

## ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL NA ECORREGIÃO DEPRESSÃO SERTANEJA SETENTRIONAL NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

**Maxsuel Bezerra do Nascimento<sup>1</sup>**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil

E-mail: [maxsuel10gba@hotmail.com](mailto:maxsuel10gba@hotmail.com)

**Lincoln Eloi de Araújo<sup>2</sup>**

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, Brasil

E-mail: [lincolneloi@yahoo.com.br](mailto:lincolneloi@yahoo.com.br)

**Carlos Lamarque Guimarães<sup>3</sup>**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, PB, Brasil

E-mail: [carlos.guimaraes@ifpb.edu.br](mailto:carlos.guimaraes@ifpb.edu.br)

**Resumo:** A Caatinga, bioma unicamente brasileiro, enfrenta desafios ambientais agravados pelas condições do clima semiárido e pelos processos de desertificação. A Depressão Sertaneja Setentrional (EDSS) configura alta variabilidade climática, com precipitações pluviométricas irregulares no qual interferem absolutamente na vegetação e nos recursos hídricos. O objetivo desta pesquisa foi analisar a distribuição espacial e temporal das chuvas na EDSS entre 1990 e 2022. Foram utilizados valores de 18 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), corrigidos pela técnica de Imputação Múltipla (IM) para corrigir falhas. A avaliação espacial empregou geoprocessamento com os softwares QGIS e Golden Software Surfer, utilizando Krigagem Ordinária para interpolar os valores e mapear a distribuição das precipitações. Os resultados indicam que a pluviometria mensal média na EDSS é de 75 mm, com alta em março (179 mm) e um ciclo seco de junho a dezembro, sendo setembro o mês mais seco (9 mm). A média anual é de 900 mm, com variações características pelos fenômenos La Niña e El Niño. Os anos mais chuvosos foram 2009 e 2011, enquanto os anos mais secos foram 1998 e 2012 apresentaram os menores índices. Já a análise espacial mostrou que as áreas norte e sul da EDSS recebem mais precipitação nos meses úmidos, enquanto o leste e sudeste são mais secos ocasionados pela topografia e pela influência marítima. Esses resultados reforçam a indispensabilidade de estratégias de gestão hídrica para lidar com as variações naturais do regime climático na EDSS.

**Palavras-chaves:** Caatinga; Pluviometria; Geoprocessamento; Semiárido.

## SPATIOTEMPORAL ANALYSIS OF PRECIPITATION IN THE NORTHERN SERTANEJA DEPRESSION ECOREGION IN NORTHEASTERN BRAZIL

**Abstract:** The Caatinga, a unique Brazilian biome, faces environmental challenges due to its semi-arid climate and desertification processes. The Northern Sertaneja Depression (EDSS) has high climate variability, with irregular rainfall that completely interferes with vegetation and water

<sup>1</sup> Doutorando em Ciências Climáticas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

<sup>2</sup> Docente da Universidade Federal da Paraíba – UFPB.

<sup>3</sup> Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB.

resources. The objective of this research was to analyze the spatial and temporal distribution of rainfall in the EDSS between 1990 and 2022. Values from 18 meteorological stations of the National Institute of Meteorology (INMET) were used, corrected by the Multiple Imputation (MI) technique to correct errors. The spatial evaluation employed geoprocessing with the QGIS and Golden Software Surfer software, using Ordinary Kriging to interpolate the values and map the distribution of rainfall. The results indicate that the average monthly rainfall in the EDSS is 75 mm, with a high in March (179 mm) and a dry cycle from June to December, with September being the driest month (9 mm). The annual average is 900 mm, with variations characteristic of the La Niña and El Niño phenomena. The wettest years were 2009 and 2011, while the driest years were 1998 and 2012, which had the lowest rates. Spatial analysis showed that the northern and southern areas of the EDSS receive more precipitation during the wet months, while the east and southeast are drier due to topography and maritime influence. These results reinforce the importance of water management strategies to address natural climate variations in the EDSS.

**Keywords:** Caatinga; Rainfall; Geoprocessing; Semiarid.

## **ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN EN LA ECORREGIÓN DE LA DEPRESIÓN NORTE DE SERTANEJA EN LA REGIÓN NORESTE DE BRASIL**

**Resumen:** La Caatinga, un bioma exclusivamente brasileño, enfrenta desafíos ambientales debido al clima semiárido y los procesos de desertificación. La Depresión Sertaneja del Norte (EDSS) presenta una alta variabilidad climática, con precipitaciones irregulares que interfieren completamente con la vegetación y los recursos hídricos. El objetivo de esta investigación fue analizar la distribución espacial y temporal de la precipitación en la EDSS entre 1990 y 2022. Se utilizaron valores de 18 estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología (INMET), corregidos mediante la técnica de Imputación Múltiple (IM) para corregir errores. La evaluación espacial empleó geoprocésamiento con el software QGIS y Golden Software Surfer, utilizando Kriging Ordinario para interpolar los valores y mapear la distribución de la precipitación. Los resultados indican que la precipitación media mensual en la EDSS es de 75 mm, con un máximo en marzo (179 mm) y un ciclo seco de junio a diciembre, siendo septiembre el mes más seco (9 mm). El promedio anual es de 900 mm, con variaciones características de los fenómenos de La Niña y El Niño. Los años más lluviosos fueron 2009 y 2011, mientras que los más secos fueron 1998 y 2012, que tuvieron las tasas más bajas. El análisis espacial mostró que las zonas norte y sur del EDSS reciben mayor precipitación durante los meses húmedos, mientras que las zonas este y sureste son más secas debido a la topografía y la influencia marítima. Estos resultados refuerzan la importancia de las estrategias de gestión hídrica para abordar las variaciones climáticas naturales en el EDSS.

**Palabras clave:** Caatinga; Lluvia; Geoprocésamiento; Semiárido.

### **Introdução**

As Ecorregiões da Caatinga têm sido frequentemente tratadas como unidades homogêneas nos estudos que avaliam sua composição florística para inferências biogeográficas e ecológicas em escalas amplas (Amorim; Bautista, 2016). Contudo, pesquisas recentes indicam que a vegetação da Caatinga apresenta uma grande variação fisionômica e florística, fortemente influenciada pelo substrato (Moro *et al.*, 2016; Oliveira; Prata; Pinto, 2018).

Este bioma, adaptado ao clima semiárido do Nordeste do Brasil (NEB), é caracterizado pela predominância de arbustos e árvores de pequeno porte, que exibem deciduidade na estação seca. Com uma extensão de aproximadamente 844.453 km<sup>2</sup> e abrangendo 10 estados brasileiros, a Caatinga é um bioma exclusivo do Brasil, distinto de outras savanas presentes no mundo, representando 11% do território nacional e 70% da região NEB (Brasil, 1989; IBGE, 2019).

A Caatinga é subdividida em oito ecorregiões, o que reflete sua complexidade e diversidade. Estas ecorregiões incluem o Complexo de Campo Maior (ECCM), o Complexo Ibiapaba-Araripe (ECIA), a Depressão Sertaneja Setentrional (EDSS), o Planalto da Borborema (EPB), a Depressão Sertaneja Meridional (EDSM), as Dunas de São Francisco (EDSF), o Complexo da Chapada Diamantina (ECCD) e o Raso da Catarina (ERC) (Velloso; Sampaio; Pareyn, 2002). Cada uma destas áreas possui características específicas em termos de solo, clima e vegetação, que influenciam diretamente na biodiversidade e nos processos ecológicos locais (Moro *et al.*, 2015).

Logo, a EDSS, uma das ecorregiões que integram o bioma Caatinga, distingue-se por sua elevada variabilidade climática e geográfica. A área é predominantemente caracterizada por um relevo plano, com pequenas elevações e vales intercalados, o que resulta em micro variações climáticas que favorecem a variedade da vegetação local (Moro *et al.*, 2015). O clima semiárido, destaca-se por prolongados períodos de estiagem, impõe desafios significativos à flora e fauna da área, que, no decorrer do tempo, desenvolveram adaptações morfológicas e fisiológicas para tolerar as adversidades climáticas. A precipitação nas ecorregiões é distribuída de modo irregular, com chuvas concentradas em um intervalo decrescido durante o ano, o que torna o ciclo hidrológico da área altamente dependente dos eventos pluviométricos (Santos; Griebeler; Oliveira, 2010).

