



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Análise de Períodos de Seca dos Municípios de Cruz das Almas, Itaberaba e Lençóis por meio de Índices de Precipitação

Kaio Sales de Tancredo Nunes¹, Patricia dos Santos Nascimento², Susane Eterna Leite Medeiros³

¹ Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECEA) da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Av. Transnordestina, s/n, CEP: 44036-900, Feira de Santana, Bahia. E-mail: kaiosaleseng@gmail.com (autor correspondente), ORCID 0009-0008-9334-5919

² Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECEA) e do Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Av. Transnordestina, s/n, CEP: 44036-900, Feira de Santana, Bahia. E-mail: psnascimento@uefs.br, ORCID 0000-0002-5051-9981

³ Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECEA) e do Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Av. Transnordestina, s/n, CEP: 44036-900, Feira de Santana, Bahia. E-mail: selmedeiros@uefs.br, ORCID 0000-0002-8776-9343

Artigo recebido em 18/11/2024 e aceito em 24/01/2025

RESUMO

Eventos extremos de precipitação, como longos períodos de secas e chuvas intensas, têm se tornado mais frequentes, acarretando diversos prejuízos para a sociedade. A vulnerabilidade do Nordeste do Brasil ao agravamento das secas, devido à alta densidade populacional e características climáticas regionais, torna essencial a análise das características da precipitação da região. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar dados de precipitação e investigar a ocorrência de secas, por meio da aplicação do Índice de Precipitação Padronizada e do Índice de Anomalia de Chuva, nos municípios de Cruz das Almas, Itaberaba e Lençóis, na Bahia. Foram obtidos 30 anos de dados históricos de precipitação, com os quais se realizou uma análise descritiva e o cálculo dos índices, identificando e classificando, de acordo com a intensidade, as secas ocorridas. Os resultados apontaram que, em Cruz das Almas, as precipitações variam em baixa amplitude, com poucas secas extremas, embora eventos significativos de secas tenham ocorrido em 1993 e 2012. Para o município de Itaberaba, observou-se diversos casos de secas severas e persistentes, sendo algo preocupante em conjunto ao potencial agravamento das secas em função das mudanças climáticas. Já para o município de Lençóis, os índices demonstraram uma regularidade entre períodos secos e chuvosos, pois, apesar de se terem sido identificados casos de seca, eles foram em sua maioria casos moderados. Sendo assim, a aplicação dos índices permitiu destacar as características específicas das secas ocorridas em cada município em estudo, obtendo-se importantes informações para a gestão de recursos hídricos.

Palavras-chave: Extremos de precipitação; Severidade das secas; Dados históricos.

Analysis of Drought Periods in the Municipalities of Cruz das Almas, Itaberaba, and Lençóis using Precipitation Indices

ABSTRACT

Extreme precipitation events, such as prolonged droughts and intense rainfall over short periods, have become more frequent, causing significant societal impacts. The vulnerability of Brazil's Northeast region to worsening droughts, due to its high population density and regional climatic characteristics, highlights the importance of analyzing the area's precipitation patterns. In this context, this study aimed to analyze precipitation data and investigate drought occurrences by applying the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Rainfall Anomaly Index (RAI) in the municipalities of Cruz das Almas, Itaberaba, and Lençóis in Bahia. Thirty years of historical precipitation data were obtained, with which a descriptive analysis and index calculations were performed, identifying and classifying droughts according to their intensity. The results indicated that, in Cruz das Almas, precipitation varies within a low amplitude, with few extreme

droughts, although significant drought events occurred in 1993 and 2012. For the municipality of Itaberaba, several cases of severe and persistent droughts were observed, which is concerning in light of the potential exacerbation of droughts due to climate change. For the municipality of Lençóis, the indices demonstrated a regularity between dry and wet periods, as, although drought cases were identified, they were mostly moderate. Thus, the application of the indices allowed the specific characteristics of the droughts in each municipality to be highlighted, providing important information for water resource management.

Keywords: Precipitation extremes; Severity of droughts; Historical data.

Introdução

As mudanças climáticas têm sido uma questão de grande preocupação nos tempos atuais, especialmente com a alarmante situação das alterações na precipitação. Esses fenômenos requerem uma atenção especial, uma vez que a chuva é um dos principais elementos atuantes no ciclo hidrológico, influenciando na disponibilidade hídrica para atender as demandas da população mundial.

Dentre os efeitos adversos das alterações na precipitação, tem-se a ocorrência dos extremos de precipitação. A redução dos volumes precipitados ocasiona prejuízos para a sociedade e para os ecossistemas naturais devido à redução da disponibilidade hídrica e da fertilidade de solo. Numa outra vertente, precipitações elevadas em curtos períodos de tempo, podem acarretar situações como catastróficas enchentes, que são prejudiciais à infraestrutura urbana (Dai *et al.*, 2023).

Tendo em vista a relevância global dessa temática, diversos estudos baseados em análise de precipitação foram desenvolvidos, sejam estudos de análise de tendências (Hussain *et al.*, 2022; Jenifer & Jha, 2021; Likinaw *et al.*, 2021; Parajuli *et al.*, 2021), para avaliar a existência de tendências de aumento ou redução de precipitação em séries históricas de dados de uma região, análises de variabilidade espacial (Esmailpour *et al.*, 2021; Moccia *et al.*, 2021; Tan *et al.*, 2021), voltados para avaliar a distribuição da chuva de uma região específica, e estudos de índices de precipitação (Anghesom & Kozlov, 2021; Costa *et al.*, 2021; Melo *et al.*, 2025; Royer *et al.*, 2021), que caracterizam uma região conforme indicadores específicos de precipitação.

As alterações do uso do solo associadas a atividades humanas, como urbanização desordenada, desmatamento e incêndios florestais, têm intensificado os riscos de seca e seus impactos socioambientais. Na sociedade atual, é fundamental realizar estudos e buscar alternativas para mitigar impactos das mudanças climáticas, aprimorando a resiliência global frente às secas (Jager *et al.*, 2022; Savelli *et al.*, 2022).

Apesar de ser uma problemática de contexto global, os impactos das mudanças climáticas, tal como o agravamento das secas, afetam ainda mais fortemente regiões e populações mais vulneráveis. Essa vulnerabilidade climática da população é associada a diversos fatores, tais como os níveis de pobreza, o acesso limitado a serviços básicos de infraestrutura e a ocorrência de migração forçada (Birkmann *et al.*, 2021).

No âmbito brasileiro, a região Nordeste do Brasil, uma das mais populosas do país, enfrenta desafios significativos devido à sua alta vulnerabilidade às secas. Esse cenário é agravado pela irregularidade das chuvas, pela degradação ambiental dos solos e pela extrema pobreza em áreas rurais, o que intensifica os potenciais impactos socioeconômicos e ambientais na região (Marengo *et al.*, 2022).

Para o estado da Bahia, a precipitação da região da Bacia Hidrográfica do Paraguaçu tem um importante papel na disponibilidade hídrica. A bacia tem uma área de 54.877 km², cerca de 10% do território baiano, e seus recursos hídricos, tal como o Rio Paraguaçu, abastecem 84 municípios do estado (Ávila *et al.*, 2020). No município de Cruz das Almas, localizado no baixo curso do Rio Paraguaçu, as chuvas variam entre 1000 e 1400 mm. Já Itaberaba, no médio curso, registra precipitações anuais inferiores a 700 mm, enquanto Lençóis, em região elevada, apresenta médias acima de 800 mm, fundamentais para a manutenção do fluxo do rio (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos [INEMA], 2018).

Pesquisas voltadas para descrição de características climáticas de uma região são referências de grande importância para se tomar decisões voltadas para prevenção à extremos climáticos e para planejamento urbano, pois se amplia o conhecimento das relações entre as anomalias climáticas e seus impactos locais (Pavan *et al.*, 2019). Ao se analisar o regime pluviométrico, pode-se melhorar o planejamento agropecuário, entender as dinâmicas de recarga de bacias hidrográficas e planejar de forma eficiente para prevenção contra enchentes e secas (Costa *et al.*, 2021).

Dentre os índices utilizados para se analisar a precipitação de uma região, pode se

destacar o Índice de Precipitação Padronizada, ou *Standardized Precipitation Index* (SPI), e o Índice de Anomalia de Chuva (IAC), que são fundamentados em análises de dados mensais e anuais de precipitação, para avaliar as chuvas ocorridas em períodos de longa extensão.

O SPI é apresentado por Aryal *et al.* (2022) como um índice de secas que é bastante aplicado para análise de precipitação, pois pode ser utilizado tanto como um indicador de secas, quanto para análise de frequências de precipitação e avaliação de impactos climáticos. Os autores ressaltam que o SPI é mais amplamente utilizado em estudos de precipitação do que demais índices, visto que apresenta diversas vantagens sobre os outros, tal como a robustez de seus resultados.

O Índice de Anomalia de Chuva (IAC) foi desenvolvido por Van Rooy (1965), tratando-se de um índice de secas usado para avaliar a situação e consequências da seca em uma região de interesse, que pode ser utilizado como uma alternativa viável ao índice mais comumente utilizado SPI (Khalil, 2022).

Embora menos robusto que o SPI, o IAC se apresenta como uma alternativa mais simplificada para a análise de períodos de seca. O índice é computacionalmente menos exigente, apresenta desempenho comparável ao SPI e é mais adequado para climas áridos e hiperáridos (Raziei, 2021). Existem pesquisas (Abushandi & Al Ajmi, 2022; Aryal *et al.*, 2022; Gameda *et al.*, 2021) que utilizam os dois tipos de índices, demonstrando que a aplicação de ambos apresenta concordância entre resultados.

