Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA ARIDEZ EM UMA BACIA SEMIÁRIDA: DINÂMICA E A INFLUÊNCIA OROGRÁFICA NA SUB-BACIA DO SÍTIO BRUM (CEARÁ, BRASIL)

Spatiotemporal variability of aridity in a semi-arid basin: dynamics and orographic controls in the Sítio Brum sub-basin (Ceará, Brazil)

Variabilité spatio-temporelle de l'aridité dans un bassin semi-aride : dynamique et contrôles orographiques dans le sous-bassin de Sítio Brum (Ceará, Brésil)

Guitte Lima de Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)
Fortaleza, Ceará, Brasil
guittesousa12@gmail.com

Antonio Ferreira Lima Júnior
Universidade Federal do Ceará (UFC)
Fortaleza, Ceará, Brasil
antoniojunior@ufc.br

Flavio Rodrigues do Nascimento
Coordenador-Geral de Ações Transversais do Dep. de Combate à Desertificação e Mitigação das Secas/DCDE do Ministério do Meio Ambiente, MMA
Brasília, Distrito Federal, Brasil.
flaviogeo@ufc.br

Resumo: O estudo analisa a variabilidade pluviométrica na sub-bacia do Sítio Brum, localizada no semiárido cearense, área suscetível à desertificação. Objetivou-se compreender como a variabilidade climática influencia a dinâmica espaço-temporal da aridez na sub-bacia. A pesquisa utilizou uma série histórica de 30 anos (1991–2020), com dados de precipitação e evapotranspiração potencial obtidos da base de dados TerraClimate. A metodologia envolveu a delimitação da sub-bacia por meio de

modelo digital de elevação, a interpolação espacial das chuvas, a classificação dos anos-padrão por meio de quartis e diagrama de caixa (boxplot) e a aplicação do Índice de Aridez para quantificar as diferentes condições de aridez no território. Os resultados evidenciaram elevada variabilidade interanual da precipitação, com ocorrência de anos extremos, destacando-se 1993 e 2012 como extremamente secos e 2008 e 2009 como extremamente chuvosos. Observou-se também variabilidade espacial da precipitação associada ao relevo, sobretudo ao efeito orográfico do Maciço do Pereiro, que favorece maiores totais pluviométricos no setor oriental da sub-bacia, em comparação com a depressão sertaneja. A condição de aridez demonstrou forte relação com a pluviosidade, variando entre condições semiáridas, em anos secos, e subúmidas, em anos chuvosos, evidenciando a influência conjunta da variabilidade climática e do relevo na dinâmica hidrológica da área.
Palavras-chave: Semiárido, Desertificação e Ritmo climático.

Abstract: This study analyzes rainfall variability in the Sítio Brum sub-basin, located in the semiarid region of Ceará, northeastern Brazil, an area susceptible to desertification. The study aimed to understand how climate variability influences the spatiotemporal dynamics of aridity within the sub-basin. The analysis was based on a 30-year period (1991–2020), using precipitation and potential evapotranspiration data obtained from the TerraClimate dataset. The methodological procedures included delineation of the sub-basin using a digital elevation model, spatial interpolation of rainfall, classification of representative rainfall years based on quartiles and boxplot analysis, and application of the Aridity Index to quantify different aridity conditions across the study area. The results revealed high interannual rainfall variability, including extreme years, with 1993 and 2012 classified as extremely dry and 2008 and 2009 as extremely wet. Spatial variability in rainfall was also observed in association with topography, particularly the orographic effect of the Pereiro Massif, which favors higher rainfall totals in the eastern sector of the sub-basin compared with the Sertaneja Depression. Aridity conditions were strongly associated with rainfall variability, ranging from semiarid conditions during dry years to subhumid conditions during wet years. These findings highlight the combined influence of climate variability and topography on the hydrological dynamics of the study area.
Keywords: Semi-arid, Desertification, and Climatic Rhythm.

Resumen: Cette étude analyse la variabilité pluviométrique dans le sous-bassin du Sítio Brum, situé dans la région semi-aride du Ceará, au nord-est du Brésil, une zone sujette à la désertification. Elle vise à comprendre comment la variabilité climatique influence la dynamique spatio-temporelle de l'aridité au sein du sous-bassin. L'analyse porte sur une période de 30 ans (1991–2020) et repose sur des données de précipitations et d'évapotranspiration potentielle issues de la base de données TerraClimate. La méthodologie comprend la délimitation du sous-bassin à partir d'un modèle numérique d'élévation, l'interpolation spatiale des précipitations, la classification des années pluviométriques représentatives à partir des quartiles et de diagrammes en boîte, ainsi que l'application de l'indice d'aridité afin de quantifier les différentes conditions d'aridité dans la zone d'étude. Les résultats mettent en évidence une forte variabilité interannuelle des précipitations, avec des années extrêmes, notamment 1993 et 2012, classées comme extrêmement sèches, et 2008 et 2009, comme extrêmement pluvieuses. Une variabilité spatiale des précipitations associée à la topographie est également observée, notamment en raison de l'effet orographique du massif du Pereiro, qui favorise des cumuls pluviométriques plus élevés dans le secteur oriental du sous-bassin que dans la Dépression Sertaneja. Les conditions d'aridité sont fortement associées à la variabilité pluviométrique, allant de conditions semi-arides lors des années sèches à des conditions subhumides lors des années pluvieuses. Ces résultats mettent en évidence l'influence conjointe de la variabilité climatique et de la topographie sur la dynamique hydrologique de la zone d'étude.
Palabras clave: Semi-aride, Désertification et Rythme climatique.

Submetido em: 08/04/2026
Aceito para publicação em: 25/08/2026
Publicado em: 15/11/2026



1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é um dos elementos mais influentes na variabilidade climática e na dinâmica ambiental do Semiárido Brasileiro. Na região, destaca-se o seu baixo e irregular regime pluviométrico associado a altas temperaturas e intensa evapotranspiração (Silva *et al.*, 2012; Correia Filho *et al.*, 2018; Monteiro, 2022), o que dita fortemente o cenário natural e social de praticamente toda sua extensão.

A irregularidade interanual das chuvas no semiárido afeta diretamente o cotidiano de seus habitantes, os quais atualmente desenvolvem técnicas para sobreviver a esse ambiente hostil. O semiárido historicamente foi marcado pelo uso desregrado de seus recursos naturais e desalinhado ao ritmo natural característico (Da Silva, 2017; Rodrigues *et al*., 2019).

As práticas inadequadas de uso da terra intensificaram o processo de desertificação. No território brasileiro, este processo é conceituado como "a degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas" (Brasil, 1998, p. 7). Tais atividades, como as queimadas para limpeza do terreno, que removem a cobertura vegetal, Giongo (2011) sinaliza que:

> "As práticas da agricultura familiar no Nordeste brasileiro, associadas à pecuária, estão sendo apontadas como aceleradoras dos processos de degradação ambiental, em virtude do caráter extrativista e predatório dos recursos naturais" (GIONGO, 2011. p. 119).

Tal conceito antecede essa interpretação e, ao longo do tempo, foi revisado por diversos olhares, porém sempre foi entendido como um processo longo, em tempo humano, de degradação ambiental em Terras Secas, abrangendo áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas (Glantz; Orlovsky, 1983; Verstraete, 1986; Al-Kulabi, 2022; Lima; Magalhães, 2024).

O termo desertificação foi utilizado pela primeira vez em 1927 por Lois Lavauden e ganhou maior difusão por volta de 1940 com André Aubréville, que o empregou para descrever áreas semelhantes a desertos em expansão, com base em estudos sobre a degradação das terras nas Grandes Planícies da América do Norte, marcada por uso inadequado do solo, desmatamento e uma prolongada estiagem entre 1929 e 1936. Posteriormente, em 1977, a Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação consolidou o conceito ao definir desertificação como a diminuição ou destruição do potencial biológico da terra, resultante da interação entre condições climáticas adversas e exploração excessiva dos recursos, podendo levar a condições desérticas (Rodrigues, 1992 e Nascimento, 2013).

Destaca-se a diferença entre os termos desertificação e desertização. Matallo Júnior (2009) e Nascimento (2013; 2023) acentuam que são processos distintos. A desertização corresponde ao processo de evolução climática para a formação de um deserto (bioma), enquanto a desertificação refere-se ao manejo inadequado (degradação) dos recursos naturais em Terras Secas.

Cerca de 18% do território brasileiro está suscetível à desertificação, aproximadamente 1,5 milhão de km², com crescimento de 45% nas últimas duas décadas, atingindo 1.649 municípios e 39 milhões de pessoas, o que identifica a desertificação como uma das mais importantes questões socioambientais (MMA/PAB, 2025).