A verificação da precipitação em condições espaciais e temporais na EDSS é essencial para o entendimento das variações climáticas e seus impactos sobre os ecossistemas locais. Pesquisas acerca da dispersão das chuvas são essenciais para reconhecer padrões climáticos e suas interações com os tipos de vegetação presentes, além de facilitar a prevenção de fenômenos climáticos extremos (Fetter; Oliveira; Steinke; 2018). A dinâmica da precipitação exerce ascendência direta sobre os ciclos reprodutivos das espécies, a fecundidade dos ecossistemas e a distinção do solo, fatores que afetam absolutamente as atividades humanas, tais como a agricultura e a pecuária, que representam as principais fontes de sustento para a população (Panachuki *et al.*, 2006).

A principal discussão abordada por este estudo refere-se à escassez e irregularidade das chuvas no semiárido, aspectos que limitam o desenvolvimento sustentável da área. O aumento dos processos de desertificação, a danificação dos solos e as mudanças climáticas globais exacerbam tais desafios, tornando indispensável a análise da precipitação para a estimativa dos impactos ambientais e sociais (Silva *et al.*, 2023). A partir dessa análise, busca-se prestar subsídios para a preparação de políticas públicas focadas na conservação ambiental e no uso sensato dos recursos hídricos, promovendo a resiliência dos ecossistemas e o bem-estar das comunidades que dependem da Caatinga para sua sobrevivência.

Sendo assim, softwares ajudam a transcrever e compreender a realidade de cada região. Portanto, o Quantum Geographic Information System (QGIS) Desktop 3.24.3 é um software de código aberto extremamente utilizado no meio do geoprocessamento, sendo muito vantajoso para quem precisa avaliar e ver dados espaciais (Correia, 2011). Ele permite operar com diferentes tipos de dados, como mapas, imagens de satélite e informações tabulares, no qual facilita a elaboração de mapas temáticos e a concretização de análises complexas (Vidal, 2024).

Assim, o amplo rendimento do QGIS é sua flexibilidade e a probabilidade de globalizar diversos dados, tornando-o um instrumento indispensável para versar fenômenos espaciais e temporais (Oliveira; Fontgalland, 2021). Isso favorece na compreensão de padrões e na criação de simulações de diferentes cenários geográficos.

Outro software bem utilizado para mapas temáticos é o Golden Software Surfer (versão 8.0 e 16.0), que por sua vez, é um instrumento muito eficaz para avaliação espacial e modelagem geográfica, notadamente quando se trata de interpolação de dados e elaboração de mapas detalhados (Veiga *et al.*, 2021). Ele é extremamente aproveitado para estimar dados em pontos não amostrados, aplicando métodos quanto a Krigagem Linear, que leva em consideração a correlação espacial entre os dados (Roque *et al.*, 2008).

Embora o Surfer seja um instrumento poderoso, a Krigagem ainda pode ser realizada inteiramente no QGIS por meio de seus plugins de interpolação. Esse alcance de análise no QGIS facilita o reconhecimento de padrões espaciais e pode auxiliar a reconhecer melhor as dinâmicas ambientais, sendo valiosa para a administração de recursos naturais e a elaboração de estratégias de conservação (Pereira *et al.*, 2022). Logo, ambos softwares são de grande importância na elaboração de mapas temáticos, representando a realidade dos eventos.

Sendo assim, o objetivo geral deste estudo é analisar a precipitação espaço-temporal na Ecorregião Depressão Sertaneja Setentrional ao longo de um período de tempo (1990-2022) determinado, identificando padrões, tendências e anomalias climáticas que possam influenciar nesta localidade.

## **Fundamentação Teórica e Revisão De Literatura**

### **Aspectos gerais das Ecorregiões da Caatinga**

As áreas de Caatinga são caracterizadas por apresentarem terrenos cristalinos, praticamente impermeáveis (50%), e terrenos sedimentares (50%), com boa reserva de água subterrânea. Os solos, com algumas exceções, são pouco desenvolvidos, pedregosos, pouco espessos e apresentam baixa capacidade de retenção de água, embora possuam relativa riqueza em minerais oriundos do material de origem (Alves, 2007). Em algumas regiões, especialmente nos vales próximos aos rios, esses solos tornam-se mais produtivos devido à maior umidade e deposição de sedimentos (Melo *et al.*, 2023).

Assim, a Caatinga é um bioma incomparável do Brasil, localizado especialmente no Nordeste, cobrindo aproximadamente 11% do território do país. É uma região seca, com pouca água e altas temperaturas, e com uma evapotranspiração elevada sua vegetação é formada por plantas que conseguem se manter vivas com pouca água, um destaque são os cactos, arbustos espinhosos e árvores pequenas no qual perdem as folhas na seca (Conti; Furlan, 1996; Melo *et al.*, 2023). Mesmo com essas condições difíceis, a Caatinga tem uma biodiversidade impressionante, com muitas espécies que são predominantes neste bioma e que são fundamentais para o autodesenvolvimento do ambiente (Moura *et al.*, 2023).

Dentro deste ambiente, existem áreas com características distintas. Algumas são excessivamente secas, características do sertão, enquanto outras, próximas a rios e lagoas, ficam úmidas por um tempo (Giulietti, 2004). Nessas áreas, a vegetação e os animais variam bastante, por meio de fatores especialmente a água, tipo de solo e relevo (Fernandes; Queiroz, 2018). Um exemplo é o Vale do São Francisco, que combina o clima seco com a probabilidade de irrigação, permitindo ainda o plantio de frutas (Giulietti, 2004). Os animais da Caatinga incluem espécies adaptadas à falta de água, como répteis, aves que migram e pequenos mamíferos (Garda *et al.*, 2018). Essas diferenças criam um mosaico de habitats que tornam o bioma até agora mais abundante e interessante.

Mesmo sendo extremamente importante, a Caatinga enfrenta vários problemas, por meio do desmatamento, desertificação e o uso exagerado dos seus recursos naturais. Assim, grande parte da população na região depende da agricultura, da pecuária e da extração de lenha, o qual pode trazer prejuízos ao meio ambiente (Leite *et al.*, 2023). Quando a vegetação é destruída, o solo fica mais infértil e o clima pode mudar, dificultando a qualidade de vida de quem convive neste lugar. Para defender o bioma, existem projetos de conservação, áreas protegidas e iniciativas de manejo sustentável (Tabarelli *et al.*, 2018). Mas, além disso, é necessário que as comunidades locais estejam envolvidas e conscientes de que a conservação da Caatinga ainda significa corrigir a qualidade de vida para todos no qual dependem dela.

### **Características da Depressão Sertaneja Setentrional**

Logo, a Depressão Sertaneja Setentrional ocupa a maior parte do norte do bioma, desde a fronteira norte de Pernambuco, estendendo-se por parte dos Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, prolongando-se até uma pequena faixa ao norte do Piauí, entre o litoral e as ecorregiões do Complexo de Campo Maior e Complexo Ibiapaba-Araripe. Abrange uma área territorial de 206.700 km<sup>2</sup>, incluindo áreas do Seridó e o Cariri Paraibano no quadrante sudeste da ecorregião, limitando com o Planalto da Borborema (Velloso *et al.*, 2002).

A Depressão Sertaneja Setentrional caracteriza-se pelo domínio de Caatinga e sofre bastante com as transformações ambientais. Com clima semiárido, irregularidades de chuvas e elevada evapotranspiração, imprimindo acentuado déficit hídrico, que persiste por mais de seis meses, a população local precisa desenvolver formas de melhor conviver com essa região (Araripe *et al.*, 2021).

O relevo é predominante suave e ondulado, com elevações residuais disseminadas na paisagem (Velloso *et al.*, 2002). Esta ecorregião é uma das que mais sofre com as ações de degradação antrópica, que levam a intensificação do processo de desertificação na região. A Depressão Sertaneja Setentrional engloba quatro dos seis núcleos de desertificação do NEB, que são: Irauçuba, Inhamuns e Jaguaribe, no Ceará, e Seridó, no Rio Grande do Norte (Santos; Aquino, 2017; França, Piuzeira; Ross, 2017).

A Caatinga predominante é de origem em solos cristalinos. As áreas remanescentes de Caatinga arbórea nas encostas e serras baixas, embora muito degradadas. Os vales continham originalmente Caatinga arbórea, e ainda hoje encontram-se remanescentes ciliares, por exemplo, os carnaubais do Ceará (Velloso *et al.*, 2002).

