

Artigo

## Avaliação de Índices de Seca no Monitoramento Hidrológico de Reservatórios Estratégicos do Ceará, Brasil

Suellen Teixeira Nobre Gonçalves<sup>1,2</sup> , Francisco das Chagas Vasconcelos Júnior<sup>3</sup> ,  
Cleiton da Silva Silveira<sup>1</sup> , José Micael Ferreira da Costa<sup>1</sup> ,  
Antonio Duarte Marcos Junior<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Civil, Fortaleza, CE, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Ceará, Mestrado Profissional em Climatologia e Aplicações nos países da CPLP e África, Fortaleza, CE, Brasil.

<sup>3</sup>Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Fortaleza, CE, Brasil.

Recebido em: 29 de Março de 2023 - Aceito em: 24 de Setembro de 2023

### Resumo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade do Índice de Abastecimento de Água Superficial (SWSI) e do Índice de Recuperação de Seca (RDI) como instrumentos de monitoramento, para identificar a frequência, intensidade e duração da seca hidrológica nas bacias dos reservatórios Banabuiú, Castanhão e Orós, localizados no Ceará, Brasil. O período de análise foi de 2002 a 2020 e para ambos os índices se utilizou a escala anual. A avaliação dos resultados mostrou que o SWSI e o RDI comportam-se semelhantemente e apresentam uma boa modelagem dos eventos de seca ou de abundância hídrica. A correlação entre eles ficou acima de 70% para os três reservatórios estudados. Entretanto, o RDI mostra-se defasado na identificação da seca, com tendência a apontar secas mais extremas. Desse modo, a utilização dos índices pode ser considerada uma estratégia proativa para a gestão dos recursos hídricos, pois eles fornecem informações importantes para a tomada de decisão por parte dos gestores. Além disso, a aplicação do SWSI em sistemas de monitoramento e alerta precoce das secas é mais vantajosa se comparada ao RDI, pois ele apresenta uma metodologia de cálculo mais simples, requerendo um menor esforço computacional e menos variáveis de entrada.

**Palavras-chave:** correlação, SWSI, RDI.

## Evaluation of Drought Indexes in the Hydrological Monitoring of Strategic Reservoirs in Ceará, Brazil

### Abstract

The present study aims to evaluate the applicability of the Surface Water Supply Index (SWSI) and the Drought Recovery Index (RDI) as monitoring instruments, to identify the frequency, intensity and duration of hydrological drought in the basins of the Banabuiú reservoirs., Castanhão and Orós, located in Ceará, Brazil. The period of analysis was from 2002 to 2020 and for both indices the annual scale was used. The evaluation of the results showed that the SWSI and the RDI behave similarly and present a good modeling of drought or water abundance events. The correlation between them was above 70% for the three studied reservoirs. However, the RDI is lagged in identifying drought, with a tendency to point to more extreme droughts. Thus, the use of indices can be considered a proactive strategy for the management of water resources, as they provide important information for decision-making by managers. In addition, the application of the SWSI in drought monitoring and early warning systems is more advantageous compared to the RDI, as it presents a simpler calculation methodology, requiring less computational effort and fewer input variables.

**Keywords:** correlation, SWSI, RDI.

## 1. Introdução

O gerenciamento das secas é um tema importante para a segurança hídrica e alimentar de muitos países. Essa gestão pode ser realizada de maneira reativa ou proativa, dependendo da abordagem adotada para lidar com a escassez de água. A gestão reativa caracteriza-se pela resposta às consequências imediatas da seca, incluindo o fornecimento de água e alimentos para as comunidades afetadas. Já a gestão proativa busca reduzir os impactos futuros da seca, por meio de medidas preventivas, como a conservação da água e do solo, a diversificação das atividades econômicas e a implementação de políticas públicas voltadas para a adaptação às mudanças climáticas (Bandyopadhyay *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2015; Omm, 2013; Vivas e Maia, 2010).

No Brasil, historicamente, a gestão de secas tem sido uma resposta reativa em vez de proativa. Essa abordagem pode ser atribuída a vários fatores, incluindo falta de planejamento, recursos financeiros e tecnológicos para o monitoramento adequado das secas. Atualmente, o país tem enfrentado secas cada vez mais frequentes e intensas, o que tem impactado a população, a economia e o meio ambiente (Nunes, 2018; Nys *et al.*, 2016; Travassos *et al.*, 2013; Omm, 2013). De acordo com o estudo realizado por Marengo *et al.* (2018), a frequência e intensidade das secas no Nordeste do Brasil aumentaram de forma significativa nas últimas décadas.

O semiárido brasileiro é uma região que sofre com a escassez de água e a ocorrência frequente de secas. O monitoramento das condições climáticas e hidrológicas da região é fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos e para a tomada de decisão em relação ao uso da água. A criação da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) em 1992, possibilitou uma mudança na abordagem da gestão de secas no Brasil, pois seu objetivo era monitorar e gerenciar os recursos hídricos no estado do Ceará, a fim de garantir o uso sustentável e adequado da água. Isso significou que os gestores agora podiam tomar decisões com base em informações atualizadas e precisas sobre a disponibilidade hídrica, em vez de depender apenas de medidas reativas (Nunes, 2018; Santos *et al.*, 2014; Gutierrez *et al.*, 2014; Moreira, 2013; Engle, 2012).

A gestão de secas no semiárido brasileiro, tem sido realizada de forma integrada entre diferentes órgãos governamentais e a sociedade civil (Canamary, 2015; Gutierrez *et al.*, 2014). O governo do Ceará tem investido em tecnologias de monitoramento e previsão de secas, como os índices de seca, para prevenir e minimizar os impactos das secas na região. Essas ferramentas são utilizadas para avaliar a intensidade e a duração da seca, bem como para identificar as áreas mais afetadas, o que permite a adoção de medidas preventivas. Além disso, os índices de seca também são utilizados para a tomada de decisão

sobre a alocação de recursos hídricos e para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a gestão proativa de seca (Gonçalves *et al.*, 2021; Alvares *et al.*, 2018; Martins *et al.*, 2015).

Dentre os índices de seca utilizados na região do semiárido brasileiro, destacam-se o Índice de Precipitação Padronizado (*Standardized Precipitation Index - SPI*), o Índice de Severidade de Seca de Palmer (*Palmer Drought Severity Index - PDSI*) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*). Estes, permitem que sejam identificadas as áreas mais afetadas pela seca, possibilitando que medidas preventivas sejam tomadas para minimizar os impactos na região (Gonçalves *et al.*, 2021; Santos, 2020).

O SPI é um índice meteorológico que estima o déficit de precipitação em várias escalas temporais, afim de realizar o monitoramento das condições de seca. No entanto, ele pode apresentar algumas limitações na identificação de secas hidrológicas, uma vez que não considera informações sobre a disponibilidade de água superficial e subterrânea (Ojha *et al.*, 2021; Gonçalves *et al.*, 2021; Santos, 2020; Tirivarombo *et al.*, 2018; Mendes *et al.*, 2017; Juliani e Okawa, 2017; Svoboda e Fuchis, 2016; Santos e Portela, 2010; Fernandes *et al.*, 2009; Mckee *et al.*, 1993).

O PDSI, por sua vez, é um índice agrícola que quantifica os períodos secos ou úmidos relacionados a vegetação. Embora, utilize a umidade do solo como dado de entrada, não considera as condições de abastecimento de água (Pereira, 2017; Limeira *et al.*, 2007; Guttman, 1998; Palmer, 1965). Já o NDVI é um índice que avalia a vegetação, sendo útil na detecção de mudanças na cobertura vegetal em resposta à seca. Porém, sua utilização pode ser limitada em áreas com pouca cobertura vegetal, como regiões de caatinga (Ding *et al.*, 2022; Gonçalves *et al.*, 2021; Alvala *et al.*, 2017; Nobre *et al.*, 2016; Cunha *et al.*, 2015; Vicente-Serrano *et al.*, 2012; Fernandes *et al.*, 2009).

