

## Utilização de Índice de Precipitação Padronizada na identificação da seca em municípios sergipanos no período de 1963 a 2022

Wanda Tathyana de Castro Silva<sup>1</sup>; Overland Amaral Costa<sup>2</sup>; Paulo Cícero de Jesus Carvalho<sup>3</sup>; Erwin Henrique Menezes Schneider<sup>4</sup>; Aline Nunes dos Santos<sup>5</sup>; Márcia Rodrigues de Moura Fernandes<sup>6</sup>; Ana Paula Barbosa Ávila Macêdo<sup>7</sup>; João Carlos Santos da Rocha<sup>8</sup>; Renilda Gomes de Souza<sup>9</sup>

**RESUMO:** Na análise científica do fenômeno Seca é importante a determinação exata de seu significado. A seca é um fenômeno climático ocasionado pela falta de precipitação pluviométrica, e/ou excesso de evaporação, por um longo período de tempo, podendo durar meses ou até anos, com diferentes “tipos de secas”, com destaque para a seca meteorológica, a agrícola, a hidrológica e a socioeconômica. Fato comum a todos os tipos é o aspecto de serem originários de um déficit na precipitação pluvial, sendo que o tempo requerido de ocorrência de tal deficiência, separa os diferentes conceitos desse fenômeno climático. Os eventos de seca são de difícil determinação, o que prejudica a detecção do seu início, extensão e fim. Neste trabalho foi possível caracterizar os padrões espaço-temporais das secas em três municípios do estado de Sergipe (Poço Redondo, Capela e São Cristóvão) a partir da análise do Standardized Precipitation Index (SPI), elaborado com a utilização de dados de precipitação relativos aos anos de 1963 a 2022.

**Palavras-chave:** Variabilidade espaço-temporal, Estiagem, Nordeste brasileiro.

<sup>1</sup>Mestre em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Avenida Durval de Góes Monteiro, s/n, Tabuleiro dos Martins, Maceió, AL, CEP: 57000-00, wandatathyana.meteorologista@gmail.com ([apresentador do trabalho](#));

<sup>2</sup>Especialista em Hidrometeorologia, Universidade Federal de Sergipe (UFS), Avenida Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, overland.acosta@gmail.com

<sup>3</sup>Graduando em Engenharia Civil, Instituto Federal de Sergipe (IFS), Avenida Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49100-000, paulocarvalhociceroo@gmail.com

<sup>4</sup>Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Bolsista DTI SEMAC, Av. José Carlos Silva, 44444 - Inácio Barbosa, Aracaju - SE, 49040-850, erwinhenrique@gmail.com

<sup>5</sup>Mestre em Engenharia e Ciências Ambientais, Bolsista DTI SEMAC, Av. José Carlos Silva, 44444 - Inácio Barbosa, Aracaju - SE, 49040-850, aline.engamb@outlook.com

<sup>6</sup>Doutora em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Bolsista DTI SEMAC, Av. José Carlos Silva, 44444 - Inácio Barbosa, Aracaju - SE, 49040-850, marciarmfe@gmail.com

<sup>7</sup>Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Engenheira Civil da Secretaria de Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC) Av. José Carlos Silva, 4.444, Bairro Inácio Barbosa, Aracaju - SE, 49040-850, anapaula.macedo@semac.se.gov.br

<sup>8</sup>Geólogo, Mestre em Geologia de Engenharia e Meio Ambiente, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC), Av. José Carlos Silva, 44444 - Inácio Barbosa, Aracaju - SE, 49040-850, joacarlos.rocha@semac.se.gov.br;

<sup>9</sup>Química Industrial, Especialista Engenharia Sanitária e Ambiental e em Gestão de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, Av. José Carlos Silva, 44444 - Inácio Barbosa, Aracaju - SE, 49040-850, renilda.souza@semac.se.gov.br

## INTRODUÇÃO

A seca se caracteriza como um evento climático extremo e tem papel de grande importância no cotidiano das populações, seja pela frequência e intensidade de ocorrência, seja pela vulnerabilidade socioambiental (SANTOS et al., 2017). O Nordeste brasileiro é uma região conhecida pelos impactos causados por esses eventos extremos, em especial as secas, configurando-se entre os principais desastres climáticos dos trópicos, em função das grandes perdas e problemas socioeconômicos. Suas precipitações estão associadas a fenômenos climáticos globais, como a Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT), o El-Niño Oscilação Sul (ENOS) e a Temperatura da Superfície do Mar (TSM). Contudo, é importante destacar que nem toda seca é consequência do aquecimento das águas do Pacífico (VOGT et al., 2018; CPTEC, 2019).

