram que a variabilidade espacial do clima exerce uma influência significativa no PCI médio de uma determinada região. Os autores sugerem que, no nordeste brasileiro, grande parte da precipitação anual ocorre em períodos curtos, o que pode provocar secas ou inundações, impactando os recursos hídricos e o abastecimento de água. Siqueira e Nery (2021) também encontraram altos valores de PCI em seus estudos, demonstrando que, nas bacias do interior do nordeste brasileiro, há uma concentração de precipitação em poucos dias ao longo do ano, o que resulta em uma alta porcentagem de precipitação anual e em uma maior sazonalidade na distribuição das chuvas.

Na distribuição do RAI apresentada na Figura 3, é possível observar uma grande variação nos valores ao longo da série. Nota-se que as classes "Seco" e "Úmido" se alternam na maioria dos anos, sendo "Úmido" registrado em 25 anos e "Seco" em 23 anos. Esse comportamento se reflete na média geral da região, que é de aproximadamente -0,14. Apesar de parecer um valor próximo de zero, o sinal negativo indica uma tendência predominante para condições mais secas no período analisado. Assim, mesmo com anos pontuais de

precipitação elevada, como 1974, 1985 e 2004, o balanço geral da série evidencia um padrão climático mais seco.

Nesse contexto, destacam-se ainda os anos de 1993 e 2012, que representaram períodos de seca severa. Alguns anos se destacam de forma mais evidente no gráfico: 1993 e 2012 aparecem em vermelho, representando períodos de seca severa, enquanto 1974, 1985 e 2004 são marcados por barras azuis, associadas a episódios de precipitação extrema. Assim, ainda que ocorram eventos pontuais de chuvas muito intensas, o balanço geral da série evidencia um padrão climático mais seco.

Figura 3 -Índice Anual de Anomalia de Chuvas (RAI) para o período de 1960 a 2020.



Fonte: Autor (2025).

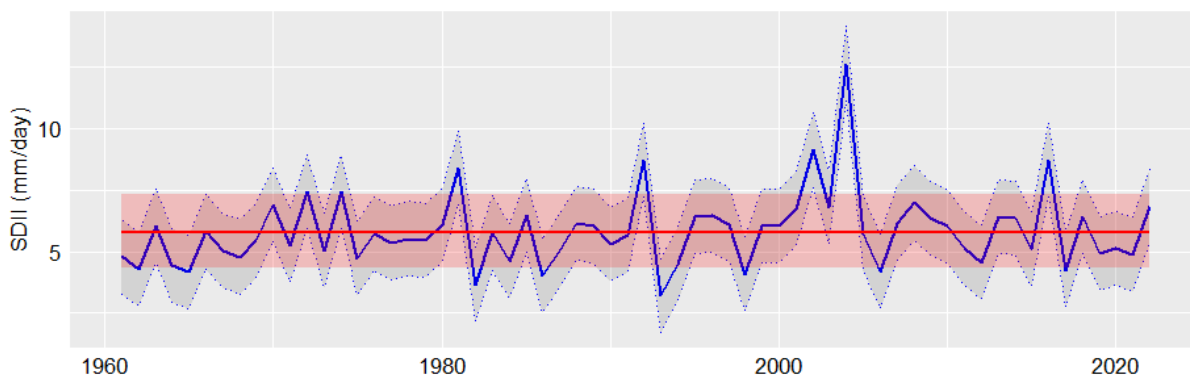
A década de 1960 foi relativamente equilibrada entre anos secos e úmidos, embora o período tenha terminado com uma sequência de anos úmidos. As décadas de 1980 e 1990 apresentam um padrão alternado de anos secos e úmidos, com destaque para os anos extremamente secos de 1993 e 2012. A partir de meados da década de 2010, houve uma forte tendência de condições muito secas, principalmente em 2015, 2017 e 2019, comportamento também observado por Bezerra et al. (2021), que observaram no semiárido pernambucano um intervalo de 18 anos na classificação seca ($RAI < 0$). As décadas de 1970 e o início da década de 1980 se destacam por terem tido muitos anos úmidos, com 1974 sendo marcado como extremamente úmido, por outro lado, houve outro período úmido de 1995 a 2000, com apenas um ano seco em 1998. Os anos de 2004 e 2022 também foram registrados como muito úmidos, enquanto 1988, 1989 e 2004 registraram condições de umidade extrema. Enquanto a década de 1960 até o início da década de 1980 foi dominada por uma tendência úmida, o

final do século XX e o início do século XXI mostram uma frequência maior de condições secas e muito secas, especialmente a partir de 2010.