Assim, o Índice de Abastecimento de Água Superficial (*Surface Water Supply Index - SWSI*) e o Índice de Recuperação de Seca (*Reclamation Drought Index - RDI*) surgem como alternativas mais completas e integradas para o monitoramento da seca, permitindo avaliar não apenas as condições meteorológicas, mas também a disponibilidade de água superficial. Com isso, torna-se possível adotar medidas mais eficazes para minimizar os impactos da seca na região, como a construção de açudes e barragens, o planejamento do uso da água e a adoção de práticas sustentáveis de gestão hídrica (Gonçalves *et al.*, 2023; Gonçalves *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2013; Fernandes *et al.*, 2009; Weghorst, 1996; Shafer e Dezman, 1982).

Diversas pesquisas já foram realizadas com o intuito de avaliar a capacidade dos índices na identificação e caracterização dos eventos de seca. O SWSI, por exemplo, foi abordado por Tareke e Awoke (2022), os quais com-

pararam a eficiência do SWSI e o Índice de Seca de Vazão (*Streamflow Drought Index* - SDI), para a análise da seca hidrológica na Etiópia. Os autores concluíram que ambos os índices, SWSI e SDI, são eficazes para a análise de seca hidrológica na região, porém, o SWSI mostrou-se mais sensível para identificar períodos de seca hidrológica em escalas de tempo mais curtas, enquanto o SDI foi mais eficaz em identificar a gravidade da seca em escalas de tempo mais longas. Já o RDI foi estudado por Gonçalves *et al.* (2023), através da comparação entre índices de seca, baseado em critérios de decisão, a fim de indicar os melhores índices para se realizar o monitoramento hidrológico na região do semiárido cearense. Os autores concluíram que o RDI apresentou uma boa captura dos eventos de Seca, Sendo Considerado Um Índice Robusto E Sofisticado.

diante Do Exposto, O Presente Artigo Objetiva Avaliar A Aplicabilidade Do SWSI E Do RDI Como Instrumentos De Monitoramento, Para Identificar A Frequência, Intensidade E Duração Da Seca Hidrológica Nas Bacias Dos Reservatórios Banabuiú, Castanhão E Orós, Localizados No Ceará, Brasil.

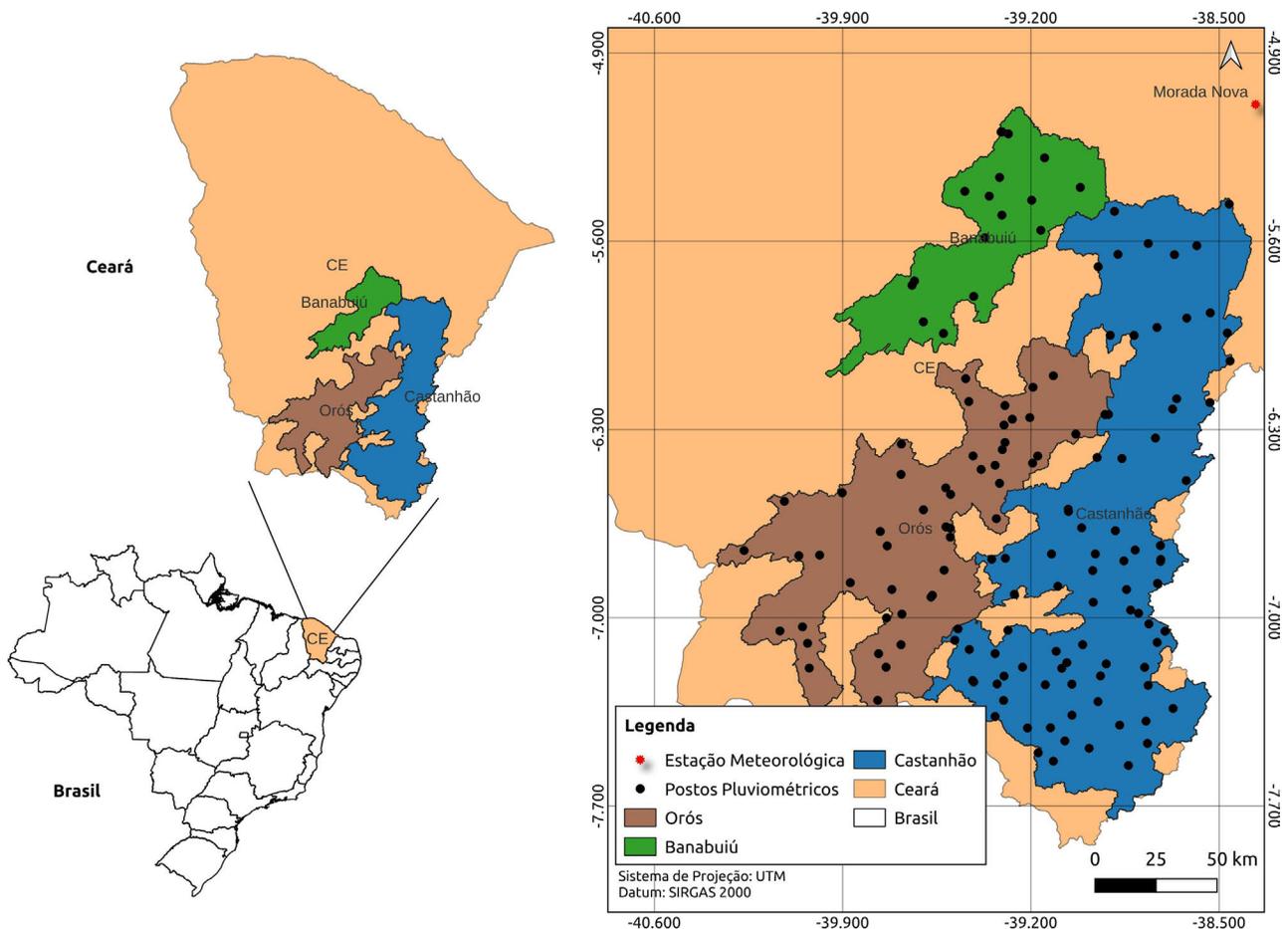
## 2. Materiais e Métodos

A metodologia foi composta por quatro principais etapas, sendo elas:

- ✓ Identificação da área de estudo, em que foram selecionados os reservatórios de maior importância hídrica para o Estado do Ceará (Castanhão, Orós e Banabuiú);
- ✓ Análise das séries históricas de precipitação, vazão, nível do reservatório e temperatura do ar;
- ✓ Cálculo dos índices de seca SWSI e RDI;
- ✓ Correlação entre os valores dos índices selecionados.

### 2.1. Área de estudo

Os açúdes selecionados para o estudo foram: Banabuiú, Castanhão e Orós. Os três reservatórios (Fig 1) estão localizados no Estado do Ceará e foram construídos sobre as bacias do Banabuiú, Médio Jaguaribe e Alto Jaguaribe, respectivamente. Eles são considerados reservatórios estratégicos para o Estado, sendo importantes fontes de água para a região, contribuindo significativamente para o abastecimento humano, agricultura, pecuária e outras atividades econômicas locais. Além disso, eles são essenciais



**Figura 1** - Mapa de localização dos reservatórios, dos postos pluviométricos e da estação meteorológica. O número de pluviômetros no Banabuiú, Castanhão e Orós correspondem à 17, 83 e 50, respectivamente.

para a preservação da biodiversidade local, uma vez que seus ecossistemas sustentam várias espécies de animais e plantas (Batista *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2015; Pereira e Cuellar, 2015; Arraes *et al.*, 2012; Dantas *et al.*, 2011).

