



RISCOS



**DETERMINAÇÃO DE EVENTOS SECOS E CHUVOSOS EM REGIÕES DO NORDESTE BRASILEIRO-BRASIL,
USANDO O ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO NORMALIZADA***

DETERMINATION OF DRY AND RAINY EVENTS IN BRAZILIAN-BRAZILIAN NORTHEAST REGIONS OF BRAZIL,
USING THE NORMALIZED RAINFALL INDEX

Antônia Silânia de Andrade

Instituto Nacional do Semiárido - INSA, Núcleo de Desertificação (Brasil)
ORCID 0000-0001-9333-8251 antonia.andrade@pesquisa.insa.gov.br

Célia Campos Braga

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (Brasil)
Departamento de Ciências Atmosféricas, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
ORCID 0000-0001-6383-3112 celia.braga@ufcg.edu.br

Welinagila Grangeiro de Sousa

Instituto Nacional do Semiárido - INSA, Núcleo de Gestão da Informação e Popularização da Ciência (Brasil)
ORCID 0000-0002-5161-6345 welinagila.sousa@pesquisa.insa.gov.br

Madson Tavares Silva

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (Brasil)
Departamento de Ciências Atmosféricas, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
ORCID 0000-0003-1823-2742 madson.tavares@professor.ufcg.edu.br

RESUMO

A seca é um evento extremo recorrente que afeta basicamente todos os regimes climáticos, prejudicando diferentes setores da sociedade, como a geração de energia hidroelétrica, agricultura e os ecossistemas. Sendo assim, diferentes índices de secas vêm sendo utilizados, com o objetivo entender o comportamento desse fenômeno, dentre eles, o Índice de Precipitação Normalizado - Standardized Precipitation Index (SPI). Neste estudo, avaliou-se a variabilidade espaço temporal de eventos secos e chuvosos, a partir da metodologia do SPI em regiões homogêneas no estado Paraíba. Calcularam-se os índices SPI-3 e SPI-6 (sazonal e semestral), para o período de 1962-2019. A análise dos índices mostraram que as regiões mais secas para o SPI-3 e SPI-6 são Sertão e o Cariri e que a mais úmida é o litoral, indicando que a metodologia permite identificar o padrão climático da região. Portanto o Índice de Precipitação Normalizada mostrou-se eficaz para quantificar os eventos secos e chuvosos, assim como no monitorando déficit/excesso de precipitação, ressaltando a importância dessa ferramenta para avaliar a variabilidade espaço-temporal de uma região, uma vez que identifica eventos secos/úmidos como base em valores mensais.

Palavras-chave: Eventos extremos, SPI, regime climático.

ABSTRACT

Drought is a recurring extreme event that affects basically all climate regimes, and harmsing different sectors of society, such as hydroelectric power generation, agriculture, and ecosystems. Therefore, different drought indices have been used to understand the behaviour of this phenomenon, among one of them being, the Standardized Precipitation Index (SPI). In tThis study evaluated, the spatial and temporal variability of dry and rainy events was evaluated, based on the SPI methodology, in homogeneous regions in the state of Paraíba. The SPI-3 and SPI-6 indices (seasonal and semi-annual) were calculated for the period 1962-2019. The analysis of the indices showed that the driest regions for SPI-3 and SPI-6 are Sertão and Cariri and that the wettest is the coast, indicating that the methodology allows identifying the climate pattern of the region to be identified. Therefore, the Normalized Precipitation Index proved to be effective in for quantifying dry and rainy events, as well as in for monitoring precipitation deficit/excess, highlighting. This highlights the importance of this tool in when it comes to assessing the spatial-temporal variability of a region, since it identifies dry/wet events based on monthly values.

Keywords: Extreme events, SPI, patterns.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no VI Congresso Internacional de Riscos, tendo sido submetido em 26-09-2023, sujeito a revisão por pares a 17-11-2023 e aceite para publicação em 19-02-2025. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 32 (N.º Especial), 2025, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

Vista como um fenômeno natural que se repete regularmente, a seca afeta praticamente todos os tipos de clima, causando impactos negativos em diversos setores da sociedade, tais como a produção de energia elétrica, agricultura, turismo e ecossistemas (Zhao *et al.*, 2018; Marengo *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023). Um grande desafio para os gestores do meio ambiente e os responsáveis por tomar decisões é acompanhar o início, o desenvolvimento e o final dos períodos de estiagem (Dantas *et al.*, 2020).

O Semiárido é uma região de alta sensibilidade, principalmente quando se considera às variações climáticas e suas particularidades. Sendo caracterizado por um período seco e de recorrente déficit hídrico sazonal, onde muitas das vezes se estendem por 6 (seis) a 8 (oito) meses ao longo de um mesmo ano, apresenta precipitações irregulares que se situam na faixa dos 300 a 800 mm (Araújo Filho *et al.*, 2019). Sendo assim avaliar as secas e seus efeitos não é uma tarefa fácil principalmente nas regiões áridas e semiáridas. Consequentemente, diferentes índices vêm sendo aplicados para mensurar a severidade das secas com o intuito de facilitar o entendimento desse fenômeno, e dentre eles, o Índice de Precipitação Normalizado - Standardized Precipitation Index (SPI) McKee *et al.* (1993)

O SPI apresenta uma série de vantagens associadas ao seu uso, sendo elas: possibilidade de determinação do período de retorno da seca, ampla flexibilidade (aplica-se em diferentes escalas temporais), simplicidade de aplicação, versatilidade (pode ser combinado com outras variáveis), capacidade de adequação às diversas situações climáticas (permite a análise espacial e a comparação de diferentes regiões), possibilita o monitoramento e aviso prévio da seca (Santos, 2020; Svoboda e Fuchs, 2017; Santos e Portela, 2010; López-Moreno *et al.*, 2009).

Diversos estudos já foram realizados para analisar a capacidade do SPI em identificar e caracterizar eventos de secas. Ganapathi (2018), utilizou as informações advindas do índice para identificar a gravidade da seca no Distrito Ahmednagar, na Índia, tendo constatado que o SPI pode ser usado como ferramenta para fins de avaliação e monitoramento da seca na região, podendo ser aplicado em diversas escalas temporais e espaciais, com o intuito de trazer uma melhor análise da severidade da seca. Zarch *et al.* (2015) analisaram a tendência de ocorrência de secas, no período de 1960 a 2009, para as várias zonas climáticas do planeta. Com isso, eles chegaram à conclusão de que o SPI não tem a capacidade de identificar secas futuras diante da ocorrência do aquecimento global, necessitando assim, ser associado a outros índices. Wu *et al.* (2007) analisaram a atuação do clima árido e dos períodos secos na determinação do SPI de curto prazo para os EUA. Neste estudo, os autores

concluíram que, quando existe uma grande quantidade de dias sem ocorrência de precipitação (valor zero), os valores de SPI não indicam adequadamente a ocorrência de secas. Além disso, os autores pedem aos usuários que sejam cautelosos ao aplicar e analisar os valores de SPI em regiões com regimes climáticos variáveis, no caso de clima mais seco, deve-se focar na duração da seca e não apenas na sua gravidade.