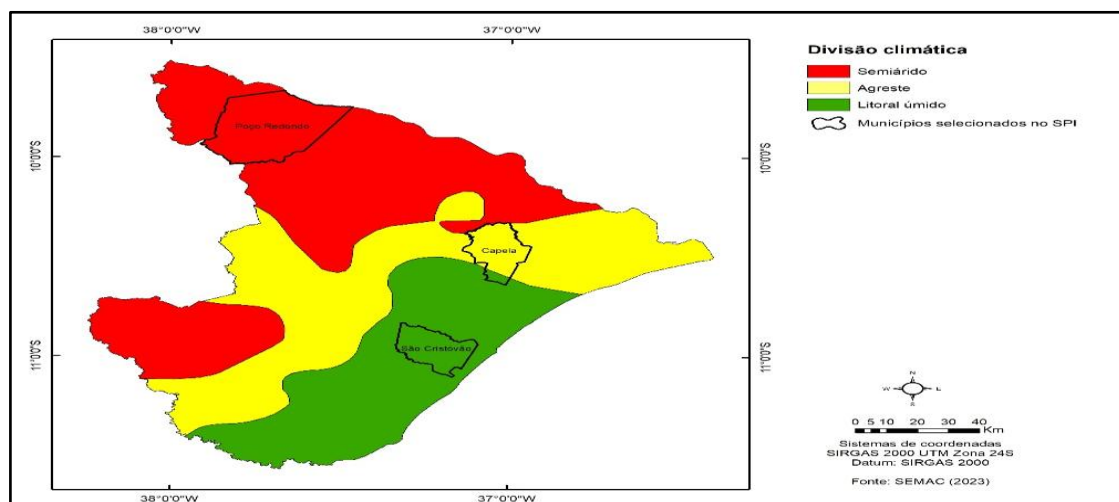
De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), as mudanças climáticas naturais, intensificadas pelos efeitos antropogênicos, estão provocando o aquecimento global, que conduz a intensificação na frequência das secas, advindo de uma variedade de processos hidrometeorológicos que ao suprimirem a precipitação, limitam a disponibilidade de água (WMO; GWP, 2016).

Para a comunidade científica, o Índice de Precipitação Padronizada (SPI) é reconhecido como um indicador global padrão para quantificar e relatar secas meteorológicas, em suas diversas escalas: o SPI Trimestral (SPI3) retrata a situação de curto prazo, sendo importante para monitorar a precipitação sazonal (Santos et al., 2013); já a escala semestral SPEI (SPI6) é útil para monitorar eventos de média duração e tempos de transição entre as estações secas e chuvosas; e o SPI anual (SPI12) reflete os padrões de precipitação de longo prazo, usado para acompanhar as flutuações anuais.

Sendo assim, o presente trabalho objetivou analisar o SPI em suas diversas escalas temporais e verificar seu potencial impacto socioeconômico para os municípios sergipanos de Poço Redondo, Capela e São Cristóvão entre os anos de 1963 e 2022.