No entanto, esses açudes têm enfrentado sérios problemas em relação à escassez de chuvas e à redução no volume de água armazenado. De acordo com Lima (2020), a gestão sustentável dos recursos hídricos desses açudes é fundamental para garantir o abastecimento de água para a população e para as atividades socioeconômicas da região.

## 2.2. Dados utilizados

Os dados utilizados neste trabalho (Tabela 1) para o cálculo dos índices de secas foram coletados de três instituições, sendo elas:

- ✓ Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) - dados mensais de precipitação (conforme distribuição dos pluviômetros na Fig. 1) para o sistema de drenagem de cada reservatório;
- ✓ COGERH - dados mensais de níveis e volumes dos reservatórios;
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) - dados diários de temperatura do ar dos municípios onde cada reservatório está localizado (Fig. 1).

A técnica do polígono de Thiessen (Thiessen, 1911) foi usada para calcular a precipitação média sobre a área da bacia de drenagem do reservatório. Na ausência de dados de temperatura do ar para os municípios de origem dos reservatórios, adotou-se a correlação de dados correspondendo às regiões mais próximas da área de interesse. No caso deste estudo, foram utilizados os dados de temperatura do ar do município de Morada Nova, sendo calculado o valor médio para cada mês.

## 2.3. SWSI

O SWSI foi criado por Shafer e Dezman (1982), a fim de ser utilizado em estudos sobre os períodos de secas e inundações em bacias, representando um índice com potencial preditivo, que associa variáveis climatológicas

**Tabela 1** - Dados empregados na construção do trabalho.

Variáveis	Instituição	Período
Precipitação	Postos Pluviométrcos da FUNCEME	1980-2020
Vazão	Modelo Hidrológico Chuva-Vazão MODHAC (FUNCEME)	1980-2020
Nível e volume	Portal Hidrológico (COGERH)	Castanhão (2002-2020), Orós (1986-2020), Banauiú (1986-2020)
Temperatura do ar	Estações Meteorológicas (INMET)	1980-2020

\*A FUNCEME realiza as simulações mensais de vazão através do MODHAC. Os dados gerados pelo modelo foram inseridos em scripts (linguagem da programação *Python*) para confeccionar os índices.

(precipitação) e hidrológicas (vazão e nível do reservatório) a um valor numérico. Desse modo, é possível monitorar anormalidades no suprimento de água de superfície (Gonçalves *et al.*, 2023; Gonçalves *et al.*, 2021; Andrade, 2016; Valipour, 2013; Mishra e Singh, 2010; Fernandes *et al.*, 2009; Jang *et al.*, 2017; Garen, 1993; Shafer e Dezman, 1982).

A Eq. (1) representa o cálculo do índice SWSI:

$$SWSI = \frac{[(a \cdot P_{\text{precipitação}}) + (b \cdot P_{\text{vazão}}) + (c \cdot P_{\text{nível}})] - 50}{12} \quad (1)$$

onde  $a$ ,  $b$  e  $c$  são os coeficientes para a precipitação sobre área de drenagem do reservatório, a vazão afluente no reservatório e o nível do reservatório, respectivamente, e devem atender à condição  $a + b + c = 1$ ;  $P_i$  é a probabilidade (%) de não-excedência para cada uma das variáveis (precipitação, vazão e nível do reservatório).

### 2.3.1. Fatores de ponderação para o SWSI

Cada variável de entrada para o SWSI (precipitação, vazão e nível) tem um peso diferenciado em relação ao índice. Por exemplo, a vazão afluente em um reservatório tem mais relevância para a disponibilidade hídrica do que a chuva sobre algum ponto da bacia hidrográfica, uma vez que ao escoar existem perdas além da evaporação. O mesmo vale para o nível do reservatório, ao passo que informa diretamente a quantidade de água estocada em um determinado momento, sendo que os outros dois (precipitação e vazão) indicam o potencial de estocagem de água, ou seja, têm importância sensivelmente indireta.

Os coeficientes de ponderação foram introduzidos na equação original dos índices com o objetivo de adaptá-los à região Nordeste do Brasil. Isso se deve ao fato de que os índices foram desenvolvidos nos Estados Unidos da América (EUA), que apresenta condições climáticas diferentes da região em estudo. Assim, foi necessário suprimir o coeficiente associado à neve. Além disso, a ponderação levou em consideração a potencial geração de escoamento em rios e riachos com base nos eventos de chuva, e diante disso, após o tempo de concentração, essas massas de água podem variar o volume do reservatório.

Foram atribuídos valores de ponderação para os coeficientes (Eq. (2)) associados à chuva, vazão afluente e nível do reservatório, na busca de expressar a contribuição de cada dado de entrada. Sendo assim, foi atribuído o valor 1 para precipitação, 2 para vazão e 3 para nível.

$$SWSI = \frac{[(1 \cdot a \cdot P_{\text{precipitação}}) + (2 \cdot b \cdot P_{\text{vazão}}) + (3 \cdot c \cdot P_{\text{nível}})] - 50}{12} \quad (2)$$

onde os valores 1, 2 e 3 correspondem aos fatores de ponderação da precipitação, vazão e nível, respectivamente.

### 2.3.2. Obtenção dos coeficientes

O cálculo dos coeficientes foi realizado utilizando os valores padronizados de cada mês, multiplicados pelos seus respectivos fatores de ponderação, e logo após, sendo divididos pelo somatório dos valores padronizados de precipitação, vazão e nível, para o mês em estudo. Os valores de  $a$ ,  $b$ , e  $c$  correspondem aos coeficientes de precipitação, vazão e nível, respectivamente.

### 2.3.3. Adaptação da classificação do SWSI

A Tabela 2 exibe uma adaptação da classificação do SWSI para o Nordeste Brasileiro, na qual ocorre a modificação da nomenclatura das categorias de seca. No entanto, os valores dos limiares de classificação propostos por Shafer e Dezman (1982) para o índice foram mantidos. A adaptação foi empírica e teve como base o potencial de geração de escoamento em função dos eventos de chuva. Além disso, o escoamento superficial e de base após percorrerem toda a bacia hidrográfica do reservatório propo-

cionam variações do volume de água armazenado. Essa adaptação também facilita a compreensão e o entendimento da nomenclatura utilizada, tornando-a mais acessível ao público em geral. Vale ressaltar que os valores obtidos para o índice estão associados à disponibilidade de água nos reservatórios e a uma tendência potencial para os eventos de seca ou de abundância de água.

## 2.4. RDI

O RDI foi formulado por Weghorst (1996) em Denver, no Estado do Colorado, com o propósito de esclarecer fatores climáticos e de suprimento de água para essa localidade. Baseia-se em valores de precipitação, vazão, nível de reservatório e temperatura do ar, podendo ser usado para fins de monitoramento e alerta precoce da seca. O RDI é calculado a nível de bacia, de modo que sua escala se assemelha à do SWSI (Weghorst, 1996).

A obtenção do índice RDI está representada na Eq. (3).

$$RDI = \frac{a}{60} \cdot (\text{Média Móvel 12 meses Prec}) \cdot (\text{Fator de Duração Prec})^{1,2} + \frac{b}{60} \cdot (\text{Média Móvel 12 meses Vazão}) \cdot (\text{Fator de Duração Vazão})^{1,2} + \frac{c}{60} \cdot (\text{Média Móvel 12 meses Nível}) \cdot (\text{Fator de Duração Nível})^{1,2} + \frac{d}{60} \cdot (\text{Média Móvel 12 meses Temp}) \cdot (\text{Fator de Duração Temp})^{1,2}$$

onde  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são os coeficientes para a precipitação sobre área de drenagem do reservatório, a vazão afluente no reservatório, nível do reservatório, e temperatura do ar respectivamente, e devem atender à condição:  $a + b + c + d = 0,5$ ; Média Móvel de 12 meses: Média do mês atual com os onze meses anteriores, sendo  $Prec =$  Precipitação e  $Temp =$  Temperatura do ar; Fator de duração dos componentes: Número de meses positivos ou negativos, obtidos da contagem do Índice Mensal de valores de não excedência e da Média Móvel de doze meses.