No Brasil, Silva *et al.* (2020), Gandu *et al.* (2015), Fechine (2015), Macedo *et al.* (2011) e Blain *et al.* (2010) realizaram estudos com o intuito de aplicar o SPI no monitoramento e caracterização das secas para os estados, utilizando uma escala regional, que foi adaptada para a área de estudo. O trabalho realizado por Silva *et al.* (2020) buscou caracterizar os eventos extremos e suas causas climáticas através da utilização do SPI para o Leste do Nordeste Brasileiro. Desse modo, eles concluíram que, o SPI mostrou-se capaz de quantificar eventos de seca ou de abundância de chuvas, assim como monitorar a precipitação, revelando ser uma ferramenta eficiente para ser utilizada na mitigação de secas.

Já o estudo realizado por Fechine (2015) teve como finalidade identificar as secas meteorológicas na região Metropolitana de Fortaleza. Foi utilizado o SPI na escala quadrimestral (04 meses), correspondendo aos meses de fevereiro a maio. Os eventos de seca apontados pelo índice foram correlacionados com os episódios de El Niño, La Niña, Dipolo do Atlântico Tropical e com a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Desse modo, verificou-se que, quase todos os eventos de seca encontrados pelo índice foram em anos de atuação do fenômeno El Niño, em conjunto com o gradiente meridional de anomalia da Temperatura de Superfície do Mar (TSM). Além disso, também foi observado pelo autor que, as principais secas ocorridas na área de estudo, foram classificadas entre moderadas a severas.

Macedo *et al.* (2011) realizaram o monitoramento e a identificação da intensidade das secas, assim como dos períodos chuvosos para a cidade de Campina Grande no estado da Paraíba. Para isso, os autores utilizaram o SPI em diversas escalas temporais (01, 03, 06, 12 e 24) e constataram que o índice expressa de forma satisfatória a realidade pluviométrica da região. Nascimento *et al.* (2017) utilizaram a metodologia do SPI para quantificar os eventos extremos de seca e chuva no estado do Maranhão no período de 1987- 2015. Os autores delimitaram o estado em 5 cinco regiões homogêneas, e que o SPI-6 explica bem o regime pluviométrico, apresentado duas estações bem definida. A maioria dos eventos secos / chuvosos ocorreram em anos El Niño/La Niña.

Para Mendonça *et al.* (2007) e Cunha (2020), o El Niño é um fenômeno oceânico bem caracterizado pelo aquecimento incomum das águas superficiais na porção central e leste do Oceano Pacífico. Esse aquecimento

proporciona nas proximidades da América do Sul, algumas consequências que foram relacionadas às graves perturbações climáticas que causam ora déficit hídricos (secas anormais) ou superávit de umidade (com ciclones e chuvas com totais pluviométricos elevados em relação às normais locais e regionais) nas precipitações, em regiões habitualmente isentas de tais eventos. Já a ocorrência da La Niña, causa um resfriamento atípico das águas do Oceano Pacífico e desempenha impactos positivos nas atividades humanas, principalmente em regiões Semiáridas por proporcionar a manutenção ou aumento da umidade e das precipitações.

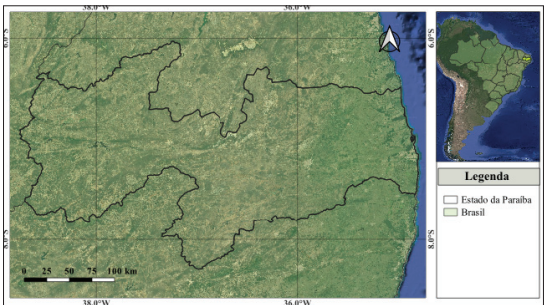
Sendo assim o Índice de Precipitação Padronizado (SPI) é uma ferramenta importante na análise e monitoramento da variabilidade climática e dos eventos de seca e excesso de chuva. Para o estado da Paraíba, o estudo do SPI é particularmente relevante devido às características climáticas da região, por estar inserido no semiárido, onde a irregularidade das chuvas e a ocorrência de secas prolongadas são comuns.

Portanto, estudar o comportamento espaço temporal de áreas susceptíveis a evento extremos, ajuda no planejamento das distintas atividades, tais como: agrícolas e no gerenciamento dos recursos hídricos. Com base no exposto, o artigo teve como objetivo avaliar e compreender variabilidade espaço temporal e espacial dos eventos secos e chuvosos ocorridos em distintas RH no estado da Paraíba, a partir Índice de Precipitação Padronizada - SPI, no período de 1962 a 2019.

Metodologia

Área de estudo

O Estado da Paraíba localiza-se na região Nordeste do Brasil com uma área de 56.372 km², correspondente a 0,66% do território nacional, estando posicionado entre os paralelos 6° 02' 12" e 8° 19' 18" S, e entre os meridianos de 34° 45' 54" e 38° 45' 45" W. Ao norte, limita-se com o Estado do Rio Grande do Norte; a leste, com o Oceano Atlântico; a oeste, com o Estado de Ceará; e ao sul, com o Estado de Pernambuco (fig. 1), (IBGE, 2024).



Relevo e clima

O relevo da Paraíba é bastante diversificado e pode ser dividido em três grandes unidades geomorfológicas: A faixa litorânea é relativamente plana e caracteriza-se pela presença de praias, dunas e tabuleiros costeiros, com altitudes que variam de 0 a 200 metros. O Planalto da Borborema é a região mais elevada do estado, com altitudes que podem chegar a 1.197 metros. É uma formação antiga e bastante erodida, com paisagens de serras, chapadas e vales profundos. Finalmente, a Depressão Sertaneja, situada entre o Planalto da Borborema e a faixa litorânea, apresenta altitudes menores, geralmente entre 200 e 500 metros, e é caracterizada por uma paisagem de transição entre o litoral e o sertão (Francisco; Santos, 2017) (fig. 2).

A geomorfologia da Paraíba é influenciada pela sua posição geográfica e pela variedade de formações geológicas que compõem o estado: As Formações Sedimentares, abrangendo arenitos e calcários, estão presentes principalmente na faixa litorânea, nomeadamente nas falésias e os tabuleiros costeiros. As Formações Cristalinas dominam o Planalto da Borborema e são compostas principalmente por rochas ígneas e metamórficas, como granito e gnaiss. Essas formações são responsáveis pelas serras e chapadas que caracterizam a região. Nas planícies e nos vales dos rios, especialmente na Depressão Sertaneja, encontram-se Depósitos Aluviais formados por sedimentos trazidos pela água, como argilas, areias e siltes.

Essas características combinadas tornam a Paraíba um estado de contrastes, com paisagens que vão desde praias paradisíacas até serras imponentes e sertões áridos.