## METODOLOGIA

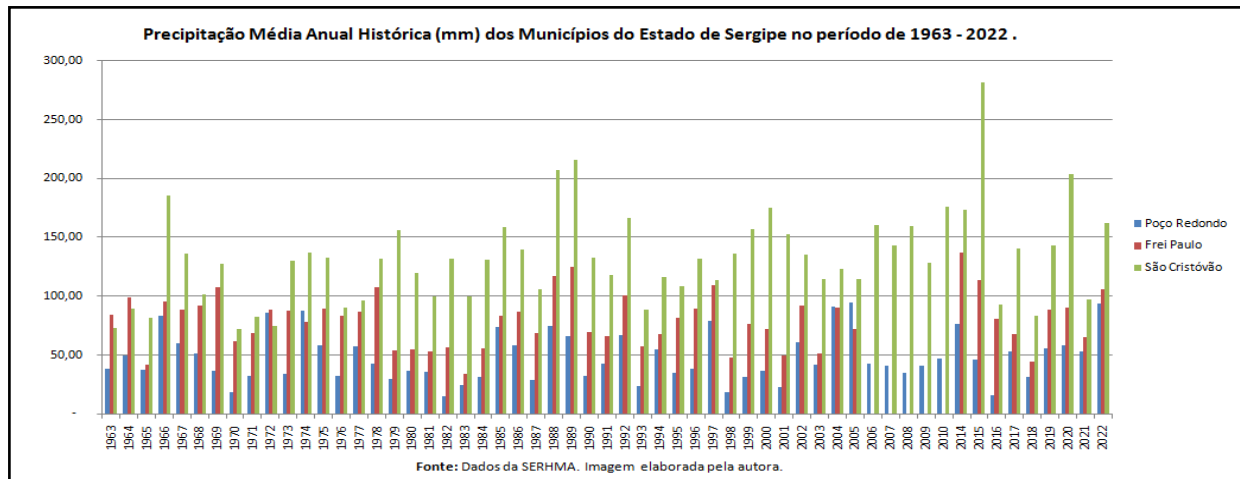
Para o trabalho foram selecionados os municípios sergipanos de Poço Redondo, Capela e São Cristóvão, representativos das regiões climáticas Semiárido, Agreste e Litoral Úmido, respectivamente (Figura 1). Juntos possuem uma área de 1.221.306,25 km<sup>2</sup> e população estimada de 162.359 habitantes (IBGE, 2010). Dentre as atividades econômicas predominantes nestes municípios destacam-se a agricultura de subsistência e a piscicultura.



**Figura 1.** Municípios selecionados no estudo e divisão climática do estado de Sergipe.  
Fonte: SEMAC (2023).

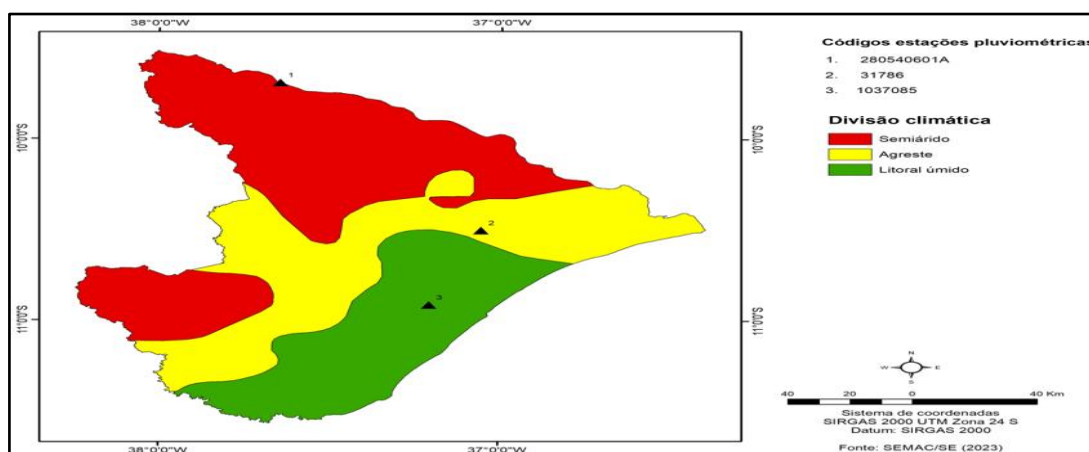
O regime pluviométrico local influencia diretamente nos eventos de estiagem. Neste contexto, o fenômeno El Niño merece destaque por causa do grande impacto negativo na precipitação do Nordeste brasileiro, resultando em vários estágios de estiagens a depender da

