

## **XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**

### **ANÁLISE DE ÍNDICES PARA MONITORAMENTO DE SECA NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO VALE DO JAGUARIBE, CEARÁ**

*Brenda Lara Duarte Souza Carneiro<sup>1</sup> ; Lenise Farias Martins<sup>2</sup>; Louise Caroline Peixoto Xavier<sup>3</sup> & Ticiania Marinho de Carvalho Studart<sup>4</sup>*

**RESUMO** – As secas são eventos usuais associados à variabilidade climática, que acarretam impactos para os diversos setores usuários de água. A quantificação do fenômeno pode ser de grande valia na promoção de ações proativas de alerta precoce ao risco. Assim, esse trabalho objetiva a análise comparativa entre o SPI, o scPDSI e o SPEI, para a região da bacia hidrográfica do Jaguaribe, no Ceará. Uma análise comparativa entre os índices propostos permitiu inferir semelhança entre os anos críticos apontados no evento extremo da seca de início em 2012. A frequência de seca aponta a existência de eventos de seca leve a seca extrema, porém apenas no SPI são encontrados registros de seca extrema. Nesse sentido, analisar e quantificar os riscos de seca a partir da análise dos índices pode contribuir na formulação de políticas públicas que busquem mitigar os efeitos da seca e promover ações de alerta precoce em cenários de escassez hídrica.

**ABSTRACT**– Drought are a usual event associated with the climatic variability, that impact on the several water consumers sectors. The phenomenon quantification can provide valuable support in promoting early proactive risk warning actions. Thus, this work aims to compare the SPI, scPDSI and SPEI, for the region of the Jaguaribe hydrographic basin, in Ceará. A comparative analysis between the proposed indices allowed to infer similarity between the critical years pointed in the extreme drought event started in 2012. The drought frequency points to the existence of events from mild to extreme drought, however only SPI records drought extreme indices. In these terms, analyzing and quantifying drought risks based on the analysis of the indices can contribute to the formulation of public policies which seek to mitigate the drought effects and promote early warning actions in water scarcity scenarios.

**Palavras-Chave** – SPI. scPDSI. SPEI.

<sup>1</sup>) Campus do Pici – bloco 713 (1º andar) – Fortaleza/CE, Fone: (85) 3366 9624, Fax: (85) 3366 9627, [brendadcarneiro@gmail.com](mailto:brendadcarneiro@gmail.com)

<sup>2</sup>) Campus do Pici – bloco 713 (1º andar) – Fortaleza/CE, Fone: (85) 3366 9624, Fax: (85) 3366 9627, [lenisemartins@outlook.com](mailto:lenisemartins@outlook.com)

<sup>3</sup>) Campus do Pici – bloco 713 (1º andar) – Fortaleza/CE, Fone: (85) 3366 9624, Fax: (85) 3366 9627, [louisecaroline@alu.ufc.br](mailto:louisecaroline@alu.ufc.br)

<sup>4</sup>) Campus do Pici – bloco 713 (1º andar) – Fortaleza/CE, Fone: (85) 3366 9624, Fax: (85) 3366 9627, [ticiana@ufc.br](mailto:ticiana@ufc.br)

## INTRODUÇÃO

As secas, cada vez mais recorrentes, tem acarretado danos que se estendem desde o cenário agrícola ao econômico, político e ambiental. Assim, a seca perpassa pelas diversas esferas da sociedade impactando nos seus respectivos setores. Quantificar e monitorar os desastres acarretados por tais eventos compreende um avanço na adesão de práticas proativas de alerta precoce às secas.

Diversos são os índices utilizados atualmente no intuito de monitorar o fenômeno das secas a partir da padronização em base espacial e temporal destas (Blain e Brunini, 2007). Porém é notória a existência de dificuldades em larga escala em quantificar as características dos eventos de seca em termos de intensidade, magnitude, duração e extensão espacial, pois seus efeitos possuem potencialidade a se estender por um considerável período de tempo, inclusive após o fim do evento (De Azevedo et al., 2019).

Rosa (2011) aponta que os índices de seca surgem da necessidade de existência de uma medida normalizada que proporcione comparar as secas entre regiões com diferentes características climáticas, bem como para a comparação de eventos de seca que numa dada região ou localidade ocorreram em momentos históricos diferentes. A literatura científica aponta estes índices, dentre os mais difundidos estão: O Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI), o Índice Normalizado de Precipitação (SPI) e o Índice Normalizado de Precipitação-Evaporação (SPEI) adequado para análise de seca meteorológica.