O entendimento de tais características sobre o processo de desertificação e de como o comportamento climático está intrinsecamente atrelado a ele é essencial para assimilar as várias dimensões que influenciam essa degradação, como o regime pluvial, que, por sua vez, no semiárido do Nordeste brasileiro, não ultrapassa muito 800 mm, segundo Zanella (2014).

Uma característica importante em contextos de desertificação é a alta aridez, a qual também é um parâmetro para sua avaliação, como indicam Eloi *et al*. (2014) e Santos *et al*. (2022). Thornthwaite (1948) preconiza os estudos da aridez reconhecendo a variável evapotranspiração potencial (ETP) fundamental, compreendendo a relação de oferta e demanda da precipitação do local.

Posteriormente, Penman (1953) afirma que os fundamentos físicos da evaporação, assim contribuindo para o índice de aridez, são a razão da precipitação pela evapotranspiração potencial, permitindo assim diagnosticar o grau de déficit hídrico, o que contribui para caracterizar áreas no processo de desertificação.

A aridez em si é um aspecto climático que representa o grau do déficit hídrico, que é resultante de diversos fatores atmosféricos, superficiais, vegetais, que podem ser catalisados por ações antrópicas (Huang *et al*. 2015). Alinhados às condições das mudanças climáticas globais, os eventos de seca, consequentes de déficits hídricos, tornam-se cada vez mais frequentes, catalisando aumento na aridez, intensificando os processos de desertificação (Greve *et al*., 2019).

Ao caracterizar o comportamento pluviométrico do semiárido nordestino, Zanella (2005), Lima *et al*. (2011), Zanella (2014) e Gomes e Zanella (2023) destacam como principais características a baixa amplitude térmica com temperaturas elevadas, em torno de 27°C,

pluviosidade interanual irregular, concentrada em três a cinco meses e de alta variabilidade espaço-temporal, e altas taxas de insolação que denotam também intensas taxas de evaporação e evapotranspiração potencial. Segundo os apontamentos feitos por Silva *et al*. (2023), o semiárido brasileiro tende a ficar mais seco até o final do século, intensificando sua aridez e expandindo zonas áridas e semiáridas, mesmo em cenários otimistas.

Fazendo parte do semiárido brasileiro, no estado do Ceará, segundo Zanella (2005), a variedade de diferentes macrocompartimentos da paisagem atribui comportamentos diferenciados à pluviosidade: nas regiões serranas, a pluviometria pode alcançar 1.700 mm, enquanto no sertão, entre 850 mm e 500 mm, e no litoral, chegando a 1.100 mm a 1.350 mm anuais. Surge então a necessidade de compreender as dinâmicas climáticas regionais e locais que podem interferir no processo de desertificação em áreas sensíveis (como os núcleos de desertificação), sobretudo entendendo a variabilidade termopluviométrica.

Para a compreensão da variabilidade climática, especialmente da precipitação, é amplamente empregado o método dos anos-padrão, concebido por Monteiro (1971), o qual introduz nos estudos climáticos uma perspectiva dinâmica baseada na sucessão e no ritmo dos estados atmosféricos. O ritmo climático expressa justamente essa sucessão ao longo do tempo e está intrinsecamente associado ao conceito de habitualidade, uma vez que as variações e desvios em relação ao padrão esperado produzem diferentes níveis de anomalias, podendo, em casos extremos, configurar situações climáticas excepcionais.

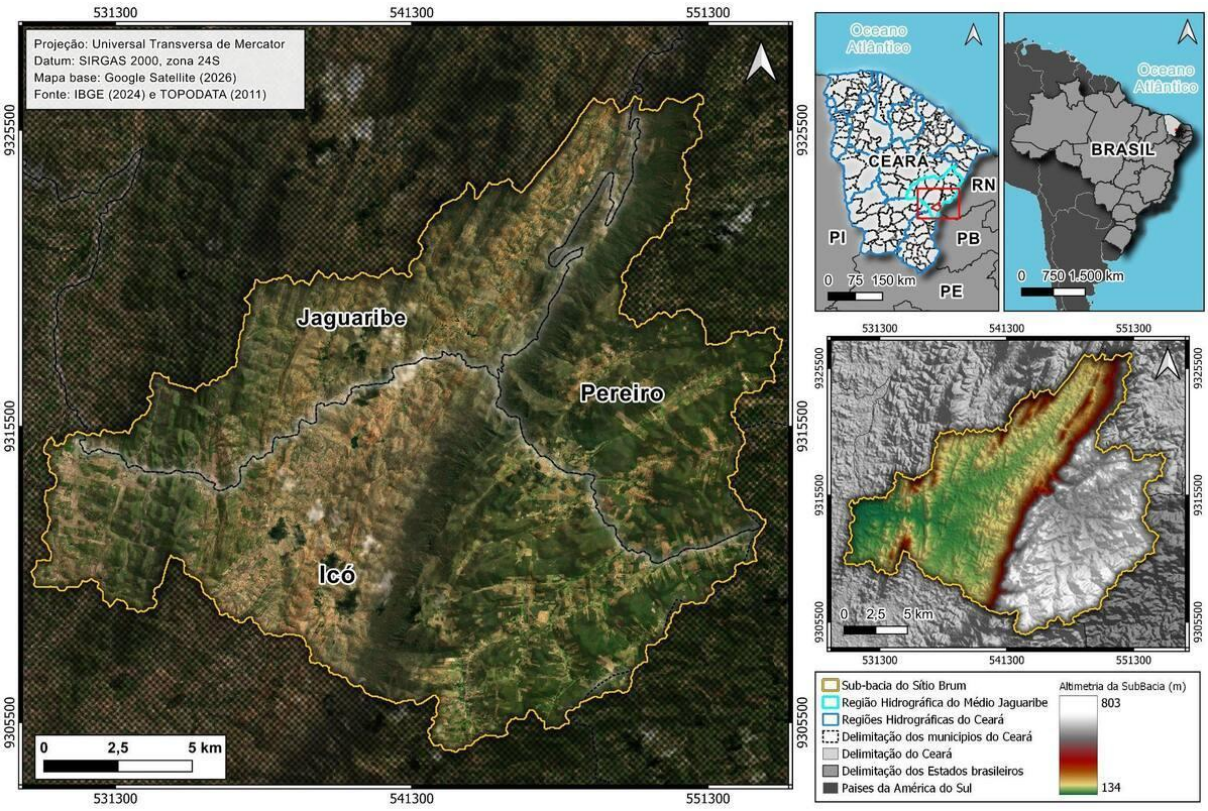
Monteiro op. Cit destaca também que é essencial que os valores extremos sejam abordados e interpretados junto aos valores habituais. Dentre as diversas técnicas utilizadas para a definição dos anos-padrão, Galvani e Luchiari (2005) indicam o método de *box-plot*, como uma técnica estatística que identifica os valores máximos, os valores mínimos, a mediana, o primeiro e o terceiro quartil, de maneira simples e de fácil aplicação.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho consistiu em analisar como a variabilidade climática interfere no comportamento espaço-temporal da aridez na sub-bacia hidrográfica do riacho do sítio Brum (entre 1991 e 2020), área inserida em um núcleo de desertificação localizado no estado do Ceará. Para cumprir esse objetivo, foi necessário: estabelecer os anos-padrão, através da técnica do *box-plot*; e calcular o Índice de Aridez para anos representativos da variabilidade climática local.

1.1 Área de estudo

O presente estudo destinou-se a compreender a variabilidade espaço-temporal das chuvas na sub-bacia hidrográfica do riacho do Sítio Brum, localizada no médio Jaguaribe cearense (Figura 1). A sub-bacia hidrográfica do riacho do Sítio Brum, comumente conhecida como sub-bacia do Sítio Brum, está localizada na região hidrográfica do Médio Jaguaribe, sendo influenciada pelo Maciço do Pereiro, e engloba três municípios: Icó, Jaguaribe e Pereiro. A porção da sub-bacia situada na depressão sertaneja possui altitudes variando de 100 a 300 metros, com presença de inselbergs e cristas residuais associadas ao maciço, e a porção oriental possui altitudes entre 500 e 800 metros.

Figura 1 - Cartograma de localização da sub-bacia do Sítio Brum.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A dinâmica climática da área está diretamente relacionada com os atributos atmosféricos padrões para o norte do Nordeste brasileiro, cuja variabilidade pluviométrica é afetada, principalmente, por sistemas atmosféricos como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), como descrito por Ferreira

e Mello (2005) e Gomes e Zanella (2023). Está situada na classificação Equatorial Seco, segundo Novais (2023).