### 2.4.1. Fatores de Ponderação para o RDI

Assim como no SWSI, também foram estabelecidos Fatores de Ponderação para o RDI (Eq. (4)), como forma de adaptá-lo para a região de estudo. Desse modo, mantiveram-se os mesmos valores para precipitação (1), vazão (2) e nível (3), conforme o tópico 2.3.1, porém, houve a incorporação da variável temperatura do ar.

A temperatura do ar é um dado de entrada importante para os índices de seca, pois reflete as condições ambientais que influenciam diretamente a disponibilidade de água. Temperaturas mais altas indicam um aumento na

**Tabela 2** - Classificação do SWSI quanto à disponibilidade hídrica nos reservatórios.

SWSI	Classificação
3,00 a 4,00	Suprimento Abundante (SUPA)
2,00 a 2,99	Suprimento Moderado (SUPM)
1,00 a 1,99	Suprimento Acima do Normal (SUPAN)
-0,99 a 0,99	Normal (N)
-1,99 a -1,00	Seca Inicial (SI)
-2,99 a -2,00	Seca Moderada (SM)
-4,00 a -3,00	Seca Extrema (SE)

Fonte: Adaptado de Shafer e Dezman (1982).

evaporação e, conseqüentemente, uma redução no armazenamento de água nos reservatórios, rios e lagos. Isso contribui para a escassez hídrica e pode agravar ainda mais os problemas relacionados à disponibilidade e qualidade de água (Ataide *et al.*, 2022; Primavesi *et al.*, 2007).

Devido à sua relevância para o ciclo hidrológico, a temperatura recebeu o valor 2. A obtenção dos coeficientes a, b, c e d segue o mesmo princípio apresentado no tópico 2.3.2.

$$\begin{aligned}
 RDI = & 1 \cdot \frac{a}{60} \cdot (\text{Média Móvel 12 meses Prec}) \cdot (\text{Fator de Duração Prec})^{1,2} \\
 & + 2 \cdot \frac{b}{60} \cdot (\text{Média Móvel 12 meses Vazão}) \cdot (\text{Fator de Duração Vazão})^{1,2} \\
 & + 3 \cdot \frac{c}{60} \cdot (\text{Média Móvel 12 meses Nível}) \cdot (\text{Fator de Duração Nível})^{1,2} \\
 & + 2 \cdot \frac{d}{60} \cdot (\text{Média Móvel 12 meses Temp}) \cdot (\text{Fator de Duração Temp})^{1,2}
 \end{aligned}$$

onde os valores 1, 2, 3 e 2 correspondem aos fatores de ponderação da precipitação, vazão, nível e temperatura do ar, respectivamente.

A classificação do RDI quanto a disponibilidade hídrica da região, segue o mesmo padrão do SWSI, e pode ser encontrada na Tabela 2.

## 2.5. Cálculo das correlações

A correlação pode ser entendida como uma medida do relacionamento linear entre duas variáveis. De acordo com Ojha *et al.* (2021), Van Loo *et al.* (2016), Jain *et al.* (2015), Vicente-Serrano *et al.* (2012), Lorenzo *et al.* (2010), Blain e Brunini (2007), Svoboda *et al.* (2002) e Heim Júnior (2002), a utilização da correlação entre dois índices de seca pode fornecer informações valiosas para a compreensão, planejamento e mitigação da seca, sendo elas:

- Validação dos dados: Pode ajudar a validar a precisão dos dados dos índices de seca. Se eles se correlacionam positivamente, isso pode indicar que ambos estão medindo a mesma variável com precisão semelhante;
- Complementaridade dos dados: A correlação pode ajudar a entender se os índices estão medindo aspectos diferentes da seca;
- Planejamento e mitigação: Se os índices correlacionados indicam uma seca iminente ou prolongada, as medidas de mitigação podem ser tomadas para minimizar o impacto do evento na população, meio ambiente e economia;
- Monitoramento de longo prazo: Caso os índices de seca estejam correlacionados ao longo de vários anos, isso pode fornecer informações sobre padrões de seca em diferentes regiões ou países. Além disso, a correlação pode ser usada para avaliar e identificar as tendências de ocorrência das secas.

Buscou-se verificar se existe associação entre os valores anuais de SWSI e RDI no período de 2002 a 2020. Para realizar esta análise, utilizou-se a correlação de Pear-

son, também denominada Linear. Esse método apresenta valores que variam entre -1 a 1, sendo possível identificar se as variáveis estão positivamente ou negativamente relacionadas. Dessa forma, quanto mais próximo de 1 se encontram os valores, mais forte será a correlação entre as variáveis. Caso o valor se aproxime de -1, tem-se uma correlação linear inversa ou negativa e se o valor for mais próximo de zero, não haverá relação entre as variáveis (Paranhos *et al.*, 2014).

## 3. Resultados e Discussão

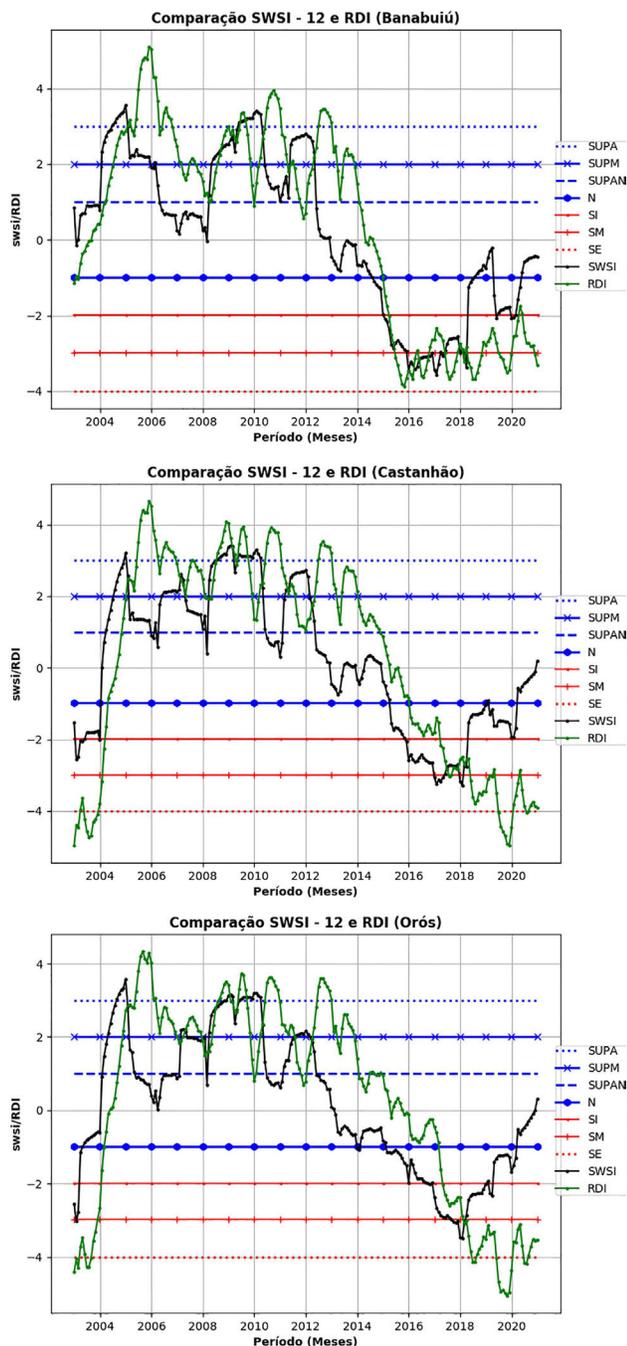
Os resultados foram divididos em duas partes: (1) Apresenta os dados observados dos índices SWSI e RDI no monitoramento da seca hidrológica dos reservatórios Banabuiú, Castanhão e Orós; (2) Exibe a correlação entre os valores de SWSI e RDI.