Desenvolvido por Mckee et al., (1993), o SPI é capaz de quantificar ou monitorar a seca em diferentes escalas de tempo, a partir do ajuste de séries de precipitação à distribuição gama incompleta. Enquanto o SPEI, idealizado por Vicente-Serrano et al., (2009), combina a sensibilidade do PDSI em relação a medida de evapotranspiração e a simplicidade no cálculo que é multi escalar semelhante ao SPI, podendo ser calculado para diversas escalas de tempo.

O PDSI, desenvolvido por Palmer (1965), foi um dos primeiros métodos a ter sucesso na quantificação das secas em diferentes climas (Goddard and Hayes, 2004). Conforme Nam et al. (2015), esse índice é um dos mais utilizados para determinação das secas agrícolas e hidrológicas em vários países, porém devido à complexidade de calibração dos dados de entrada, existem diversos estudos de adaptação do PDSI, tais como o *self-calibrate* PDSI, que utiliza coeficientes correlacionadas com a localização da região em estudo.

Segundo Guttman (1998), a comparação entre o SPI e o PDSI, possibilita uma melhor representação dos possíveis períodos de déficit ou excesso de precipitação (Blain e Brunini, 2007). Assim, esse estudo teve como objetivo a análise comparativa entre os índices SPI, o scPDSI e o SPEI, para as sub-bacias Alto, Médio e Baixo Jaguaribe, pertencentes a região da bacia hidrográfica do Jaguaribe.

### ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, localizada no estado do Ceará, ocupa uma área de aproximadamente 74.000 km<sup>2</sup>, sendo o Rio Jaguaribe o principal curso d'água da bacia com cerca de 610 km de extensão, cruzando o estado do Ceará e desaguando no Oceano Atlântico. Devido sua grande área, a bacia foi dividida em cinco regiões hidrográficas ou sub-bacias: Alto Jaguaribe, Salgado, Banabuiú, Médio Jaguaribe e Baixo Jaguaribe (ANA, 2017).

A análise comparativa dos índices de seca deste estudo, foi aplicada às regiões hidrográficas do Alto, Médio e Baixo Jaguaribe (Figura 1).

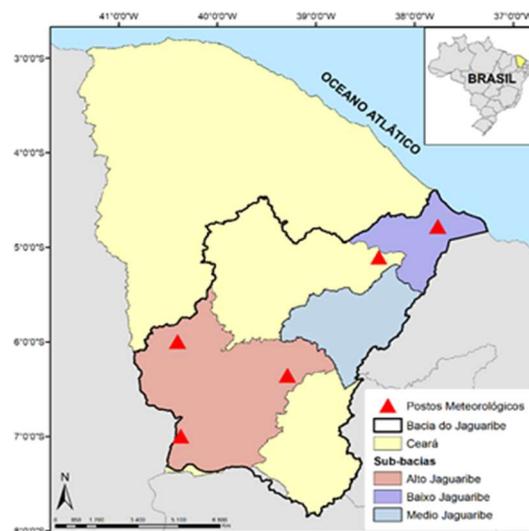


Figura 1 – Localização da área de estudo na Bacia do Jaguaribe, no estado do Ceará, Brasil

## **METODOLOGIA**

### **Dados Hidrometeorológicos**

A série de precipitação diária (2003-2017), usada para analisar e caracterizar a seca na bacia do Jaguaribe (Figura 1), foi obtida a partir dos dados dos postos meteorológicos, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram adquiridos os dados das cinco estações meteorológicas disponíveis na área de estudo, estes dados foram tratados a partir de técnicas de preenchimento de falhas.

Para a determinação dos índices de seca, foram selecionados os dados de precipitação e temperaturas máximas e mínimas da região. Devido a disponibilidade dos dados e escassez de informações, o período de estudo foi limitado aos anos de 2003 a 2017. A seleção dessa série foi motivada pela presença do evento de seca extremo a partir do ano de 2012, onde a região enfrentou a pior seca já registrada, com um período de retorno estimado de 240 anos (Pontes Filho et al., 2020).

### **Índice de Precipitação Padronizado (SPI)**

A análise da seca foi baseada no cálculo do Índice de Precipitação Padrão (SPI) com 12 meses de calendário agregados (MCKEE et al., 1993). O uso desse tipo específico de SPI permite uma comparação da precipitação de doze meses consecutivos em detrimento aos doze meses consecutivos de todos os anos precedentes a este na série histórica (SILVA, 2017).