A ZCIT, a principal causadora de chuvas no Ceará, pode ser definida como uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo, sendo formada pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os do hemisfério sul. Nos meses de fevereiro a abril, migra de sua posição ao norte (aproximadamente 14°N) para latitudes mais ao sul, chegando por volta de 2 a 4°S (Ferreira e Mello, 2005). Seu deslocamento está intrinsecamente relacionado à Temperatura da Superfície do Mar, ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Norte (ASAN), ao Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS) e ao Anticiclone Semifixo do Pacífico (Cardoso, 2019; Carpenedo e Ambrizzi, 2020).

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), formados no oceano Atlântico, são um conjunto de nuvens que constituem um círculo girando no sentido horário, dura entre 7 a 10 dias, formados normalmente nos meses de novembro e março, a periferia deste círculo tem nuvens que causam chuvas, enquanto em seu centro forma-se uma zona de alta pressão que inibe a formação de nuvens, consequentemente de chuva (Gan; Kousky, 1982; Ferreira *et al*. 2009).

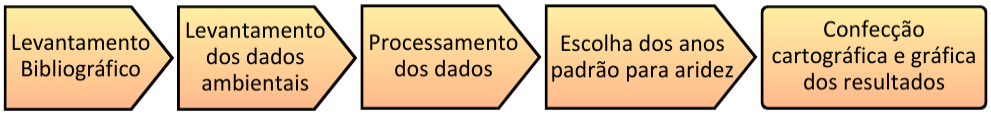
Associado à característica climática, o Estado do Ceará é constituído pelo embasamento cristalino, solos pouco desenvolvidos e uma história marcada por diversas atividades que catalisam a formação dos núcleos de desertificação, como o desmatamento da vegetação nativa, propiciando o superpastejo e o manejo inadequado do solo, como incêndios antrópicos para roçado.

Na comunidade do Sítio Brum, residem 34 famílias de agricultores familiares, que em 2014 foram contempladas com um projeto de recuperação de áreas degradadas desenvolvido pela FUNCEME, auxiliada pelos moradores locais. Destaca-se que a sub-bacia está inclusa dentro da área do Núcleo III de Desertificação delimitada pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2016) junto à Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), que compreende os municípios de Morada Nova, Alto Santo, Jaguaretama, Jaguaribara e Jaguaribe. Integrando tais características da sub-bacia do sítio Brum, encontra-se como uma localidade estratégica de investigações, principalmente no tocante ao processo de desertificação no Ceará, bem como à sua própria dinâmica climática orográfica.

2. METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa consistiu em quatro etapas fundamentais, como mostra o fluxograma da Figura 2. O primeiro passo foi realizar um levantamento bibliográfico nas especificidades da área de estudo, em seguida, o levantamento dos dados ambientais (a altimetria, pluviosidade e evapotranspiração potencial), seguido pelo processamento dos dados em softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e finalizando com a confecção dos mapas e gráficos resultantes.

Figura 2 - Fluxograma da metodologia de trabalho.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

O levantamento bibliográfico consistiu na busca em indexadores de artigos em periódicos, repositórios institucionais e órgãos oficiais. Foi realizada uma triagem nos estudos focados no semiárido, em desertificação, na dinâmica atmosférica regional, em métodos de análise pluvial e de aridez.

Destaca-se que um importante dado ambiental para a análise é a altimetria, visto que, como indica Zanella (2005), há uma grande variabilidade pluvial de acordo com o compartimento da paisagem. O recorte territorial da sub-bacia é fundamental para a aquisição das informações pluviométricas, base para a eleição dos anos-padrão e para o cálculo da aridez.

2.1. Levantamento dos dados ambientais

Os dados ambientais da presente pesquisa constituem etapas fundamentais para o entendimento da dinâmica pluvial na sub-bacia do Sítio Brum, bem como a delimitação territorial da própria.

Para a delimitação da extensão espacial da sub-bacia foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) que é disponibilizado pelo TOPODATA (2011). Tal método de delimitação de bacias hidrográficas é comumente aplicado principalmente para bacias que não têm

delimitação oficial, como no caso do Riacho do Sítio Brum, bem como para as que possuem delimitação oficial, porém não compreendem a escala de estudo.

Os dados altimétricos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em formato raster, com a resolução de 30 m, foram elaborados a partir do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) disponibilizado pelo USGS (United States Geological Survey) e atualizados conforme o tempo, sendo a última atualização em 2011.

Os dados de pluviometria e evapotranspiração potencial foram adquiridos da coleção de dados climáticos do TerraClimate através de código no Google Earth Engine (GEE), filtrando os dados de precipitação individualmente da média de cada ano da série histórica (1991 a 2020), sendo exportados em formato raster. Cabe mencionar que há interação direta entre o aumento da evapotranspiração e o da temperatura, que, associados, intensificam os processos de desertificação (Rocha *et al*. 2021). Nesta pesquisa foram utilizados os dados diretos de ETP, extraídos do TerraClimate através do GEE.

O TerraClimate se baseia na integração de diversas fontes, compilando dados de observações de estações meteorológicas públicas, modelos atmosféricos, produtos de reanálise atmosférica e climatologia de alta resolução (Abatzoglou *et al*. 2018), permitindo a geração de séries temporais e espaciais consistentes.

Segundo Abatzoglou *et al*. (2018), a integração dos dados é realizada por interpolação climatologicamente assistida, a *Climatologically Aided Interpolation* (CAI), permitindo a incorporação de superfícies climatológicas de alta resolução com a variabilidade temporal de dados de menor resolução espacial (as observações de estação). As principais bases de dados, porém não únicas, são as bases do WorldClim, as do Climate Research Unit Time Series (CRU TS) e os produtos de reanálise do Japanese 55-year Reanalysis (JRA-55).

Diversos trabalhos utilizaram os dados do TerraClimate para a avaliação da aridez, sobretudo em regiões semiáridas (Anil; Sasi, 2025; Pérez-Aguilar *et al*., 2025; Dada *et al*., 2026), indicando a usabilidade do produto para estudos do gênero em regiões tropicais e semiáridas.

Essas informações foram destinadas à construção do mapa de delimitação e hipsometria da sub-bacia, ao mosaico de mapas de precipitação de cada ano da série, ao estabelecimento dos anos-padrão, ao gráfico da distribuição do total anual de chuva e ao cálculo do Índice de Aridez.

2.2. Processamento dos dados e cálculo dos anos-padrão

Os dados geoespaciais foram processados usando o software de geoprocessamento QGis v.3.34.10, e as demais informações foram organizadas e tabuladas usando o Google Sheets e os gráficos do *box-plot* foram processados pelo Google Colab.

A delimitação espacial da sub-bacia foi realizada aplicando a ferramenta *r.watershed*, pertencente ao *plugin GRASS GIS Provider*, utilizando o MDE do levantamento de dados. Essa ferramenta identifica os divisores de água e drenagens, o que possibilita a delimitação de bacias hidrográficas (Almeida-Nauñay *et al*., 2025).

Foram importados para o ambiente SIG do QGis os rasters derivados da coleta no GEE aos quais foi aplicada a funcionalidade inerente ao próprio software “pixel para ponto”, a qual atribui as informações presentes nos pixels dos rasters a vetores do tipo ponto. Isso foi feito para gerar a interpolação das informações pluviométricas mais visivelmente detalhadas.

Das diversas metodologias para interpolar informações espaciais, optou-se pela utilização do IDW (*Inverse Distance Weighting*). O IDW foi desenvolvido em 1972 pelo Serviço Nacional de Meteorologia dos EUA e é entendido como um método de interpolação determinístico, sendo assim, não atende a suposições estatísticas específicas. Tal interpolação é comumente usada para estudos semelhantes a este, como o de Silva (2025). Sendo preferido para o estudo por aplicar equação geométrica exata ao valor de entrada sem o estimar ou relativizá-lo com probabilidade.

Com os produtos interpolados de cada ano e também o da média desses 30 anos, foi aplicada uma classificação temática de cores graduadas do vermelho (mais seco), partindo de 400 mm, indo até o azul (mais chuvoso), até 1100 mm, sobre todos os anos e a média. Além disso, os valores de cada ano foram alocados em uma planilha no Google Sheets, onde, em cada ano, houve um valor mais baixo e um mais alto, considerando sua especificidade de integrar dois macrocompartimentos diferentes, os valores mais baixos e mais altos receberam seus próprios gráficos e classificação, bem como a média entre eles, representando a média pluviométrica da sub-bacia como um todo.