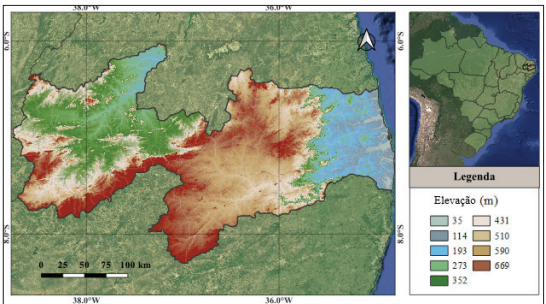


Fig. 2 - Mapa hipsométrico do estado da Paraíba - Brasil (Fonte: adaptado de Brasil em Relevo 2025).

Fig. 2 - Hypsometric map of the Sstate of Paraíba - Brazil (Source: adapted from Brazil in Relief 2025).

O clima da Paraíba varia consideravelmente de acordo com a região: No Litoral, o clima é tropical úmido, com temperaturas médias anuais em torno de 25°C a 30°C e uma estação chuvosa que se estende de março a agosto. O clima é tropical semiárido, com chuvas concentradas

no primeiro semestre do ano e temperaturas médias anuais entre 22 °C e 26 °C. No Sertão, o clima é semiárido, caracterizado por longos períodos de seca, chuvas irregulares e temperaturas médias anuais altas, que podem ultrapassar os 30 °C. A estação chuvosa é curta e ocorre geralmente entre janeiro e abril (AESA, 2022)

A variabilidade espaço-temporal da precipitação é bastante diversificada, como consequência da atuação de diferentes sistemas atmosféricos ou resposta aos efeitos dinâmicos provocados pela sua posição geográfica e orografia. Os totais médios anuais de precipitação decrescem rapidamente no sentido leste-oeste até região central, em seguida aumenta gradativamente até o extremo oeste do estado, com precipitações que variam entre 300 mm na região central (mais seca) até superiores a 1900 mm no litoral como é identificado na fig. 3. As chuvas no estado são afetadas pela atuação de diferentes sistemas atmosféricos que atua em distintas épocas do ano, tais como: ZCIT, VCAS, Ondas de Leste, Brisas (Gan e Kousky, 1986; Uvo, 1989; Ferreira; Mello, 2005). No setor leste o período mais chuvoso ocorre de maio a julho, cuja precipitação é proveniente dos sistemas de leste, tais como ondas de leste e brisas (Ferreira; Mello, 2005). Na região central e oeste o trimestre mais chuvoso de fevereiro a abril, os quais são influenciados pela ZCIT e VCANs (Uvo, 1989) e efeitos dinâmicos devido à orografia (planalto da Borborema).

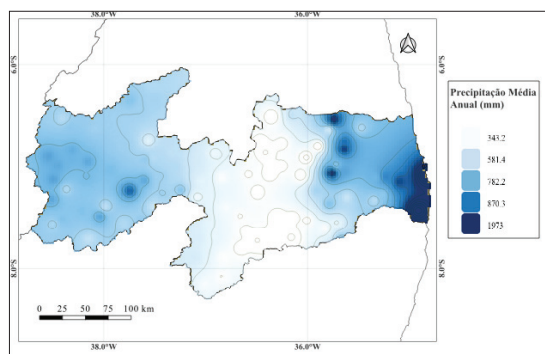


Fig. 3 - Distribuição espacial da precipitação no período de 1962 a 2019.

Fig. 3 - Spatial distribution of precipitation in the period from 1962 to 2019.

Dados Utilizados

Os dados mensais utilizados neste estudo são provenientes de séries temporais de 96 postos pluviométricos especializados no Estado da Paraíba no de 1962 a 2019 (fig. 3). Esses dados foram obtidos da Agência Executiva de Gestão das Águas (AESA). Nesta pesquisa determinaram-se os Índices Secas nas escalas de tempo de três e seis meses (SPI-3 e SPI-6) para seis regiões homogêneas previamente determinadas.

Análise de agrupamento

As regiões homogêneas (RH) foram obtidas a partir do método de agrupamento hierárquico. Os métodos de agrupamentos em geral permitem classificar elementos de um conjunto em grupos homogêneos a partir da identificação de suas características comuns. O conjunto é particionando em diferentes grupos de padrões semelhantes (Ahmad; Starkey, 2018). De acordo com Karaboga e Ozturko (2011) o objetivo da Análise de Agrupamentos é agrupar dados em grupos (clusters) de tal forma que as semelhanças entre membros de dentro do mesmo cluster sejam máximas, enquanto as semelhanças entre membros de diferentes clusters são mínimas. Entre os métodos de classificação conhecidos na literatura, optou-se determinar as RH pelo método de hierarquização proposto por Ward 1963, por apresentar melhor coerência espacial com o regime pluviométrico da região. Este método utiliza como função de agrupamento a Distância Euclidiana e como critério de agrupamento a soma dos quadrados dos desvios.

Segundo Wilks (2006) a função de dissimilaridade ou similaridade empregada para medir a distância entre duas variáveis ou para designar o quanto eles são semelhantes é a distância euclidiana dada pela Equação (1):

$$d_{ij} = [X_i - X_j] = \left[\sum_{k=1}^p (X_{i,k} - X_{j,k})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

em que

X_{ik} é o valor da variável X_k para o objeto i ;

X_{jk} é o valor da variável X_k para o objeto j e

p variáveis usadas $X_1, \dots, X_P$

O método de Ward interliga as amostras por suas associações e considera, para a formação inicial dos grupos, aqueles indivíduos que proporcionam a menor soma de quadrados dos desvios. As regiões homogêneas foram obtidas por meio de uma matriz de dados, organizada da seguinte maneira: as linhas são compostas pelas microrregiões e as colunas pelos valores médios da precipitação para todo o período.

Segundo Wilks (2006) e Bem *et al.* (2015) a função de dissimilaridade é empregue como critério para medir a distância entre dois pontos ou para designar o quanto eles são semelhantes, através da raiz quadrada da soma dos quadrados das diferenças de valores para cada variável.

O método hierárquico de Ward procura por partições que minimizem a perda associada a cada agrupamento (Everitt, 1974; Bussab *et al.*, 1990; Mingoti, 2005). A perda é calculada mediante diferença entre a soma dos erros quadráticos entre os indivíduos e a média da partição em que está contido, conforme Equação (2):

$$SQD = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad (2)$$

em que:

n é o número total de elementos do agrupamento e

x_i é o i -ésimo elemento do agrupamento.