Com base na realidade das mudanças climáticas e de resultados evidenciados em pesquisas sobre a seca em locais do Nordeste do

Brasil (Freitas *et al.*, 2022; Inocêncio *et al.*, 2021; Paredes-Trejo *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2023), a hipótese da presente pesquisa é que nos municípios de Cruz das Almas, Itaberaba e Lençóis, localizados na região da Bacia Hidrográfica do Paraguaçu no estado da Bahia, ocorreram diversos casos de secas ao longo dos últimos anos.

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo compreender analisar dados de precipitação e investigar a ocorrência de secas, por meio da aplicação do Índice de Precipitação Padronizada e do Índice de Anomalia de Chuva, para os municípios de Cruz das Almas, Itaberaba e Lençóis.

Material e métodos

Área de estudo

Selecionaram-se três municípios que fazem parte da Bacia Hidrográfica do Paraguaçu, para que sejam feitas análises de precipitação por meio do estudo de índices. Os municípios estudados foram Cruz das Almas, Itaberaba e Lençóis, no estado da Bahia.

Nesses municípios, conta-se com disponibilidade de dados de precipitação visto que há estações meteorológicas mantidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em seus territórios, apresentando uma satisfatória quantidade de dados. As cidades estão localizadas em regiões estratégicas na Bacia Hidrográfica, tendo-se assim uma maior representatividade espacial da região. Observa-se a localização dos municípios e a posição das estações meteorológicas na Figura 1.

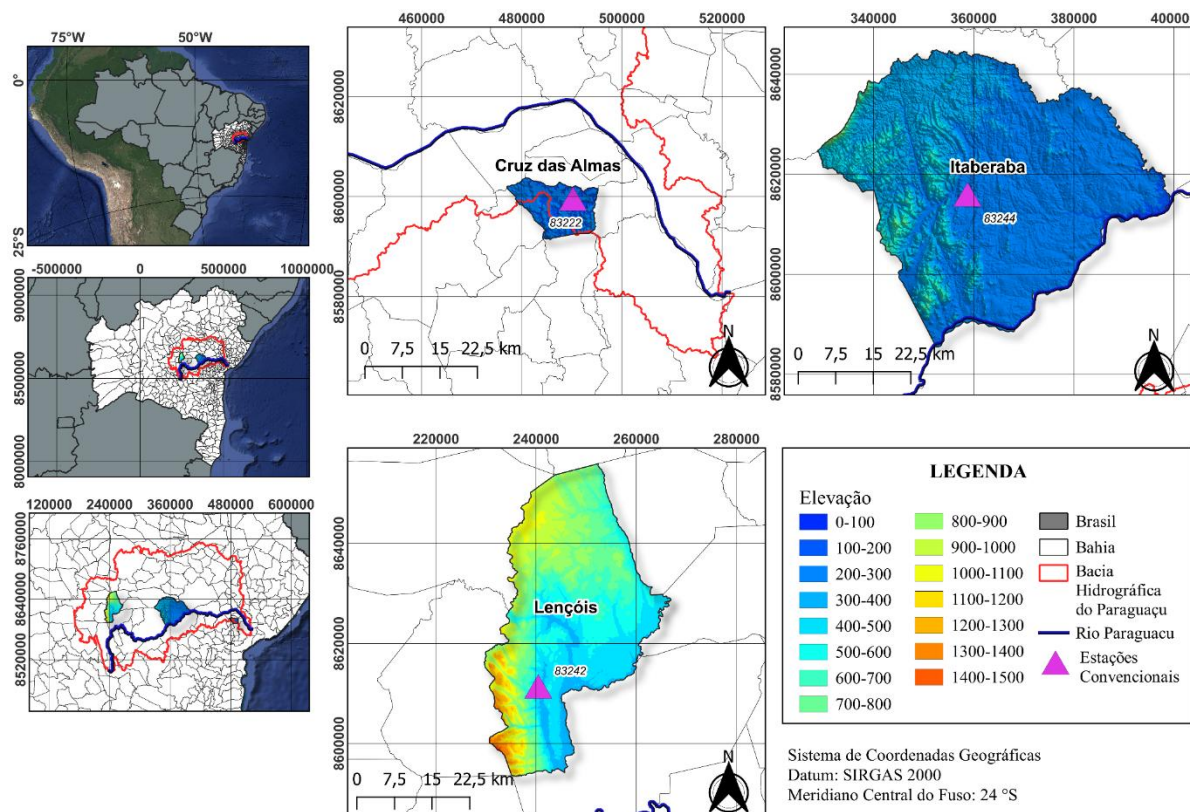


Figura 1 Mapa hipsométrico e de localização dos municípios de estudo, com suas respectivas estações meteorológicas

Coleta de dados

Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos na plataforma digital do INMET, consistindo em informações de séries históricas mensais de precipitação coletadas por estações meteorológicas do tipo convencional.

Após a coleta, foram realizados procedimentos para o tratamento dos dados. Nas séries históricas obtidas, os anos em que ocorriam ausência de dados mensais foram excluídos. Com isso, se estabeleceu um período de estudo de 30 anos para cada série temporal de dados, tendo-se como critério que o período deveria ser formado por anos em sequência, ou o mais próximo possível a isso, permitindo o cálculo dos índices de interesse.

A partir disso, os dados foram organizados em intervalos anuais e mensais (janeiro a dezembro), estruturados de acordo com critérios de avaliação de qualidade dos dados e identificação de

valores atípicos, seguindo a metodologia proposta por Viney e Bates (2004).

Na Tabela 1, pode-se observar as características das estações meteorológicas utilizadas, informações sobre a dimensão das séries de dados obtidas e os anos que foram selecionados como parte do período de estudo.

Índice de Precipitação Padronizada (SPI)

Proposto por McKee *et al.* (1993), o SPI pode ser utilizado para monitorar a seca por meio de utilização dos dados de precipitação em uma distribuição assimétrica, podendo-se avaliar períodos úmidos e secos (Silva & Pereira, 2023).

No cálculo desse índice, foi avaliado o número de desvios padrão em que a precipitação acumulada se afasta da média, partindo-se de uma transformação da distribuição assimétrica da precipitação para a forma de uma distribuição normal, etapa para a qual é necessária uma série de dados de pelo menos 30 anos.

Tabela 1 Localização e informações obtidas das estações meteorológicas para composição da série histórica de estudo

Estação Meteorológica	Elevação (m)	Latitude (°S)	Longitude(°O)	Amplitude inicial da série (anos)	Períodos que compõem a série final (30 anos)
Cruz das Almas (83222)	219,69	12,68	39,09	63	1992-1993 1995-2022
Itaberaba (83244)	250,11	12,52	40,30	59	1989-2018
Lençóis (83242)	438,09	12,56	41,39	45	1989-1990 1995-2022

A seca, baseada no SPI, foi classificada de acordo com a Tabela 2, utilizando as séries de dados históricos de precipitação obtidas. A escala

temporal que foi utilizada para análise do SPI foram de 1, 3, 6, 9 e 12 meses, refletindo as secas em diferentes estágios temporais.

Tabela 2 Classificação da seca baseando-se no Índice de Precipitação Padronizada (SPI)

SPI	Classificação da Seca
-1,00 a -1,49	Seca moderada
-1,50 a -1,99	Seca severa
≤ -2,00	Seca extrema

Fonte: Adaptado de Mckee *et al.* (1993).

Ao utilizar o SPI, se consideram os impactos das condições de precipitação no passado em situações de seca posteriores, podendo-se ainda determinar o impacto cumulativo referente a eventos de secas (Zhang *et al.*, 2023).

Os cálculos de SPI foram executados no *software* SPI Generator disponibilizado pelo *National Drought Mitigation Center* (NDMC, 2018) associado à Universidade de Nebraska, utilizando-se como dados de entrada a precipitação mensal de cada município.

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

O Índice de Anomalia de Chuva (IAC), desenvolvido por Van Rooy (1965), é um parâmetro também efetivo de indicar a frequência de períodos secos e chuvosos em uma área (Souza & Nascimento, 2021). Calculou-se o IAC anual de cada município de estudo, utilizando-se as Equações 1 e 2, que representam anomalias

positivas e negativas de precipitação, respectivamente.

$$IAC = 3 \times \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \tag{Equação 1}$$

$$IAC = -3 \times \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \tag{Equação 2}$$

Nas equações 1 e 2, a variável N representa a precipitação anual em mm, \bar{N} é a precipitação média anual da série histórica, \bar{M} é a média das dez maiores precipitações anuais da série e \bar{X} é a média das dez menores precipitações anuais.

O valor calculado de IAC pode ser utilizado para indicar a intensidade dos anos secos e úmidos para a região de estudo, por meio da Tabela 3. Realizou-se a classificação da intensidade das anomalias de precipitação para cada município em estudo, para verificar a distribuição das anomalias de chuva durante o período de 30 anos.

Tabela 3 Classificação de intensidade do Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

IAC	Classificação de intensidade
≥ 4	Extremamente Úmido
2 a 3,99	Muito Úmido
0 a 1,99	Úmido
-2 a -0,01	Seco
-4 a -1,99	Muito Seco

Fonte: Adaptado de Aryal *et al.*, 2022.

Resultados e discussão

Análise descritiva da precipitação

A precipitação média anual, valores máximos e mínimos observados nas estações meteorológicas para o período de 30 anos dos municípios de estudo demonstraram uma forte correlação entre a localização de cada município com a quantidade de chuva observada, como pode ser observado na Figura 2.

