

LIMITAÇÕES DO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADA NA DETECÇÃO DA SEVERIDADE E DURAÇÃO DE SECAS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS

Fabiano da Silva Araujo ¹
Bernardo Barbosa da Silva ²
Maria José Herculano Macedo ³

INTRODUÇÃO

As secas em regiões semiáridas apresentam desafios significativos nos âmbitos ambiental, econômico e social. A variabilidade espacial e temporal das precipitações nessas áreas pode resultar em secas prolongadas e de alta intensidade, tornando essencial a adoção de metodologias eficazes para o monitoramento e avaliação desses eventos. O monitoramento eficiente é crucial para a gestão sustentável dos recursos hídricos e para subsidiar tomadas de decisão estratégicas (Neto et al., 2024).

McKee et al. (1993) definiram que seca é uma condição de umidade insuficiente causada por um déficit na precipitação ao longo de um determinado período. A seca é um fenômeno natural cujas características estão relacionadas à escassez de recursos hídricos em determinada região. Essa quantidade insuficiente de chuvas pode gerar impactos significativos em diversas esferas, como na hidrológica, ambiental, agrícola e socioeconômica (Molina; Lima, 1999). Segundo Sousa Junior e Lacruz (2015) a seca é uma estiagem prolongada que é afetada por diversos fatores de ordem geográfica, meteorológicos e climatológicos.

As secas, que ocorrem em várias zonas climáticas, têm impactos de longo alcance em setores como agricultura, recursos hídricos, turismo, energia e ecossistemas (Zhao et al., 2018). Para compreender melhor a problemática da seca, no sentido de quantificá-la, padronizá-la e compará-la, diversos estudos foram realizados e vários índices foram desenvolvidos. Entre os mais destacados estão: O Standardized Precipitation Index-SPI; o Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI e o Palmer Drought Severity Index.

O SPI é uma metodologia amplamente utilizada em escala global como uma ferramenta para caracterizar a intensidade, duração e frequência das secas. No entanto, sua eficácia em

1 Doutorando do Curso de Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, fabiano.silva@professor.ufcg.edu.br;

2 Professor da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, bbdasilvaufpe@gmail.com;

3 Professora da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, maria.jose@professor.ufcg.edu.br.

captar adequadamente a complexidade das secas em regiões áridas e semiáridas tem sido questionada, especialmente no que diz respeito a determinar duração de secas em escalas mensais e trimestrais.

No estudo realizado por Wu et al. (2007), foi observado que o cálculo do SPI para escalas de tempo curtas, especialmente em regiões semiáridas onde a frequência de meses com precipitação nula ou muito baixa é elevada, apresenta certas limitações. Nessas condições, o SPI pode não refletir de forma precisa a ocorrência de secas, uma vez que a ausência de variação nos dados de precipitação pode levar a interpretações equivocadas sobre a disponibilidade hídrica e a severidade das secas. Os autores destacam que, em escalas de 1 a 3 meses, o índice pode falhar em capturar a complexidade dos eventos de seca, podendo não indicar a presença de condições secas mesmo quando elas estão ocorrendo. Por essa razão, eles recomendam o uso criterioso do SPI nessas escalas temporais, sugerindo que pesquisadores e gestores de recursos hídricos considerem essas limitações em suas análises e decisões. Essa cautela é essencial para evitar a subestimação dos riscos associados às secas e garantir uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos em regiões vulneráveis. Dessa forma, este estudo tem como objetivo explorar as limitações do SPI na detecção e avaliação da intensidade e duração das secas em regiões semiáridas.

METODOLOGIA

Para esta pesquisa foram consideradas três estações automáticas localizadas no estado da Paraíba: Campina Grande, João Pessoa e Patos, conforme coordenadas geográficas presentes na Tabela 1.

Tabela 1 – Estações usadas no estudo e cálculo do SPI.

Estações	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Campina Grande	313	-7,225556	-35,904722	546,17
João Pessoa	<u>320</u>	-7,165278	-34,815556	33,50
Patos	321	-7,079722	-37,272778	263,66

Fonte: Elaborada pelos autores

Os dados de precipitação utilizados para calcular os valores de SPI e os resultados desta pesquisa, são provenientes do estudo de Xavier et al. (2022), que disponibilizaram grades de dados meteorológicos diários, dentre os quais os de precipitação pluviométrica em alta resolução (0,1° x 0,1°). Os dados foram obtidos gratuitamente e podem ser acessados através

do seguinte link: <https://utexas.app.box.com/v/Xavier-et-al-IJOC-DATA>. Com base nos dados diários foram geradas as séries temporais mensais de janeiro de 1961 a julho de 2020.