Índice Normalizado de Precipitação (SPI)

O Índice Normalizado de Precipitação (SPI) é utilizado para estudar flutuação da precipitação de um determinado local em diferentes escalas de tempo, necessitando apenas dos dados da precipitação. Pode ser determinado para diferentes escalas de tempo, de mensal a anual, passando por sazonal ou semestral. Estas escalas refletem as condições de curto prazo que são importantes para monitoramento das secas-

O cálculo do SPI consiste inicialmente em ajustar uma função densidade de probabilidade à distribuição de frequência da precipitação de uma determinada localidade. Há uma variedade de distribuições de probabilidade usadas para representar um conjunto de dados. A escolha frequente, usada para representar dados de precipitação, é a distribuição Gama (Wilks, 2006). A função densidade de probabilidade Gama é dada por:

Em que:

$\alpha > 0$ (parâmetro de forma)

$\beta > 0$ (parâmetro de escala)

$x > 0$ (quantidade de precipitação)

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (\text{função Gama}) \quad (3)$$

Nos casos em que a série pesquisada se ajustar a uma distribuição gaussiana, o SPI pode ser obtido simplesmente subtraindo-se cada valor da precipitação a sua média e dividindo pelo desvio-padrão (Wilks, 2006):

$$SPI = Z_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\sigma_i} \quad (4)$$

Sendo:

i : escala temporal (3, 6 ou 12 meses)

X_i : precipitação acumulada no período considerado

$\bar{X}_i$: média da série precipitação no período considerado

σ_i : desvio-padrão da série de precipitação no período considerado

A precipitação total para o período é então especificada com um valor de SPI consistente com a probabilidade. Ou seja, valores de SPI positivos ou negativos significam valores superiores ou inferiores à mediana da precipitação. Os valores diferentes de zero são uma medida probabilística da gravidade de um evento ser

chuvoso ou seco, que pode ser usado para avaliação de risco. O valor zero indica precipitação média. Na TABELA I constam as categorias de SPI de acordo com o descrito por McKee *et al.* (1993).

TABELA I - Caracterização dos eventos secos e chuvosos segundo o SPI.

TABLE I - Characterization of dry and rainy events according to the SPI.

Valor do SPI	Categoria
>2,00	Chuva Extrema
1,51 a 2,00	Chuva Severa
1,01 a 1,50	Chuva Moderada
0,51 a 1,00	Chuva Fraca
-0,50 a 0,50	Normal
-0,51 a -1,00	Seca Fraca
-1,01 a -1,50	Seca Moderada
-1,51 a -2,00	Seca Severa
<-2,00	Seca Extrema

Fonte/Source: adaptado de / adapted from McKee *et al.*, 1995.

Neste estudo foi calculado o SPI nas escalas de tempo que melhor representem o monitoramento da escassez e/ou dos excessos de precipitação para o Estado da Paraíba.

Resultados e Discursões

Regiões Homôneas da precipitação na Paraíba

Brito e Braga (2005) dividiram o Estado da Paraíba em seis Regiões Homôneas (RH) de precipitação. Neste estudo, utilizaram-se séries de precipitação atualizada e procedeu-se a uma nova classificação das RH, no sentido de verificar se houve ou não alterações das obtidas anteriormente. Foi utilizada a mesma metodologia de classificação hierárquica para encontrar as RH, ou seja, o método proposto por Ward (1963), tendo como métrica a função de agrupamento a distância euclidiana e critério de agregação à soma dos quadrados dos desvios (Everitt, 1993; Wilks, 2006). O número de RH foi determinado a partir de cortes transversais no dendrograma (árvore de classificação), efetuado com base no critério de agrupamento e do conhecimento prévio do regime de chuva da Paraíba. É importante salientar que a precipitação total média anual no Estado, oscila de 300 mm nas regiões mais semiáridas e superam os 1200 mm na região litorânea (fig. 4). Levando em consideração estes procedimentos o estado foi subdividido em seis (06) Regiões Homôneas da precipitação do ponto de vista de sua variabilidade sazonal e interanual, concordando os resultados de Brito e Braga (2005). As RH da precipitação estão ilustradas na fig. 4).

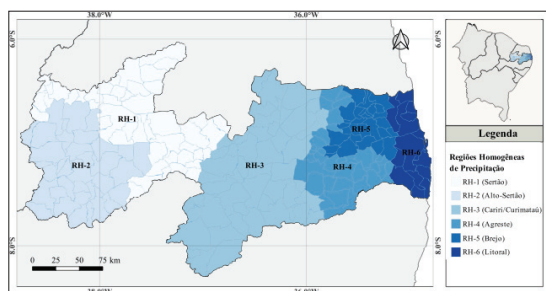


Fig. 4 - Espacialização das regiões homogêneas da precipitação no período de janeiro de 1962 a dezembro de 2019.

Fig. 4 - Spatialization of homogeneous precipitation regions from January 1962 to December 2019.

Análise do Índice Normalizado de chuva (SPI)

A seguir são apresentados e analisados os resultados obtidos dos SPI para cada região homogênea do estado da Paraíba. São analisados os resultados do SPI nas escalas de tempo de 3 e 6 meses, objetivando identificar os períodos mais secos e úmidos para cada região.

Os valores obtidos para o SPI-3 estão ilustrados na fig. 5 Os maiores picos negativo -2,66 e -3,19 ocorreram em 2012 na RH1 e em 2004 na RH2, respectivamente. Essas regiões mostraram o maior número de caso de episódios de seca na escala sazonal (SPI-3).

Os anos que se destacaram com valores elevados de SPI negativos nas duas regiões foram anos de 1970, 1980, 1981, 1983, 1990, 1993, 1998, 2012, 2013, 2016 e 2018, mostrando que os resultados encontrados com a análise do SPI-3 se assemelham aos eventos de seca severa nas escalas maiores com: SPI-12 (1976, 1983, 1998); SPI-24 e SPI-48 (1999), que estão de acordo com secas históricas na região do Nordeste (Marengo *et al.*, 2017). Estas ocorrências coincidem com episódios de El Niño: 1976-1997, 1982-1983 e 1997-1998 (INPE, 2021).

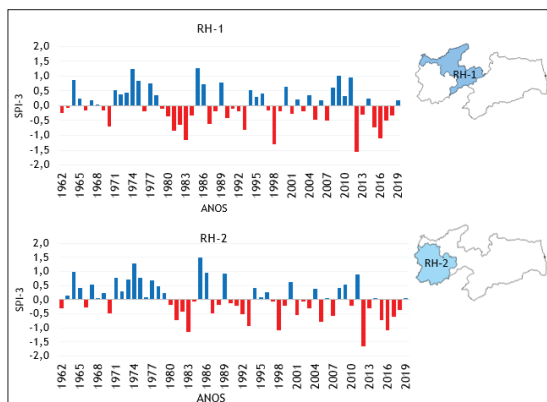


Fig. 5 - Distribuição espacial das regiões homogêneas mais secas com base nos valores de SPI-3 no período de janeiro de 1962 a dezembro de 2019.

Fig. 5 - Spatial distribution of the driest homogeneous regions based on SPI-3 values from January 1962 to December 2019.

É importante salientar que as RH1 e RH2 (fig. 5), tem sua concentração de chuvas entre janeiro e abril, visto que seu maior índice pluviométrico ocorre no mês de março. Sendo assim as chuvas nessas regiões estão associadas aos efeitos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), aos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) e efeitos orográficos locais (Gan; Kousky, 1986; Ferreira; Mello, 2005)

Na fig. 6, são ilustradas as series temporais do SPI-6 para as RH5, podendo-se observar que os anos mais secos foram de 1981, 1993, 1998, 2012, 2013, 2016, 2017 e 2018; os anos de 1998 e 2016 como já comentado da seção anterior, teve eventos de El Niño, responsável por ocorrência de secas no nordeste brasileiro. O SPI-6 para RH5 apresentou alta flutuação entre SP-6 negativos (secas) e positivos (chuvosos), tendo assim, poucos períodos com meses seguidos considerados normais (sem anomalias).