No geral, há uma clara oscilação entre períodos secos e úmidos, com as últimas décadas exibindo classificações mais secas e muito secas. Observa-se também um padrão de anos extremamente secos nas décadas de 1990 e 2010 e anos frequentes de umidade nas décadas de 1970 e 1980. Esse comportamento está em consonância com Sousa et al. (2023), que relatam que o RAI demonstra uma clara redução na intensidade das anomalias ao longo do tempo, com destaque para o período de 2015 a 2021, quando os valores ficaram abaixo de -3 em uma bacia hidrográfica no nordeste do Brasil. Da mesma forma, Silva et al. (2022), ao analisarem o índice RAI, identificaram uma maior frequência de anomalias negativas em comparação às positivas, especialmente na última década (2010–2020), sugerindo uma possível mudança nos padrões de precipitação no nordeste brasileiro.

A figura 4 mostra a distribuição do SDII em azul de 1961 a 2022, bem como a média de $5,83 \pm 1,50$ em vermelho.

Figura 4 -Série temporal do SDII correspondentes aos dados de precipitação coletados no período entre 1960 e 2022.



Fonte: Autor (2025).

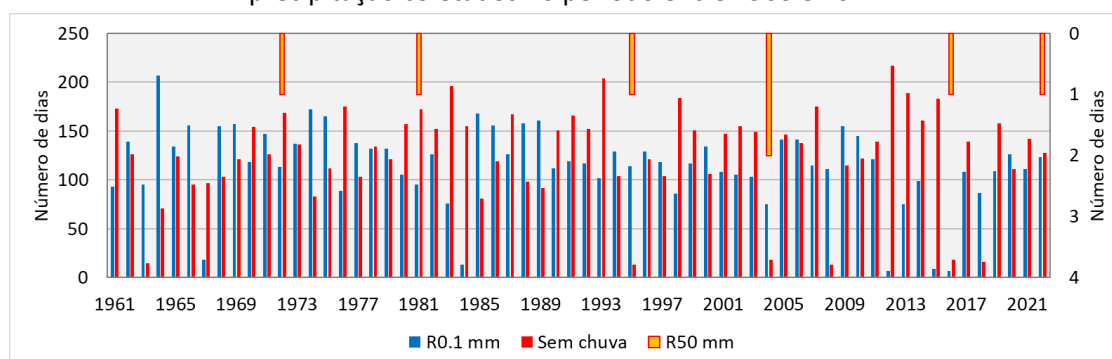
A figura 4 mostra que 2004 mostrou o maior valor de 12,63 mm/dia, indicando um ano excepcionalmente chuvoso enquanto em 1993 (3,21 mm/dia) foi o menor valor. Na década de 1980 e 1990 vários picos acima da média aparecem, como em 1981, 1985, 1988, e um novo aumento significativo em 1992 enquanto nos anos de 2000, o período apresenta variação considerável, mas com uma tendência a anos de alta intensidade, especialmente em 2004, 2002 e 2003. No longo prazo, observa-se um padrão cíclico, com anos de intensidade

mais baixa seguidos por períodos de alta precipitação. A irregularidade da precipitação na bacia é marcada por valores extremos de SDII com destaque para anos consecutivos tais foram: 1981 (8,38) e 1982 (3,65); 1992 (8,70) e 1993 (3,20); 2016 (8,69) e 2017 (4,25). Além disso, foram observados treze anos de outliers, sendo seis com baixos valores ($SDII < 4,30$). A tendência de SDII parece ter aumentado em anos recentes, especialmente na última década, com valores relativamente altos em 2016, 2018, e 2022.