Para extrair, gerar data frames e salvar em .xlsx os valores das variáveis de interesse, precipitação, dos arquivos .nc (NetCDF), foi utilizado o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) RStudio. Este software reúne um conjunto de ferramentas desenvolvidas para facilitar a produção de gráficos, mapas e cálculos estatísticos. A produção foi auxiliada pelas bibliotecas (Libraries) e os pacotes específicos usados foram ncd4, raster e openxlsx.

O cálculo do SPI segue as equações [1] e [2], baseando-se em dados mensais de precipitação para um intervalo de tempo de n meses. O SPI é obtido pelo ajuste de uma função densidade de probabilidade que contempla assimetria, e no caso se ajustam os dados observados a distribuição gama. Uma variável aleatória, contínua e independente possui distribuição de probabilidade Gama, se a sua função de densidade de probabilidade for dada por (Wilks, 1995):

$$g(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad [1]$$

em que $\Gamma(\alpha)$ representa a função matemática gama, definida por:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad [2]$$

Sendo: $\alpha > 0$ (parâmetro de forma – adimensional); $\beta > 0$ (parâmetro de escala – mm); $x > 0$ (total de precipitação – mm).

Para estimar-se os parâmetros α e β da equação [1], utiliza-se o método proposto por (Thom, 1966), conhecido como Método da Máxima Verossimilhança.

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}}{4A} \quad [3]$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad [4]$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x) \quad [5]$$

sendo: \bar{x} = média em (mm); \ln = logaritmo neperiano e N = número de observações de chuva. Já a função de distribuição Gama é dada por:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad [6]$$

Nos casos em que os dados amostrais possuem valores nulos, deve-se proceder ao cálculo da probabilidade de valores nulos e, em seguida, se aplicar a distribuição Gama aos valores não nulos, e fazer uso da distribuição mista, $H(x)$, dada por:

$$H(x) = q + (1 - q) G(x) \quad [7]$$

em que q é igual a probabilidade de valores nulos. Uma vez obtida a distribuição $H(x)$, faz-se uso de polinômio segundo Abramovitz e Stegun (1975), com a finalidade de converter a $H(x)$ numa distribuição gaussiana, com média zero e desvio padrão igual a um. Nesse sentido, a distribuição padronizada $-Z$ será aplicada aos valores da $G(x)$ segundo:

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), 0 < H(x) \leq 0,5 \quad [8]$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), 0,5 < H(x) \leq 1 \quad [9]$$

Onde o t é determinado através das equações [10] e [11]:

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]}, 0 < H(x) \leq 0,5 \quad [10]$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1 - H(x))^2} \right]}, 0,5 < H(x) \leq 1 \quad [11]$$

Os coeficientes usados nas equações [8] e [9] são os seguintes:

$$\begin{cases} C_0 = 2,515517 \\ C_1 = 0,802853 \\ C_2 = 0,01328 \end{cases} \quad \begin{cases} d_1 = 1,432788 \\ d_2 = 0,189269 \\ d_3 = 0,001308 \end{cases}$$

Na Tabela 2, baseada em McKee et al. (1993), são definidas as quatro classes de seca, que foram modificadas anos mais tarde por McKee et al. (1995). Mais recentemente, o Nebraska Drought Center considera que a primeira classe de seca começa com $SPI < -0.50$, Tabela 3. Observa-se em diversas pesquisas no Brasil que os limites das categorias não correspondem aqueles propostos no trabalho pioneiro de McKee et al. (1993) e McKee et al. (1995).

Tabela 2 - Intensidade da seca e suas categorias definidos por McKee et al. (1993).

Valores de SPI	Classes de seca
0 a -0,99	Seca suave
-1,00 a -1,49	Seca moderada
-1,50 a -1,99	Seca severa
≤ -2	Seca extrema

Fonte: McKee et al. (1993).

Tabela 3 - Intensidade da seca e suas categorias de acordo com o Monitor de Secas dos EUA. National Drought Mitigation Center – NDMC.