intensidade deste fenômeno. Ao se analisar a variação da precipitação anual na área de estudo (Figura 2), nota-se que durante todo o intervalo temporal, o município de Poço Redondo se destaca pelos menores índices pluviométricos, devido à sua localização hidroclimática (Semiárido), com redução do regime hídrico durante todo o ano. Já o município de São Cristóvão, estando situado no Litoral Úmido, apresenta um regime de chuvas mais distribuído, com maiores volumes em comparação às demais regiões climáticas. No município de Capela, por estar localizado na região do Agreste, o regime de chuvas se apresenta de forma intermediária em comparação aos demais municípios estudados. É importante destacar que quanto mais frequente são as chuvas, menor serão os períodos de estiagem e vice-versa.



**Figura 2.** Comportamento anual da precipitação para os municípios de Poço Redondo, Capela e São Cristóvão entre os anos de 1963 e 2022. Fonte: SEMAC (2023)

Cada um dos municípios selecionados no estudo possuem em seus limites territoriais estações pluviométricas com séries históricas de 59 anos de dados (Figura 3). Os dados utilizados referentes ao município de Poço Redondo (280540601A) estão disponíveis no banco de dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), já os de Capela (31786) encontram-se disponíveis na Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade (SEDURBS) e, por fim, os dados de São Cristóvão (1037085) estão no banco de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (ANA, 2022; CEMADEN, 2022).



**Figura 3.** Localização das estações pluviométricas selecionadas no estudo. Fonte: SEMAC (2023).

É importante salientar que a variabilidade climatológica de cada um dos municípios influencia diretamente nos volumes precipitados, e essa especificidade regional não influencia negativamente no Índice, visto que, o método SPI é capaz de classificar não somente as secas, mas também os períodos chuvosos, além de padronizar a análise permitindo comparar regiões

totalmente distintas, como por exemplo, regiões com climas mais úmidos com regiões mais áridas.

Para medir a severidade da seca nos municípios estudados utilizou-se o *Standardized Precipitation Index*(SPI). Essa técnica é amplamente utilizada para na literatura quando se trabalha com dados de precipitação (STAGGE et al., 2015; WANG et al., 2015; VEGA & Tal., 2019; LI et al., 2020). Para análise foi utilizado o pacote SPI (BEGUERÍA; VICENTE-SERRANO, 2017) no programa R para cálculo estatístico (R Core Team, 2021).

Basicamente, o cálculo do SPI se inicia determinando uma função de densidade de probabilidade que descreve as séries temporais. A distribuição gama possui bom ajuste para variáveis contínuas que tenham limite inferior igual a zero e não possuem limite superior, por isso, é largamente utilizada para o estudo de séries históricas de precipitação (WILKS, 2006). O SPI é determinado pela diferença da precipitação observada menos à média do intervalo de tempo específico, dividida pelo desvio padrão (Equação 1).

$$SPI = Z_i = \frac{[P_i - (-P_i)]}{\sigma_1} \quad (1)$$

em que:  $P_i$  = precipitação observada;  $-P_i$  e  $\sigma_1$  = respectivamente, a média e o desvio padrão da série ajustada.

Os valores encontrados foram classificados conforme McKee et al. (1993) (Tabela 1) e (Svoboda et al., 2012) (Tabela 2).

**Tabela 1.** Classificação dos períodos secos e chuvosos do SPI, segundo (McKee et al., 1993).

Valores de SPI	Classes
-2,0	Seca Extrema
-1,99 a -1,50	Seca Severa
-1,49 a -1,00	Seca Moderada
-0,99 a -0,49	Seca Leve
-0,49 a 0,49	Quase Normal
0,49 a 0,99	Chuva Leve
0,99 a 1,49	Chuva Moderada
1,49 a 1,99	Chuva Severa
2,0	Chuva Extrema