No ajuste da precipitação acumulada, em consonância com Paulo et al. (2003), adotou-se a distribuição de probabilidade gama dos parâmetros. A classificação do SPI, obtida para cada mês, no que diz respeito à severidade está exposta no Tabela 2, conforme classificação de McKee et al., 1993. Para essa classificação, o início de uma seca é identificado por um procedimento retroativo, assim, só se configura seca quando, diante de uma série de valores continuamente negativos, o valor do SPI atinge  $-1$  ou menos. A razão entre a magnitude e a duração do evento configuram a intensidade da seca.

### **Índice de evapotranspiração padronizado por precipitação (SPEI)**

O SPEI, proposto por Vicente-Serrano et al (2009), calcula-se a partir dos dados de precipitação ( $P$ ) e evapotranspiração ( $ET_0$ ) aplicados a cada mês de cada ano da série histórica analisada.

Para estimar os valores da evapotranspiração, foi utilizada a equação de Hargreaves (Equação 1), recomendada no relatório FAO 56, que é baseada nas diferenças entre temperaturas máximas ( $T_{max}$ ) e mínimas diárias ( $T_{min}$ ), cujos dados são fornecidos no site do INMET.

$$ET_0 = 0,0023(T_{med} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0,5}R_a \quad (1)$$

$R_a$  é um fator de radiação que depende da latitude do posto analisado. Em suma, os dados de entrada para o cálculo do SPEI foram: Tmax, Tmin e a latitude do posto. Neste estudo foi calculado o SPEI para a escala de tempo de 12 meses entre os anos de 2003 a 2017.

### Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI)

O PDSI é calculado com base no balanço hídrico do solo, através da determinação do déficit de precipitação, comparando a chuva que ocorreu no período analisado com a chuva considerada climaticamente apropriada às condições existentes.

Um dos principais problemas do PDSI, é a necessidade da calibração de alguns coeficientes que Palmer calculou apenas de alguns locais determinados (Nam et al. 2015). Desta forma o *self-calibrate* PDSI ou scPDSI (Wells et al. 2004), calibra o PDSI automaticamente, para qualquer local, de acordo com as regiões climatológicas. Os dados de entrada no modelo utilizados foram as precipitações acumuladas mensais (P) e as temperaturas médias dos postos (T). Posteriormente foi calculado o potencial total de evapotranspiração mensal (PE) e modelado o índice no software RStudio através do pacote scPDSI.

### Classificação das secas

Neste trabalho foram utilizados os 3 índices de seca (SPI, SPEI e scPDSI), na escala temporal de doze meses. Desta forma, a severidade da seca foi avaliada através da tabela de classificação dos índices (Tabela 2).

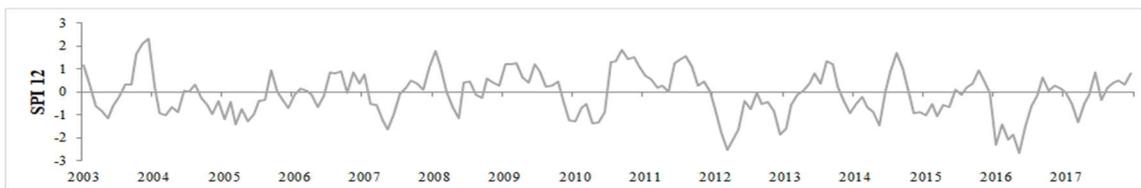
Tabela 2 - Classificação das secas em relação aos respectivos índices.

SPI e SPEI	scPDSI	Classificação
Maior que 2,0	Maior que 4,0	Extremamente úmido
1,50 a 1,99	3,00 a 3,99	Severamente úmido
1,00 a 1,49	2,00 a 2,99	Moderadamente úmido
0,50 a 0,99	1,00 a 1,99	Levemente úmido
-0,49 a 0,49	-0,99 a 0,99	Normal

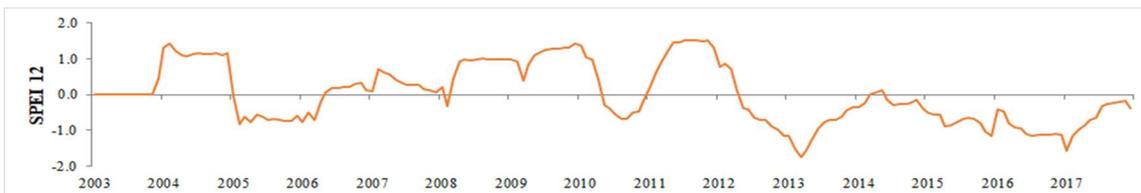
-0,99 a -0,50	-1,99 a -1,00	Levemente seco
-1,49 a -1,00	-2,99 a -2,00	Moderadamente seco
-1,99 a -1,50	-3,99 a -3,00	Severamente seco
Menor que -2,0	Menor que -4,00	Extremamente seco