Valores de SPI	Classes de seca
-0,5 a -0,97	Anormalmente seco
-0,8 a -1,2	Seca moderada
-1,3 a -1,5	Seca severa
-1,6 a -1,9	Seca extrema
≤ -2	Seca excepcional

Fonte: (NDMC, 2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 1, 2 e 3 são exibidos os valores de SPI para as escalas temporais de 1, 3, 6 e 12 meses. Após calcular o valor do SPI para as localidades de Campina Grande, João Pessoa e Patos, foram gerados gráficos que apresentam os valores de SPI1, SPI3, SPI6 e SPI12.

Observa-se que a escala mensal SPI1 não representa adequadamente as classes de secas, devido à grande flutuação nos valores do índice. Essas oscilações tornam inviável a definição precisa da duração das secas usando o SPI1. Além disso, as Figuras mostram que, na escala mensal, predominam valores positivos (representados em azul) em relação aos valores negativos (representados em vermelho), o que indica uma limitação na identificação de períodos secos.

Para a escala trimestral SPI3, semestral SPI6 e anual SPI12, é possível identificar de forma mais clara uma seca de longa duração entre os anos 1997 a 2000, cujos valores de SPI foram próximos de -2. A escala anual destaca uma seca de longa duração entre 2012 a 2020, com apenas um intervalo chuvoso no ano de 2016. Para os gráficos de SPI das localidades são evidenciadas muitas flutuações de valores positivos e negativos nas escalas mensais e trimestrais, o que dificulta a análise da duração das secas.

Figura 1 - Valores do SPI para as escalas de 1, 3, 6 e 12 meses para o município de Campina Grande – PB.

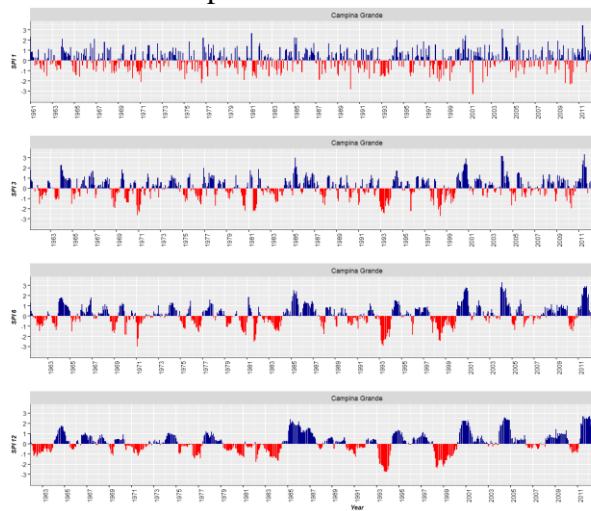


Figura 2 - Valores do SPI para as escalas de 1, 3, 6 e 12 meses para o município de João Pessoa – PB.

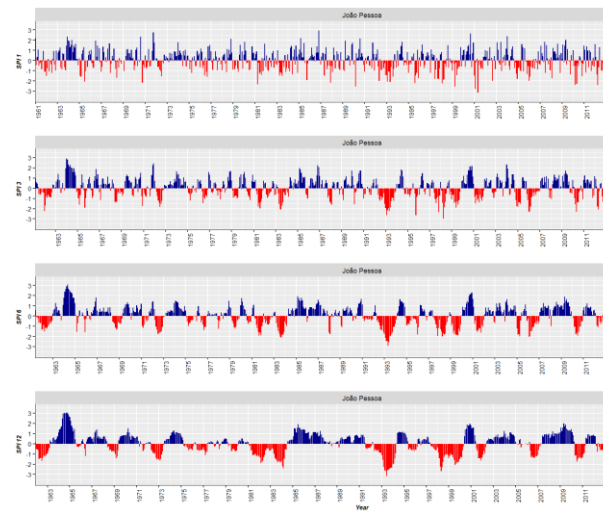
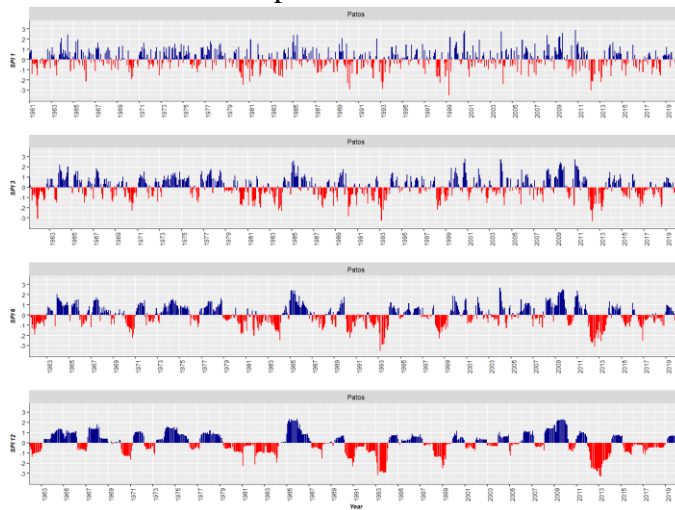


Figura 3 - Valores do SPI para as escalas de 1, 3, 6 e 12 meses para o município de Patos – PB.