No Google Sheets foi realizada a primeira classificação adaptando o método de quartil de Galvani e Luchiari (2005). O Quadro 1 ilustra a atribuição dos quartis com a classificação de ano-padrão, o valor máximo (V.máx) é o maior valor da série histórica, o valor mínimo (V.mín) é o menor. O primeiro quartil encontra-se entre o V.mín e a mediana, sendo os anos secos, o

segundo quartil é a mediana, classificado como habitual, o terceiro quartil está entre a mediana e o V.máx, sendo os anos chuvosos, e considerando os 5% mais secos como super secos e os 5% mais chuvosos como super chuvosos, segundo Schneider e Silva (2014).

Quadro 1- Intervalo de classificação para os anos-padrão.

PRECIPITAÇÃO ANUAL	CLASSIFICAÇÃO
5% menores da série	Super seco
Entre o V.mín e o 1ª quartil	Seco
Entre o 1ª e 3ª quartil	Habitual
Entre o 3ª quartil e o V.máx	Chuvoso
5% maiores da série	Super-Chuvoso

Fonte: Adaptado de Galvani e Luchiari (2005).

Para melhor visualização, utilizou-se o diagrama de caixa (*box-plot*), pois fornece uma identificação mais prática da distribuição dos valores (Silvestre *et al*., 2013). O diagrama foi confeccionado no ambiente do Google Colab, usando a biblioteca *NumPy* para os cálculos dos quartis e da mediana e a *Matplotlib.pyplot* para a criação do diagrama, considerando as expressões do quadro 2.

Quadro 2- Expressões para a construção do *box-plot*.

INTERVALO DE CAIXA	EXPRESSÕES
Intervalo Interquartil	IQ = Q3 - Q1
Limite Inferior (LI)	LI = Q1 - 1,5*IQ
Limite Superior (LS)	LS = Q3 + 1,5*IQ

Fonte: Adaptado de Tukey (1977).

O IQ é a concentração de 50% dos dados, mostrando na caixa os dados centrais, e o LI e o LS representam o Limite Inferior (V.mín ao 1º quartil) e o Limite Superior (3º ao V.máx), os dados outliers na série também são representados no *box-plot* (Tukey, 1977).

No semiárido cearense, o uso estatístico do quartil para anos-padrão é algo já amplamente difundido. Destacam-se os trabalhos de Caitano, Lopes e Teixeira (2011); Silva (2018); Linhares, Falcão Sobrinho e Mutti (2024) e Silva et al. (2025), os quais foram referências fundamentais para o presente trabalho. Esses estudos buscam compreender a dinâmica pluviométrica da região cearense e nordestina, respectivamente. A partir do processo de definição dos anos-padrão, foi escolhido um ano representativo de cada classificação e confeccionada uma cartografia para o Índice de Aridez,

2.3. Cálculo e espacialização do Índice de Aridez

A elaboração cartográfica da modelagem espacial do Índice de Aridez segue logo após a escolha e classificação dos anos-padrão. O procedimento ocorreu através da calculadora raster, nativa do próprio QGis, utilizando os rasters interpolados da precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ETP). A equação aplicada seguiu os critérios estabelecidos por Thornthwaite (1948) e Penman (1953), descrita na equação 1:

$$IA = \frac{P}{ETP} \quad (1)$$

É importante ressaltar que há duas delimitações de classe para o Índice de Aridez, a das Nações Unidas (2007) e a do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (1997, p.121), sendo assim, o presente estudo será adaptado devido às especificidades da área de estudo e ao melhor uso dentro do ambiente SIG, inspirado no trabalho de Eloi *et al*. (2014), como segue no quadro 3.

Quadro 3- Intervalo de classificação para os anos-padrão.

	Índice de Aridez		
Classe	**CONAMA**	**UNEP**	**Utilizada**
Hiperárido	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Árido	0,05 - 0,20	0,05 - 0,20	0,05 - 0,20
Semiárido	0,21 - 0,50	0,20 - 0,50	0,21 - 0,50
Subúmido Seco	0,51 - 0,65	0,50 - 0,65	0,51 - 0,65
Subúmido Úmido	> 0,65	0,65 - 1,0	0,66 - 1,0
Úmido	–	> 1,0	> 1,0

Fonte: Adaptado de Eloi *et al.* (2014), a partir de: resolução CONAMA Nº 238 (Brasil, 1997, p. 121) e United Nations Environment Programme (UNEP, 2007, p. 98).

A aplicação do Índice de Aridez é amplamente utilizada para estudar as condições de aridez em diferentes partes do globo. Pesquisas indicam sua eficiência e aplicabilidade na identificação de padrões espaciais e na influência em estudos de áreas degradadas e suscetíveis a processos de desertificação (Nastos *et al*., 2013; Moral *et al*., 2016; Zolfaghari *et al*., 2016; Silva *et al*., 2023; Silva; Rodrigues, 2024).

O intervalo de classificação foi utilizado como limiar para quantificar a extensão espacial das classes de aridez. Esse procedimento foi realizado por meio da ferramenta nativa do QGIS “Reclassificar por Tabela”, aplicada aos rasters correspondentes aos anos-padrão

selecionados como representativos. Em seguida, foi efetuado o recorte dos rasters com base na delimitação da sub-bacia, seguido da conversão dos dados raster para vetor. Por fim, a quantificação das áreas foi realizada na tabela de atributos, utilizando o cálculo do campo $area.

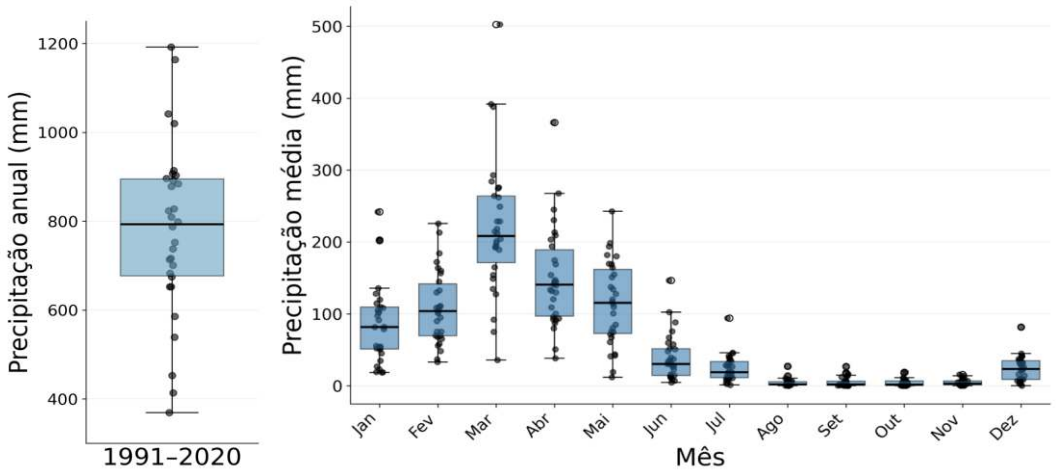
Além do cálculo do índice e da representação espacial por meio de simbologia de cores graduadas, também foram geradas, a partir da interpolação, as isolinhas por meio da ferramenta “Contornos” já existente no QGis, com equidistância de 0,02, isso com o intuito de refinar a visualização das informações obtidas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da variabilidade pluviométrica é fundamental para compreender o comportamento temporal da aridez na área de estudo, permitindo identificar padrões e oscilações ao longo da série histórica. Nesse sentido, a distribuição dos totais anuais de precipitação possibilitou caracterizar a amplitude e a dispersão dos registros no período analisado.

O *box-plot* apresentado na Figura 3 evidencia uma expressiva dispersão dos dados da série histórica. Observa-se que o primeiro quartil (caixa inferior) abrange a faixa aproximada de 700 mm a 800 mm, enquanto o terceiro quartil (caixa superior) situa-se entre 800 mm e, no máximo, 900 mm. Adicionalmente, verifica-se que 7 observações encontram-se abaixo do limite inferior e 8 acima do limite superior, correspondendo à metade da série histórica, o que denota acentuada variabilidade pluvial no período analisado. Os gráficos evidenciam a variabilidade pluviométrica na área de estudo.

Figura 3 - Gráficos das distribuições da média anual na Sub-bacia do Sítio Brum.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A partir da análise do box-plot, foi possível estabelecer a classificação dos anos-padrão de precipitação para a área de estudo. A Tabela 1 apresenta os totais pluviométricos anuais e suas respectivas classificações. Na Depressão Sertaneja (DS), foram identificados 14 anos habituais, 5 secos e 7 chuvosos, enquanto, no Maciço (M), registraram-se 9 anos habituais, 4 secos e 13 chuvosos. Considerando-se a média geral da sub-bacia, foram classificados 12 anos como habituais, 5 como secos e 9 como chuvosos. Destaca-se, ainda, a ocorrência de anos extremos coincidentes entre os dois compartimentos: 1993 e 2012 foram classificados como super secos, enquanto 2008 e 2009 se enquadraram como super chuvosos, evidenciando a abrangência espacial desses eventos pluviométricos extremos na sub-bacia.