Como esperado, o município de Itaberaba apresentou a menor precipitação média entre os três municípios, visto que está localizado numa região central da Bacia Hidrográfica do Paraguaçu, caracterizada por apresentar um clima mais seco.

Por outro lado, Cruz das Almas apresentou a maior precipitação média anual entre os três municípios. Observa-se, na Figura 2, que Cruz das Almas possui valores de precipitação anual mais próximos da média que os demais municípios, indicando uma maior homogeneidade na intensidade de precipitações nessa área, o que pode estar relacionado à sua maior proximidade ao litoral. Entretanto, pode-se observar que houve pontos de precipitação abaixo do mínimo do diagrama de caixa, que corresponde a uma baixa precipitação média acumulada anual de 699,6 mm

ocorrida no ano de 1993, e outro ponto de baixa precipitação em 2012, com valor de 727,6 mm.

Comparativamente, o município de Lençóis apresentou diferenças significativas entre valores máximos e mínimos, refletindo em um gráfico de caixa com limites mais elevados. O valor médio de precipitação anual foi alto, semelhante ao do município de Cruz das Almas, possuindo ainda o maior valor de precipitação máxima anual registrado e que é bastante distante do seu valor mínimo de precipitação anual.

Pode-se associar essa grande amplitude pluviométrica no município de Lençóis tanto ao clima local quanto ao fato do município e, por consequência, a sua estação meteorológica, estarem em uma altitude maior do que os demais municípios estudados, reforçando que o relevo é um fator determinante para a precipitação de um município.

Essa relação de relevo e precipitação é apresentada por Nascimento e Vale (2019), que observam a influência expressiva do relevo na distribuição e intensificação de chuvas numa região entre os municípios de Fundão e Santa Teresa, citando ainda a ocorrência do fenômeno climático dos efeitos orográficos, que acarretam diferenças nos totais cumulativos de precipitação.

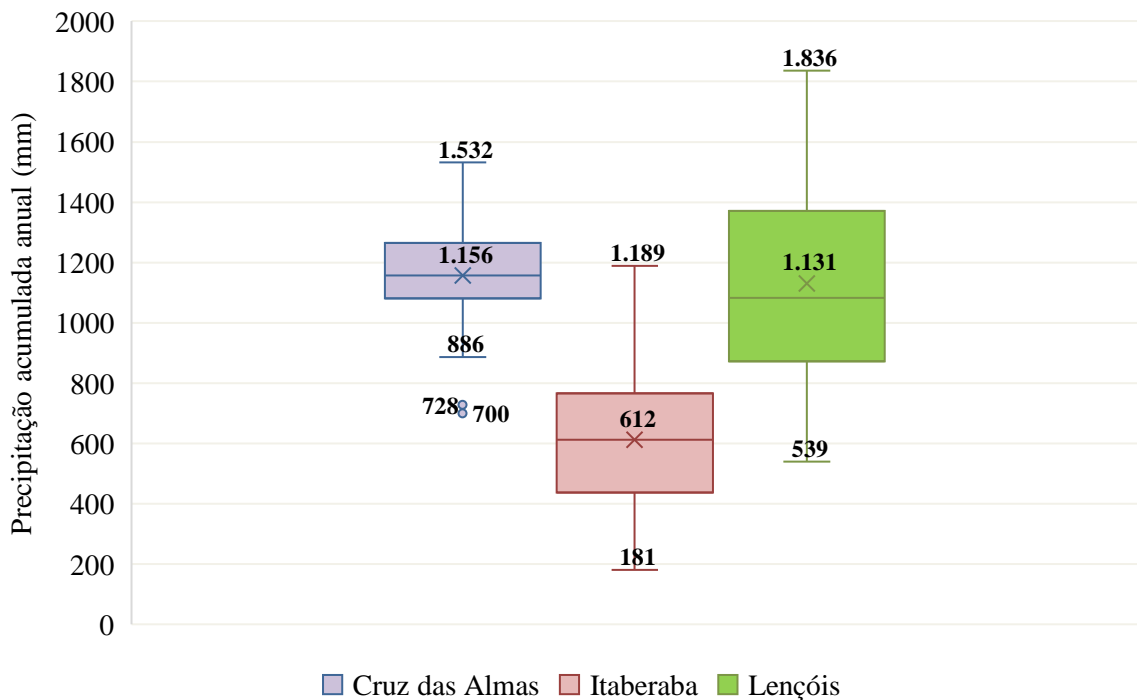


Figura 2 Precipitação média acumulada anual para os períodos de estudo (30 anos) em cada município

A variabilidade mensal da precipitação nos municípios pode de ser observada na Figura 3. Para o período de estudo, no município de Cruz das Almas, observou-se um valor médio para as precipitações mensais de 96,37 mm. Entre os

meses de abril e agosto, a precipitação é superior a esse valor médio, com o máximo de 149,75 mm ocorrendo no mês de junho. O valor mínimo ocorre em outubro, com 51,1 mm.

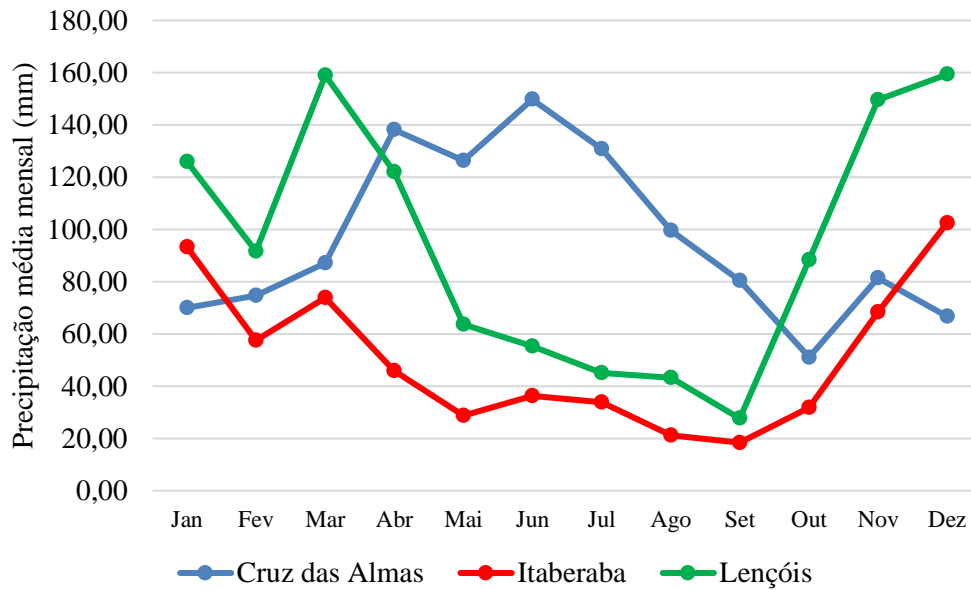


Figura 3 Precipitação média mensal obtida de cada município abordado neste estudo

Observou-se que no município de Itaberaba o período mais chuvoso ocorreu entre os meses de novembro e março, atingindo o valor máximo de 102,51 mm em dezembro. Em contraparte, a precipitação mensal mínima de Itaberaba ocorreu no mês de setembro, com valor médio de 18,41 mm. Em Lençóis, observou-se uma ampla variação da precipitação mensal ao longo do ano. Tem-se um valor elevado de precipitação média no mês de março (159,00 mm), que se reduz nos meses seguintes atingindo o seu menor valor no mês de setembro (88,47 mm). A partir de setembro, tem-se novamente uma crescente na precipitação média mensal, até atingir a máxima de 159,34 mm em dezembro.

Por meio da análise da variação da precipitação mensal entre os municípios, foi possível observar que os três municípios em estudo apresentam características bastante distintas. Apesar dos municípios de Cruz das Almas e Lençóis apresentarem precipitações anuais mais elevadas e de magnitudes semelhantes, observou-se que o comportamento da distribuição da precipitação ao longo dos meses do ano ocorre de forma bastante distinta entre os dois municípios. Já o município de Itaberaba apresentou as menores precipitações médias mensais na maioria dos meses do ano, em comparação aos outros dois municípios em estudo.

Souza e Nascimento (2021) analisaram a variabilidade da precipitação na região hidrográfica do Paraguaçu, observando uma grande variação na precipitação entre as diferentes divisões geográficas da bacia. De forma similar à presente pesquisa, menores valores de precipitação foram observados na região do médio Paraguaçu, divisão que contempla o município de Itaberaba, enquanto maiores valores foram observados nas regiões do alto e baixo Paraguaçu, divisões que contemplam os municípios de Lençóis e Cruz das Almas, respectivamente.

Resultados para o índice de precipitação padronizada

O SPI foi utilizado para determinar os meses secos e úmidos ao longo da série histórica de precipitação. Foi determinado o valor do SPI para uma duração de 1, 3, 6, 9 e 12 meses para as três estações pluviométricas dos municípios de estudo. Para as três localidades foram registrados casos de secas extremas.

O valor do SPI 1 obtido representou a precipitação mensal de cada município, refletindo as condições de curto prazo de uma região. Ao analisar médias mensais por meio do SPI, obteve-se uma representação ainda mais precisa da precipitação ao longo do tempo, visto que a distribuição foi normalizada. Elaborou-se um gráfico com a representação dos valores obtidos de

SPI 1 para os municípios de Cruz das Almas, Itaberaba e Lençóis na Figura 4.