Portanto, contém elementos da flora que são diferentes da Depressão Meridional. Além destes, a Depressão Setentrional contém duas áreas diferenciadas com extremos climáticos que condicionam uma vegetação pobre, de porte mais baixo (Seridó e Cariris Velhos). O Seridó apresenta uma vegetação mais aberta, com grandes extensões de herbáceas, e o Cariri condiciona uma Caatinga de baixo porte (Velloso *et al.*, 2002).

A vegetação nativa cobre entre 40 e 50% da área, sendo parte das áreas de regeneração associadas à agricultura itinerante. Também são verificadas áreas de pecuária extensiva. No Seridó existem áreas de mineração, além de ser uma área antiga de pecuária. No passado, foi também uma importante área de plantio de algodão arbóreo, uma cultura que protege pouco o solo e o levou a uma intensa erosão. A Chapada do Apodi passou a sofrer grandes impactos de agricultura e pecuária extensiva (Velloso *et al.*, 2002).

### **Aspectos Físicos da Caatinga**

Sob a perspectiva meteorológica, a região é afetada, principalmente, por: distúrbios ondulatórios de leste (Riehl, 1945; Gomes *et al.*, 2019); sistemas frontais no sul do estado da



Bahia (Kousky, 1979; Fedorova *et al.*, 2016); os sistemas convectivos de mesoescala (Kousky, 1981; Lyra *et al.*, 2022); o vórtices ciclônicos de altos níveis (Kousky e Gan 1981; Reis *et al.*, 2021); a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Uvo, 1989; Souza e Cavalcanti, 2009); e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Kodama, 1992; Carvalho *et al.*, 2004).

Sendo assim, o conhecimento das variáveis climatológicas, bem como das oscilações ambientais e dos fenômenos atmosféricos, trará informações para conscientizar a população e gerar políticas públicas, gerando informações para alertar da obrigação da prevenção dos riscos ligados aos danos climático-ambientais, fornecendo melhora das qualidades sociais e econômicas da região (Kemenes *et al.*, 2021).

Com médias anuais de temperatura que oscilam entre 25 °C a 30 °C e precipitações que ocorrem em breves intervalos, o bioma enfrenta longos períodos de seca que afetam de modo contínuo a vegetação e os recursos hídricos (Tabarelli *et al.*, 2018). A intensa ocorrência de luz solar e os baixos níveis de umidade favorecem uma evapotranspiração acentuada, o que agrava os períodos sem chuva (Souza *et al.*, 2015).

Essas características naturais moldam a biodiversidade do bioma, que está adaptada para restar em condições severas. No entanto, o aproveitamento inadequado dos recursos naturais, quanto o desmatamento e o manuseamento errado do solo, tem desencadeado o aumento de problemas relacionados à desertificação e ao desaproveitamento de espécies (Montenegro, 2023). Portanto, é indispensável reconhecer as características físicas da Caatinga para a invenção de estratégias que visem a conservação e a prática sustentável desse bioma.

## **Geoprocessamento**

O geoprocessamento proporciona uma função indispensável na avaliação e administração de dados espaciais, notadamente em regiões quanto a Caatinga, no qual é imprescindível perceber as variações climáticas, vegetação e geografia (Fernandes *et al.*, 2015). Esse estudo envolve a coleta, organização, avaliação e entendimento de informações geográficas, permitindo a elaboração de mapas e a modelagem de fenômenos naturais e humanos. Logo, softwares quanto o QGIS e o Golden Software Surfer têm sido extremamente usados para elaborar mapas temáticos e detalhar padrões espaciais e temporais, auxiliando a compreender as complexas dinâmicas dos ecossistemas e orientando as decisões de administração ambiental (Veiga *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2022).

Com relação a Caatinga, o geoprocessamento facilita a análise das variações na precipitação, o mapeamento de áreas propensas à desertificação e a interpretação da sintonia entre o uso do solo e o clima (Bezerra *et al.*, 2011). O QGIS, por ser uma ferramenta aberta, oferece uma ampla flexibilidade para funcionar com diferentes tipos de dados, quanto imagens de satélite e informações climáticas, além de autorizar a associação com outras fontes (Oliveira; Fontgalland, 2021). Com a utilização de plugins como a Krigagem, é possível cumprir análises mais detalhadas sobre a distribuição da pluviometria, identificando padrões e anomalias climáticas de modo preciso (Pereira *et al.*, 2022).

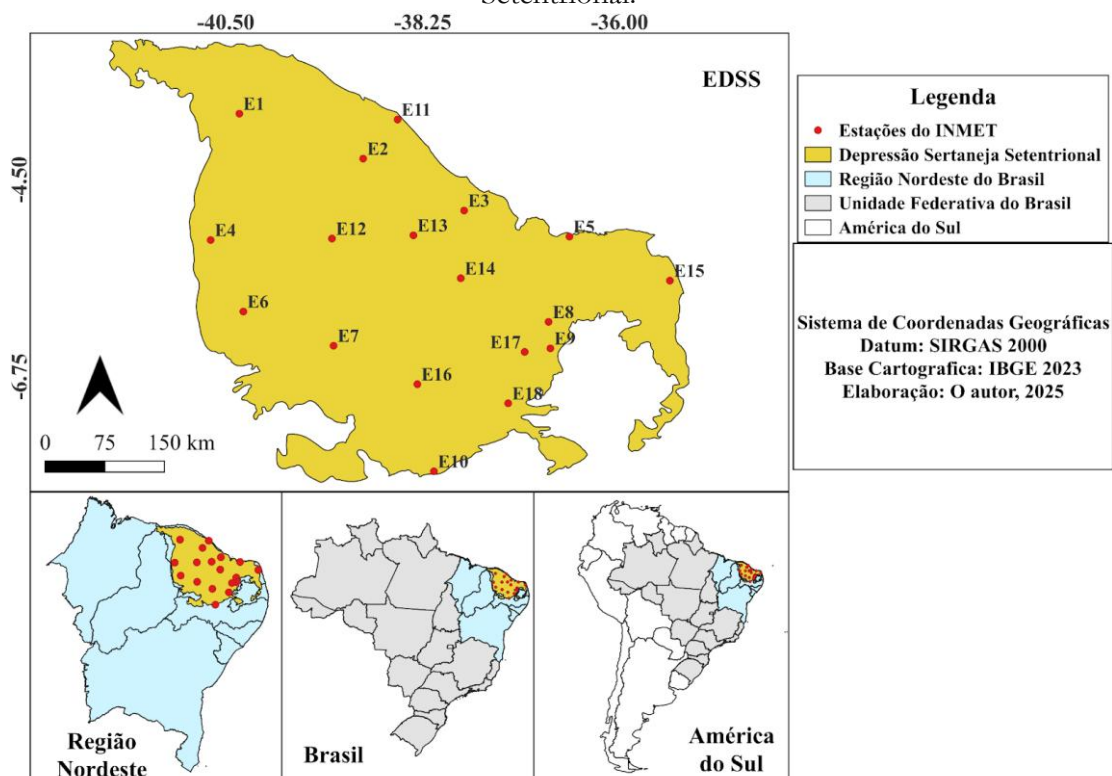
Todavia, o geoprocessamento permite formular simulações e cenários futuros, o que é necessário para a ampliação de políticas públicas e estratégias de conservação. Ferramentas quanto o Golden Software Surfer é notadamente eficaz na modelagem geográfica e na confecção de mapas detalhados, utilizando métodos de interpolação para considerar valores em locais não amostrados (Veiga *et al.*, 2021). Ao coincidir essas tecnologias, é provável realizar uma avaliação mais robusta e eficaz dos fenômenos climáticos e ambientais da Caatinga, o que contribui para o manuseamento sustentável dos recursos naturais e para a conservação da biodiversidade da região.

## Materiais e Métodos

### Área de Estudo

Possuindo uma área de 206.700 km<sup>2</sup>, a Depressão Sertaneja Setentrional localiza-se na região nordeste do país (Figura 1), se limita em sentido norte-sul entre os tabuleiros costeiros e com a chapada do Araripe, e em sentido leste-oeste com o planalto da Borborema e o complexo Ibiapaba-Araripe, nesta ecorregião estão presentes os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco (Velloso *et al.*, 2002).

**Figura 1.** Mapa de localização das estações e da Depressão Sertaneja Setentrional.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

### Banco de dados meteorológicos

Os dados das estações meteorológicas foram disponibilizados pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em 2023, Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 10 maio 2023. Inicialmente foram verificadas 34 estações meteorológicas no qual foram utilizadas para a pesquisa 18 estações meteorológicas, que são indicadas na Figura 1 e apresentadas no Quadro 1 com Latitude, Longitude, nome da estação e o código da estação.