Estudos anteriores confirmam que o Nordeste brasileiro apresenta o menor índice de SDII do país, corroborando os resultados deste estudo. Pesquisas de Luiz-Silva et al. (2021), Medeiros et al. (2022) e Santos et al. (2024), utilizando dados de pluviômetros terrestres, o *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP) e o GPM-IMERG, respectivamente, registraram valores de SDII abaixo de 8 para o Nordeste, enquanto em outras regiões do Brasil os valores foram ligeiramente mais elevados ($SDII > 10$).

Os dados mostram uma variação significativa no número de dias com precipitação entre 0.1 mm e 5 mm (R0.1mm) de 1961 a 2022 (Figura 5).

Figura 5 -Série temporal do R0,1mm, R50mm e dias sem chuvas correspondentes aos dados de precipitação coletados no período entre 1960 e 2022.



Fonte: Autor (2025).

Para o R0,1 mm, houve uma variação ao longo das décadas, com picos e quedas pronunciados em determinados anos. Anos como 1973 e 1981 tiveram uma alta frequência de dias com precipitação, com valores próximos a 170 e 160 dias, respectivamente. O ano de 1984 teve apenas 13 dias com precipitação acima de 0,1 mm, e os anos de 2012 (9 dias), 2015 (9 dias) e 2016 (7 dias) também registraram baixa frequência de R0,1 mm.

Baseado nas estimativas de R50mm, entre 1961 e 1971, não houve nenhum evento de precipitação acima de 50 mm. O primeiro registro foi em 1972, com apenas um evento.

Houve longos períodos sem eventos de R50mm, como de 1973 a 1980 e de 1983 a 1994, com a maioria dos anos sem qualquer registro de precipitação acima de 50 mm. Em 2004, houve um aumento significativo de eventos de R50mm em 2004, algo que não tinha ocorrido antes. Além disso, eventos isolados voltaram a ocorrer em 2016 e 2022. No geral, a bacia raramente experimenta dias com precipitação diária acima de 50 mm.

A frequência de dias sem chuva apresenta uma média de aproximadamente 134 dias ao longo dos últimos 62 anos. No entanto, há uma variação considerável entre os anos, com alguns períodos registrando valores significativamente acima ou abaixo dessa média. Os anos com maior número de dias sem chuvas incluem 1993 (204 dias), 2012 (217 dias). Em contraste, alguns anos registraram uma quantidade mínima de dias secos, como 1963 (15 dias) e 2004 (18 dias). Observa-se uma tendência de aumento gradual no número de dias sem chuva a partir da década de 1960. Nos anos de 1961 a 1980, os valores estão relativamente mais baixos, com média entre 70 e 150 dias. A partir da década de 1980, os períodos de seca mais prolongados tornam-se mais frequentes, com anos como 1983 (196 dias), 1993 (204 dias) e 2012 (217 dias) se destacando. O padrão geral indica flutuações intensas de um ano para outro. Em alguns casos, períodos extremamente secos foram seguidos por anos com muito menos dias sem chuvas, como em 2007 (175) e 2008 (13 dias); 2015 (183 dias) e 2016 (18 dias), sugerindo um padrão fortemente irregular do regime de chuvas, altamente irregular, marcado por alternâncias entre secas severas e períodos com precipitação mais frequente