O valor do SPI 3 possibilitou a classificação da precipitação ao longo de um período de 3 meses, tempo que reflete a duração de uma estação do ano, ou seja, representa-se a

situação das secas para a precipitação sazonal. Os valores de SPI 3 dos três municípios de estudo estão representados na Figura 5.

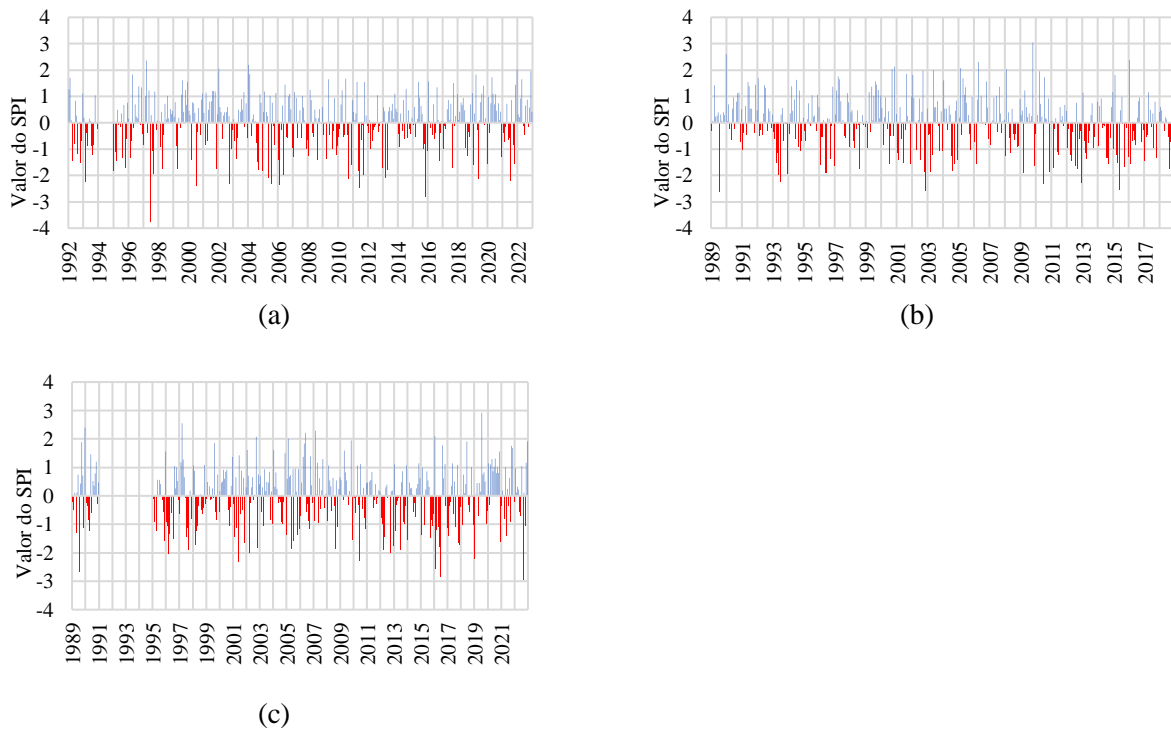


Figura 4 Índice de Precipitação Padronizada (SPI) de 1 mês dos municípios Cruz das Almas (a), Itaberaba (b) e Lençóis (c)

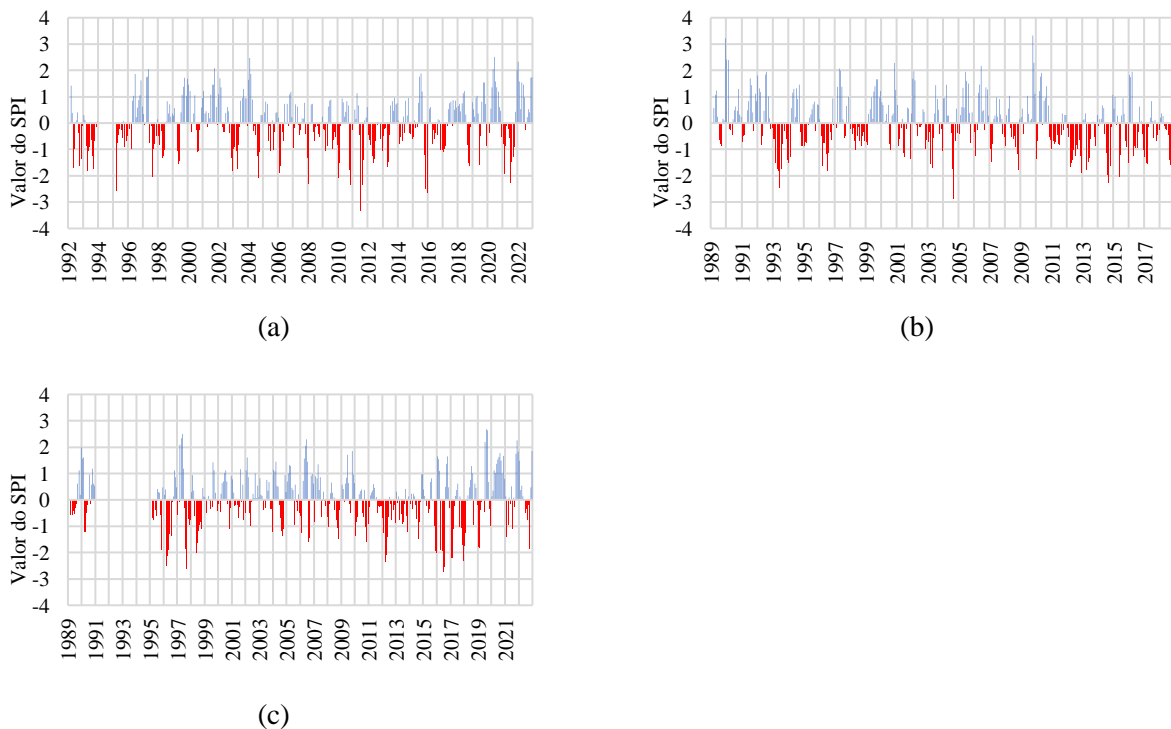


Figura 5 Índice de Precipitação Padronizada (SPI) de 3 meses dos municípios Cruz das Almas (a), Itaberaba (b) e Lençóis (c)

Com o SPI 6 comparou-se a precipitação de períodos de 6 meses de todos os anos ao longo da série histórica para cada município de estudo. Com esse índice, observou-se a discrepância da

precipitação, sendo possível diferenciar os períodos secos e úmidos do ano. Os resultados do cálculo do SPI 6 para cada município estão representados graficamente na Figura 6.

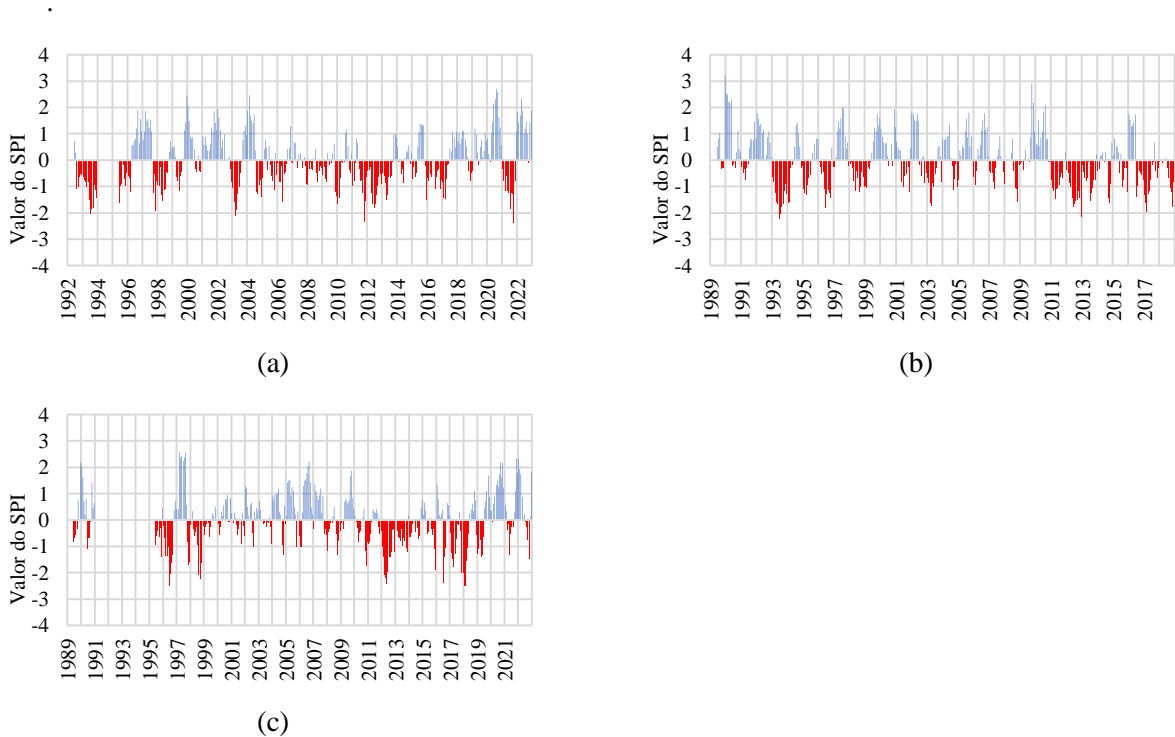
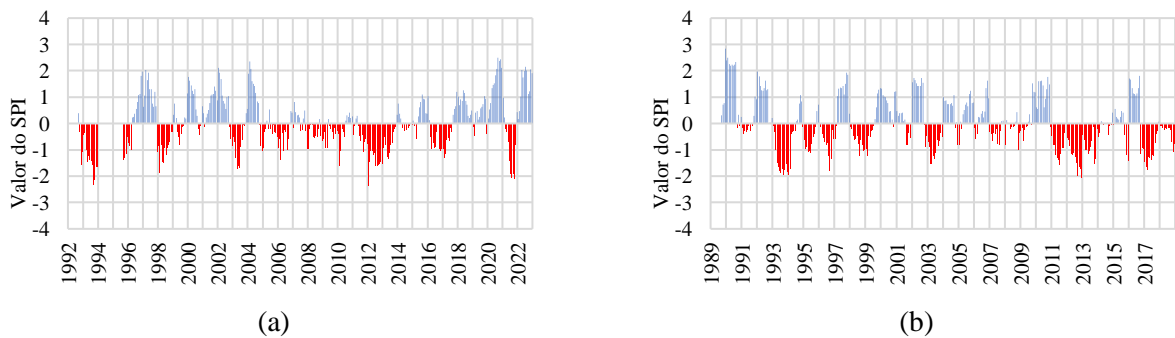
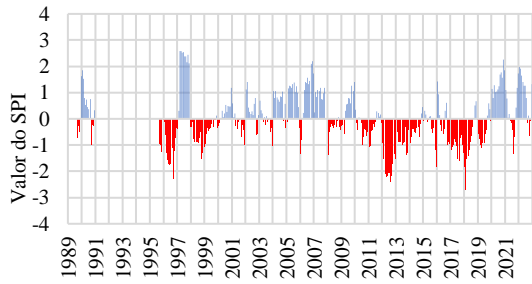