Portanto, utilizou-se como critérios de exclusão, as estações que não estão inseridas na EDSS, por meio da localização de suas coordenadas geográficas plotadas no software Qgis. Os dados analisados são as séries mensais de precipitação (mm) e o período de dados foi de janeiro de 1990 a dezembro de 2022, com amostragem mensal.

**Quadro 1.** Descrição das localizações das estações utilizadas do INMET na EDSS.

Longitude	Latitude	Estação	Código da Estação
-40,3458	-3,7483	SOBRAL	E1
-38,9311	-4,2614	GUARAMIRANGA	E2
-37,7772	-4,8536	JAGUARUANA	E3
-40,6736	-5,1906	CRATEÚS	E4
-36,5731	-5,1510	MACAU	E5
-40,2997	-6,0064	TAUÁ	E6
-39,2689	-6,3964	IGUATU	E7
-36,8119	-6,1239	FLORÂNIA	E8
-36,7914	-6,4264	CRUZETA	E9
-38,1222	-7,8297	TRIUNFO	E10
-38,5378	-3,8153	FORTALEZA	E11
-39,2872	-5,1731	QUIXERAMOBIM	E12
-38,3567	-5,1367	MORADA NOVA	E13
-37,8150	-5,6267	APODI	E14
-35,4258	-5,6533	CEARÁ MIRIM	E15
-38,3117	-6,8358	SAO GONCALO	E16
-37,0850	-6,4675	SERIDO (CAICO)	E17
-37,2739	-7,0536	PATOS	E18

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2025.

## Método de Imputação Múltipla

A Imputação Múltipla (IM) é uma técnica estatística avançada para tratar dados faltantes, que cria várias versões plausíveis do conjunto de dados com valores imputados gerados por modelos preditivos (Nunes, Klück e Fachel, 2009). Cada versão é analisada separadamente, e os resultados são combinados considerando a variabilidade entre as imputações, preservando a incerteza estatística (Nunes, Klück e Fachel, 2009). É considerado o método mais robusto para lidar com dados ausentes em pesquisas quantitativas.

Após a verificação de falha das 18 estações meteorológicas, foi decidido o uso do método de IM para preencher os dados mensais. Essa opção se fundamentou no evento de que as técnicas tradicionais de imputação costumam substituir dados ausentes por estimativas pontuais, como médias ou medianas. No entanto, este modelo de aproximação pode resultar em conclusões impróprias, notadamente em situações no qual há um número significativo de falhas (Little e Rubin, 2019).

Em contrapartida, a IM produz diversas imputações possíveis para os dados ausentes, o que representa melhor a incerteza do processo (Little e Rubin, 1987). Quando se depara com dados faltantes em variáveis de interesse, a verificação de imputação múltipla visa dar estimativas mais confiáveis, considerando a incerteza associada à imputação por meio de métodos de reamostragem, quanto o bootstrap (Davison e Hinkley, 1997). Este método ainda tem sido aplicado para preencher dados de precipitação diariamente na área do Nordeste do Brasil (Rodrigues *et al.*, 2023).



A realização de Imputação Múltipla comumente segue um conjunto de cinco etapas utilizando o pacote Amélia II (Honaker, King e Blackwell, 2011) livre no software R, versão de 2011:

- ❖ O primeiro passo envolve reconhecer quais variáveis apresentaram dados ausentes no conjunto de dados.
- ❖ O segundo passo consiste em descrever a imputação, que implica estipular um exemplar estatístico adequado para cada variável com dados ausentes, utilizando métodos como regressão linear, regressão logística, e técnicas de árvores de decisão, dependendo das características dos dados.
- ❖ Terceiro passo, gera-se múltiplas imputações baseadas nos modelos criados, resultando em diversas estimativas para os dados que faltam. Cada uma dessas imputações fornece uma provável estimativa de preenchimento.
- ❖ O penúltimo passo refere-se à avaliação dos dados neste instante imputados, no qual são realizadas análises estatísticas separadas para cada conjunto de dados, permitindo estimar a alteração entre as imputações e integralizar essa incerteza nas inferências.
- ❖ Por último, é feita a união dos resultados das análises realizadas em cada um dos conjuntos de dados imputados, para assegurar a estimativas finais e intervalos de segurança que refletem a incerteza da imputação.

Nesta pesquisa, a estimativa combinada foi calculada como a média das estimativas individuais, de acordo com a equação (Eq1.).

$$\text{Eq1.} = \bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \hat{X}_j$$

E a variância total é a combinação entre a variância dentro e entre as imputações (Eq.2).

$$\text{Eq2.} = T = \bar{U} + 1 + \frac{1}{m} B$$

em que: Eq3. =

$$\bar{U} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m U_j \text{ e } B = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (\hat{X} - \bar{X})^2$$

## **Análise das séries temporais**

Após o método de IM da variável meteorológica foi realizada a análise temporal mensal e anual da EDSS, visto que é fundamental para entender as tendências e padrões ao longo do tempo. Com os dados da variável precipitação, disponibilizados no período de janeiro de 1990 a dezembro de 2022 foram gerados gráficos das variáveis no intuito de analisar a série histórica, onde através desses dados foi possível entender o comportamento da pluviosidade EDSS. Deste modo, a confecção das variáveis foi realizada com a precipitação em um gráfico. Vale destacar ainda, que na precipitação na análise mensal utilizou-se a média e na anual o acumulado no período de 1990 a 2022.

## **Análise espacial**

O mapeamento da variável meteorológica serviu para demonstrar como ocorre o comportamento da precipitação no transcorrer do espaço da ecorregião, evidenciando-se

assim a sua espacialização no decorrer dos meses, mostrando o seu comportamento ao longo dos meses.

Deste modo, foram usados os softwares QGIS e do Golden Software Surfer, os dois com propriedades diferentes, todavia em conjunto serviram para dar mais confiabilidade no trabalho. No mapeamento foi empregado o procedimento de Krigagem ordinária, para originar os mapas especializados em todas as variáveis. Logo, o semivariograma é a componente fundamental dos estudos geoestatísticos, sendo adequado de descrever dados qualitativo e quantitativo na variação espacial, além de ser o assunto primordial na consignação do preditor geoestatístico–krigagem.

Portanto, o semivariograma é uma função matemática definida para representar o nível de dependência entre duas variáveis aleatórias regionalizadas locais. Sendo assim, modelos definidos como esférico, neste procedimento em dados de precipitação são adequados (Carvalho; Vieira; Greco, 2009).

## **Resultados e Discussão**

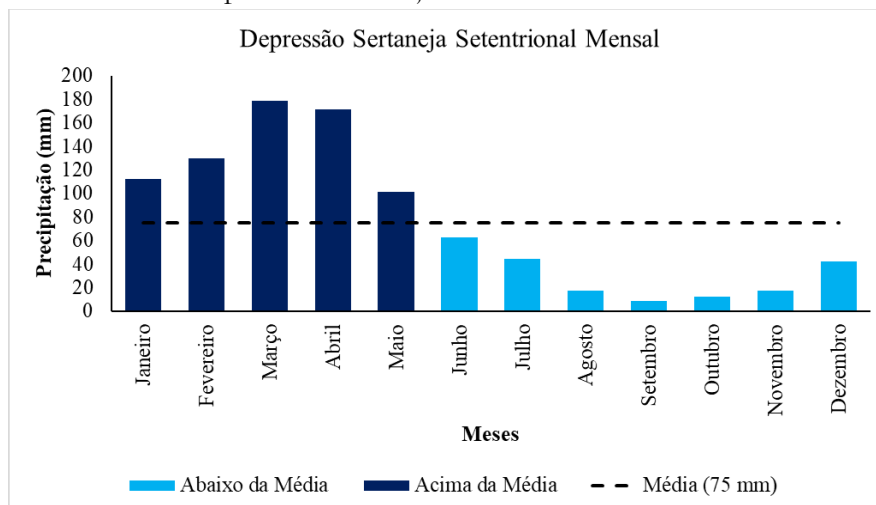
### **Análise da Variação Mensal**

A análise da pluviometria mensal na EDSS revela uma média histórica de precipitação de 75 mm, o qual estabelece os limites entre os períodos abaixo e acima da média (Figura 2). O período considerado chuvoso corresponde aos meses de janeiro a maio, destacando-se março com 179 mm de pluviometria, cerca de 104 mm acima da média histórica, o qual pode ser levado em reverência que nesses meses houve aumento nos reservatórios para o abastecimento hídrico da região.