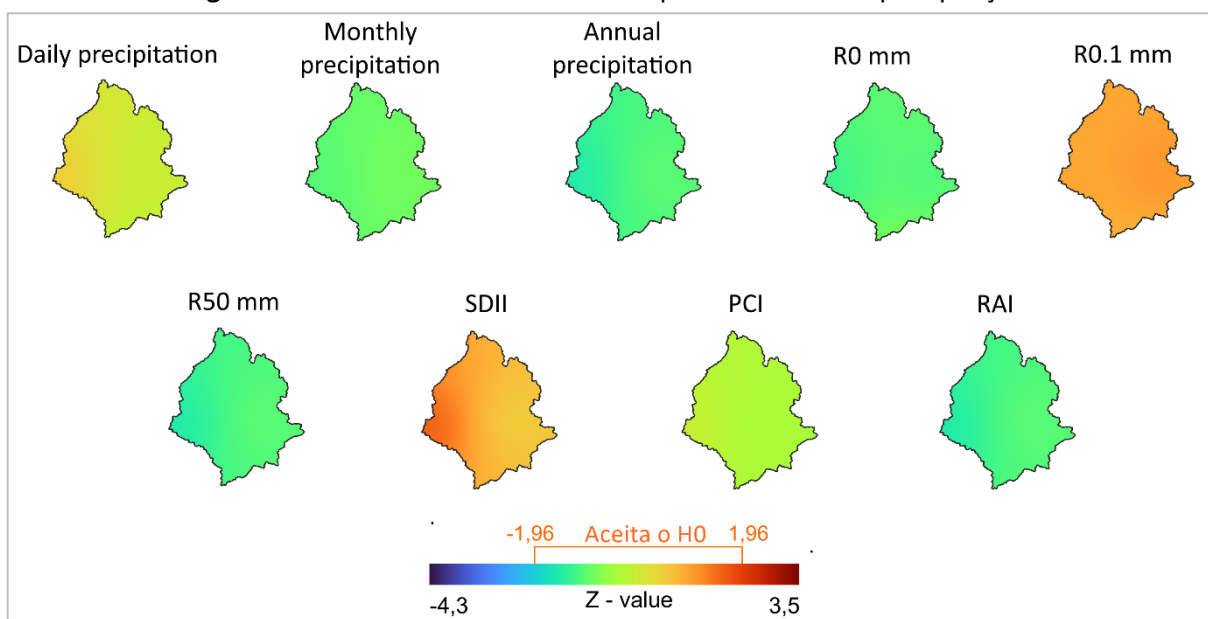
Esses resultados evidenciam a elevada variabilidade interanual da precipitação. Essa instabilidade torna-se clara ao observar que, ao longo de 61 anos, apenas em sete dias foram registradas precipitações diárias superiores a 50 mm. Tal comportamento pode ser explicado por diversos fatores, como as características da geografia local e a influência de fenômenos atmosféricos e oceânicos, que determinam o comportamento e a intensidade dos diferentes sistemas meteorológicos atuantes na região (Silva et al., 2022).

Dentre eles, destacam-se as fases positivas do El Niño e o Gradiente de Anomalia da TSM no Atlântico Tropical, que contribuem para a diminuição das chuvas no Nordeste. O El Niño provoca o aquecimento anômalo das águas do Oceano Pacífico, alterando os padrões de precipitação na região. Já o Gradiente de Anomalia da TSM ocorre quando as águas do Atlântico Tropical estão mais frias, resultando em menor evaporação e reduzida umidade atmosférica, o que prejudica a formação de nuvens e chuvas. Além disso, a presença de alta

pressão atmosférica predominante na região inibe a formação de nuvens de chuva (Bezerra et al., 2021).

A Figura 6 apresenta a distribuição espacial dos valores de Z do teste de Mann-Kendall com nível de confiança de 95% bem como a média global para cada índice de precipitação. A espacialização foi gerada por meio da interpolação *Inverse Distance Weighted* (IDW), utilizando cinco pontos de análise distribuídos ao longo de toda a bacia hidrográfica.

Figura 6 -Valores de Z de Mann Kendall para os índices de precipitação.



Fonte: Autores (2025).

Com base nas estimativas espacializadas dos valores Z para a precipitação diária, destacam-se dois extremos: um máximo de 2,1974 e um mínimo de -2,1835. Esses valores são estatisticamente significativos, indicando respectivamente um aumento e uma diminuição da precipitação em certas regiões da bacia, enquanto o restante da área não apresentou tendências estatisticamente relevantes. Para os valores Z das precipitações mensais e anuais, observou-se um comportamento semelhante, caracterizado por valores predominantemente negativos, mas sem significância estatística, sugerindo uma redução consistente da precipitação ao longo do tempo.