**Tabela 2.** Escala de tempo (SVOBODA et al., 2012)

Escala de tempo (meses)	Denominação da seca	Impactos
1	Meteorológica	Qualidade do ar, saúde humana, estresse agrícola
3	Agrícola	Condições de umidade do solo
6	Agrícola (estação seca e chuvosa)	Condições de umidade do solo em reservas mais profundas
12	Hidrológica	Vazão de rios, níveis de corpos d'água e reservatórios, condições de aquífero
24, 48 ...	Socioeconômica	Disponibilidade e acessibilidade de produtos e serviços

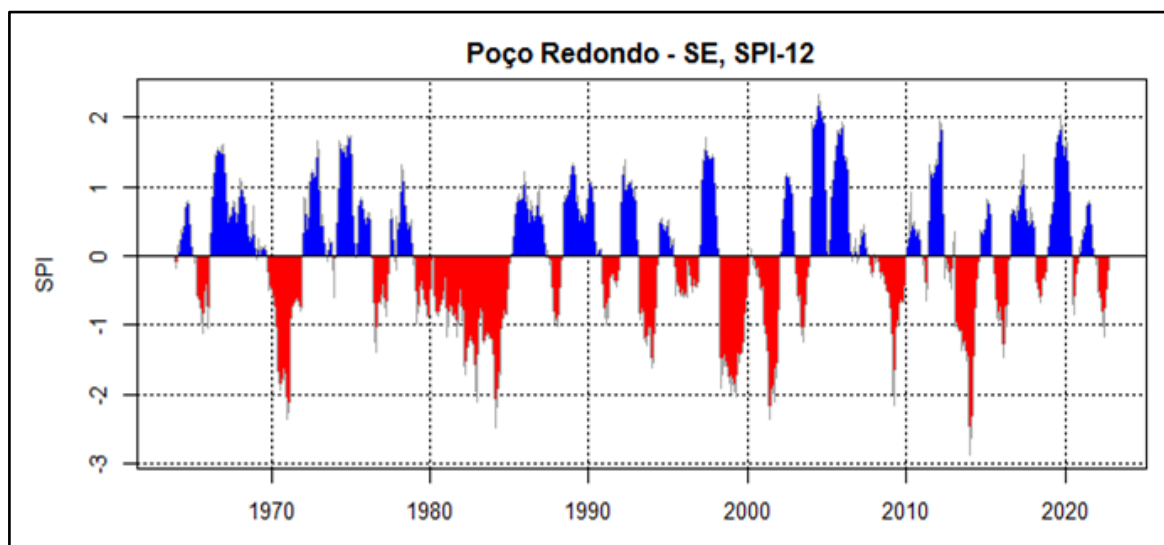
Conforme pode ser observado na Tabela 2, a seca socioeconômica é mais agressiva e seu período de duração pode ultrapassar quarenta e oito meses, resultando em impactos negativos na disponibilidade e acessibilidade de produtos e serviços (SVOBODA et al., 2012).

É importante salientar que a variabilidade climatológica de cada um dos municípios influencia diretamente nos volumes precipitados, e essa especificidade regional não influencia

negativamente no Índice, visto que, o método SPI é capaz de classificar não somente as secas, mas também os períodos chuvosos, além de padronizar a análise permitindo comparar regiões totalmente distintas, como por exemplo, regiões com climas mais úmidos com regiões mais áridas.