Entre os valores negativos de Precipitação pelo SPI para as RH 5, tem-se o ano de 2016 (-3,28) o menor valor, o qual não apresentou união de escalas temporais diferentes nem fenômeno com forte atuação, apenas vestígios da escala decadal. A ausência dos fenômenos e a não junção de escalas nas mesmas fases podem ser as possíveis causas de anos com valores de precipitação baixos (Da Silva *et al.*, 2020).

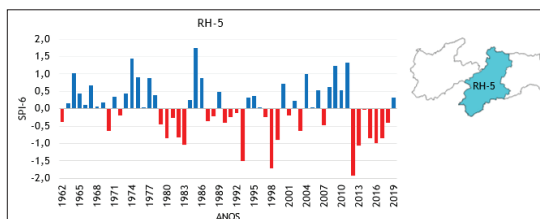


Fig. 6 - Distribuição espacial das regiões homogêneas mais secas com base nos valores de SPI-6 para o período de janeiro de 1962 a dezembro de 2019.

Fig. 6 - Spatial distribution of the driest homogeneous regions based on SPI-6 values from January 1962 to December 2019.

O período chuvoso da RH5, desloca de oeste para leste, assim, sua quadra chuvosa iniciando em fevereiro e vai até maio, sendo abril o mês com maiores índices pluviométricos. Tem como principal sistema meteorológico responsável pela pluviosidade na região a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

As séries temporais do SPI-3 e SPI-6 (fig. 7) ocorreram períodos mais chuvosos que decorrem nos anos de 1963 a 1964; 1978 a 1979; 1989 a 1990 e de 2004 a 2011. Nestes anos os maiores valores de SPI (> 2,0) caracterizando precipitação de extrema intensidade, sendo que o período de 63/64 ocorreu uma transição de El Niño fraco para La Niña moderada. O máximo pico

de precipitação 2,85 para SPI-3 ocorreu em 1989 ano de La Niña, coincidindo com a fase quente da Oscilação Decadal do Pacífico, contribuindo para o um aumento na precipitação nestas regiões (Mantua *et al.*, 1997).

Para os SPI-6 os extremos positivos ocorreram principalmente em 1985 a 1991 atingindo valores de 2,94 em 1964 e 2,35 em 1990. Lembrando que os eventos chuvosos observados em 1967 (SPI-6, SPI-12), 1968 (SPI-1), 1988 (SPI-24, SPI-48) e 2000 (SPI-3, SPI-6, SPI-12), coincidem com os episódios de La Niña: 1967-1968, 1988-1989 e 1999-2000 (INPE, 2021).

A fig. 7 ilustra as séries temporais dos SPI-3 e SPI-6 para a RH6. Os maiores valores de SPI's estão ligados a escala sazonal e interanual de 1-2 anos associada ao ENOS, essas escalas se revelaram dominantes por estarem presentes em toda a série.

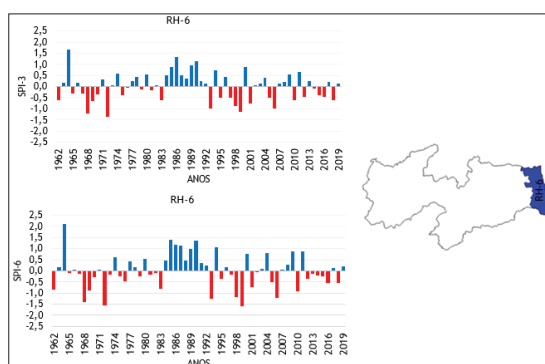


Fig. 7 - Distribuição espacial das regiões homogêneas mais úmidas com base nos valores de SPI-3 e SPI-6 para a no período de janeiro de 1962 a dezembro de 2019.

Fig. 7 - Spatial distribution of the wettest homogeneous regions based on SPI-3 and SPI-6 values for the period from January 1962 to December 2019.

Considerando que o período chuvoso RH6 se inicia em abril e vai até julho sendo junho o mês com índices de precipitação mais elevados. Observa-se ainda que durante todos os meses do ano os totais pluviométricos mais elevados ocorrem no litoral sul da Paraíba. As chuvas nesta região são favorecidas pelas Ondas de Leste (são ondas que se formam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos Ventos Alísios, e se deslocam de Oeste para Leste, ou seja, desde a costa da África até o Litoral leste do Brasil (Nascimento, *et al.* 2019).

Probabilidade de ocorrência de diferentes categorias de período úmido e seco

Na classificação dos eventos secos e chuvosos do Estado da Paraíba através da aplicação do índice de SPI, os resultados mostraram que os eventos mensais normais foram os mais frequentes em todas as regiões homogêneas (RH).

A probabilidade de ocorrência de várias categorias de períodos úmidos e secos nas RH's 1 e 2, é apresentada na fig. 8. Para SPI-3, retratada na fig. 7, os resultados mostram que o período normal apresenta o maior percentual e probabilidade de ocorrência variando entre 28,4% na RH1 e 25,5% na RH2. Isso é seguido por chuva fraca com porcentagem e probabilidade de ocorrência de 26,7% na RH1 e 29,5% na RH2. Os períodos extremamente seco e extremamente úmido apresentaram as menores porcentagens, 0,9% e 0,9%, nas duas RH's.

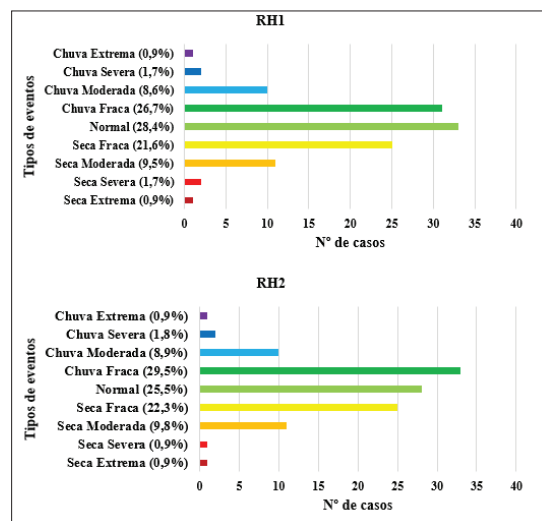


Fig. 8 - Distribuição da frequência dos eventos, por categoria do SPI-3, para as Regiões homogêneas (1 e 2).

Fig. 8 - Event frequency distribution, by SPI-3 category, for homogeneous regions (1 and 2).

O histograma de frequências das 7 categorias do SPI-6 é ilustrado na fig. 9. De modo geral, observa-se que a frequência dos eventos secos/úmidos é inversamente proporcional à escala de tempo do SPI, isto é, à medida que a escala de tempo do SPI aumenta a frequência de eventos secos/chuvosos diminui (Dos Santos *et al.*, 2017).