Tabela 1- Classificação do padrão pluviométrico anual; Precipitação na Depressão Sertaneja (P.DS), Precipitação no Maciço (P.M) e Precipitação média na sub-bacia (Média)

Ano	P.DS	Classificação	P.M	Classificação	Média	Classificação
1991	569	Seco	736	Habitual	653	Seco
1992	613	Habitual	736	Habitual	675	Habitual
1993	369	Super seco	458	Super seco	414	Super seco
1994	786	Habitual	1.020	Chuvoso	903	Chuvoso
1995	787	Habitual	981	Chuvoso	884	Chuvoso
1996	795	Chuvoso	961	Chuvoso	878	Chuvoso
1997	715	Habitual	860	Habitual	788	Habitual
1998	411	Seco	494	Seco	453	Seco

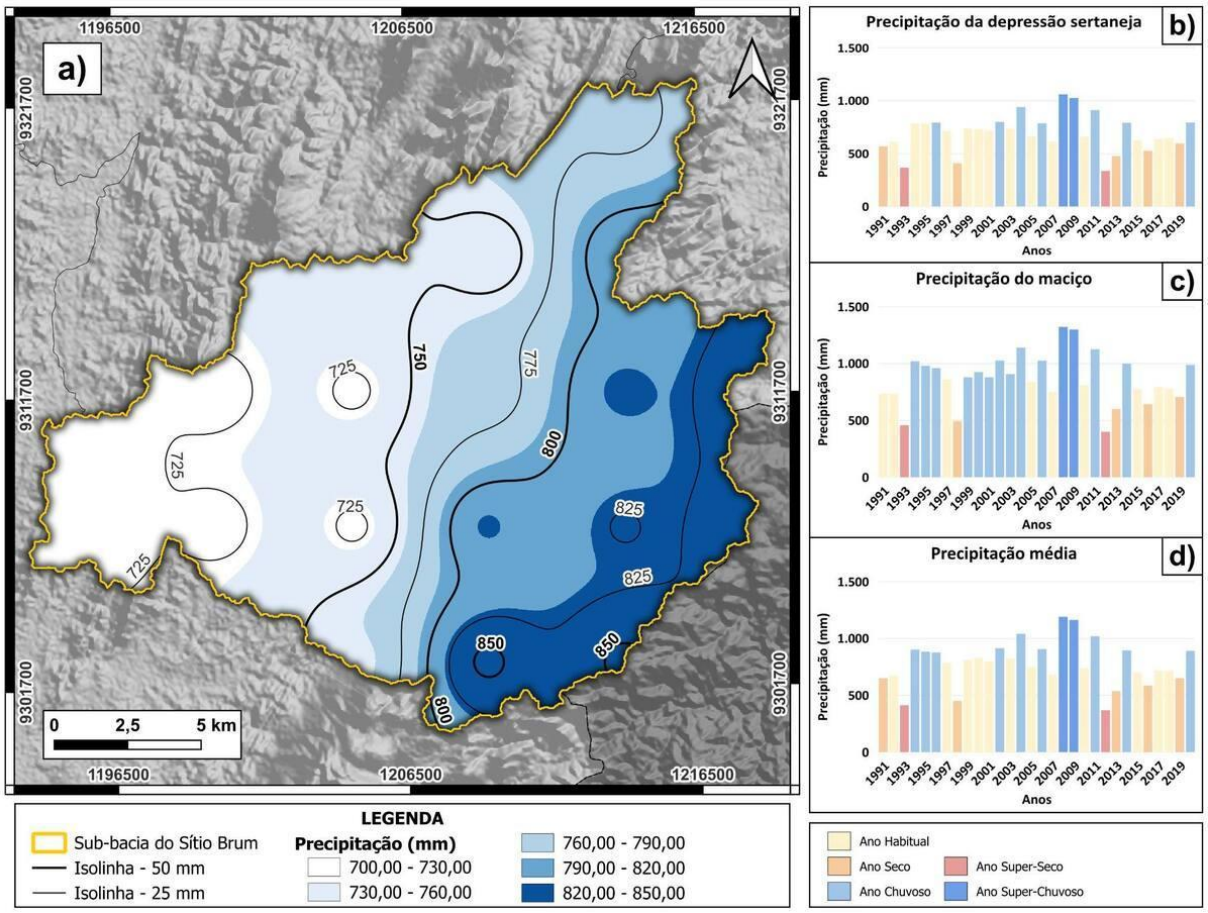
Ano	P.DS	Classificação	P.M	Classificação	Média	Classificação
1999	739	Habitual	880	Chuvoso	810	Habitual
2000	730	Habitual	926	Chuvoso	828	Habitual
2001	717	Habitual	880	Chuvoso	799	Habitual
2002	801	Chuvoso	1.027	Chuvoso	914	Chuvoso
2003	739	Habitual	908	Chuvoso	824	Habitual
2004	942	Chuvoso	1.141	Chuvoso	1.042	Chuvoso
2005	666	Habitual	839	Habitual	753	Habitual
2006	788	Chuvoso	1.026	Chuvoso	907	Chuvoso
2007	615	Habitual	751	Habitual	683	Habitual
2008	1.062	Super-Chuvoso	1.322	Super-Chuvoso	1.192	Super-Chuvoso
2009	1.027	Super-Chuvoso	1.300	Super-Chuvoso	1.164	Super-Chuvoso
2010	664	Habitual	811	Habitual	738	Habitual
2011	913	Chuvoso	1.127	Chuvoso	1.020	Chuvoso
2012	337	Super seco	401	Supe seco	369	Super seco
2013	478	Seco	600	Seco	539	Seco
2014	792	Chuvoso	1.000	Chuvoso	896	Chuvoso
2015	627	Habitual	774	Habitual	701	Habitual
2016	527	Seco	644	Seco	586	Seco
2017	639	Habitual	794	Habitual	717	Habitual
2018	649	Habitual	779	Habitual	714	Habitual
2019	598	Seco	707	Seco	653	Seco
2020	795	Chuvoso	989	Chuvoso	892	Chuvoso

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Verifica-se que o maior índice pluviométrico ocorreu no ano de 2008 (1192 mm), enquanto o menor foi registrado em 2012 (337 mm), resultando em uma média aproximada de 740 mm. A espacialização dos valores médios de precipitação da série histórica na sub-bacia, apresentada na Figura 4, evidencia a existência de um gradiente pluviométrico associado às características do relevo local. Observa-se um aumento progressivo dos totais pluviométricos em direção ao Maciço do Pereiro, acompanhando a elevação das cotas altimétricas. Comparativamente, os gráficos associados à figura, elaborados a partir dos dados da Tabela 1, demonstram que o setor correspondente à DS apresenta maior frequência de

anos classificados como habituais em relação à área do maciço. Esse comportamento pode estar relacionado à posição de sotavento desse setor em relação ao relevo, condição que contribui para menores totais pluviométricos e para uma menor variabilidade interanual das precipitações.

Figura 4 - Distribuição da precipitação. a) espacialização da média do acumulado anual de chuva; b) precipitação da depressão sertaneja; c) precipitação do maciço; d) precipitação média.