A análise da precipitação na EDSS revelou padrões espaço-temporais consistentes com as características climáticas semiáridas do Nordeste brasileiro. A variabilidade observada entre anos secos e chuvosos evidencia a influência direta de fenômenos climáticos globais, como *El Niño* e *La Niña*, sobre os regimes pluviométricos locais. Os anos de maior precipitação coincidem, em grande parte, com episódios de *La Niña*, enquanto os anos de déficit hídrico estão relacionados a eventos de *El Niño*, corroborando os estudos de Kousky (1981) e Moura e Vitorino (2012).

Em contrapartida, o período seco estende-se de junho a dezembro, sendo setembro o mês com a menor dimensão de pluviometria, registrando aproximadamente 9 mm cerca de 66 mm menor da média histórica (75 mm) da EDSS registrada o que impacta na caatinga pela ausência de chuva impactando a resiliência do seu ecossistema. Isso reflete como nesses meses a ausência de chuvas é ocasionada pelo mecanismo de alta pressão, decorrente do anticiclone subtropical do Atlântico sul, que inibe a constituição de nuvens e consequentemente a falta de precipitação (Carpenedo; Ambrizzi, 2020).

**Figura 2.** Precipitação Pluviométrica mensal temporal na Ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional.



**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2025.

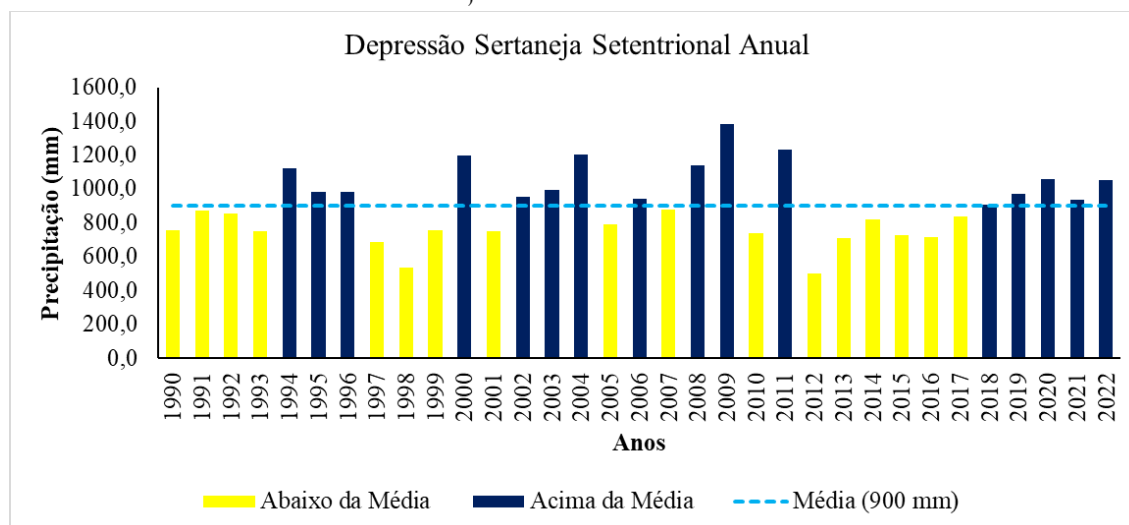
### Análise da Variação Anual

A avaliação anual da pluviometria na EDSS indica que, ao explorar os dados totais de cada ano, a média histórica foi de 900 mm, servindo como alicerce para distinguir anos secos e chuvosos (Figura 3). Dessa forma, foi identificado 16 anos chuvosos (acima da média) e 17 anos secos (abaixo da média). Entre os anos de maior pluviometria, destacam-se 2009 e 2011, no qual apresentaram chuvas superiores a 1230 mm (2011) e alcançaram 1384 mm (2009), ambos acima da média de 900 mm, resultando em um excesso de 330 mm e 484 mm, respectivamente. Esses fenômenos podem estar relacionados ao La Niña, quão amplifica a quantidade de água na área (Kousky, 1981).

Por outro lado, nos anos considerados abaixo da média, os registros de pluviometria foram os de 1998 (533 mm) e 2012 (500 mm), quão estavam cerca de 367 mm e 400 mm, respectivamente, inferior da média histórica anual. Além disso, a Figura 3 sugere a existência de ciclos pluviométricos com periodicidade aproximada de 6 anos, possivelmente associados aos fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña*, que influenciam diretamente a distribuição das chuvas no semiárido brasileiro. A diferença entre anos chuvosos e secos enfatiza a imprescindibilidade de promover estratégias de administração adaptativa, desse modo como políticas para tratar com o semiárido, quão combinem métodos tradicionais e inovações tecnológicas para mitigar os efeitos das variações na pluviometria na EDSS.

Observa-se ainda uma variabilidade secular, com amplitudes máximas nos totais anuais no final da década de 2000 e início da década de 2010, indicando a possível manifestação de ciclos de maior escala, talvez decadais ou multi-decadal, relacionados a fatores climáticos que afetam a distribuição de energia na atmosfera e o ciclo hidrológico, mas não diretamente a fatores orbitais.

**Figura 3.** Precipitação Pluviométrica anual temporal na Ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional.



**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2025.

### Análise da Variação Espacial Mensal

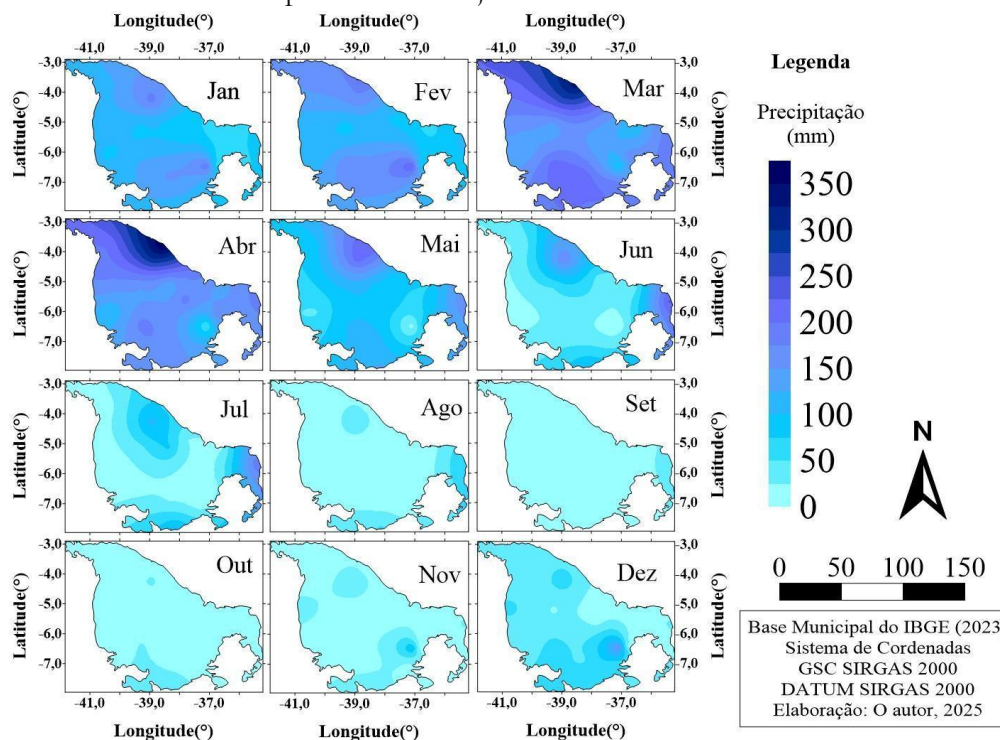
Na análise da Precipitação mensal é possível verificar que nos meses de janeiro (Figura 4 Jan) e fevereiro (Figura 4 Fev) são os meses considerados do período chuvoso. Portanto, na região norte entre 185 mm e 169 mm, e na parte da região sul apresentaram os maiores valores entre 193 mm e 227 mm respectivamente. Por outro lado, as áreas com menores valores registrados foram parte da região leste entre 50 mm a 66 mm, e no restante da EDSS os valores ficaram entre 80 mm a 140 mm.

Nos meses de março (Figura 4 Mar) e abril (Figura 4 Abr) é possível verificar que a precipitação se comporta do seguinte modo, ao norte os valores variam entre 334 mm e 373 mm entre esses meses. Na região sul e parte da região leste os valores ficam entre 190 mm e 230 mm em março e 164 mm a 205 mm. Por outro lado, parte da região leste, mais a sudeste sendo eles entre 50 mm e 90 mm e também sudoeste apresentam os menores valores, sendo eles entre 100 mm e 136 mm respectivamente.