Na análise do SPI-6 para a RH5, os resultados, expostos na fig. 8, revelaram que a categoria normal apresentou a maior porcentagem e probabilidade de ocorrência. Observa-se que os períodos úmidos obtiveram 28,9% de ocorrência, e os eventos extremamente úmidos, especificamente, apresentaram a menor porcentagem (1,3%). Enquanto os períodos secos totalizaram 25% com intensidades variadas. A persistência de períodos de seca requer atenção, visto que, os eventos menos intensos de secas podem se desenvolver para mais intensos, de acordo com a atuação de fenômenos externos (Nascimento *et al.*, 2017), o que pode contribuir com agravamentos nos setores hídricos.

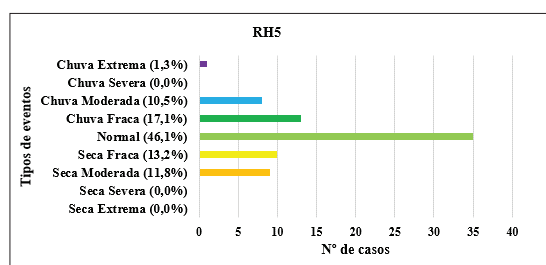


Fig. 9 - Distribuição da frequência dos eventos, por categoria do SPI-6, para as Regiões homogêneas (5 e 7).

Fig. 9 - Event frequency distribution, by SPI-6 category, for homogeneous regions (5 and 7).

Para a RH6, a distribuição de frequência do SPI (3 e 6) (fig. 10) registrou a distribuição de eventos 28,1% (SPI-3) e 15,5% (SPI-6) de chuva fraca, 8,8% (SPI-3) e 8,5% (SPI-6) de chuva moderada, 0,9% (SPI-3) e 1,4% (SPI-6) de chuva severa. O maior valor de SPI positivo registrado foi de +2,85 em 1989, ano que houve atuação do fenômeno La Niña de forte intensidade conforme CPTEC (2018) o que intensifica o evento de precipitação.

A maioria das secas foram de intensidade fraca, seguida por seca moderada, tendo somente 0,9 % de seca severa, corroborando com Macedo *et al.* (2010), que segundo seus resultados os eventos de seca mostraram-se mais frequentes que os eventos de chuvas, tendo duração de 14 meses, contudo as incidências de eventos chuvosos foram mais intensos, como resultados encontrados também por Bonfim e Da Silva (2017).

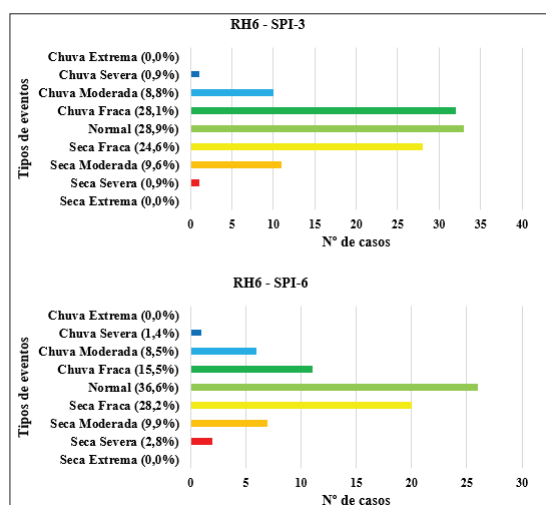


Fig. 10 - Distribuição da frequência dos eventos, por categoria do SPI-3 e SPI-6, para a RH6.

Fig. 10 - Event frequency distribution, by SPI-3 and SPI-6 category, for RH6.

As quantidades de secas leves e secas moderadas foram maiores que os de chuvas leves e chuvas moderadas em todas as RH's analisadas; a persistência de secas com inten-

sidade leve requer atenção, visto que, os eventos menos intensos de secas podem se desenvolver para mais intensos, consoante à atuação de fenômenos externos (Nascimento *et al.*, 2017), contribuindo com possíveis agravamentos nos setores hídrico, e agro econômico. Cabe ressaltar que, todos os episódios de secas leves de cada cidade ultrapassam o total de todas as respectivas chuvas juntas.

O SPI tem sido utilizado para classificação de secas por diferentes pesquisadores em todo mundo, dentre eles destacam-se Macedo *et al.*, 2010); Piauí (Guedes *et al.*, 2012); Espírito Santo (Uliana *et al.*, 2015); Bahia (Sousa *et al.*, 2016); Maranhão (Nascimento *et al.*, 2017); Amazônia (Santos *et al.*, 2017); São Paulo (Bonfim e Da Silva, 2018); Estados Unidos (Cañón *et al.* (2007); na Bacia do rio Huaihe na Yan-jun *et al.* (2012) dentre outros, mostrando que SPI é uma importante ferramenta na detecção dos eventos extremos de chuvas/secas.

Bonfim e Da Silva (2018) as ocorrências de extremos de chuvas ocasionam um aumento significativo na intensidade e não necessariamente na frequência de eventos de chuvas. Os casos de chuvas leves a extremas se apresentam em menor número, mas com maior intensidade.

Recentemente Da Silva *et al.* (2020) analisaram casos/anos de eventos secos e chuvosos no período de 1961 a 2014, para o leste do Nordeste do Brasil através do índice SPI-1 e na distribuição de frequência do SPI, verificaram que 38,42% dos eventos ocorreram na categoria de seca e 27,32 % dos eventos na categoria úmida. O SPI-3 e SPI-6 indicam tendências sazonais a médio prazo na precipitação (pode estar associado a fluxos anômalos e níveis de reservatórios), SPI-12, SPI-24 e SPI-48 que pode ser usado como um indicador para redução da recarga do reservatório e da água subterrânea, todos mostram tendência negativa (Svoboda, *et al.*, 2012).

Foram verificados eventos de secas por todos os SPIs analisados no estudo e este fato possivelmente sofreu influência do fenômeno El Niño, principalmente a seca histórica que ocorreu em todo o Estado no ano de 1998. Assim como as secas observadas entre 2014/2016. As secas observadas em 2012/2014 possivelmente foram fortemente influenciadas pelas anomalias da TSM do Oceano Atlântico (Dipolo do Atlântico), visto que nesse período havia atuação de La Nina fraca.