### 3.1. Dados observados - SWSI e RDI

Foram encontrados os valores de SWSI e RDI, para a escala de 12 meses (anual) no período de 2002 a 2020, para os reservatórios selecionados. Ao observar o SWSI - 12 e RDI (Fig. 2), pode-se identificar o aparecimento da seca hidrológica a partir do ano de 2015, persistindo até 2020 em todos os reservatórios estudados. A intensidade da seca varia entre inicial, moderada e extrema, e fica mais evidente à medida que se aumenta a escala de tempo.

Destaca-se que o ano de 2004 apresentou chuvas acima da média para o trimestre Janeiro - Fevereiro - Março (JFM), principalmente para o mês de janeiro. O açude Castanhão, que era recém-construído, passou do estado de seca, para abundância hídrica. Da mesma forma, o açude Orós e Banabuiú apresentaram suprimento de água abundante nesse período.

Por outro lado, o ano de 2010 apresentou chuvas abaixo da média histórica, porém, essa situação não teve impactos significativos nos reservatórios, já que os anos anteriores (2008 e 2009) foram considerados acima da média e proporcionaram uma boa recarga hídrica nesses



**Figura 2** - Comparação dos valores de SWSI - 12 e DI para os reservatórios (a) Banabuiú, (b) Castanhão e (c) Orós para a escala anual no período de 18 anos (2002-2020). As siglas representam o Suprimento Abundante (SUPA), Suprimento Moderado (SUPM), Suprimento Acima do Normal (SUPAN), Normal (N), Seca Inicial (SI), Seca Moderada (SM), e Seca Extrema (SE).

açudes. Pode-se constatar que os três reservatórios se mantiveram dentro da normalidade.

A partir de 2015, tem-se uma queda nos valores dos índices para os três açudes e isso se manteve, em partes, até o ano de 2020. A justificativa para o ocorrido se dá

pelo fato da região Nordeste, especificamente o Ceará, ter enfrentado um período de seca meteorológica, o que influenciou na disponibilidade hídrica dos reservatórios, já que o aporte de água não estava sendo suficiente para abastecer de forma significativa os açudes e com isso aumentar a oferta hídrica.

O Monitor de Secas do Brasil, uma ferramenta utilizada para acompanhar e avaliar a situação de seca no país, mostrou que a região Nordeste enfrentou um período prolongado de seca entre os anos de 2014 e 2020. Durante esse período, a região experimentou condições climáticas adversas, com baixos índices de chuva e consequente escassez de água (ANA, 2020).

Essa situação de seca plurianual no Nordeste do Brasil foi objeto de estudos conduzidos por de Brito (2021), dos Santos *et al.* (2017), Moura *et al.* (2017) e Martins *et al.* (2017), que analisaram os impactos dessa seca na região. As pesquisas revelaram diversos efeitos negativos, como redução significativa dos níveis dos reservatórios, gerando escassez de água, perdas na agricultura, mortalidade de animais, aumento da migração e aumento dos preços dos alimentos. Além disso, a seca teve impactos significativos na economia local, especialmente nas áreas rurais, e na saúde da população, com o aumento de doenças relacionadas à falta de água potável e saneamento adequado. Esses estudos complementam a justificativa da queda nos valores dos índices SWSI e RDI, evidenciando os efeitos amplos e adversos da seca na região.

A comparação entre as classificações dos índices de seca e os volumes dos reservatórios (Tabela 3) permite identificar os períodos de escassez ou disponibilidade hídrica, de modo a validar os resultados apontados por essas ferramentas. A capacidade máxima de armazenamento de água dos açudes Banabuiú, Castanhão e Orós equivale a 1.200 hm<sup>3</sup>, 6.700 hm<sup>3</sup> e 1.940 hm<sup>3</sup>, respectivamente. Isso significa dizer que volumes muito baixos, como os apresentados nos anos de 2015 a 2020 para os três reservatórios, evidenciam um estado de seca.

Assim, os índices SWSI e RDI demonstram uma sensibilidade ao representar a variabilidade interanual, acompanhando os eventos de seca ou abundância de água, divergindo em alguns momentos na duração e magnitude da seca. A oscilação entre períodos secos e chuvosos pode ser explicada pelas características climáticas da região e pelos fenômenos e sistemas atuantes naquele momento.

### 3.2. Relação entre o SWSI-12 e o RDI

A Figura 2 exibe uma comparação entre os valores do SWSI- 12 e RDI. A partir dessa representação, é possível perceber que os índices se comportam de forma semelhante. Porém, alguns contrastes podem ser evidenciados na identificação da seca, onde o RDI tende a apontar secas de maior magnitude e mostra-se defasado em relação ao SWSI-12.

O fato do RDI apresentar secas mais extremas pode ser explicado pelo uso da variável temperatura do ar, que é uma componente que impacta diretamente na perda hídrica por evaporação (Oliveira *et al.*, 2015). Registros constantes de temperaturas mais elevadas podem indicar um aumento na demanda por água, levando a um menor armazenamento desses recursos nos reservatórios, acelerando, portanto, seu esgotamento hídrico (Côrtes *et al.*, 2015).

Tomando o ano de 2020 (consultar Tabela 3) como referência, os valores do RDI para os três reservatórios indicam uma seca hidrológica extrema. De acordo com Rodrigues *et al.* (2023), a temperatura média anual do ar em Morada Nova é de 27,4 °C e a temperatura média mensal para os últimos três meses do ano, outubro, novembro e dezembro, são de 28 °C, 28,2 °C e 28,4 °C, respectivamente. Entretanto, ao analisar os dados fornecidos pelo INMET para realizar este estudo, observa-se que neste ano (2020) a temperatura média anual para o município de Morada Nova é de 27,6 °C. Além disso, as temperaturas médias mensais para os meses de outubro, novembro e dezembro foram de 27,9 °C, 29,3 °C e 29,94 °C, indicando que as temperaturas do ar excederam a média histórica da região.

Essa constatação vai ao encontro do estudo realizado pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2021), o qual revela que as temperaturas globais em 2020 atingiram um

dos níveis mais altos já registrados na história, excedendo em cerca de 1,2 °C as temperaturas da era pré-histórica. É importante destacar que esses valores elevados de temperatura têm um impacto direto no cálculo do RDI, intensificando a magnitude das secas.

Outro motivo para que ocorra essa diferença na identificação das categorias de seca pelo RDI, está no fato do índice levar em consideração a média móvel de 12 meses na sua formulação, ou seja, para o ano em questão ele baseia-se nos dados do ano anterior. Isso faz com que o índice passe a identificar períodos de seca ou de abundância hídrica mais tardiamente, e que apresente dificuldades para captar secas repentinas (*Flash drought*).

A Tabela 4 apresenta os valores de correlação entre o SWSI-12 e o RDI. A relação entre as variáveis é positiva existindo, assim, uma similaridade entre os valores dos índices. A alta correlação entre eles significa que há uma forte associação entre as variações dos índices, o que indica que ambos refletem a mesma condição climática de seca. Desse modo, quando há uma seca de longo prazo

**Tabela 4** - Correlação entre os valores de SWSI-12 e RDI.

Reservatórios	Correlação SWSI-12 e RDI (%)
Banabuiú	0.81
Castanhão	0.75
Orós	0.72

**Tabela 3** - Análise dos índices em relação aos volumes dos reservatórios Banabuiú, Castanhão e Orós. As siglas representam o Suprimento Abundante (SUPA), Suprimento Moderado (SUPM), Suprimento Acima do Normal (SUPAN), Normal (N), Seca Inicial (SI), Seca Moderada (SM), e Seca Extrema (SE).