Figura 6 Índice de Precipitação Padronizada (SPI) de 6 meses dos municípios Cruz das Almas (a), Itaberaba (b) e Lençóis (c)

O SPI 9 foi obtido para indicar os padrões de precipitação para um período de duração de 9 meses. Nesse período de duração, observou-se a ocorrência de secas que fazem uma transição de secas sazonais de curto prazo (3 a 6 meses) para secas de longa duração (12 meses ou mais). Sendo assim, viu-se casos em que secas temporárias

podem ter evoluído para casos mais graves e duradouros, com impactos potenciais em setores como agricultura, recursos hídricos e ecossistemas. Os resultados do cálculo do SPI 9 para cada município estão representados graficamente na Figura 7.





(c)

Figura 7 Índice de Precipitação Padronizada (SPI) de 9 meses dos municípios Cruz das Almas (a), Itaberaba (b) e Lençóis (c)

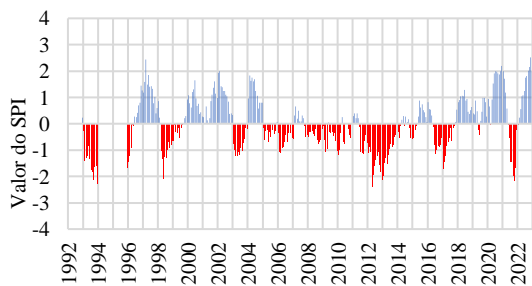
Obteve-se também o valor do SPI 12, que refletiu os padrões de precipitação de longo prazo, em períodos de 12 meses ao longo da série histórica de 30 anos. Observaram-se um maior número de resultados próximos de 0, exceto em casos específicos em que secas ou períodos úmidos ocorreram em sequência por longo período de tempo. Tendo em vista que esse índice apresenta as secas de longa duração para a área de estudo, é de grande preocupação que ainda tenham ocorrido valores de grande magnitude para esse indicador, visto que está diretamente associado com a ocorrência de fenômenos de escassez hídrica. Os resultados do cálculo do SPI 12 para cada município estão representados graficamente na Figura 8.

Com base nos valores calculados do SPI para diferentes períodos mensais, foi possível fazer a classificação da seca dos 360 meses (30 anos) observados ao longo da série de estudo para os três municípios, referenciando-se por meio da Tabela 2.

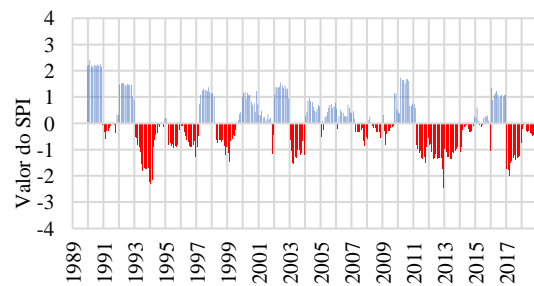
Na classificação do SPI, foi possível observar que Cruz das Almas possui a menor quantidade de períodos classificados como secas extremas entre os municípios estudados. Esses casos extremos se apresentaram principalmente na classificação SPI 1.

Porém, segundo o guia de usuário do Índice Padronizado de Precipitação, desenvolvido pela *World Meteorological Organization* (WMO, 2012), o índice para o período de análise de 1 mês pode acabar sendo mais errôneo na classificação, em que meses que normalmente não são chuvosos acabam sendo classificados como secas severas mesmo não estando muito distantes do valor de precipitação média.

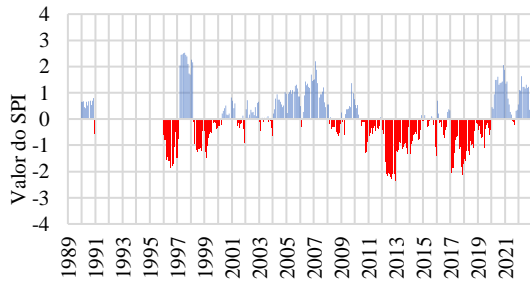
De toda forma, as secas severas na região ainda ocorrem em grande frequência, visto que se observou uma grande quantidade desse tipo de secas para todos os tipos de SPI calculados. Quantificou-se os tipos de ocorrências de secas no município de Cruz das Almas na Figura 9.



(a)



(b)



(c)

Figura 8 Índice de Precipitação Padronizada (SPI) de 12 meses dos municípios Cruz das Almas (a), Itaberaba (b) e Lençóis (c)

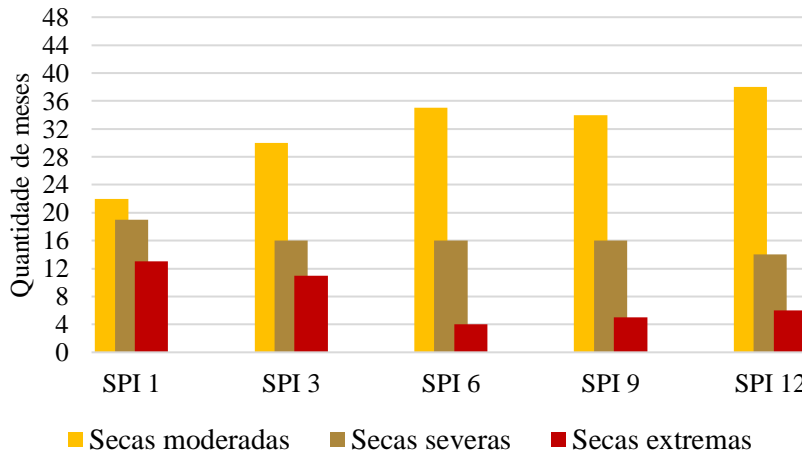


Figura 9 Quantidade de meses classificados por severidade de seca para o Índice de Precipitação Padronizada (SPI) de 1, 3, 6, 9 e 12 meses do município de Cruz das Almas

Para esse município, o principal destaque foi para a grande quantidade de ocorrências de secas severas, um cenário preocupante visto que com as mudanças climáticas é possível que essas secas frequentes se agravem para situação de secas extremas. Quantificou-se os tipos de ocorrências de secas no município de Itaberaba na Figura 10.

O município de Lençóis apresentou, na classificação SPI, um grande número de períodos classificados como secos. Apesar de numerosos, a maioria dos períodos de seca nesse município são de secas moderadas, indicando que as secas são constantes, porém de baixa magnitude. Períodos de secas severas ou extremas no município podem ser

associados a estações do ano menos chuvosas ou eventos climáticos pontuais. Quantificou-se os tipos de ocorrência de secas no município de Lençóis na Figura 11.

Uma análise do Índice de Precipitação Padronizada foi realizada por Freitas *et al.* (2022) para a bacia do rio São Francisco, em que se identificou que secas severas ocorreram entre 2012 e 2022. Os déficits de precipitação, observados pelos autores para a porção central da bacia, são condizentes com os casos de seca observados no presente estudo, visto parte dessa área da bacia do rio São Francisco também está contida no estado da Bahia.