Importância do Estudo do SPI para os Recursos Hídricos da Paraíba

Este índice é uma ferramenta fundamental na avaliação e monitoramento das condições de seca e de chuvas excessivas, proporcionando uma base sólida para a tomada de decisões relacionadas à gestão hídrica. A seguir estão alguns pontos que destacam a importância do estudo do SPI para os recursos hídricos da Paraíba: Monitoramento de Secas e Chuvas: O SPI permite

monitorar e quantificar a severidade das secas e dos períodos de chuvas excessivas. No contexto da Paraíba, onde a variabilidade climática é alta e as secas são frequentes, este índice ajuda a identificar períodos críticos e a planejar ações de mitigação:

- A Gestão de Recursos Hídricos: Com a ajuda do SPI, é possível planejar melhor a alocação e o uso dos recursos hídricos. Durante períodos de seca, medidas como o racionamento de água, a construção de cisternas e a implementação de sistemas de irrigação eficientes podem ser adotadas. Em períodos de chuvas intensas, o SPI ajuda a prever e a gerenciar enchentes e a garantir que a infraestrutura hídrica, como barragens e reservatórios, seja utilizada de forma eficaz;
- O Planejamento Agrícola: A agricultura é uma atividade essencial na Paraíba, e a variabilidade climática pode impactar significativamente a produção agrícola. O SPI fornece informações valiosas para o planejamento das safras, ajudando os agricultores a decidir o melhor momento para plantar e colher, além de identificar a necessidade de técnicas de irrigação ou de proteção contra chuvas excessivas;
- As Políticas Públicas e Planejamento de Emergências: O estudo do SPI pode subsidiar a formulação de políticas públicas voltadas para a gestão dos recursos hídricos e a mitigação dos impactos das secas e das enchentes. Além disso, é uma ferramenta importante para o planejamento de emergências, permitindo que as autoridades antecipem problemas e implementem medidas preventivas e de resposta rápida;
- A Conservação Ambiental: A conservação dos ecossistemas aquáticos e a gestão sustentável dos recursos naturais dependem de um monitoramento eficaz das condições climáticas. O SPI ajuda a identificar períodos de stress hídrico que podem afetar a fauna e a flora locais, orientando ações de conservação e manejo ambiental.

Alguns exemplos de aplicação do SPI na Paraíba são: Açudes e Reservatórios: Monitoramento dos níveis de água e planejamento de operações de liberação e retenção de água. Sistema de Alerta de Secas: Implementação de sistemas de alerta precoce para comunidades vulneráveis. Planejamento Agrícola: Orientação sobre melhores períodos para o plantio e colheita, bem como a escolha de culturas mais resilientes à seca.

Conclusão

A aplicação da técnica do Índice de Precipitação Normalizada-SPI no estado da Paraíba possibilitou avaliar e conhecer frequência de ocorrer dos eventos extremos climáticos, que ocorrem no estado da Paraíba no período de 1962 a 2019 e chegar as seguintes conclusões:

- Os SPI's mudam com o aumento da escala temporal, à medida que as escalas crescem, as séries vão apresentando menores picos e os períodos de seca são mais prolongados;
- A quantidade de secas leves e moderadas estão associados a magnitude dos índices pluviométricos (baixos/moderados) para todas as regiões homogêneas. Os episódios de normalidade ultrapassam os totais das respectivas classes de chuvas juntas, no entanto, casos com intensidade extrema de precipitação são mais persistentes, quando comparado aos eventos de seca de mesma intensidade. A RH2 e RH6 apresentaram mais ocorrências de eventos chuvosos do que secos nas duas SP3 e SPI-6 respectivamente;
- Grande parte dos eventos de chuva e seca estão associados, principalmente, ao fenômeno ENOS, apesar disso observou-se um comportamento convencional do fenômeno, fato relacionado ao tipo de ENOS, Canônico ou Modoki;
- O Índice de Precipitação Normalizada mostrou-se eficaz para quantificar os eventos secos e chuvosos, assim como no monitorando déficit/excesso de precipitação, ressaltando a importância dessa ferramenta para avaliar a variabilidade espaço-temporal de uma região, uma vez que identifica eventos secos/úmidos como base em valores mensais;
- O Índice de Precipitação Padronizado é uma ferramenta essencial para a gestão dos recursos hídricos na Paraíba, fornecendo dados cruciais para o monitoramento das condições climáticas, a gestão sustentável da água, o planejamento agrícola e a formulação de políticas públicas. A sua utilização pode contribuir significativamente para a mitigação dos impactos das secas e enchentes, promovendo a segurança hídrica e a sustentabilidade ambiental no estado.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro, e a Universidade Federal de Campina Grande-UFCG.

Referências bibliográficas

- AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS (2022). Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>
- Ahmad, A. U., Starkey, A. (2018). Aplicação de métodos de seleção de recursos para análise automatizada de agrupamento: uma revisão sobre conjuntos de dados sintéticos. *Neural Comput & Applic* 29, 317-328. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-017-3005-9>

- Araújo, F. J. C. de, Correia, R. C., Cunha, T. J. F., Oliveira Neto, M. B. de, Araújo, J. L. P., Silva, M. M. de L. (2019). Ambientes e solos do semiárido: potencialidades, limitações e aspectos socioeconômicos. In: Ximenes, L. F., Silva, M. S. L. dá; Brito, L. T. de L. (ed.). *Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro*. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 19-84. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1111513>
- Bonfim, O. E. T., Da Silva, D. F. (2018). Influência do ENOS canônico e modoki sobre a ocorrência de eventos extremos na bacia hidrográfica Aguapeí-Peixe (SP). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 9, n. 3, 83-94.
DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.003.0007>
- Blain, G. C., Pezzopane, J.R.M., Pezzopane, J.E.M., Bonomo, R. (2010). Índice Padronizado de Precipitação aplicado às condições de seca no Estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 10, 1067-1073.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001000007>
- Brito, J. I. B. de; Braga, C. C. (2005). Chuvas no estado da Paraíba em 2004. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n 1, 27-32.
- Bussab, W. de O., Miazaki, E. S., & Andrade, D. F. de. (1990). *Introdução à análise de agrupamentos*. São Paulo: IME-USP.
- Cañón, J., González, J., Valdés, J.(2007). Precipitation in the Colorado River Basin and its low frequency associations with PDO and ENSO signals. *Journal of Hydrology*, v. 333, 252-264.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.08.015>
- Cunha, S. C. M. (2020). *Variabilidade da precipitação e a prática turística em foz do Iguaçu-PR: interações e repercussões no Parque Nacional do Iguaçu (Tese doutorado)*. UNESP, Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), 205.
- Da Silva, D. F., Lima, M. J. S., Souza Neto, P. F., Gomes, H. B., Silva, F. D. S., Almeida, H. R. R. C., & Pereira, M. P. S. (2020). Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 2, 449-464.
DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p449-464>
- Dantas, J. C., Silva, R. M., Santos, C. A. G.2020. Drought impacts, social organization, and public policies in northeastern Brazil: a case study of the upper Paraíba River basin. *Environ Monit Assess*, v. 192.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-020- 8219-0>
- Dos Santos, S. R. Q. D., Braga, C. C., Sansigolo, C. A., & Santos, A. P. P. D. (2017). Determinação de regiões homogêneas do índice de precipitação normalizada (SPI) na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.32, n. 1, 111-122.
DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778632120160013>
- Everitt, B. S. (1974). *Cluster Analysis*. London: Heinemann Educational Books, 121 p.
- Fechine, J.A.L. (2015). Identificação de secas meteorológicas na região metropolitana de Fortaleza, usando o Índice de Precipitação Padronizada (SPI). *Boletim de Geografia*, v. 33, n. 2, 18 p.
DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v33i2.22671>
- Fedorova, N. (2001). *Meteorologia Sinótica*, V. 1. Pelotas, Editora Universitária - UFPel, 242 p.
- Ferreira, A. G., Mello, N. G. S. (2005). Principais Sistemas Atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima da Região. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, n. 1, 15 - 28.
- Francisco, P. R. M., Santos, D. (2017). *Climatologia do Estado da Paraíba*, Campina Grande: ADUFCG, 75 p.
- Gan, M. A., Kousky, V. E. (1986). Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 1, 19-28.
- Ganapathi, H. (2018). Assessment of drought severity using Standard Precipitation Index in Ahmednagar district, India. *Assessment*, v. 5, n. 5, ISSN: 2395-0056, 1777-1780.
- Gandu, A. W., Silva, R.F., Martins, E. S. (2015). Drought identification in Ceará state using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Proceedings of the VI Simpósio Internacional de Climatologia*, Natal, Brazil, 13-16.
- Guedes, R. V. S., Macedo, M. J. H., Sousa, F. A. S. (2012). Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 23, 55-65.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PORTAL CIDADES (2024). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>
- INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). (2021). El Niño e La Niña. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>
- Karaboga, D., Ozturk, C. (2011). A novel clustering approach: Artificial Bee Colony (ABC) algorithm. *Applied soft computing*, v. 11, n. 1,. 652-657.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.12.025>
- Lopez-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., García-Ruiz, J.M., Portela, M.M. *et al.* (2009). Dam effects on droughts magnitude and duration