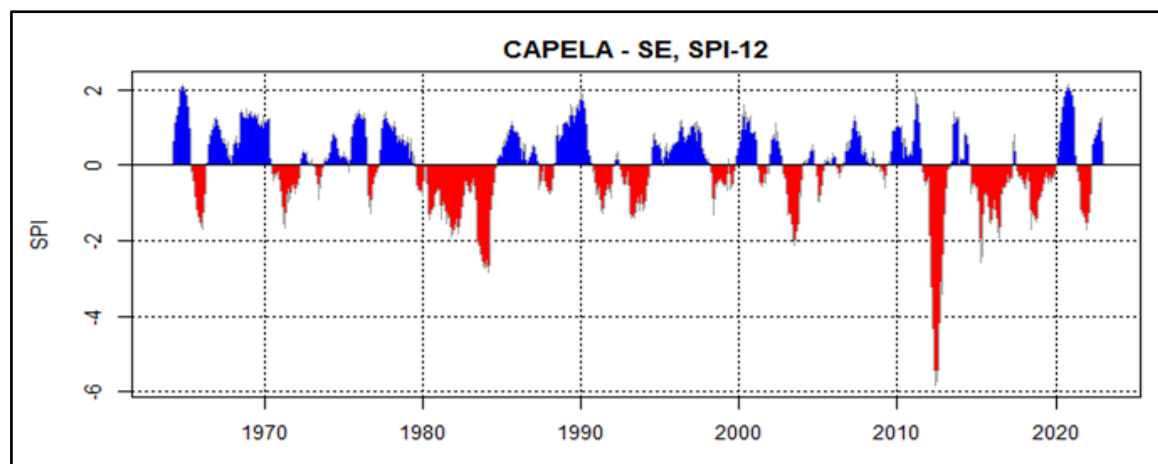
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando-se os valores resultantes do índice SPI-12 para o município de Poço Redondo (Figura 4), detectou-se oscilações de secas socioeconômicas (representadas pelas regiões vermelhas) para alguns períodos, com ênfase nos intervalos de 1978 a 1985, 1998 a 2002, 2013 e 2014, os quais consistem nos períodos de estiagem mais intensos abrangidos pelo estudo. Já no ano de 2022, pode-se observar a ocorrência de Seca Hidrológica, resultante principalmente da localização geográfica deste município (Semiárido). Tal situação causou grandes danos nos municípios da região, tendo sido necessário declarar situação de emergência.



**Figura 4.** Comportamento temporal do índice SPI para o município de Poço Redondo, durante o período de 1963 a 2022. Fonte: Dados SEMAC (2023).

A Figura 5 apresenta o comportamento do índice SPI-12 para o município de Capela durante o período em estudo. Os eventos mais longos de estiagem foram observados em 1979 a 1984 e 2013 a 2020, com destaque para os anos de 2014, que apresentou  $SPI < -5,0$ , indicativo de Seca Extrema, e 2021, com  $SPI < -1,99$  indicativo de Seca Severa e Hidrológica por durar um período de 12 meses.

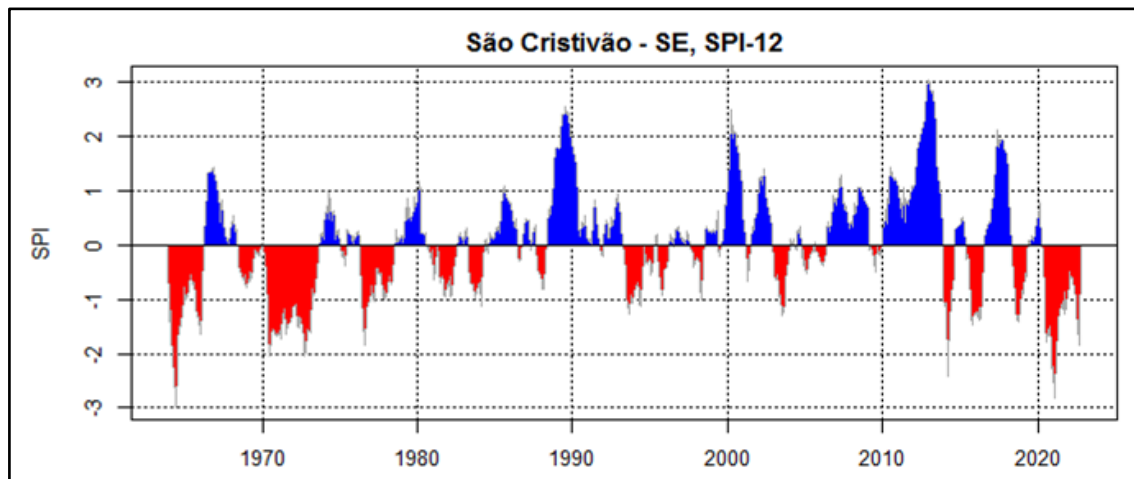


**Figura 5.** Comportamento temporal do índice SPI para o município de Capela, durante o período de



1963 a 2022. Fonte: Dados SEMAC (2023).