Com relação a junho (Figura 4 Jun) mês no qual inicia o período seco e no mês de julho (Figura 4 Jul) é possível verificar similaridades, com destaque para as regiões com maiores valores registrados, sendo a região leste com destaque com valores registrados entre 220 mm e 192 mm entre os meses de junho e julho respectivamente. Além disso, a região norte apresentou valores entre 174 mm e 108 mm. Por outro lado, as demais áreas registraram valores em média de 50 mm, com destaques para estação do Seridó em Caicó com menos de 10 mm em junho e abaixo de 2 mm em julho.

Os meses de setembro (Figura 4 Set) e de outubro (Figura 4 Out) apresenta similaridades em toda ecorregião, visto que são considerados os meses com os menores valores pluviométricos registrados de acordo com a série histórica de 1990 a 2022. Deste modo, na maioria da área os valores nos dois meses não chegam a 10 mm. Entretanto, no mês de setembro (Figura 4 Set) os maiores valores foram registrados na região leste com 40 mm, já no mês de outubro (Figura 4 Out) os maiores valores foram registrados a sul da EDSS com 36 mm e uma pequena parte a norte com 29 mm.

**Figura 4.** Precipitação Pluviométrica média mensal espacial na Ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional.



**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2025.

Quanto à distribuição espacial, indicam um máximo muito evidente localizado na costa, onde o litoral apresenta uma orientação com forte componente meridional, durante o equinócio de outono. Na medida que a ZCIT deriva do sul para o norte, a direção dos alísios oscila de nordeste para sudeste, incidindo, em algum momento, ortogonalmente à costa. Vale também destacar um máximo secundário, bem mais tênue, localizado ao sul, próximo à serra do Araripe, possivelmente associado a algum efeito orográfico.

Logo, nos meses de novembro (Figura 4 Nov) e dezembro (Figura 4 Dez) demonstra um aumento parcial no mês de novembro (Figura 4 Nov) aumentando a precipitação média acima de 15 mm parte da EDSS, com algumas localidades abaixo desse valor. Além disso, as áreas que tiveram os maiores valores foram na região sudeste chegando a 94 mm, e em ponto a norte e oeste entre 29 mm e 35 mm. Por fim, em dezembro (Figura 4 Dez) a precipitação teve um aumento em toda a EDSS com precipitação acima de 20 mm, com exceção de Macau que registrou apenas 5,5 mm. Todavia, os maiores valores registrados foram na região sudoeste chegando a 160 mm, e a norte entre 56 mm a 63 mm.

A análise dos padrões de precipitação mensal na Depressão Sertaneja Setentrional (EDSS) reflete a influência de diferentes mecanismos climáticos, como a ZCIT, mais ativa nos meses de março e abril, responsável por valores significativos no norte e parte da região sul (Uvo, 1989; Lucena *et al.*, 2018). A topografia irregular, com altitudes mais elevadas ao norte e sul, contribui para maior retenção de umidade, enquanto áreas leste e sudeste, próximas ao litoral, são impactadas pelas brisas marítimas nos meses secos, especialmente em junho e julho, garantindo chuvas mais expressivas (Souza, 2016).

Por outro lado, a vegetação semiárida da região, com predominância de caatinga, também exerce papel crucial na regulação hídrica, reduzindo a evaporação em meses mais úmidos. Já nos períodos críticos de setembro e outubro, a dinâmica atmosférica global, como



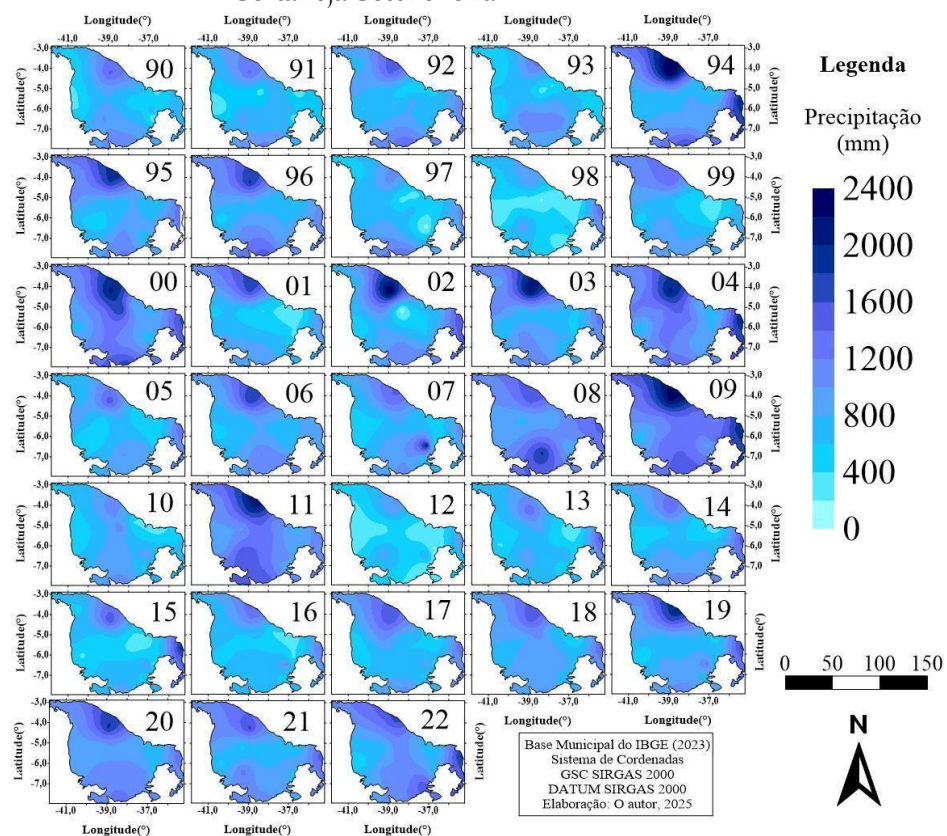
o enfraquecimento da ZCIT e a presença de sistemas de alta pressão, acentua o caráter árido da EDSS, com precipitações mínimas em praticamente toda a área, destacando a vulnerabilidade climática intrínseca à região (Moura; Sobrinho; Silva, 2019).

### Análise da Variação Espacial Anual

Na análise espacial anual da EDSS, é possível admitir por meio dos anos analisados de 1990 a 2022 (Figura 5) que a região norte apresentou os maiores valores registrados na maioria dos anos, sendo eles 1994, 1995, 1996, 2000, 2002, 2003, 2004, 2006, 2009, 2011, 2019 e 2020, com precipitações próximas ou acima de 2000 mm anuais. Além disso, os demais anos com exceção de 1993, 2007, 2014, 2015 e 2022 foram anos em que a precipitação na parte norte da EDSS foi maior do que em outras áreas entre 1200 mm a 1600 mm. Já os menores valores foram encontrados nos anos de 1998, 2010 e 2012 abaixo de 1100 mm.

Essa distribuição espacial anual evidencia padrões consistentes, com máximos pluviométricos claramente localizados ao norte e na costa, sugerindo a influência direta da ZCIT, da topografia local e da orientação costeira, especialmente durante os equinócios. Essa variabilidade pluviométrica na área norte da EDSS pode estar atribuída à ocorrência direta da ZCIT, que atua sazonalmente trazendo chuvas ao norte do Nordeste (Carvalho; Oyama, 2013). Durante anos de maior extensão da ZCIT, há maior concentração de umidade e composição de chuvas, notadamente em anos de fenômenos quanto à Lá Niña (Moura; Vitorino, 2012).

**Figura 5.** Precipitação Pluviométrica anual espacial na Ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Já com relação a parte leste, nota-se que a precipitação nos anos de 1994, 2004, 2008, 2009, 2013, 2014, 2015, 2018, 2019 e 2022 foi acima de 1600 mm. Todavia, vale destacar que nos anos de 1991, 1993, 1999, 2010 e 2012 foram abaixo de 600 mm, deste modo nos demais anos a precipitação manteve uma média na faixa de 900 mm a 1300 mm. A proximidade com a costa leste do Nordeste influencia diretamente os padrões de chuva dessa região devido à atuação de sistemas meteorológicos como os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) (Silva *et al.*, 2021). Esses sistemas trazem precipitações abundantes, notadamente em anos com águas mais quentes no Atlântico tropical.