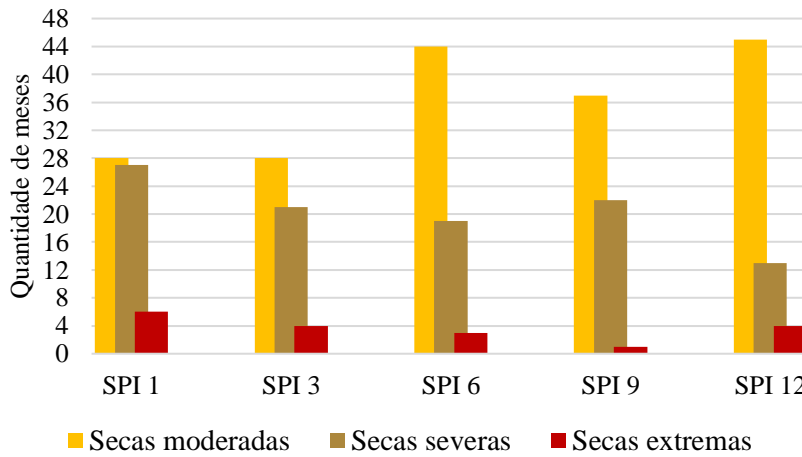


Figura 10 Quantidade de meses classificados por severidade de seca para o Índice de Precipitação Padronizada (SPI) de 1, 3, 6, 9 e 12 meses do município de Itaberaba

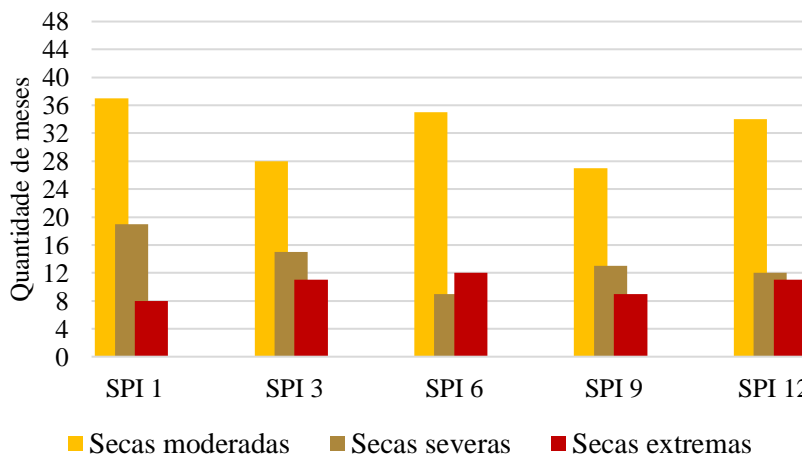


Figura 11 Quantidade de meses classificados por severidade de seca para o Índice de Precipitação Padronizada (SPI) de 1, 3, 6, 9 e 12 meses do município de Lençóis

Na pesquisa de Sousa *et al.* (2016), foi determinado o Índice de Precipitação Padronizado (SPI) para toda a Bacia Hidrográfica do Paraguaçu, na Bahia. Assim como no presente estudo, os autores analisaram a pluviometria e identificaram secas que afetaram municípios específicos da bacia. Entre eles, destacaram Lençóis como um dos locais com maior pluviometria nessa região, enquanto Itaberaba foi apontada como uma área que enfrentou picos de secas extremas.

Além disso, resultados semelhantes foram observados em diversas pesquisas que utilizaram o SPI no Nordeste do Brasil (Oliveira-Júnior *et al.*, 2021; Rodrigues *et al.*, 2022; Silva Júnior *et al.*, 2024), os quais, no geral, registraram múltiplos casos de seca durante os períodos avaliados para as áreas de estudo. Tais resultados apontam um possível aumento na incidência de secas na região

Nordeste nos últimos anos, evidenciando consequências das mudanças climáticas.

Algumas pesquisas (Kchouk *et al.*, 2023; Marengo *et al.*, 2022; Milhorange *et al.*, 2022) apontam impactos socioambientais das secas no Nordeste do Brasil, como o aumento da vulnerabilidade à desertificação, déficit hídrico para o abastecimento humano e demandas agrícolas, comprometendo a produção de alimentos, agravando conflitos por terra e estimulando migrações em massa para centros urbanos superlotados. Diante disso, destaca-se a urgência de fortalecer a resiliência da sociedade com práticas sustentáveis e políticas adequadas

Resultados para o Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

Padrões secos e chuvosos foram identificados para os municípios de Cruz das Almas, Itaberaba e Lençóis ao longo da série histórica de 30 anos de precipitação média acumulada anual.

Na Figura 12 (a), estão representados os resultados para o IAC de Cruz das Almas, enquanto na Figura 12 (b) encontra-se a classificação dos IAC, quantificados pela porcentagem que

representam dentre o total de anos. Os anos cujos valores de IAC foram classificados como extremamente secos em Cruz das Almas foram o de 1993 (-7,33), 2012 (-6,88) e 2009 (-4,33), anos com níveis de precipitação extremamente baixos, sendo inclusive condizente com os valores de precipitação que se encontraram abaixo do valor mínimo do gráfico de caixa da Figura 2. Houve um aumento do IAC ao longo do tempo, o que é observado nos dados dos últimos anos, que foram classificados como úmidos.

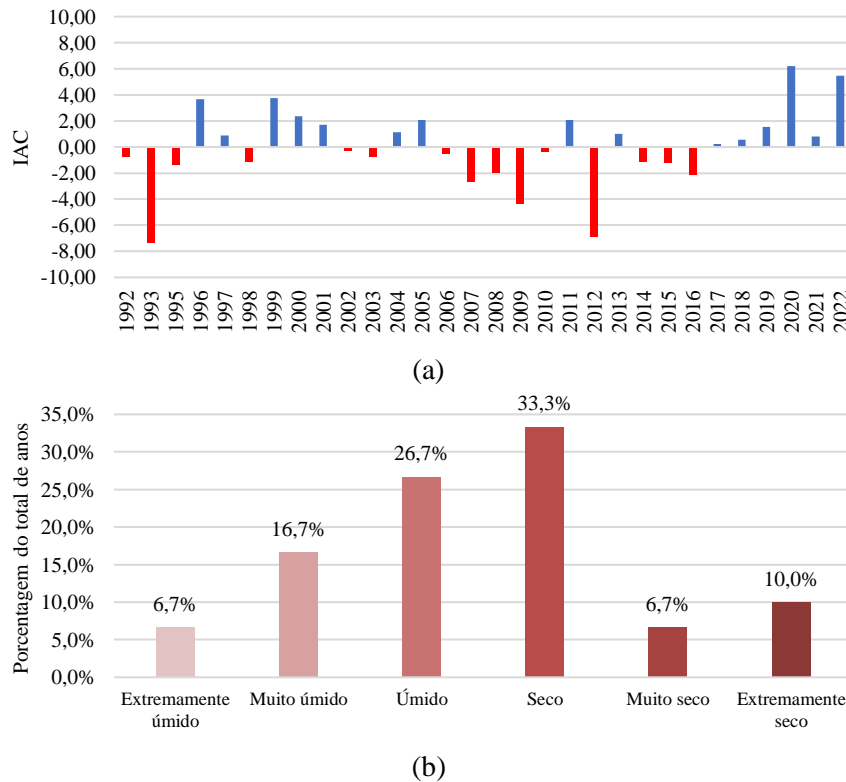


Figura 12 Valores calculados para o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) de Cruz das Almas (a) e porcentagens por classificação (b)

Na Figura 13 (a) estão representados os resultados para o IAC de Itaberaba, enquanto na Figura 13 (b) encontra-se a classificação dos IAC, quantificados pela porcentagem que representam dentre o total de anos. Apesar da maioria dos anos terem sido classificados como úmidos, é de grande preocupação que ainda uma grande parte (20%) dos anos tenha sido classificado como muito secos, indicando que no município ocorrem secas severas, que podem se agravar ainda mais com o passar dos anos devido ao efeito das mudanças climáticas.

Esse risco de situação agravante é reforçado ao se observar que o IAC aponta para uma redução do valor desse índice, esperando-se anos mais secos no futuro. Esses resultados confirmam o que se observou no cálculo do SPI

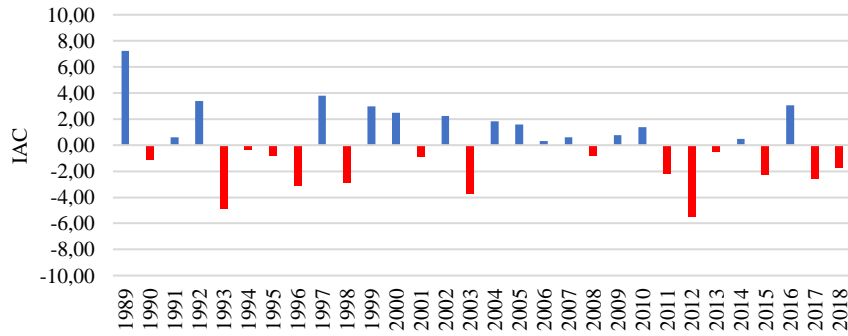
anteriormente, o qual indicou a ocorrência de secas severas no município.

Os anos que se apresentaram as maiores secas foram os de 1993 (-4,88) e 2012 (-5,49), classificados como extremamente secos, o que coincide com o que ocorreu em Cruz das Almas, indicando que as secas que ocorreram nesse ano atingiram áreas extensas.

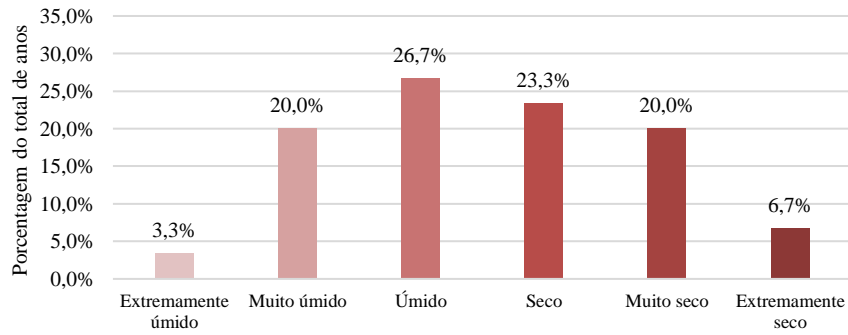
Na Figura 14 (a) estão representados os resultados para o IAC de Lençóis, enquanto na Figura 14 (b) encontra-se a classificação dos IAC, quantificados pela porcentagem que representam dentre o total de anos. Nesse município ocorreu uma quantidade reduzida de períodos úmidos quando comparado com períodos secos na série histórica de 30 anos. A maioria dos anos foram

secos, havendo ainda uma elevada porcentagem de anos muito secos que se igualaram ao percentual de anos úmidos. Nos últimos anos da série histórica

estudada ocorreram valores positivos de IAC, após um longo período de IAC negativo.