O município de São Cristóvão também apresenta vários longos períodos de secas (Figura 6), sendo os mais representativos e considerados de ordem Socioeconômica os de 1963 até 1965, 1968 até 1974. Nos anos seguintes observou-se períodos úmidos, mas insuficientes para recuperar a disponibilidade hídrica, intercalados por períodos de seca. De 2018 até 2022 notou-se novamente longo período de estiagem na região.



**Figura 6.** Comportamento temporal do índice SPI para o município de São Cristóvão, durante o período de 1963 a 2022. Fonte: Dados SEMAC (2023).

## CONCLUSÕES

1. A gestão de risco das secas é fundamentada em três pilares principais, sendo estes o monitoramento, a avaliação de impacto e a elaboração dos planos de ação. Os resultados do presente trabalho buscam, não só orientar os usuários de água, mas também a sociedade e o setor público, visando um bom gerenciamento dos eventos extremos.
2. Através do método SPI quantificou-se a duração dos eventos extremos positivos (ocorrência de chuvas) e negativos (secas) nos municípios selecionados, visto que ambos afetam diretamente as atividades econômicas.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC/SE) e à Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMAC/SE) por incentivar e apoiar esse trabalho científico.

## REFERÊNCIAS

BEGUERÍA, S.; VICENTE-SERRANO, S.M. 2017. SPEI: Calculation of the Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index. R package version 1.7. <https://CRAN.R-project.org/package=SPEI>.

CAMPOS, T. L. de O. B.; MOTA, M. A. S. da; SANTOS, S. R. Quadros dos. Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. Revista Ambiente & Água, v. 10, n. 1, p. 182-194, 2015.

CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. Ocorrência de El Niño. 2019. Disponível em: Acesso em: 31 jul. 2019.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Working Group III – Mitigation of Climate Change.

LI, L., SHE, D., ZHENG, H., LIN, P., & YANG, Z. L. (2020). Elucidating diverse drought characteristics from two meteorological drought indices (SPI and SPEI) in China. *Journal of Hydrometeorology*, 21(7), 1513-1530. MCKEE, T.B, DOESKEN, N.J, KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: **Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology** American Meteorological Society, p. 179-183, 1993.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RIBEIRO, M. B. A potencialidade do Semiárido Brasileiro: o Rio São Francisco, transposição e revitalização: uma análise. Brasília, DF: M.B. Ribeiro, 2007. ISBN 978-85- 900231-2-8.

SANTOS, C. A. C. dos; BRITO, J. I. B. de; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. Tendência dos Índices de Precipitação no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, p.39-47, 2009.

SANTOS, C. A. C. dos; MANZI, A. O. Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará e suas relações com a temperatura dos Oceanos Tropicais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, p.157-165, 2011.

SANTOS, S. R. Q.; SANSIGOLO, C. A.; NEVES, T. T. A. T.; CAMPOS, T. L. O. B.; SANTOS, A, P. P. Frequências dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.10, n.2, p.468-478, 2017.

SVOBODA, M.; HAYES, M.; WOOD, D. Standardized precipitation index user guide. World Meteorological Organization Geneva, Switzerland. Geneva, Switzerland, 2012.

STAGGE, J. H., TALLAKSEN, L. M., GUDMUNDSSON, L., VAN LOON, A. F. & STAHL, K. (2015). Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*, 35(13), 4027-4040.

VEGA, H. M., LIMA, J. R. & CERNIAK, S. N. (2019). SPEI e Análise de Hurst da Precipitação na área Amazônica do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 34, 325-334.

VOGT, J. V. et al. Drought risk assessment and management: a conceptual framework. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018.

WANG, W., ZHU, Y., XU, R., LIU, J. 2015. Drought severity change in China during 1961–2012 indicated by SPI and SPEI. *Natural Hazards*, 75(3), 2437-245.

WILKS, D. S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 2 ed. San Diego: Elsevier, 2006. 630 p.