Nas Tabelas 3 e 4 são exibidos os números de secas para as três localidades estudadas. Nota-se que, nas escalas mensal e trimestral o SPI mostra um número maior de secas em João Pessoa, em comparação com Patos e Campina Grande, evidenciando uma limitação da metodologia na classificação de secas em meses com frequentes registros de precipitação zero.

Tabela 3 – Somatório de valores e número de secas para três localidades da Paraíba usando o SPI na escala mensal.

EMA	\sum SPI-1	Número de secas
Campina Grande	5.553	216
João Pessoa	3.244	229
Patos	51.785	208

Tabela 4 – Somatório de valores e número de secas para três localidades da Paraíba usando o SPI na escala trimestral.

EMA	\sum SPI-3	Número de secas
Campina Grande	2.492	202
João Pessoa	2.606	228
Patos	3.017	205

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das limitações do SPI na detecção da severidade e duração das secas em regiões semiáridas nas escalas mensais e trimestrais, ou menores que estas, destaca a complexidade de caracterizar com precisão os eventos de seca em áreas onde a variabilidade climática é extrema. O SPI, embora amplamente utilizado, pode não capturar de maneira eficaz todas as nuances das secas em ambientes semiáridos, onde fatores como a distribuição espacial e temporal da precipitação, a evapotranspiração e a capacidade de retenção de água no solo são determinantes.

Diante dessas limitações, é evidente que há uma necessidade de desenvolvimento e aplicação de índices complementares ou alternativas ao SPI, que sejam mais sensíveis às particularidades das regiões semiáridas. Tais ferramentas poderiam incluir parâmetros adicionais, como umidade do solo, temperaturas extremas, e dados de sensoriamento remoto, para fornecer uma visão mais holística e precisa das condições de seca, garantindo que as estratégias de mitigação e adaptação sejam mais eficazes.

Palavras-chave: SPI; Secas, Semiárido.

REFERÊNCIAS

ABRAMOWITZ, M.; & STEGUN, I. A. (EDS.). **Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables**. US Government printing office, 1975.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: Conference on Applied Climatology, 8, 1993, Boston. Anais... American Meteorological Society, Boston: Preprints, p. 179 – 184.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. Drought monitoring with multiple time scales.” Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology, 1995, Boston. p. 233–236.

MOLINA, P. A.; LIMA, L. C. T. M. Estudo de secas agrícolas no Nordeste Brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. **Água em quantidade e qualidade: o desafio do próximo milênio: anais**. Belo Horizonte: ABHR, 1999. 1 CD-ROM.

NDMC – National Drought Mitigation Center, University of Nebraska, Lincoln, Nebraska, EUA. Disponível em <<http://drought.unl.edu>>. Acesso em agosto de 2024.

NETO, R. M. B.; & SANTOS, C. A. G. The NIFT index: A new approach to assessing meteorological drought exposure. **Journal of Hydrology**, v. 632, p. 130857, 2024.

SOUSA JÚNIOR, M. de A.; LACRUZ, M. S. P. Sensoriamento remoto para seca/estiagem. In: SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Sensoriamento Remoto para Desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Cap. 6, p. 149-174.

THOM, H. C. S. **Some methods of climatological analysis**. Geneva: Secretariat of the World Meteorological Organization, vol.81, p.53, 1966.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; & ALVES, A. I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8390-8404, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.7731>.

WILKS, D.S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. San Diego: Academic Press, 1945, 467 p.

WU, H.; SVOBODA, M. D.; HAYES, M. J.; WILHITE, D. A.; & WEN, F. Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. 2007.

ZHAO, Q.; CHEN, Q.; JIAO, M.; WU, P.; GAO, X.; MA, M.; & HONG, Y. 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, n. 6, p. 838, 2018.