Data	Volume Banabuiú (hm <sup>3</sup> )	Volume Castanhão (hm <sup>3</sup> )	Volume Orós (hm <sup>3</sup> )	SWSI-12 Banabuiú	SWSI-12 Castanhão	SWSI-12 Orós	RDI Banabuiú	RDI Castanhão	RDI Orós
2002-12-31	383,5	273,6	194,97	N	SI	SUPM	SI	SE	SE
2003-12-31	374,3	317,56	313,08	N	SM	N	N	SE	SM
2004-12-31	1213,32	4431,67	1417,02	SUPA	SUPA	SUPA	SUPM	SUPAN	SUPM
2005-12-31	938,85	3796,44	995,12	SUPAN	N	N	SUPA	SUPA	SUPA
2006-12-31	665,23	4039,16	1060,99	N	SUPM	N	SM	SUPM	SUPM
2007-12-31	478,03	3424,3	990,92	N	SUPAN	SUPM	SUPAN	SUPM	SUPM
2008-12-31	935,73	5337,28	1430,63	SUPM	SUPA	SUPA	SUPM	SUPA	SUPA
2009-12-31	1216,08	5293,13	1484,09	SUPA	SUPA	SUPA	N	SUPAN	N
2010-12-31	895,95	4164,12	1185,48	SUPAN	N	N	SUPA	SUPA	SUPM
2011-12-31	1209,64	4932,84	1500,88	SUPM	SUPM	SUPM	N	SUPAN	N
2012-12-31	732,93	3725,88	1179,3	N	N	N	SUPA	SUPA	SUPA
2013-12-31	398,77	2696,94	775,8	N	N	SI	SUPAN	SUPM	SUPAN
2014-12-31	55,13	1728,09	732,2	SI	N	N	N	N	N
2015-12-31	10,65	744,15	468,49	SE	SM	SI	SE	N	N
2016-12-31	9,01	341,54	277,7	SE	SS	SM	SM	SI	N
2017-12-31	10,11	178,7	119,71	SM	SE	SE	SM	SM	SM
2018-12-31	63,88	286,62	111,47	N	SI	SM	SM	SE	SE
2019-12-31	71,92	187,37	101,04	SM	SI	SI	SE	SE	SE
2020-12-31	117,00	750,06	404,9	N	N	N	SE	SE	SE

refletida pelo SWSI, também há uma redução dos valores do RDI. Isso ocorre porque os índices medem diferentes aspectos da seca, como a disponibilidade de água, mas ambos são sensíveis às mesmas variações climáticas.

Essa relação entre os índices pode ser útil para entender os efeitos da seca em diferentes regiões, facilitando o planejamento e a implementação de medidas de mitigação e adaptação em resposta à seca. Isso ajuda a reduzir os impactos negativos e promover o uso sustentável dos recursos hídricos em diferentes regiões (Vicente-Serrano *et al.*, 2012; Wilhite, 2005).

### 3. Considerações Finais

O presente trabalho analisou o desempenho dos índices de seca SWSI e RDI, no monitoramento da seca hidrológica dos reservatórios Castanhão, Banabuiú e Orós, localizados no Ceará, Brasil.

Os índices apresentaram comportamento variável ao longo do tempo, em que seus valores se alteraram durante anos considerados secos (precipitações abaixo da média histórica). Porém, o RDI mostrou-se defasado na identificação da seca, quando comparado ao SWSI, com tendência a apontar secas mais extremas, enquanto o SWSI, secas mais moderadas. Além disso, os dois índices apresentaram uma correlação acima de 70% para os três reservatórios analisados. Verificou-se também que a escala anual (12 meses) pode ser recomendada para monitorar as secas hidrológicas de forma a melhorar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos na região de estudo.

A utilização dos índices SWSI e RDI pode ser considerada uma estratégia proativa para a gestão dos recursos hídricos, pois eles fornecem informações importantes para a tomada de decisão por parte dos gestores, permitindo que sejam adotadas medidas preventivas e de adaptação diante da escassez de água. Além disso, os índices estudados podem ser integrados com políticas públicas voltadas para a conservação dos recursos hídricos, como programas de educação ambiental e incentivos financeiros para práticas sustentáveis. Com isso, é possível implementar planos de seca cada vez mais efetivos, de modo a garantir a disponibilidade de água e a minimização dos impactos gerados.

Entretanto, a utilização do SWSI em sistemas de monitoramento e alerta precoce das secas torna-se mais vantajosa, quando comparada ao RDI, pelos seguintes fatores: a) apresenta um cálculo mais simples, requerendo menos variáveis de entrada e esforço computacional, quando comparado ao RDI; b) Mostra uma boa correlação com os impactos de seca em sistemas hidrológicos, o que significa que ele é capaz de fornecer informações úteis e atualizadas sobre a gravidade da seca em relação aos seus impactos, como a redução do nível dos reservatórios e os possíveis danos sociais, econômicos e ambientais; c) pode ser aplicado em diferentes escalas temporais e espaciais,

tornando-o útil para diversos tipos de gestão de recursos hídricos.

Com relação aos trabalhos futuros, sugere-se que sejam realizados mais estudos sobre o SWSI e o RDI, com o intuito de utilizá-lo como ferramenta de monitoramento hídrico. Recomenda-se ainda, que mais índices sejam adaptados e analisados para a região, pois existe uma vasta gama de índices na literatura ainda não avaliados.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por todo suporte e apoio para a realização desta pesquisa.

### Referências

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2018. I doi
- ALVALA, R.; CUNHA, A.P.; BRITO, S.S.; SELUCHI, M.E.; MARENGO, J.A.; MORAES, O.L.; et al. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 91, n. 1. p. 20170209, 2017.
- ANDRADE, T. da S.; NOBREGA, R.L.B.; RIBEIRO NETO, A.; GALVÃO, C. de O. Estratégias de adaptação e gestão do risco: O caso das cisternas no Semiárido brasileiro. *Revista Climacom*, v. 2, p. 2, 2016.
- ARRAES, F.D.D.; ANDRADE, E.M. de; Da SILVA, B.B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. *Revista Caatinga*, v. 25, n. 1, p. 119-127, 2012.
- BANDYOPADHYAY, N.; BHUIYAN, C.; SAHA, A.K. Drought mitigation: Critical analysis and proposal for a new drought policy with special reference to Gujarat (India). *Progress in Disaster Science*, v. 5, p. 100049, 2020.
- BARBOSA, H.A.; SILVA, A.F.; ARAÚJO, J.C. Índices de seca no semiárido nordestino e a relação com a variabilidade da temperatura da superfície do mar. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 7, n. 5, p. 1025-1038, 2014.
- BATISTA, C. de O.N.; CORREIA, V.M.S.; SILVA, F.J.A. Variabilidade hidroquímica em dois reservatórios no semiárido brasileiro. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, p. 13698-13712, 2019. doi
- BLAIN, G.C.; BRUNINI, O. 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, p. 105-111, 2007.
- CANAMARY, E.A. *Avaliação de Índices Para Fins de Monitoramento e Previsão de Secas no Nordeste Setentrional*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Distrito Federal, 133 p., 2015.
- CÔRTEZ, P.L.; TORRENTE, M.; PINTO ALVES, A.; RUIZ, M.S.; DIAS, A.J.G.; RODRIGUES, R. Crise de abasteci-