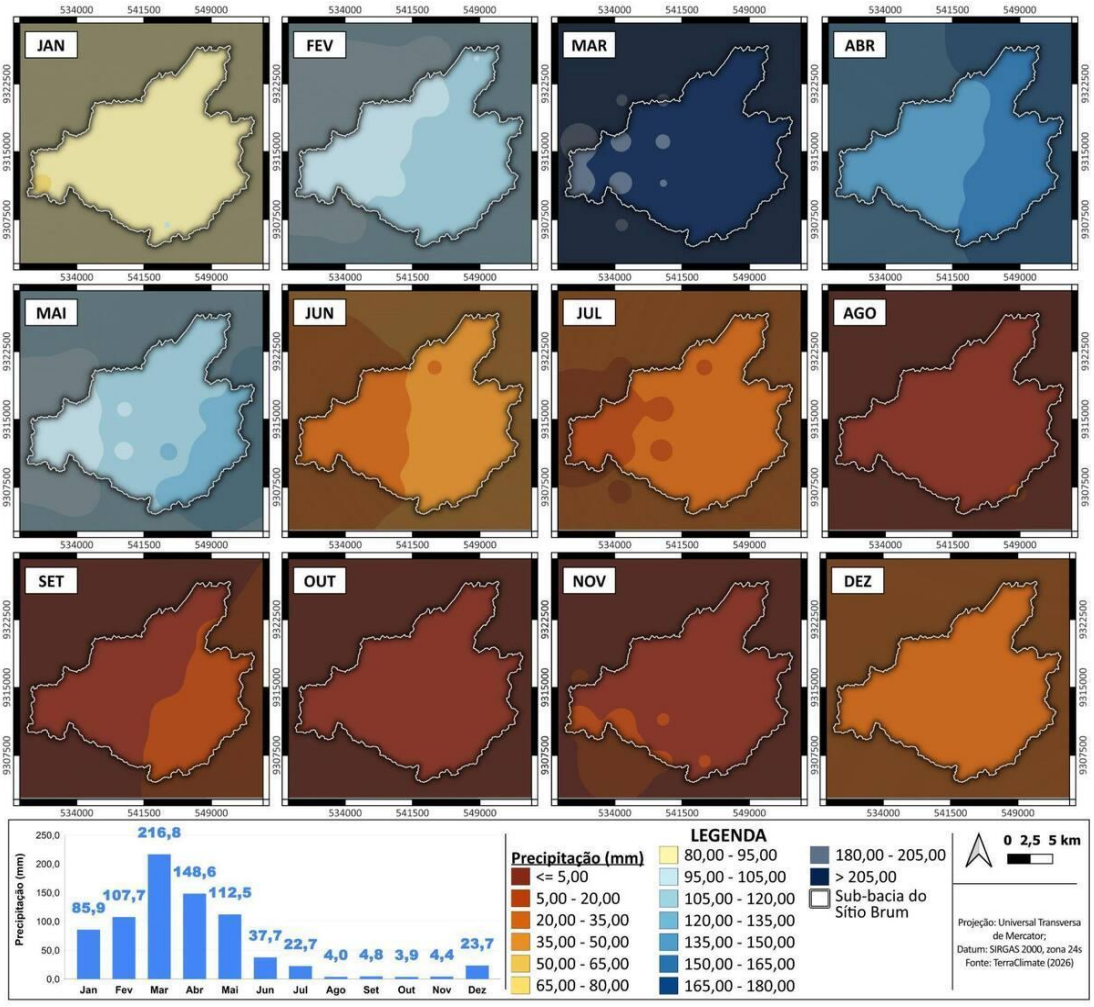
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A análise dos dados de precipitação obtidos a partir do TerraClimate evidencia elevada variabilidade pluviométrica na sub-bacia, tanto em escala espacial quanto temporal, corroborando com os padrões de variabilidade climática regionais descritos por Ferreira (2025). Os maiores totais pluviométricos estão associados ao Maciço do Pereiro, onde a precipitação média é de aproximadamente 810 mm, com valores extremos variando entre 401 mm, em 2012, e 1.322 mm, em 2008. Em contraste, a Depressão Sertaneja (Figura 4b) apresenta os menores totais pluviométricos da sub-bacia, com média ligeiramente superior a 750 mm. Nesse compartimento, o maior valor da série também foi registrado em 2008,

alcançando 1.192 mm, enquanto o menor ocorreu em 2012, com 369 mm. A coincidência dos anos de ocorrência dos valores máximos e mínimos nos dois compartimentos evidencia que, embora o relevo exerça influência sobre a magnitude espacial das precipitações, a variabilidade interanual apresenta comportamento temporal semelhante ao longo da sub-bacia.

A Figura 5 apresenta a distribuição espacial da precipitação média intra-anual na sub-bacia, evidenciando que a sazonalidade das chuvas acompanha o comportamento característico do semiárido brasileiro (Zanella, 2005; Lima et al., 2011; Zanella, 2014; Gomes e Zanella, 2023). Além dessa dinâmica temporal, observa-se uma diferenciação espacial dos totais pluviométricos, associada à atuação dos condicionantes geográficos locais. Conforme evidenciado na Figura 5, o setor oeste da sub-bacia (DS), apresenta menores volumes de precipitação, enquanto o setor leste, sob influência do Maciço do Pereiro, registra totais mais elevados, ressaltando a influência do relevo na distribuição espacial das chuvas.

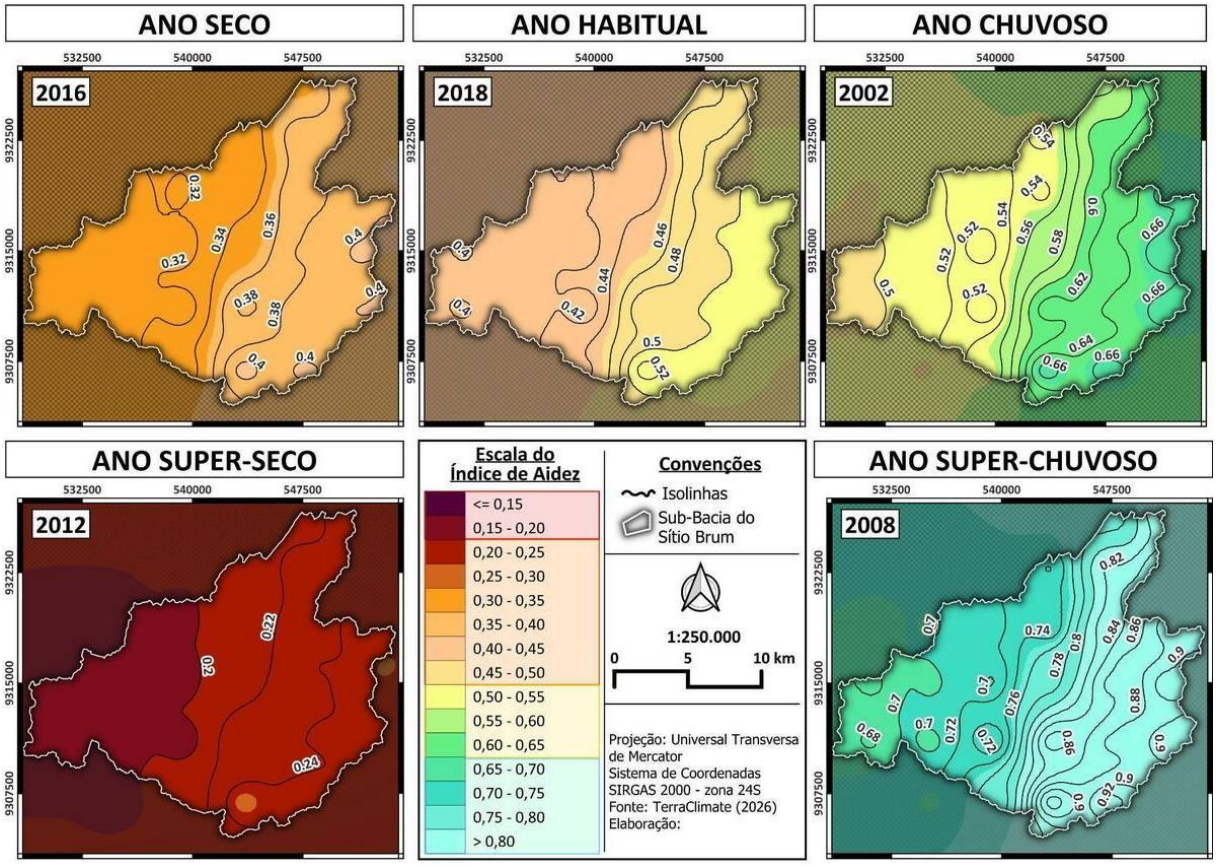
Figura 5 - Gráficos da distribuição das médias mensais de precipitação na Sub-bacia do Sítio Brum.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A Figura 6 apresenta os anos considerados representativos das diferentes classes de anos-padrão, tendo 2018 como referência para o ano habitual, 2016 para o ano seco, 2002 para o ano chuvoso, 2008 para o ano superchuvoso e 2012 para o ano super seco. De modo geral, observa-se que os menores valores do índice de aridez, indicativos de condições mais áridas, concentram-se na porção da sub-bacia correspondente à Depressão Sertaneja, enquanto valores mais elevados predominam nas áreas associadas ao Maciço do Pereiro. Esse padrão espacial se mantém, com diferentes intensidades, entre as classes analisadas, evidenciando que a alternância entre anos secos, habituais e chuvosos modifica a magnitude da aridez na sub-bacia, sem eliminar sua diferenciação espacial. Nesse contexto, destaca-se a influência do Maciço do Pereiro, cujos maiores totais pluviométricos contribuem para condições relativamente menos áridas em comparação à Depressão Sertaneja.