## RESULTADOS

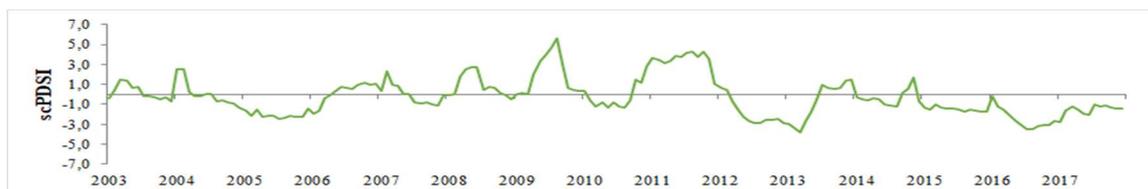
A fim de analisar a secas de longa duração, com enfoque no período extremo posterior a 2012, foram determinados os índices de seca, com escala de 12 meses abrangendo as regiões hidrográficas do Alto, Médio e Baixo Jaguaribe. A Figura 2 apresenta as séries temporais dos 3 índices durante o período de 2003 a 2017.



a)



b)



c)

Figura 2- Série temporal dos índices médios: a) SPI, b) SPEI, c) scPDSI para toda a área de estudo

Para o SPI 12, foram observados 4 períodos de seca severa a extrema, destaca-se que nos anos de 2012 e 2016 houveram secas extremas, com SPI abaixo de -2,0. Ocorreram 4 períodos de seca

para o SPEI 12, nos quais duas destas entre os níveis severo ou extremamente seco, correspondentes aos anos 2012-2013 e 2015-2017. Vale salientar o período compreendido entre fevereiro de 2013 a abril de 2013 com valores de SPEI abaixo de -1,5, classificando três meses seguidos de seca severa.

O scPDSI apresentou 6 períodos de seca, dos quais apenas 2 destes períodos foram secas severas, com índice inferior a -3,00, durante 2012-2013 e 2015-2017. A seca de maior duração ocorreu entre janeiro de 2015 e o último período de dados disponíveis, dezembro de 2017, tendo uma duração de 23 meses.

Uma comparação entre os resultados obtidos permite inferir que entre os anos de 2012 a 2017 foram atingidos os valores mais baixos para os respectivos índices, corroborando com o período de seca extrema apontado por Pontes Filho et al., 2020. O Gráfico 1 indica a comparação entre os índices de acordo com as classificações dos níveis de seca encontrados na literatura (Tabela 2). Observa-se que para secas leves o SPEI e scPDSI apresentam valores de frequência próximos à 25%, e SPI próximo de 20%. Entretanto, enquanto aproximadamente 15% dos valores de scPDSI correspondem a secas moderadas, o SPEI e SPI apresentam valores abaixo de 10%. Para secas do tipo severas, o scPDSI indica frequência um pouco acima dos outros índices calculados, e apenas o SPI indicou secas do tipo extrema.

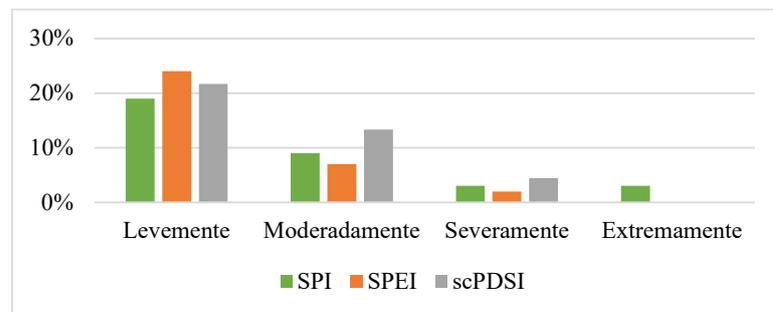


Gráfico 1 - Frequência das secas nas sub-bacias para os 2 índices

Nas Figuras 3 a 5 são apresentados os mapas da distribuição espacial dos índices de seca na área de estudo, para as datas de dezembro de 2014, janeiro de 2017 e junho de 2017. Os períodos foram escolhidos por representarem os períodos de início, ponto crítico e fim da seca de maior duração das bacias.