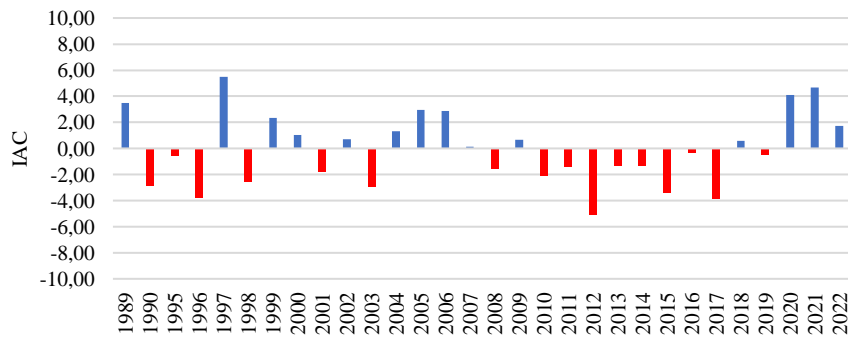


(a)

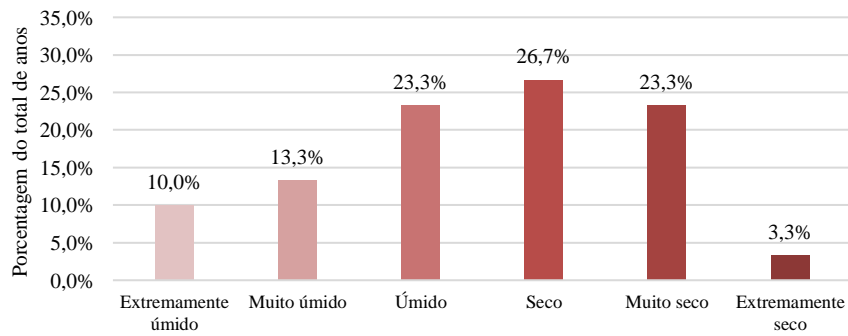


(b)

Figura 13 Valores calculados para o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) de Itaberaba (a) e porcentagens por classificação (b)



(a)



(b)

Figura 14 Valores calculados para o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) de Lençóis (a) e porcentagens por classificação (b)

Determinando-se o IAC para as regiões de estudo foi possível reafirmar os resultados obtidos no SPI, referentes à classificação dos anos secos, os quais demonstraram convergência entre os resultados, indicando consistência na utilização dos dois índices.

De acordo com Siqueira *et al.* (2021), a variabilidade do índice pluviométrico na região Nordeste do Brasil é bastante influenciada pela temperatura da superfície do mar, tanto do oceano Pacífico quanto do oceano Atlântico. Além disso, os autores destacam que certas anomalias pluviométricas que ocorreram na região possuem correlação com a ocorrência do fenômeno *El Niño*, tal como ocorrido no ano de 1997.

De forma similar ao presente trabalho, Barros *et al.* (2021) determinaram o IAC, nesse caso, para toda a região Nordeste do Brasil, e, com isso, os autores detectaram períodos históricos com número cada vez maior de dias secos consecutivos e chuvas concentradas em curtos períodos de tempo na região. Os autores apontaram que o IAC observado teve uma relação inversamente proporcional à capacidade de geração de energia eólica, demonstrando outra consequência de contínuos períodos secos.

Além disso, o IAC foi utilizado em algumas pesquisas (Aragão & Duarte, 2023; Nascimento *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022; Sousa *et al.*, 2023) voltadas para outras áreas de estudo no Nordeste do Brasil. Esses estudos destacam a relevância do IAC como um indicador eficaz para o monitoramento de eventos extremos de precipitação, atuando como uma ferramenta importante para planejamento de medidas de mitigação dos impactos das secas na região Nordeste do país.

Conclusão

Este trabalho avaliou mudanças temporais na precipitação e investigou a ocorrência de secas nos municípios de Cruz das Almas, Itaberaba e Lençóis, por meio do Índice de Precipitação Padronizada (SPI) e do Índice de Anomalia de Chuva (IAC). Os resultados obtidos permitiram caracterizar a variabilidade das chuvas e os padrões de secas em cada local, evidenciando as particularidades climáticas de cada município.

No município de Cruz das Almas, os dados de precipitação demonstraram uma baixa amplitude entre os valores mínimos e máximos de precipitação. Com isso, os casos de seca

observados para o município ocorriam de formas pontuais na série histórica de dados. Destacaram-se os anos de 1993, com a menor precipitação observada, e 2012, evidenciado pelos índices SPI e IAC como um ano de seca significativa.

Por meio dos resultados do SPI e IAC do município de Itaberaba, percebeu-se que nesse local ocorrem secas constantes e severas, situação que pode ser relacionada às baixas precipitações médias anuais identificadas na análise inicial da série de dados. A frequência dessas secas, potencializada pelas mudanças climáticas, é motivo de preocupação, pois reforça a possibilidade de eventos extremos ainda mais graves no futuro.

Lençóis demonstrou-se regular entre períodos secos e úmidos, em padrões mantidos ao longo da série histórica. Algumas exceções ocorreram em períodos específicos que houveram secas, como por volta do ano de 2012, em que se evidenciou a ocorrência de seca tanto nos resultados numéricos dos SPI calculados quanto no IAC.

Os índices empregados nesta pesquisa têm uma aplicabilidade abrangente para várias regiões de estudo. Eles conseguem destacar com clareza eventos hidrológicos extremos que têm amplos impactos na população. O tipo de caracterização feita pode ser uma ferramenta valiosa para os gestores, orientando decisões relacionadas aos recursos hídricos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo suporte financeiro dado à pesquisa (Termo de outorga de bolsa - N° BOL2327/2023), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Ambiental (PPGECEA) e à Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

Referências

- Abushandi, E., & Al Ajmi, M. (2022). Assessment of Hydrological Extremes for Arid Catchments: A Case Study in Wadi Al Jizzi, North-West Oman. *Sustainability*, 14, 14028. <https://doi.org/10.3390/su142114028>
- Anghesom, A. G., & Kozlov, D. V. (2021). Spatial and Statistical Variability Analyses of Satellite-Based Climatic Data in Mereb-Gash

- Basin. *Water Resources*, 48, 146–157. <https://doi.org/10.1134/S0097807821010152>
- Aragão, M. L., & Duarte, C. C. (2023). Dinâmica climática, eventos extremos e impactos associados no município do Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 16(2), 818–836. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.2.p818-836>
- Aryal, A., Maharjan, M., Talchabhadel, R., & Thapa, B. R. (2022). Characterizing Meteorological Droughts in Nepal: A Comparative Analysis of Standardized Precipitation Index and Rainfall Anomaly Index. *Earth*, v. 3, 409–432. <https://doi.org/10.3390/earth3010025>
- Ávila, H. D. D., Nascimento, J. F., Figueiredo, M. G. B., & Sampaio, J. B. (2020). A Governança Política no Comitê de Bacia do Rio Paraguaçu. *Revista do Desenvolvimento Regional*, 25(3), 1164-1184. <https://doi.org/10.17058/redes.v25i3.15243>
- Barros, A. M. L., Sobral, M. C. M., Assis, J. M. O., & Souza, W. M. (2021). Influence of rainfall on wind power generation in Northeast Brazil. *Brazilian Journal of Environmental Sciences*, 56, 346-364. <https://doi.org/10.5327/Z21769478769>
- Birkmann, J., Feldmeyer, D., McMillan, J. M., Solecki, W., Totin, E., Roberts, D., ... & Wrathall, D. (2021). Regional clusters of vulnerability show the need for transboundary cooperation. *Environmental Research Letters*, 16(9), 094052. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1f43>
- Costa, S. A. T., Bezerra, A. C., Araújo, A. M. Q., Silva, M. F., Cruz, J. F., Alves, R. M., & Souza, L. S. B. (2021). Dinâmica espaço-temporal das anomalias de precipitação em uma região semiárida, Nordeste do Brasil. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 18(14). <https://doi.org/10.21168/reg.v18e14>
- Dai, X., Wang, L., Li, X., Gong, J., & Cao, Q. (2023). Characteristics of the extreme precipitation and its impacts on ecosystem services in the Wuhan Urban Agglomeration. *Science of The Total Environment*, 864, 161045. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161045>
- Esmaeilpour, M., Ghasemi, A. R., Khoramabadi, F., & Rashedi, S. (2021). Spatiotemporal variability of trend in extreme precipitations using fuzzy clustering over Northwest Iran. *Earth Science Informatics*, 14(4), 2123-2132. <https://doi.org/10.1007/s12145-021-00680-9>
- Freitas, A. A., Drumond, A., Carvalho, V. S. B., Reboita, M. S., Silva, B. C., & Uvo, C. B. (2022). Drought Assessment in São Francisco River Basin, Brazil: Characterization through SPI and Associated Anomalous Climate Patterns. *Atmosphere*, 13(1), 41. <https://doi.org/10.3390/atmos13010041>
- Gemeda, D. O., Feyssa, D. H., & Garedew, W. (2021). Meteorological data trend analysis and local community perception towards climate change: a case study of Jimma City, Southwestern Ethiopia. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 5885-5903. < <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00851-6>>
- Hussain, A., Cao, J., Ali, S., Muhammad, S., Ullah, W., Hussain, I., ... & Zhou, J. (2022). Observed trends and variability of seasonal and annual precipitation in Pakistan during 1960–2016. *International Journal of Climatology*, 42(16), 8313-8332 <https://doi.org/10.1002/joc.7709>
- Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2018). *Plano de Ações Estratégicas para Gerenciamento dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do Rio Paraguaçu e do Recôncavo Norte e Inhambupe: bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu - PP02A*. INEMA.
- Inocêncio, T. M., Neto, A. R., Oertel, M., Meza, F. J., & Scott, C. A. (2021). Linking drought propagation with episodes of climate-Induced water insecurity in Pernambuco state-Northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*, 193, 104593. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104593>
- Jager, A., Corbane, C., & Szabo, F. (2022). Recent developments in some long-term drought drivers. *Climate*, 10(3), 31. <https://doi.org/10.3390/cli10030031>
- Jenifer, M. A., & Jha, M. K. (2021). Assessment of precipitation trends and its implications in the semi-arid region of Southern India. *Environmental challenges*, 5, 100269. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100269>
- Kchouk, S., Ribeiro Neto, G., Melsen, L. A., Walker, D. W., Cavalcante, L., Gondim, R., & van Oel, P. R. (2023). Drought-impacted communities in social-ecological systems: Exploration of different system states in Northeast Brazil. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 97, 104026. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.104026>
- Khalil, A. (2022). Space-time characterization of droughts in the Mae Klong River Basin, Thailand, using rainfall anomaly index. *Water*