Figura 6 - Mosaico de mapas do índice de aridez da Sub-bacia do Sítio Brum.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A porção ocidental apresenta maior aridez, com valores que variam de inferiores a 0,20 (árido) até 0,50 (semiárido). Em direção à escarpa, nota-se um gradiente ascendente nesses

índices, cuja intensidade de variação aumenta à medida que a aridez diminui proporcionalmente ao aumento da precipitação anual. Por sua vez, as condições mais brandas concentram-se no setor oriental da sub-bacia, associado ao maciço, onde a maior incidência de chuvas denota menor aridez, em consonância com o regime pluviométrico previamente destacado. Generalizando, 60,6% da área da sub-bacia classifica-se sob o domínio climático semiárido, correspondente à DS, enquanto os 39,4% restantes caracterizam-se como subúmidos secos (superiores a 0,50), correspondentes à zona serrana.

Destaca-se que o ano de 2018 foi caracterizado como habitual, apresentando valores de aridez entre um mínimo de 0,39 e um máximo de 0,50, com 81,25% da área sob o domínio semiárido e 18,75% classificada como subúmida seca. O ano de 2016, por sua vez, foi selecionado como representativo do período seco, registrando índices máximos de 0,30 e mínimos de 0,40, com a totalidade de sua extensão territorial enquadrada na classe semiárida. No que tange ao ano chuvoso (2002), os índices oscilaram entre 0,48 (mínimo) e 0,67 (máximo), resultando em uma distribuição de 5,9% de área semiárida, 83,64% subúmida seca e 10,46% subúmida úmida, de modo que 94,10% do território concentrou-se nas tipologias subúmidas.

Os anos extremos evidenciaram forte contraste na distribuição espacial da aridez: o ano super seco (2012) registrou valores entre 0,18 e 0,25, distribuindo-se entre as classes árida (30,32%) e semiárida (69,68%). Destaca-se que o ano de 2012 corresponde a um dos episódios de seca mais recentes e intensos registrados no Nordeste brasileiro, exercendo impactos significativos sobre os sistemas ambientais e as dinâmicas socioeconômicas (Ponte *et al*., 2020). Em contraponto, o ano super chuvoso (2008) apresentou índices entre 0,67 e 0,92, com 18,75% do território classificado como subúmido úmido e 81,25% como subúmido seco. Ademais, conforme evidenciado por Falcão, Sobrinho e Mutti (2024), observa-se uma expansão e intensificação da frequência acumulada de condições de aridez e semi-aridez na área de estudo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sub-bacia do Sítio Brum apresentou elevada variabilidade pluviométrica espaço-temporal, principalmente condicionada pelo relevo, demonstrando alternância entre os anos secos e chuvosos. A análise espacial demonstrou que as chuvas refletem a heterogeneidade

do ambiente. O comportamento pluviométrico apresentou um padrão específico, sendo a porção ocidental (depressão sertaneja) mais seca e a porção oriental (maciço do Pereiro) mais chuvosa. A influência orográfica evidencia-se na discrepância em precipitações positivas (maiores) no setor oriental e nas precipitações negativas (menores) do lado ocidental devido ao efeito de sotavento.

A aridez na sub-bacia responde diretamente à pluviosidade, aproximando-se do hiperárido ao mesmo tempo em que chega próxima do úmido, reforçando as características presentes no semiárido, com alta variabilidade, além de refletir o contexto de desertificação em que a área está inclusa. O diagrama de caixa refletiu variabilidade pluvial bem dispersa e o entendimento através dos valores exatos em cada setor demonstra que, paradoxalmente, os períodos de maiores pluviosidades acentuam as desigualdades pluviométricas entre os setores.

Dentro do contexto do núcleo de desertificação, a variabilidade pluviométrica deve ser interpretada como um fator estruturante das condições naturais, relacionadas à suscetibilidade do ambiente ao processo de desertificação. A compreensão integrada de relevo, dinâmica atmosférica e distribuição espacial das chuvas torna-se fundamental para subsidiar estratégias de planejamento territorial, gestão de recursos e políticas de adaptação às mudanças climáticas.

Portanto, a sub-bacia semiárida do Sítio Brum configura-se como um território marcado por contrastes climáticos e geomorfológicos, que se articulam entre si e produzem um cenário de alta variabilidade e vulnerabilidade, exigindo uma atuação integrada.

Ressalta-se a relevância do uso de dados de reanálise climática, principalmente em localidades com ausência de uma robusta rede de estações climáticas, assim, os dados de reanálise suprem essa ausência, possibilitando análises ambientais mais confiáveis. Aplicando esses dados no ambiente SIG, potencializa-se o monitoramento de processos de desertificação, possibilitando diagnósticos mais acurados.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos pela realização deste artigo são direcionados ao PIBIC, financiado pelo CNPq, por meio do projeto “Recuperação Ambiental de Áreas Degradadas e Fortalecimento da Resiliência Climática em Comunidades Rurais em Terras Secas”, bem como

ao financiamento do projeto “Estratégias para Recuperação de Áreas Degradadas/Desertificadas e Adaptação às Mudanças Climáticas”, no âmbito da Chamada CNPq nº 18/2024 – Bolsas de Produtividade em Pesquisa (PQ). Estendem-se, igualmente, ao Laboratório de Climatologia e Estudos Ambientais (CLIMAS), vinculado ao Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC), pelo suporte técnico e pelo ambiente intelectualmente estimulante à pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABATZOGLOU, J. T.; DOBROWSKI, S. Z.; PARKS, S. A.; HEGEWISCH, K. C. **Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015**. Scientific Data, [S. l.], v. 5, 170191, 2018.

AL-KULABI, A. K. J. The Concept of Desertification, Its Causes and Effects, and Treatments. **Journal La Lifesci**, v. 3, n. 1, p. 1-13, 2022. https://doi.org/10.37899/journallalifesci.v3i1.550.

ALMEIDA, H. A.; AGUIAR, D. B.; SILVA, J. N.; DAMASECENO, J. Indicadores hídricos do núcleo de desertificação da Microrregião do Seridó Ocidental da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 7, n. 5, p. 784–797, 2015. https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.5.p784-797.

ANIL, S. S.; SASI, M. Spatio-Temporal Analysis of Aridity Trends and Shifts in Karnataka Over 63 Years (1958-2020): Insights into Climate Adaptation. **Nature Environment & Pollution Technology**, v. 24, n. 2, 2025. https://doi.org/10.46488/NEPT.2025.v24i02.B4255.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAB-Brasil**. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/povos-e-comunidades-tradicionais/pab-brasil.pdf. Acesso em: 18 jan. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África.** 2. ed. Brasília: MMA/PNUD/FGEB, 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África.** 2. ed. Brasília: MMA/PNUD/FGEB, 1998.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 238 de 22 de dezembro de 1997**. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 1997. p. 119-130.

CAITANO, R. F.; LOPES, F. B.; TEIXEIRA, A. S. Estimativa da aridez no Estado do Ceará usando Sistemas de Informação Geográfica. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR. **Anais...**, Curitiba-PR, INPE, p. 8904, 2011.

CARDOSO, L. K. da S. **Aspectos climáticos das posições da zona de convergência intertropical e dos anticiclones semipermanentes do Atlântico Sul e do Pacífico Sul: relações com regimes de chuva no nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2019.

CARPENEDO, C. B.; AMBRIZZI, T. Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul Associado ao Modo Anular Sul e Impactos Climáticos no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 04, 2020. https://doi.org/10.1590/0102-77863540066.

CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos). **Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil.** 2016.

CORREIA FILHO, W. L. F.; SANTOS, T. V. dos; DIOGO, A. M.; AMORIM, R. F. C. de. Diagnóstico da Precipitação e EVI em Dois Eventos de Seca no Nordeste do Brasil. **Revista Do Departamento De Geografia**, v. 35, p. 102-112, 2018. https://doi.org/10.11606/rdg.v35i0.140068.

SILVA, A. D. G. da; LOPES, R. F.; FERNANDES, I. W. de L.; PEREIRA, G. V. de A.; SILVA, C. L. C.; REIS, J. S.; LUCENA, R. L. Mudanças climáticas e variabilidade termopluviométrica na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 36, p. 533-559, 2025. https://doi.org/10.55761/abclima.v36i21.18695.

DA SILVA, R. M. A. Entre o combate à seca e a convivência com o semi-árido: políticas públicas e transição paradigmática. **Revista Econômica Do Nordeste**, v. 38, n. 3, p. 466–485, 2017. https://doi.org/10.61673/ren.2007.539.

DADA, S.; TABYAOUI, F. Z.; BOUDAD, L.; SAHBI, H.; DAGHMOUMI, R.; OIHRIME, A.; AQNOUY, M. Assessing NASA POWER and TerraClimate datasets for climate analysis and aridity characterization in Saïss basin, Morocco. **Ecological Engineering & Environmental Technology**, v. 27, n. 3, p. 1-16, 2026. https://doi.org/10.12912/27197050/217859.