- mento de água em São Paulo e falta de planejamento estratégico. **Estudos Avançados**, v. 29, p. 7-26, 2015.
- CUNHA, A.P.M.; ALVALÁ, R.C.; NOBRE, C.A.; CARVALHO, M.A. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214, p. 494-505, 2015.
- DANTAS, S.P.; CASTELO, K.G.; BARRETO, L.L.; COSTA, L.R.F. da.; DAMASCENO, M. de F.B.; SALES, M.C.L. Análise da distribuição dos recursos hídricos do açude Orós: Bacia hidrográfica do Jaguaribe/CE. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 47E, p. 1-11, 2011.
- ATAIDE, L.C.P. de; SILVA, M.T.; DE OLIVEIRA, S.E.A.; DANTAS, L.G.; ALMEIDA, G.S.S.; DA CUNHA, C. J.H.B.; DOS SANTOS, S.F.D. Aplicação da análise fatorial para determinação da vulnerabilidade hidrometeorológica para o submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 3, p. 405-417, 2022.
- DE BRITO, Y.M.A.; DE BRITO, H.C.; RUFINO, L.A.; BRAGA, C.F.C. Panorama da seca plurianual 2012-2018 no semiárido brasileiro: Impactos hidrológicos, agrícolas e medidas de convivência. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 58, p. 12-26, 2021.
- DING, Y.; HE, X.; ZHOU, Z.; HU, J.; CAI, H.; WANG, X.; SHI, H. Response of vegetation to drought and yield monitoring based on NDVI and SIF. **CATENA**, v. 219, p. 106328, 2022.
- DOS SANTOS, C.H.; DE LIMA, G.P.; SAKAMOTO, M.S. A seca 2010-2016 e as medidas do Estado do Ceará para mitigar seus efeitos. **Parc. Estrat.**, v. 22, n. 44, p. 83-118, 2017.
- ENGLE, N.L. The role of drought preparedness in building and mobilizing adaptive capacity in states and their community water systems. **Climatic Change**, v. 118, p. 291-306, 2012.
- FERNANDES, D.S.; HEINEMANN, A.B.; PAZ, R.L.; AMORIM, A.O.; CARDOSO, A.S. **Índices para a Quantificação das Secas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, Documento 244, p. 49, 2009.
- GAREN, D.C. Revised surface water supply index for the Western United States. **Journal Water Resour. Plann. Manage.**, v. 119, p. 437-454, 1993.
- GONÇALVES, S.T.N.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. das C.; SILVEIRA, C. da S.; CID, D.A.C.; MARTINS, E.S.P.R.; COSTA, J.M.F. da. Comparative analysis of drought indices in hydrological monitoring in Ceará's Semi-Arid Basins, Brazil. **Water**, v. 15, n. 7, p. 1259, 2023.
- GONÇALVES, S.T.N.; VASCONCELOS JUNIOR, F. das C.; SAKAMOTO, M.S.; SILVEIRA, C. da S.; MARTINS, E.S.P.R. Índices e metodologias de monitoramento de Secas: Uma revisão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 495-511, 2021.
- GUTIERREZ, A.P.A.; ENGLE, N.L.; NYS, E. de.; MOLEJON, C.; MARTINS, E.S. Drought preparedness in Brazil. **Weather and Climate Extremes**, v. 3, p. 95-106, 2014.
- GUTTMAN, B.N. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n. 1, p. 113-121, 1998.
- HEIM JÚNIOE, R.R. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. **Bull Am Meteorol Soc.**, v. 83, n. 8, p. 1149-65, 2002.
- JANG, S.H.; LEE, J.K.; OH, J.H.; JO, J.W.; CHO, Y. The probabilistic drought forecast based on the ensemble technique using the Korean Surface Water Supply Index. **Natural Hazards. Earth System Sciences Discussions**, v. 19, n. 10, p. 1-51, 2017.
- JAIN, V. K.; PANDEY, R.P.; JAIN, M.K.; BYUN, H.R. Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River Basin. **Weather and Climate Extremes**, v. 8, p. 1-11, 2015.
- JULIANI, B. H.T.; OKAWA, C.M.P. Application of a standardized precipitation index for meteorological drought analysis of the semi-arid climate influence in Minas Gerais, Brazil. **Hydrology**, v. 4, n. 2, p. 26, 2017.
- LIMA, T.B.R. **Resposta Hidrológica De Uma Grande Bacia Hidrográfica No Semiárido Brasileiro Diante De Cenários De Transposição Hídrica E Racionalização Do Uso De Reservatórios Não Estratégicos**. Monografia, Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.
- LIMEIRA, R.C.; AZEVEDO, P.; BEZERRA, W.; ALMEIDA, M.; MENEZES, H. Aplicação do Índice de Severidade de Seca de Palmer para o Estado da Paraíba. **Revista Fafibe Online**, v. 3, 2007. Disponível em <https://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistafafibeonline/sumario/11/19042010140747.pdf>.
- LORENZO, L.J.; VICENTE-SERRANO, S.M.; LÓPEZ-MORENO, J.I.; BEGUERÍA, S.; GARCÍA-RUIZ, J.M.; CUADRAT, J.M. The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). **Journal of Hydrology**, v. 386, n. 4, p. 13-26, 2010.
- MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; SOARES, W.R.; RODRIGUEZ, D.A. Recent trends and extremes of drought and pluvial events in the Amazon basin. **Science**, v. 369, n. 6507, p. 276-282, 2018.
- MARTINS, E.S.P.R.; DE NYS, E.; MOLEJÓN, C.; BIAZETO, B.; SILVA, R.F.V. Monitor de secas do Nordeste, em busca de um novo paradigma para a gestão de secas. Brasília: Banco Mundial, Série **Água**, v. 10, n. 106302, p. 1-128, 2015.
- MARTINS, E.S.P.R.; MAGALHÃES, A.R.; FONTENELE, D.A. A seca plurianual de 2010-2017 no Nordeste e seus impactos. **Parcerias Estratégicas**, v. 22, n. 44, p. 17-40, 2017.
- MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. paper. **American Meteorological Society**, v. 7, n. 22, p. 179-183, 1993.
- MELO, M.V.; FREITAS, M.A.V.; FARIAS, T.L.R. Assessment of drought management in Brazil: A review of policies, institutional frameworks and implementation challenges. **Environmental Science & Policy**, v. 80, p. 109-116, 2018.
- MENDES, D.S.; SILVA, B.B.; SILVA, M.S.; MELO JÚNIOR, J.C.F. Utilização do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) na identificação de áreas suscetíveis à seca no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 1, p. 108-118, 2017.
- MISHRA, A.K.; SINGH, V.P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1-2, p. 202-216, 2010.