- Supply*, 22(9), 7352-7374.
<https://doi.org/10.2166/ws.2022.306>
- Likinaw, A., Alemayehu, A., & Bewket, W. (2023). Trends in Extreme Precipitation Indices in Northwest Ethiopia: Comparative Analysis Using the Mann–Kendall and Innovative Trend Analysis Methods. *Climate*, 11(8), 164.
<https://doi.org/10.3390/cli11080164>
- Marengo, J. A., Galdos, M. V., Challinor, A., Cunha, A. P., Marin, F. R., Vianna, M. D. S., ... & Bender, F. (2022). Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security. *Climate Resilience and Sustainability*, 1(1), e17.
<https://doi.org/10.1002/cli2.17>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (pp. 179-184). American Meteorological Society.
- Melo, M. H. B., Gomes, H. B., Silva, M. T., & Cabral, S. L. (2025). Análise da variação térmica e índice pluviométrico em Bacias Hidrográficas no Semiárido Brasileiro de acordo com projeções do CMIP6. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 18(1), 001-018.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v18.1.p001-018>.
- Milhorance, C., Le Coq, J. F., Sabourin, E., Andrieu, N., Mesquita, P., Cavalcante, L., & Nogueira, D. (2022). A policy mix approach for assessing rural household resilience to climate shocks: Insights from Northeast Brazil. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 20(4), 675-691.
<https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1968683>
- Moccia, B., Papalexiou, S. M., Russo, F., & Napolitano, F. (2021). Spatial variability of precipitation extremes over Italy using a fine-resolution gridded product. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 37, 100906.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100906>
- Nascimento, F. H., & Vale, C. C. (2019). Efeito orográfico em um transecto entre Fundão e Santa Teresa no estado do Espírito Santo no ano hidrológico 2015/2016. *Geografares*, 29.
<https://journals.openedition.org/geografares/579>
- Nascimento, M. D., Silva, T. D., Paiva, W. D., Santos, L. D., & Araújo, L. D. (2021). Análise da Variabilidade Pluviométrica na Microrregião do Curimataú Ocidental, Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(01), 082-093.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.1.p082-093>
- National Drought Mitigation Center (2018). SPI Generator [software]. University of Nebraska–Lincoln.
<https://drought.unl.edu/Monitoring/SPI/SPIProgram.aspx>
- Oliveira-Júnior, J. F., Gois, G., Silva, I. J. L., de Souza, E. O., Jardim, A. M. D. R. F., Silva, M. V., ... & Jamjareegulgarn, P. (2021). Wet and dry periods in the state of Alagoas (Northeast Brazil) via Standardized Precipitation Index. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 224, 105746.
<https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105746>
- Parajuli, B., Zhang, X., Deuja, S., & Liu, Y. (2021). Regional and seasonal precipitation and drought trends in ganga–brahmaputra basin. *Water*, 13(16), 2218.
<https://doi.org/10.3390/w13162218>
- Paredes-Trejo, F., Barbosa, H. A., Giovannettone, J., Kumar, T. V. L., Thakur, M. K., Buriti, C. O., & Uzcátegui-Briceño, C. (2021). Drought Assessment in the São Francisco River Basin Using Satellite-Based and Ground-Based Indices. *Remote Sensing*, 13(19), 3921.
<https://doi.org/10.3390/rs13193921>
- Pavan, V., Antolini, G., Barbiero, R., Berni, N., Brunier, F., Cacciamani, C., ... & Torrigiani Malaspina, T. (2019). High resolution climate precipitation analysis for north-central Italy, 1961–2015. *Climate Dynamics*, 52, 3435-3453.
<https://doi.org/10.1007/s00382-018-4337-6>
- Raziei, T. (2021). Revisiting the rainfall anomaly index to serve as a simplified standardized precipitation index. *Journal of Hydrology*, 602, 126761.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126761>
- Rodrigues, E. L., Sousa, F. A. S., & Lopes, R. F. C., (2022). Análise da Variabilidade dos Períodos Secos e Chuvosos da Precipitação Pluvial no Estado da Paraíba Utilizando o Índice Padronizado de Precipitação (IPP). *Revista Brasileira De Geografia Física*, 15(5), 2544–2581.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2544-2581>
- Royer, A. C., Figueiredo, T., Fonseca, F., de Araújo Schütz, F. C., & Hernández, Z. (2021). Tendências de mudança na precipitação e na susceptibilidade à seca avaliada pelo Índice de Precipitação Normalizada (SPI) no nordeste de Portugal. *Territorium*, (28 (II)), 13-26.
- Savelli, E., Rusca, M., Cloke, H., & Di Baldassarre, G. (2022). Drought and society:

- Scientific progress, blind spots, and future prospects. *WIREs Climate Change*, 13(3), e761. <https://doi.org/10.1002/wcc.761>
- Silva, T. R. B. F., Santos, C. A. C. D., Silva, D. J. F., Santos, C. A. G., Silva, R. M., & Brito, J. I. B. (2022). Climate indices-based analysis of rainfall spatiotemporal variability in Pernambuco State, Brazil. *Water*, 14(14), 2190. <https://doi.org/10.3390/w14142190>
- Silva, A. S. A., Stosic, T., Arsenić, I., Menezes, R. S. C., & Stosic, B. (2023). Multifractal analysis of standardized precipitation index in Northeast Brazil. *Chaos, Solitons & Fractals*, 172, 113600. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2023.113600>
- Silva, A. C., & Pereira, F. F. (2023). Zoneamento e avaliação da severidade das estiagens entre os anos de 1961 até 2019 na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco com base em valores do Índice de Precipitação Padronizado. *Revista de Geociências do Nordeste*, 9(2), 56-68. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2023v9n2ID32622>
- Silva Júnior, I. B., Araújo, L. S., Stosic, T., Menezes, R. S. C., & Silva, A. S. A. (2024). Space-Time Variability of Drought Characteristics in Pernambuco, Brazil. *Water*, 16(11), 1490. <https://doi.org/10.3390/w16111490>
- Siqueira, B., Nery, J. T., & Messeguer-Ruiz, O. (2021). Análise dos Índices das Temperaturas Superficiais das Zonas Intertropicais dos Oceanos Pacífico e Atlântico associados às precipitações no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(02), 1081-1093. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p1081-1093>
- Sousa, F. D. A. S., Macedo, M. J. H., Guedes, R. V. S., & Silva, V. D. P. R. (2016). O Índice de Precipitação Padronizada (IPP) na identificação de extremos de chuvas e secas na bacia do rio Paraguaçu (BA). *Ambiência*, 12(2), 707-719. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2016.02.14>
- Sousa, L. F., Ferraz, L. L., Santos, C. A. S., Rocha, F. A., & Jesus, R. M. (2023). 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*, 128, 104464. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104464>
- Souza, T. S., & Nascimento, P. S. (2021). Spatial and temporal variability of pluviometric precipitation in the hydrographic region of Paraguaçu-BA. *Revista Cerrados*, 19(1), 203-229. <https://doi.org/10.46551/rc24482692202109>
- Tan, X., Wu, X., & Liu, B. (2021). Global changes in the spatial extents of precipitation extremes. *Environmental Research Letters*, 16(5), 054017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf462>
- Van Rooy, M. P. (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14, 43-48.
- Viney, N. R., Bates, B. C. (2004). It never rains on Sunday: The prevalence and implications of untagged multi-day rainfall accumulations in the Australian high quality data set. *International Journal of Climatology*, 24, 1171-1192. <https://doi.org/10.1002/joc.1053>
- World Meteorological Organization (2012). *Standardized Precipitation Index User Guide*. Geneva. WMO. <https://library.wmo.int/idurl/4/39629>
- Zhang, Y., Wang, P., Chen, Y., Yang, J., Wu, D., Ma, Y., ... & Liu, S. (2023). The optimal time-scale of Standardized Precipitation Index for early identifying summer maize drought in the Huang-Huai-Hai region, China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 46, 101350. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101350>