O pico da seca em estudo ocorreu aproximadamente em janeiro de 2017, para o SPEI e scPDSI manifestam-se secas de classificação moderada e severa na bacia, especialmente na região do Baixo Jaguaribe. O SPI apresentou valores mais brandos de seca, apenas com períodos de levemente secos, porém a distribuição espacial mostrou-se similar à ocorrida com os demais índices.

Em junho de 2017 nota-se, de acordo com o SPI, clima severo a extremamente seco na bacia do Jaguaribe, sendo a região do alto Jaguaribe mais crítica em relação a esse evento. Entretanto o índice SPEI apresenta uma suavização no gradiente de seca classificando o clima de úmido para normal. Para o scPDSI, o gradiente de seca é severo nas regiões do Alto e Baixo Jaguaribe enquanto o Médio Jaguaribe varia entre normal e moderado.

## CONCLUSÕES

O processo de quantificação do risco de seca com três diferentes metodologias, permitiu avaliar a variabilidade das classificações das secas de acordo com os parâmetros e métodos de cálculos dos índices propostos na literatura científica. É possível inferir que o SPI apresentou índices mais extremos de seca e cheia para os períodos analisados, enquanto os demais índices apresentaram valores com menor amplitude de classificações.

Uma análise comparativa permite afirmar que os resultados de SPI são mais divergentes, em relação aos demais índices, o que pode ser explicado pela base de dados utilizadas nesse índice, que considera apenas dados de precipitações totais, desconsiderando os dados de evapotranspiração potencial. Analisar e quantificar os eventos de seca corresponde um avanço na adoção de práticas locais, assim como na formulação de políticas públicas que busquem mitigar os efeitos da seca e promover ações de alerta precoce em cenários de escassez hídrica.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G., L. S. PEREIRA, D. Raes, and M. Smith, 1998: *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, 300 pp.
- ANA - Agência Nacional de Águas (2017). “*Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação*” Brasília - DF, 131p.
- BLAIN, Gabriel Constantino; BRUNINI, Orivaldo. *Análise comparativa dos índices de seca de Palmer, Palmer adaptado e índice padronizado de precipitação no estado de São Paulo*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 22, n. 1, p. 105-111, 2007.
- DE AZEVEDO, Pedro Vieira et al. *Análise de padrões de seca na bacia hidrográfica do rio no estado do Rio Grande do Norte*.
- GUTTMAN, G.B. *Comparing the Palmer Drought Index and the “Standardized Precipitation*

- Index*". *Journal of the American Water Resources*, Washington, v.16, n.2, p. 113-121, 1998.
- MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. *The relationship of drought frequency and duration to times scale*. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., 1993, Boston. Anais... Boston: American Meteorological Society, 1993. p.179-184. (Preprints).
- NAM, W.; HAYES, M.J.; SVOBODA, M. D. (2015). "Drought hazard assessment in the context of climate change for South Korea". *Agricultural Water Management*, 160, pp. 106 – 117.
- Pontes Filho, J.D.; Souza Filho, F.D.A.; Martins, E.S.P.R.; Studart, T.M. de C. *Copula-Based Multivariate Frequency Analysis of the 2012–2018 Drought in Northeast Brazil*. *Water* 2020, 12, 834, doi:10.3390/w12030834.
- ROSA, Ricardo Granés Tavares Duarte. *Índices de seca. Aplicação ao continente português. 2011. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônoma)*. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa. ISA/UTL. Lisboa, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/4488>. Acesso em: 19 de Jul. 2020.
- SERRANO, Sergio M. Vicente- *et al.* *A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*. *Journal of Climate*, [S. l.], p. 1-23, 6 out. 2009.
- YE, Xu-Chun; LI, Yun-Liang; LI, Xiang-hu; XU, Chong-yu; ZHANG, Qi. *Investigation of the Variability and Implications of Meteorological Dry/Wet Conditions in the Poyang Lake Catchment, China, during the Period 1960–2010*. Hindawi Publishing Corporation, [S. l.], p. 1-13, 1 jul. 2015.
- WELLS, N., GODDARD, S. (2004) "A Self-Calibrating Palmer Drought Severity Index". *Journal of Climate*, vol 17, p.2335-2357.
- ZHU, Y., LIU, Y., MA, X., LILIANG, R., SINGH, V. P. (2018) "Drought Analysis in the Yellow River Basin Based on a Short-Scalar Palmer Drought Severity Index". *Water* 2018, 10, 1526.

**AGRADECIMENTOS** - Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento à Pesquisa (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio ao desenvolvimento científico.