Com relação a zona sul, foi possível admitir que os maiores valores foram observados nos anos de 1994, 1996, 2000, 2008, 2009 e 2011 com precipitações maiores que 1600 mm, todavia essas maiores precipitações não ultrapassam 2000 mm. Todavia, os menores valores acumulados foram possíveis de ser notado nos anos de 1998, 2001, 2005, 2010, 2012, 2015 e 2016 com dados menores que 700 mm. Essa região evidencia um máximo secundário, mais tênue, possivelmente relacionado à Serra do Araripe e à atuação combinada da ZCIT e sistemas convectivos locais.

A área sul da EDSS apresenta características de trajeto climático entre o semiárido e áreas mais úmidas. A ação combinada da ZCIT e de sistemas convectivos locais pode descrever os períodos de maior água e correlação com La Niña (Ferreira; Sanches; Silva Dias, 2004). Já os anos secos estão associados a padrões atmosféricos de barreira e o ato do El Niño, que reduz a ação convectiva nesta superfície (Braga; Ambrizzi, 2022). A existência de serras e planaltos próximos contribui para a composição de chuvas orográficas em anos favoráveis.

A área Oeste se destacou entre todas as áreas como a de menor valor precipitado na série histórica, todavia nesta região os anos que apresentaram os maiores valores precipitados foram os anos de 1994, 1995, 2003, 2009, 2011 e 2020 com precipitações entre 1400 mm e 1800 mm. Já os menores valores registrados foram nos anos de 1990, 1991, 1998, 2005, 2007, 2010, 2012, 2015, 2016 e 2022 a precipitação chegou a no máximo 500 mm. Essa baixa precipitação reflete a ausência de relevo favorável e a maior influência dos ciclos secos típicos do semiárido. Os valores de chuva no Oeste estão absolutamente relacionados ao maior intervalo do litoral e à falta de fatores topográficos significativos que favoreçam a constituição de chuvas. A área é fortemente influenciada pelos ciclos de seca, comuns no semiárido.

Por fim, na parte central da EDSS os anos que têm os maiores valores registrados são os anos de 2000, 2004, 2006, 2008, 2009, 2011, 2018, 2020 e 2022 com valores acima de 1500 mm e abaixo de 1800 mm. De maneira inversa, os anos de 1998, 2001, 2002, 2005, 2012, 2015 e 2016 apresentaram-se com valores abaixo de 400 mm. A região central da EDSS apresenta uma precipitação moderada em anos favoráveis devido à combinação de fatores locais, como a atuação de sistemas convectivos associados ao aquecimento diurno e à convergência de umidade transportada pela ZCIT.

A área central da EDSS apresenta uma chuva moderada em anos favoráveis devido à união de fatores locais, quanto a ato de sistemas convectivos associados ao aquecimento diurno e à concentração de umidade transportada pela ZCIT (Jacinto; Eloi; Sakamoto, 2022). De modo geral, as precipitações na EDSS são altamente influenciadas por mecanismos atmosféricos quanto a ZCIT, os DOLs, vórtices ciclônicos e padrões climáticos globais quanto El Niño e La Niña (Ogasawara; Nunes; Riquetti, 2021).

Além disso, a topologia variada e a vegetação dominante semiárida desempenham funções importantes no ordenamento espacial das chuvas (Pigozzo; Viana, 2010; Fernandes; Queiroz, 2018). A sintonia desses fatores contribui para a notável variabilidade

pluviométrica, evidenciada pelos máximos espaciais na costa e secundários ao sul, destacando a necessidade de estratégias regionais para manejo sustentável dos recursos hídricos.

## Conclusões

A análise pluviométrica mensal na EDSS evidenciou uma nítida diferença entre os períodos chuvoso e seco, com destaque para o acréscimo da pluviometria entre janeiro e maio, sobretudo em março, e a carência de chuvas entre junho e dezembro. Estes padrões refletem a dinâmica climática local e global, impactando absolutamente os reservatórios e os ecossistemas desta EDSS.

A avaliação anual da precipitação na EDSS revelou uma variação entre anos chuvosos e secos, com fenômenos climáticos quanto El Niño e La Niña desempenhando finalidade essencial nos extremos pluviométricos observados. Essa variabilidade destaca a indispensabilidade de estratégias adaptativas para administrar os recursos hídricos da EDSS.

Logo, a avaliação espacial mensal demonstrou uma distribuição diferente das chuvas na EDSS, com algumas áreas, quanto o norte e sul, recebendo precipitações mais intensas, enquanto o leste e oeste sofreram com a carência de chuvas. Esses padrões espaciais são influenciados pela topologia e pelos sistemas meteorológicos regionais.

A variação espacial anual na EDSS evidenciou que áreas como o norte e leste apresentam maior variabilidade pluviométrica, influenciada por fatores como a ZCIT e os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), enquanto o oeste e centro da região são mais suscetíveis à seca prolongada. A compreensão desses padrões é crucial para a gestão hídrica sustentável.

Por fim, o estudo contribui ao informar uma análise aprofundada da pluviometria na EDSS, destacando a importância dos padrões temporais e espaciais de precipitação e as influências climáticas globais e locais. Essa perspectiva enfatiza a indispensabilidade de estratégias regionais adaptativas e sustentáveis para o manuseamento dos recursos hídricos, notadamente diante das variabilidades climáticas que impactam absolutamente o semiárido.

## Referências

AMORIM, V. O.; BAUTISTA, H. P. Asteraceae da Ecorregião Raso da Catarina, Bahia, Brasil. **Rodriguésia**, v. 67, n. 3, p. 785-794, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201667317>

ARARIPE, F. A. A. L.; CAMACHO, R. G. V.; COSTA, D. F. S.; SOARES, I. A.; BONILLA, O. H. ALOUFA, M. A. I. Pressões e ameaças em unidades de conservação federais da depressão sertaneja setentrional, nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 05, p. 3279-3293, 2021.

BEZERRA, J. M.; SILVA, P. C. M.; MORAIS, C. T. S. L.; BATISTA, R. O. Utilização de geotecnologias na determinação de áreas susceptíveis a desertificação no estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 3, p. 543-561, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i2.27361> 99

BRAGA, H. A.; AMBRIZZI, T.. A variabilidade intrassazonal e interanual do acoplamento entre a zona de convergência do Atlântico Sul e o vórtice ciclônico de altos níveis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, p. 305-311, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863730060>

BRASIL. **Decreto No 97.632, DE 10 DE ABRIL DE 1989.** Disponível em :  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/d97632.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d97632.htm)> Acesso: 19 jun 2020

CARPENEDO, Camila Bertoletti; AMBRIZZI, Tércio. Anticiclone subtropical do Atlântico Sul associado ao modo anular sul e impactos climáticos no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 605-613, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863540066>

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of climate**, v. 17, n. 1, p. 88-108, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017)

CARVALHO, J. R.P.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Comparação de métodos para ajuste de modelos de semivariograma da precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 443-448, 2009.

CARVALHO, M. Â. V.; OYAMA, M. D. Variabilidade da largura e intensidade da Zona de Convergência Intertropical Atlântica: aspectos observacionais e de modelagem. **Rev. bras. meteorol.** v. 28, n. 3, p. 305-316, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000300007>

CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. **Geoecologia: o clima, os solos e a biota.** Geografia do Brasil, 1996.

CORREIA, J. S. **Concepção e Implementação de um WebSIG no Parque Nacional da Gorongosa usando software de código aberto e livre.** 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade NOVA de Lisboa (Portugal).

DAVISON, A. C.; HINKLEY, D. V. **Bootstrap methods and their application.** Cambridge university press, 1997.

FEDOROVA, N. LEVIT, V.; DA CRUZ, C. D. On frontal zone analysis in the tropical region of the Northeast Brazil. **Pure and Applied Geophysics**, v. 173, p. 1403-1421, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00024-015-1166-y>.

FETTER, R.; OLIVEIRA, C. H.; STEINKE, E. T. Um Índice para avaliação da variabilidade espaço-temporal das chuvas no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 2, p. 225-237, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786332002>

FERNANDES, M. R. M.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q. FERNANDES, M. M. Mudanças do uso e da cobertura da terra na região semiárida de Sergipe. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 472-482, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.121514>

FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e cultura**, v. 70, n. 4, p. 51-56, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000400014>

FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M. A. F. Composição da zona de convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 89-98, 2004.