ELOI, C. M. DE A.; OLIVEIRA SÁ, S.; RIBEIRO LOPES, J.; PONTES DE ARAÚJO, E.; DE AZEVEDO RESCHKE, G.; WENDELL SOARES DIAS, C.; NOGUEIRA, J.; GEHRING, C. Índice de Aridez como indicador de áreas suscetíveis à desertificação no estado do Maranhão, Brasil. **Revista Geográfica del Sur**, v. 5, n. 8, p. 59-72, 2014.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região**.** Revista **Brasileira de Climatologia**, Paraná, v. 1, p. 15-28, 2005.

FERREIRA, N. J.; RAMÍREZ, M. V.; GAN, M. A. Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil. In CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da; SILVA DIAS, M. A. F. da (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. Editora Oficina de Textos, 2009.

FERREIRA, Y. B. **Variabilidade pluviométrica e do balanço hídrico no sistema agropecuário do núcleo de desertificação do médio Jaguaribe-CE**. 2025. 200 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2025.

GALVANI, E.; LUCHIARI, A. Critérios para classificação de anos com regime pluviométrico normal, seco e úmido**.** In: X Encontro de Geógrafos da América Latina. **Anais...** São Paulo, 2005, p. 5701-5710.

GLANTZ, M. H.; ORLOVSKY, N. S. Desertification: A review of the concept. **Desertification Control Bulletin**, v. 9, p. 15-22, 1983.

GREVE, P.; RODERICK, M. L.; UKKOLA, A. M.; WADA, Y. The Aridity Index under global warming. **Environmental Research Letter**s , [S. l.], v. 14, n. 12, p. 124006, 2019. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5046.

HUANG, H.; HAN, Y.; CAO, M.; SONG, J.; XIAO, H.; CHENG, W. Spatiotemporal characteristics of evapotranspiration paradox and impact factors in China in the period of 1960 – 2013**. Advances in Meteorology** , [S. l.], v. 1 , n.1, p. 1 - 11, 2015. https://doi.org/10.1155/2015/519207.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). TOPODATA – **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil.** São José dos Campos: INPE, 2011-. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php. Acesso em: 20 jan. 2026.

LIMA, J. R. de; MAGALHÃES, A. R. O Combate à desertificação para além das terras secas: conceitos e contradições no Brasil. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, Brasília, n. 32, p. 155-169, jun./dez. 2024. http://dx.doi.org/10.38116/brua32art14.

LIMA, R. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; PEREZ-MARIN, A. M. C. **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro.** Campina Grande, Paraíba: INSA, 2011.

Novais, G. T., & Machado, L. A. (2023). **Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais**. Revista Brasileira De Climatologia, 32(19), 1–39. https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16163

MATALLO JUNIOR, H. **Glossário de Termos e Conceitos usados no Contexto da UNCCD.** Brasília: MMA, 2009.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise Rítmica em Climatologia**. São Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1971.

MONTEIRO, J. B. A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v. 15, n. 1, p. 312–332, 2022. https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p312-332.

MORAL, F. J.; REBOLLO, F. J.; PANIAGUA, L. L.; GARCÍA-MARTÍN, A.; HONORIO, F. Spatial distribution and comparison of aridity indices in Extremadura, southwestern Spain. **Theoretical and applied climatology**, v. 126, n. 3, p. 801-814, 2016. https://doi.org/10.1007/s00704-015-1615-7.

MUTTI, P. R.s; SOBRINHO, J. F.; LINHARES, L. I. M. EVIDÊNCIAS DO AUMENTO DA ARIDEZ NO ESTADO DO CEARÁ. **Revista Equado**r, v. 13, n. 1, p. 93-108, 2024.

NASCIMENTO, F. R. **Global Environmental Changes, Desertification and Sustainability.** 1. ed. Basel, Switzerland: Springer Nature, 2023. v. 1. 141 p.

NASCIMENTO, F. R. **O fenômeno da desertificação**. 1. ed. Goiânia: Editora UFG, 2013. v. 1. 240 p.

NASTOS, P. T.; POLITI, N.; KAPSOMENAKIS, J. Spatial and temporal variability of the Aridity Index in Greece. **Atmospheric Research**, v. 119, p. 140-152, 2013. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.06.017.

PENMAN, H. L. **The physical bases of irrigation contro**l. Hort. Congr., London, Royal Horticultural Society, v. 2, p. 913–924, 1953.

PÉREZ-AGUILAR, L. Y.; LÓPEZ-OSORIO, R. F.; ZAMBRANOMEDINA, Y. G.; AVILA-ACEVES, E.; QUINTERO-MORALES, M. A.; ALBERTO, S. Analysis of the evolution of the aridity index in Mexico using geographic information technologies. **GEOREVIEW**, v. 35, n. 1, p. 68-87, 2025. https://doi.org/10.4316/georeview.2025.01.07.

ROCHA, R. L. D.; SILVA, F. D. D. S.; COSTA, R. L.; GOMES, H. B.; GOMES, H. B.; SILVA, M. C. L. D.; PINTO, D. D. C.; HERDIES, D. L.; CABRAL JÚNIOR, J. B.; PITA-DÍAZ, O. Mudança de longo prazo e regionalização da evapotranspiração de referência no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 35, p. 891 - 902, 2021. https://doi.org/10.1590/0102-77863550126.

RODRIGUES, E. de M.; MOURA, D. C.; CORREIA, I. M. G.; DINIZ, F. C.; PEREIRA, T. M. S. Variabilidade climática no Semiárido Brasileiro e as políticas públicas de convivência com a estiagem. **Revista De Geociências Do Nordeste**, v. 5, n. 1, p. 22–33, 2019. https://doi.org/10.21680/2447-3359.2019v5n1ID15340.

RODRIGUES, V. **Avaliação do quadro da Desertificação no Nordeste do Brasil: diagnósticos e perspectivas.** Fortaleza: ICID, 1992.

SANTOS, F. A.; MENDES, L. M. S.; CRUZ, M. L. B. Análise do índice de aridez da Bacia Hidrográfica do rio Piracuruca — PI-CE, Nordeste do Brasil**. Geosul**, v. 33, n. 67, p. 181–199, maio/ago. 2018. https://doi.org/10.5007/2177-5230.2018v33n67p181.

SCHNEIDER, H.; SILVA, C. A. O uso do modelo box-plot na identificação de anos padrão seco, chuvosos e habituais na microrregião de Dourados, Mato Grosso do Sul. **Revista do Departamento de Geografia** – USP, v. 27, p. 131-146, 2014. https://doi.org/10.11606/rdg.v27i0.495.

SILVA, L. A. P. D.; SILVA, C. R. D.; SOUZA, C. M. P. D.; BOLFE, É. L.; SOUZA, J. P. S.; LEITE, M. E. Mapeamento da aridez e suas conexões com classes do clima e desertificação climática em cenários futuros - Semiárido Brasileiro. **Sociedade & Natureza** ,[S.l.], v. 35, n. 1, 2023. https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-67666.

SILVA, E. R.; RODRIGUES, G. P. Evolução histórica de anomalias de chuva e aridez no semiárido: o caso do município de Crateús, Ceará. **ENERGIA NA AGRICULTURA**, v. 39, p. 139-144, 2024. http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2024v39p139-144.

SILVA, J. M. O. Utilização de anos-padrão no estudo da variabilidade pluviométrica no município do Crato/Ceará**.** In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (Org.). **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 2060-2072, 2017.

SILVA, V. D. P. R. D.; PEREIRA, E. R. R.; ALMEIDA, R. S. R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 163-172, 2012. https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000200005.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, p. 55–94, 1948.

TUKEY, J. W. **Exploratory data analysis.** Massachusetts: Addison-Wesley, 1977. 688 p.

VERSTRAETE, M. M. Defining desertification: A review. **Climatic Change**, n. 9, p. 5–18, 1986. https://doi.org/10.1007/BF00140520.

ZANELLA, M. E. Caracterização climática e os recursos hídricos do Estado do Ceará. In: SILVA, Z. B. da; DANTAS, E. W.; CAVALCANTE, T. (Org.). **Geografia do Ceará:** um novo olhar geográfico. 1. ed. Fortaleza - CE: Ed. Demócrito Rocha, 2005. v. 01, p. 169-188.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, [S. l.], v. 1, n. 36, p. 126–142, 2014.

ZOLFAGHARI, H.; MASOOMPOUR, J.; YEGANEFAR, M.; AKBARY, M. Studying spatial and temporal changes of aridity in Iran. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 9, n. 5, p. 375, 2016. https://doi.org/10.1007/s12517-016-2379-9.

GIONGO, V. **Balanço de carbono no semiárido brasileiro: Perspectivas e desafios. In: Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro.** Campina Grande: INSA-PB, 2011. 209p.