O índice R0 mm apresentou majoritariamente valores Z negativos e não significativos, sugerindo uma possível diminuição no número de dias sem chuva. No entanto, uma leve tendência positiva próxima a zero foi identificada no sudeste da bacia. De forma semelhante,

o índice R0.1 mm indicou um leve aumento na frequência de dias com precipitação entre 0,1 mm e 5 mm, mas sem evidência estatística robusta, com valores Z próximos a 1. O índice R50 mm também não apresentou tendências estatisticamente significativas, com valores Z próximos de zero, indicando a ausência de um padrão claro de aumento ou redução no número de dias com precipitação superior a 50 mm.

No índice SDII, foi observado uma tendência crescente, especialmente no setor norte, com estimativas de valores Z em torno de 1,8. Para o PCI, os valores Z negativos e próximos a zero indicam uma leve tendência de diminuição. Em relação ao RAI, a bacia apresentou valores de Z entre -1,5428 e -0,52237, sugerindo uma diminuição moderada. No entanto, os índices SDII, PCI e RAI não apresentaram tendências estatisticamente significativas, uma vez que seus valores Z permaneceram dentro do intervalo neutro (-1,96 a 1,96), não fornecendo evidências claras de mudanças nesses padrões. Apesar disso, espacialmente, os valores Z do PCI e do RAI sugerem uma configuração associada a períodos de forte estiagem e irregularidade na precipitação. Por outro lado, o SDII não apresentou relevância estatística, sem indicar um padrão espacial consistente. No geral, a maioria dos valores médios de Z apresentaram tendências negativas, enquanto alguns foram positivos, mas ambas próximos de zero, indicando a ausência de significância estatística. No entanto, esses índices sugerem uma possível alteração no regime de chuvas, caracterizada por uma redução na precipitação total, acompanhada de um aumento na intensidade das chuvas e na frequência de dias com precipitação leve.

Essa tendência é corroborada por Xu et al., (2020), que analisaram séries históricas de precipitação (1960–2016) no Nordeste brasileiro e identificaram uma diminuição geral da precipitação no período chuvoso e um aumento no período seco, especialmente nas regiões mais áridas. Esse comportamento pode ser evidenciado, por exemplo, pelas tendências negativas observadas nos índices RAI, PCI e na precipitação mensal e anual, bem como pelos valores de Z próximos de zero para o R0 mm e a precipitação diária.

Essa tendência é corroborada por Xu et al., (2020), que analisaram séries históricas de precipitação (1960–2016) no Nordeste brasileiro e identificaram uma diminuição geral da precipitação no período chuvoso e um aumento no período seco, especialmente nas regiões mais áridas. Esse comportamento pode ser evidenciado, por exemplo, pelas tendências negativas observadas nos índices RAI, PCI e na precipitação mensal e anual, bem como pelos

valores de Z próximos de zero para o R0 mm e a precipitação diária. Resultados semelhantes foram relatados por Silva et al. (2022) e Carvalho et al. (2020), que não encontraram tendências estatisticamente significativas na precipitação média anual e nos índices climáticos em nenhuma das mesorregiões do estado de Pernambuco ao longo do período analisado.

Na Bacia do Rio Capibaribe, Pernambuco, Fernandes et al. (2022), por meio do teste de Mann-Kendall, identificaram que a série temporal não apresentava tendência de aumento ou diminuição ao longo do tempo. No entanto, os autores sugeriram a existência de uma tendência significativa quando a análise foi realizada em uma escala sazonal de 12 meses.

Em outra região, na Bacia do Rio Cachoeira, na Bahia, Alves et al. (2022), Gonçalves e Nascimento (2022) não identificaram tendências estatisticamente significativas na área de estudo. Contudo, detectaram uma tendência negativa significativa na região centro-oeste, com uma redução aproximada de 300 mm de precipitação anual em duas estações pluviométricas. Para o período sazonal, as tendências de redução de chuva foram observadas nos trimestres de outono e inverno, enquanto na primavera e no verão não houve significância estatística.

Por fim, observa-se que a tendência de precipitação varia ao longo de uma localidade em função de diversos fatores, como topografia, cobertura vegetal, atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), distância da costa, entre outros (Xavier Junior et al., 2020). Este estudo ressalta que possíveis mudanças na intensidade dessas tendências acrescentam complexidade aos resultados, indicando que os níveis médios de precipitação podem apresentar variações sutis entre diferentes regiões.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso dos dados BR-DWGD mostrou-se uma alternativa eficaz para complementar os dados observados de precipitação em análises hidrológicas, permitindo a identificação de diversos aspectos dessa variável por meio de índices climáticos.