FRANÇA, L. C. J.; PIUZANA, D. ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). **Revista espaços**, v. 38, n. 31, p. 21, 2017.

GARDA, A. A. LION, M. B.; LIMA, S. M. Q.; MESQUITA, D. O.; ARAUJO, H. F. P.; NAPOLI, M. F. Os animais vertebrados do Bioma Caatinga. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 29-34, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000400010>

GIULIETTI, A. M. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, 2004.

GOMES, Helber B.; AMBRIZZI, T.; SILVA, B. F. P.; HODGES, K.; DIAS, P. L. S.; HERDIES, D. L.; SILVA, M. C. L.; GOMES, H. B. Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic. **Climate Dynamics**, v. 53, p. 1393-1411, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04667-7>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema Costeiro-Marinheiro do Brasil: compatível com a escala 1:250.000. **Série Relatórios Metodológicos**, v. 45, p. 111-121, 201, 2019.

INMET - Instituto Nacional De Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. **INMET**, 2023. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 10 maio 2023.

JACINTO, L.V.; ELOI, W. M.; SAKAMOTO, M. S. Características Climatológicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, p. 69-80, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786371006>

KEMENES, A. **Influência das anomalias de temperatura da superfície do mar sobre o acúmulo de água em reservatórios do interior do Nordeste do Brasil, durante nove períodos de El Niño**. 2021.

KODAMA, Y. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. Ser. II, v. 70, n. 4, p. 813-836, 1992. DOI: [https://doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4\\_813](https://doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4_813)

KOUSKY, V. E. Frontal influences on northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, 1979. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1979\)107<1140:FIONB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1979)107<1140:FIONB>2.0.CO;2)

KOUSKY, V. E. A. G. M. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, n. 6, p. 538-551, 1981. DOI: <https://doi.org/10.3402/tellusa.v33i6.10775>

LEITE, E. D.; COSTA, C. L. A.; OLIVEIRA, R. S.; CAVALCANTE, H. C. C. Impactos ambientais causados pelo desmatamento no Brasil. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 8, n. 1, p. 19-38, 2023.



LITTLE, R. J. A.; RUBIN, D. B.. Multiple imputation for nonresponse in surveys. **John Wiley & Sons, Inc.** DOI: v. 10, p. 9780470316696, 1987.

LITTLE, R. J.A.; RUBIN, D. B. **Statistical analysis with missing data.** John Wiley & Sons, 2019.

LYRA, M. J. A.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V. Mesoscale convective complexes over northeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 118, p. 103911, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103911>

LUCENA, R. L.; CABRAL, J. B.; STEINKE, E. T. Comportamento hidroclimatológico do estado do Rio Grande do Norte e do município de Caicó. **Revista brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 485-496, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786333008>

MELO, J. O.; DANTAS-MEDEIROS, R.; MOREIRA, L. G. L.; GIORDANI, R. B.; ZUCOLOTTI, S. M. A Caatinga: Um bioma exclusivamente brasileiro. **Ciência e Cultura**, v. 75, n. 4, p. 01-09, 2023.

MONTENEGRO, S. M. G. L. Desertificação no Brasil: A exploração não planejada dos recursos naturais e as mudanças climáticas acarretam danos irreversíveis ao meio ambiente. **Ciência e Cultura**, v. 75, n. 4, p. 01-07, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/2317-6660.20230051>

MORO, M. F.; MACEDO, M.B.; MOURA-FÉ, M. M.; CASTRO, A. S. F.; COSTA, R. C. Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, v. 66, n. 3, p. 717-743, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566305>

MORO, M. F.; LUGHADHA, E. N.; ARAÚJO, F. S.; MARTINS, F. R. A phytogeographical metaanalysis of the semiarid Caatinga domain in Brazil. **The Botanical Review**, v. 82, p. 91-148, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12229-016-9164-z>

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 475-483, 2012.

MOURA, M. S. B.; SOBRINHO, J. E.; DA SILVA, T. G. F. **Aspectos meteorológico do semiárido brasileiro.** p. 85-104, 2019.

MOURA, M. R. Impactos generalizados das mudanças climáticas na lenhidade e generalismo ecológico de conjuntos de plantas de florestas secas. **Journal of Ecology**, v. 111, n. 8, p. 1762-1776, 2023.

NUNES, L N.; KLÜCK, M. M.; FACHEL, J. M.G. Uso da imputação múltipla de dados faltantes: uma simulação utilizando dados epidemiológicos. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, n. 2, p. 268-278, 2009.

OGASSAWARA, J. F.; NUNES, A. B.; RIQUETTI, N. B.. Eventos extremos de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Piratini: relação com Enos e estudo de caso. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 342-364, 2021.

OLIVEIRA, E. V. S.; PRATA, A. P. N.; PINTO, A. S. Caracterização e atributos da vegetação herbácea em um fragmento de Caatinga no Estado de Sergipe, Brasil. **Hoehnea**, v. 45, p. 159-172, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-8906-70/2017>

OLIVEIRA, C. G.; FONTGALLAND, I. L. **Análise da Mobilidade Urbana em Cidades de Porte Médio por Meio da Sintaxe Espacial**. Editora Appris, 2021.

PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 261-268, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200003>

PEREIRA, G. W.; VALENTE, D. S. M.; QUEIROZ, D. M.; COELHO, A. L. F.; COSTA, M. M.; GRIFT, T. Smart-map: An open-source QGIS plugin for digital mapping using machine learning techniques and ordinary kriging. **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1350, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061350>

PIGOZZO, C. M.; VIANA, B. F. Estrutura da rede de interações entre flores e abelhas em ambiente de caatinga. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 1, p. 100-114, 2010. DOI: [doi:10.4257/oeco.2010.1401.04](https://doi.org/10.4257/oeco.2010.1401.04)

REIS, J. S.; GONÇALVES, W. A.; MENDES, D. Climatology of the dynamic and thermodynamic features of upper tropospheric cyclonic vortices in Northeast Brazil. **Climate Dynamics**, v. 57, n. 11, p. 3413-3431, 2021. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00382-021-05873-y>

RIEHL, H., **Waves in the easterlies and polar front in the tropics** Chicago: Chicago University, Department of Meteorology, 79 p., 1945.

RODRIGUES, D. T.; GONÇALVES, W. A.; SILVA, C. M. S.; SPYRIDES, M. H. C.; LÚCIO, P. S. Imputation of precipitation data in northeast Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 95, p. e20210737, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320210737>

ROQUE, M. W.; MATSURA, E. E.; SOUZA, Z. M. D.; BIZARI, D. R.; SOUZA, A. L. D. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1827-1835, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500004>

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 115-123, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000200001>

SANTOS, F. A.; AQUINO, C. M. S. Panorama da desertificação no Nordeste do Brasil: características e suscetibilidades. **Geografia**, v. 2, n. 7, 2017. DOI: <https://doi.org/10.18764/2446-6549.v2n7p144-161>

SILVA, A. S. D.; SILVA, E. M. D.; LEAL JUNIOR, J. B. V.; SALES, D. C.; MOURA, I. J. M.; ALVES, J. M. B. Distúrbios ondulatórios de leste no nordeste brasileiro: um estudo de caso utilizando modelagem numérica de mesoescala. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3 suppl, p. 637-649, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863630033>

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**, v. 35, p. e67666, 2023. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-67666>

SOUZA, P.; CAVALCANTI, I. F. A. Atmospheric centres of action associated with the Atlantic ITCZ position. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 29, n. 14, p. 2091-2105, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1823>

SOUZA, L. S. B. D.; MOURA, M. S. B. D.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. D. Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca intensa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 08, p. 627-636, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000800001>

SOUZA, D. C. **Brisa na Costa do Norte e Nordeste Brasileiro**. 2016. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2016, 178 p.

TABARELLI, M.; LEAL, I. R.; SCARANO, F. R.; SILVA, J. Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e cultura**, v. 70, n. 4, p. 25-29, 2018. DOI:<http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000400009>

UVO, C. R. B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro**, 1989.

KOZOROSKI VEIGA, R.; AMARAL GONTIJO, L.; CAMPOS MASIERO, F.; VENTURI, J. Análise e distribuição espacial do ruído no posto de trabalho do operador e nas proximidades de máquinas agrícolas e florestais. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 43-65, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509816116>

VELLOSO, A. L. **Ecorregiões propostos para o bioma da Caatinga**. Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil; Recife; Associação Plantas do Nordeste, 2002. 76p.

Submetido em: maio de 2025  
Aceito em: outubro de 2025