- in a transboundary basin: The Lower River Tagus, Spain and Portugal. *Water Resour. Res.*, v. 45, n. 2, W02405.
DOI: <https://doi.org/10.1029/2008WR007198>
- Macedo, M. J. H., Guedes, R. V. S., Souza, F. A. S., Dantas, F. R. C. (2010). Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brasil. *Ambi-Água, Taubaté*, v. 5, n. 1, 204-214.
- Mantua, N. J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M., Francis, R.C. (1997). A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 78, 1069-1079. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<1069:APICOW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2)
- Marengo, J. A., Torres, R. R., & Alves, L. M. (2017). Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 129, 1189-1200.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>
- Marengo, J. A., Jimenez, J. C., Espinoza, J. C., Cunha, A. P., Aragão, L. E. L. O. (2022). Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia-Cerrado transition zone. *Scientific Reports*, v. 10, 457 p.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04241-4>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. In: Conference on Applied Climatology, 9, 1995. Dallas, Texas. *American Meteorological Society*, 233-236.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. (1993) The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, 17-22 January 1993, 179-184.
- Mendonça, F., Oliveira, I. (2007). *Climatologia noções básicas e climas do Brasil*, São Paulo: Oficina de Textos, 208 p.
- Mingoti, S. A. (2007). *Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada: Uma abordagem Aplicada*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 297 p.
- Nascimento, F. C. A., Braga, C. C., Araújo, F. R. C. D. (2017). Análise Estatística dos Eventos Secos e Chuvosos de Precipitação do Estado do Maranhão. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 3, 375-386.
DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863230005>
- Nascimento, M. B. DO; Bandeira, M. M., Araújo, L. E. DE. (2019). Variabilidade climática da precipitação do município de Areia/Paraíba, Brasil. *Gaia Scientia*, v. 13, n. 3, 24-37.
DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2019v13n3.41925>
- Santos, J. F., Portela, M.M. (2010). Caracterização de Secas em Bacias Hidrográficas de Portugal Continental: Aplicação do Índice de Precipitação Padronizada, SPI, a Séries de Precipitação e de Escoamento. Lisboa: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 1-19.
- Santos, S. R. Q., Braga, C. C., Sansigolo, C. A., Santos, A. P. P. (2017). Determinação de Regiões Homogêneas do Índice de Precipitação Normalizada (SPI) na Amazônia Oriental, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 1, 111-122.
DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778632120160013>
- Santos, K. M. S. (2020) *Avaliação da Eficiência do Monitor de Secas para Definição de Secas em Sergipe. (Dissertação de Mestrado)*, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 147 p.
- Silva, D. F. da., Lima, M. J. S., Souza Neto, P. F., Gomes, H. B., Silva, F. D. S. et al. (2020). Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 2, 449-464.
DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p449-464>
- Sousa, F. A. S., Macedo, M. J. H., Guedes, R. V. S., Silva, V. P. R. (2016) O Índice de Precipitação Padronizada (IPP) na identificação de extremos de chuvas e secas na bacia do rio Paraguaçu. *Ambiência*, v. 12, n. 2, 707-719.
DOI: <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2016.02.14>
- Svoboda, M., Hayes, M., & Wood, D. (2012). *Standardized precipitation index user guide*. World Meteorological Organization Geneva, Switzerland.
- Svoboda, M., Fuchs, B. (2017). *Handbook of Drought Indicators and Indices Integrated Drought Management Programme (IDMP)*. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.
- Uliana, E. M., Dos Reis, E. F., De Souza A. P., Da Silva, J. G. F. e Xavier, A. C. (2015). Utilização do Índice de Precipitação Padronizado para a Região Norte do Estado do Espírito Santo. *Revista Irriga*, Botucatu, v. 20, n. 3, 414-428.
DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v20n3p414>
- Uvo, C. B. A (1989). *Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua Relação com a Precipitação na Região Norte do Nordeste Brasileiro (Dissertação de Mestrado em Meteorologia)*. INPE, São José dos Campos-SP.
- Wang, T. Xinjun T, Vijay P. S., Chen, X., Lin, K., Zhou, Z., Zhu, J. (2023). A CMIP6-based framework for propagation from meteorological and hydrological

- droughts to socioeconomic drought. *Journal of Hydrology*, v. 623.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129782>
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, v. 58, 236-244.
- Wilks, D. S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2 ed, 649 p.
- Wu, H., Svodoba, M. D., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., We, F. (2007). Appropriate application of the Standardized Precipitation Index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology*, v. 27, n. 1, 65-79.
DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1371>
- Yan-Jun, L., Zheng, X., LU, V., MA, J. (2012). Analysis of Drought Evolvement Characteristics Based on Standardized Precipitation Index in the Huaihe River Basin. *Procedia Engineering*, v. 28, 434-437.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.746>
- Zarch, M. A.A., Sivakumar, B., Sharma, A. (2015). Droughts in a warming climate: a global assessment of Standardized Precipitation Index (SPI) and Reconnaissance Drought index (RDI). *Journal of Hydrology*, v. 526,183-195.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.071>
- Zhao Q., Chen Q., Jiao, M., Wu, P., Gao, X., Ma, M., Hong, Y. (2018). The temporal-spatial characteristics of drought in the Loess Plateau using the remote-sensed TRMM precipitation data from 1998 to 2014. *Remote Sensing*, v. 10, 838 p.
DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10060838>