O Índice de Concentração de Precipitação (PCI) revelou uma distribuição irregular das chuvas, com alta concentração em determinados períodos. A bacia foi classificada como "fortemente sazonal", com chuvas intensas seguidas por longos períodos de seca. O índice de Anomalia de Precipitação (RAI) revelou uma predominância de anos secos sugerindo um

padrão persistente de seca ao longo do tempo. Anos de seca severa, como 1993 e 2012, contrastaram com anos extremamente úmidos, como 1974 e 2004. O SDII apresentou um dos mais baixos do Brasil, refletindo a irregularidade pluviométrica da região. Houve alguns anos com precipitação intensa, como 2004, mas a maior parte do período apresentou chuvas de baixa intensidade.

Com base no R0,1 mm e no R50 mm, observou-se que, anualmente, cerca de 35% dos dias não apresentaram precipitação, enquanto eventos com chuvas superiores a 50 mm são raros, refletindo a baixa frequência de eventos de precipitação significativa. Embora o teste de Mann-Kendall tenha sido utilizado para identificar tendências, não foram encontradas tendências estatisticamente significativas nas precipitações ou nos índices ao longo do tempo. Isso sugere que as mudanças nos padrões de chuva e seca não seguiram um comportamento uniforme.

Esses resultados reforçam a importância de compreender a variabilidade pluviométrica da região para a gestão de recursos hídricos, uma vez que a bacia está sujeita a eventos extremos, como secas prolongadas e chuvas intensas, embora estas últimas sejam de ocorrência rara. Além de contribuir para a comunidade científica, os achados podem ser particularmente úteis para centros meteorológicos, pois a equipe pode utilizar essas informações para aprimorar as tarefas de análise e monitoramento climático.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. Q. et al. Land use land cover changes and extreme precipitation events along Carajás Railroad in the eastern Brazilian Amazon. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 155, n. 8, p. 7223–7244, 18 jun. 2024.

ALVES, J. E; GONÇALVES, S.; AUGUSTO, S. Precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Nordeste do Brasil: tendências e variabilidade (1970-2020). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 17, n. 2, p. 527–542, 16 set. 2022.

ANA. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**. Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 5k - Disponibilidade Hídrica Superficial (BHO 2017 5K). Catálogo de Metadados da ANA. 2017.

BEZERRA, B. G. et al. Changes of precipitation extremes indices in São Francisco River Basin, Brazil from 1947 to 2012. **Theoretical and Applied Climatology**. v. 135, n. 1-2, p. 565–576, 1 jan. 2019.