- MOURA, M.M.S.; De QUEIROZ, P.; BRASIL, J.B.; JACQUES, F. Armazenamento dos reservatórios em seca plurianual na Bacia Hidrográfica do Alto Jaguaribe. **III Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido - SBRNS**. Fortaleza, Ceará, 2017. doi.
- MOREIRA, T.M.X. **Gestão Participativa no Ceará: Análise dos Comitês das Sub-bacias Hidrográficas do Baixo e Médio Jaguaribe**. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 156 p., 2013.
- NYS, E. de; ENGLE, N.; MAGALHÃES, A. **Secas no Brasil: Política e Gestão Proativas**. Washington, D.C.: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos do Banco Mundial, 292 p., 2016.
- NOBRE, P.; MARENGO, J.; SELUCHI, M.; CUARTAS, L.; ALVES, L.M. Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in Southeastern Brazil in 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, n. 3, p. 252-262, 2016.
- NUNES, F.T.; VASCONCELOS JÚNIOR, F.C.; SILVEIRA, C.S. Avaliação interanual das anomalias de chuvas da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú - Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1, p. 22-38, 2018.
- OJHA, S. S.; SINGH, V.; ROISHNI, T. Comparison of meteorological drought using SPI and SPEI. **Civ. Eng. J.**, v. 7, p. 2130-2149, 2021.
- OLIVEIRA, A.G.; BASTOS, A.T.; FONTENELE, R.E.S.; MOURA, H.J. de. Avaliação de políticas públicas de desenvolvimento local: o caso do projeto Castanhão. In: **XVI Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**. São Paulo: Engema, p. 1-15, 2015.
- OMM, F. **High Level Meeting on National Drought Policy (HMNDP) CICG**. Final Declaration from the High-Level Meeting on National Drought Policy. Geneva, p. 11-15, Março de 2013. Disponível em: [https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO\\_HMNDP\\_policy\\_document\\_2012.pdf](https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_HMNDP_policy_document_2012.pdf)
- PALMER, W.C. **Meteorologic Drought**. US Department of Commerce, Weather Bureau, Research Paper n. 45, p. 58. 1965.
- PARANHOS, R.; FIGUEIREDO FILHO, D.B.; ROCHA, E.C. da; Da SILVA JÚNIOR, J.A.; NEVES, J.A.B.; SANTOS, M.L.W.D. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson: o retorno. **Leviathan** (São Paulo), v. 8, p. 66-95, 2014.
- PEREIRA, G.R.; CUELLAR, M.D.Z. Conflitos pela água em tempos de seca no baixo Jaguaribe, estado do Ceará. **Estud. Av.**, v. 29, n. 84, p. 115-137, 2015.
- PEREIRA, T.A.S. **Análise e Previsão de Chuvas na Estação Seca do Leste do Nordeste do Brasil: Aplicação nas Bacias dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio (AL/PE)**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 171 p, 2017.
- PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M. dos S. **Mudanças Climáticas: Visão Tropical Integrada das Causas, dos Impactos e de Possíveis Soluções Para Ambientes Rurais ou Urbanos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, v. 70, 200 p., 2007.
- QUIRING, S.M. Monitoring drought: an evaluation of meteorological drought indices. **Geography Compass**, v. 3, n. 1, p. 64-88, 2009.
- RODRIGUES, L.N.; Dos SANTOS, L.L.; NERY, A.R.; Da COSTA, M.V.P.; SANTOS, C.T.R. dos; Dos SANTOS, F.C.B.; VASQUEZ, M.A.N. Balanço hídrico climatológico normal de quatro municípios cearenses localizados em diferentes mesorregiões. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 1, p. e10612139563-e10612139563., 2023.
- SANTOS, K.M.S. **Avaliação da Eficiência do Monitor de Secas para Definição de Secas em Sergipe**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, 147 p., 2020.
- SANTOS, A.F.; FARIAS, M.S.S.; MEDEIROS, R.F. de. A contribuição do monitoramento hidrometeorológico na gestão dos recursos hídricos do semiárido. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 81-95, 2014.
- SANTOS, J.F.; PORTELA, M.M. **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, 2010.
- SHAFFER, B.A.; DEZMAN, L.E. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In: **Proceedings of the 50th Annual Western Snow Conference**. Fort Collins: Colorado State University, p. 164-75, 1982.
- SILVA, V.M. de A.; PATRÍCIO, M da C.M.; RIBEIRO, V.H. de. A.; MEDEIROS, R.M. O desastre da seca do Nordeste brasileiro. **Revista Eletrônica Polêmica**, v. 12, n. 2, p. 285-293, 2013.
- SVOBODA, M.; FUCHS, B. **Handbook of Drought Indicators and Indices Integrated Drought Management and Policy Programme (IDMP)**. Geneva: World Meteorological Organization and Global Water Partnership, 53 p., 2016. Disponível em [https://www.droughtmanagement.info/literature/GWP\\_Handbook\\_of\\_Drought\\_Indicators\\_and\\_Indices\\_2016.pdf](https://www.droughtmanagement.info/literature/GWP_Handbook_of_Drought_Indicators_and_Indices_2016.pdf).
- SVOBODA M.; LECOMTE D.; HAYES M.; HEIM R.; GLEASON K.; ANGEL J. The drought monitor. **Bull Am Meteorol Soc.**, v. 83, n. 8, p. 1181-90, 2002.
- TAREKE, K.A.; AWOKE, A.G. Comparing surface water supply index and streamflow drought index for hydrological drought analysis in Ethiopia. **Heliyon**, v. 8, n. 12, e12000, 2022.
- THIESSEN, A.H. Precipitation averages for large areas. **Monthly Weather Review**, v. 39, n.7, p. 1082-1089, 1911.
- TIRIVAROMBO, S.; OSUPILE, D.; ELIASSON, P. Drought monitoring and analysis: standardised precipitation evapotranspiration index (SPEI) and standardised precipitation index (SPI). **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 106, p. 1-10, 2018.
- TRAVASSOS, I.S.; SOUZA, B.I.; SILVA, A.B. Secas, desertificação e políticas públicas no semiárido nordestino brasileiro. **Revista Okara: Geografia em Debate**, v. 7, n. 1, p. 147-164. 2013.
- VALIPOUR, M. Use of Surface Water Supply Index to assessing of water resources management in Colorado and Oregon,

- US. **Advances in Agriculture, Sciences and Engineering Research**, v. 3, n. 2, p. 631-640, 2013.
- VAN LOON, A.F.; GLEESON, T.; CLARK, J.; VAN DIJK, A.I.J.M.; STAHL, K.; HANNAFORD, J. Drought in the Anthropocene. **Nat Geosci.**, v. 9, p. 89-91, 2016.
- VICENTE-SERRANO, S.M.; BEGUERÍA, S.; LORENZO-LACRUZ, J.; CAMARERO, J.J.; LÓPEZ-MORENO, J.I.; AZORIN-MOLINA, C.; SANCHEZ-LORENZO, A. Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications. **Earth Interactions**, v. 16, n. 10, p. 1-27, 2012.
- VIVAS, E.; MAIA, R. A gestão de escassez e secas enquadrando as alterações climáticas. **Recursos Hídricos**, v. 31, n. 1, 2010.
- WEGHORST, K. The Reclamation Drought Index: guidelines and practical applications. North American water and environment congress & destructive water. ASCE. **Bureau of Reclamation**, v. 8, p. 637-642, 1996.
- WILHITE, D.A.; GLANTZ, M.H. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. **Water International**, v. 10, n. 3, p. 111-120, 1985.
- WILHITE, D.A. Drought as hazard: Understanding the natural and social context. **Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues**. Boston: Taylor & Francis Group, p. 3-29, 2005.
- tordeseccas.ana.gov.br/mapa?mes=4&ano=2020, acesso em 20 mai. 2023.
- COGERH, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Portal Hidrológico do Ceará**. 2021. Disponível em <http://www.hidro.ce.gov.br>, acesso em 20 nov. 2022.
- FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Dados de Precipitação**. 2021. Disponível em: <http://www3.funceme.br/web/storage/obs/modhydro/engecorps-inmet-ana-sinda-estados/>, acesso em 10 nov. 2022.
- FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Dados de Vazão**. 2021. Disponível em [http://www3.funceme.br/web/storage/obs/modhac/qca/reservatorios\\_semiarido/](http://www3.funceme.br/web/storage/obs/modhac/qca/reservatorios_semiarido/), acesso em 10 nov. 2022.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados de Temperatura do Ar**. Disponível em <https://bdmep.inmet.gov.br>, acesso em 10 nov. 2022.
- ONU, Organização das Nações Unidas **ONU Confirma 2020 Entre os Sete Anos Mais Quentes da História**. Disponível em <https://brasil.un.org/pt-br/168876-onu-confirma-2020-entre-os-sete-anos-mais-quentes-da-historia>, acesso em 1 set. 2022.



License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (type CC-BY), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original article is properly cited.

## Endereços de internet

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Monitor de Secas do Brasil**, 2020. Disponível em <https://monitordeseccas.ana.gov.br>