- BEZERRA, A. C. et al. Annual Rainfall in Pernambuco, Brazil: Regionalities, Regimes, and Time Trends. **Revista Brasileira De Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 403–414, 1 set. 2021.
- BAIG, M. R. I. et al. Spatio-temporal analysis of precipitation pattern and trend using standardized precipitation index and Mann–Kendall test in coastal Andhra Pradesh. **Modeling Earth Systems and Environment**, 22 ago. 2021.
- CARVALHO, A. A. de et al. Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 15–23, 9 dez. 2019.
- CHO, H. et al. Assessment of the Spatiotemporal Changes in the Extreme Precipitation Climate Indices over the Chungcheong Region of South Korea during 1973–2020. **Atmosphere**, v. 14, n. 12, p. 1718–1718, 22 nov. 2023.
- CORRÊA, A. C. B. et al. The Semi-arid Domain of the Northeast of Brazil. **Geography of the Physical Environment**, p. 119–150, 2019.
- EISNER, S. et al. An ensemble analysis of climate change impacts on streamflow seasonality across 11 large river basins. **Climatic Change**. v. 141, n. 3, p. 401–417, 23 jan. 2017.
- FERNANDES, A. C. G. et al. O uso do teste de mann-kendall para detecção de tendência da precipitação em região semiárida pernambucana. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. e546111133925, 2 set. 2022.
- JAIN, V. K. et al. Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin. **Weather and Climate Extremes**, v. 8, p. 1–11, jun. 2015.
- LUIZ-SILVA, W. et al. An overview of precipitation climatology in Brazil: space-time variability of frequency and intensity associated with atmospheric systems. **Hydrological Sciences Journal**, v. 66, n. 2, p. 289–308, 13 jan. 2021.
- MEDEIROS, J. F; PRESTRELO, O. C; AVILA-DIAZ, A. Evaluation of extreme precipitation climate indices and their projected changes for Brazil: From CMIP3 to CMIP6. **Weather and Climate Extremes**, v. 38, p. 100511, dez. 2022.
- OLIVER, J. E. Monthly precipitation distribution: A comparative index. **The Professional Geographer**, v. 32, n. 3, p. 300–309, ago. 1980.
- RIBEIRO, C. S.; GARCIA, G. A questão hídrica no semiárido baiano: conflitos pelo uso da água e as tecnologias sociais de aproveitamento de água de chuva. **Revista del CESLA**, n. 23, p. 355–382, 2019.
- RASERA, J. B. et al. Do Gridded Weather Datasets Provide High-Quality Data for Agroclimatic Research in Citrus Production in Brazil? **AgriEngineering**, v. 5, n. 2, p. 924–940, 18 maio 2023.
- Rooy, M.P. (1965) A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space. **Notos**, 14, 43-48.

SANTOS, J.; JUSTINO, F.; RODRIGUES, J. Impact of precipitation extremes on energy production across the São Francisco river basin, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 155, n. 7, p. 6899–6916, 8 jun. 2024.

SHAWUL, A. A.; CHAKMA, S. Trend of extreme precipitation indices and analysis of long-term climate variability in the Upper Awash basin, Ethiopia. **Theoretical and Applied Climatology**, 29 jan. 2020.

SOUTO, J.; BELTRÃO, N.; TEODORO, A. Performance of Remotely Sensed Soil Moisture for Temporal and Spatial Analysis of Rainfall over São Francisco River Basin, Brazil. **Geosciences**, v. 9, n. 3, p. 144, 26 mar. 2019.

SILVA, T. R. B. F. et al. Climate Indices-Based Analysis of Rainfall Spatiotemporal Variability in Pernambuco State, Brazil. **Water**, v. 14, n. 14, p. 2190, 11 jul. 2022.

SOUSA F., L. et al. Assessment of hydrological trends and changes in hydroclimatic and land use parameters in a river basin in northeast Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 128, p. 104464–104464, 21 jun. 2023.

SANTOS L. A. et al. Evaluation of Extreme Precipitation Indices in Brazil's Semiarid Region from Satellite Data. **Atmosphere**, v. 13, n. 10, p. 1598–1598, 29 set. 2022.

SALAMEH. A. M. Using the precipitation concentration index for characterizing the rainfall distribution in the Levant. **Journal of Water and Climate Change**, v. 15, n. 4, p. 1945–1960, 1 abr. 2024.

SIQUEIRA, B.; NERY, J. T. Spatial and temporal variability of precipitation concentration in northeastern Brazil. **Investigaciones Geográficas**, n. 104, 1 mar. 2021.

SILVA, T. R. B. F. et al. Climate Indices-Based Analysis of Rainfall Spatiotemporal Variability in Pernambuco State, Brazil. **Water**, v. 14, n. 14, p. 2190, 11 jul. 2022.

TALCHABHADEL, R. et al. A comprehensive analysis of projected changes of extreme precipitation indices in West Rapti River basin, Nepal under changing climate. **International Journal of Climatology**, 14 out. 2020.

XU, L.; ZHENG, C.; MA, Y. Variations in precipitation extremes in the arid and semi-arid regions of China. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. 3, p. 1542–1554, 20 out. 2020.

XAVIER, S. F. et al. Precipitation trends analysis by Mann-Kendall test: a case study of Paraíba, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 187–196, 1 jun. 2020. ALEXANDRE

XAVIER C. et al. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**. v. 42, n. 16, p. 8390–8404, 1 jun. 2022.