Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology

OPEN ACCESS

ISSN 2237-8642

COMPORTAMENTO MENSAL E SAZONAL DA TEMPERATURA MÉDIA E UMIDADE RELATIVA DO AR NAS ECORREGIÕES DO BIOMA CAATINGA

Monthly and seasonal behavior of average temperature and relative air humidity in the ecoregions of the Caatinga Biome

Comportamiento mensual y estacional de la temperatura media y la humedad relativa del aire en las ecorregiones del Bioma Caatinga

Maxsuel Bezerra do Nascimento
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
maxsuel10gba@hotmail.com

Gabriel Victor Silva do Nascimento
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
nascimento.gabriel@outlook.com.br

Thales Nunes Martins de Sá
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
thales553@gmail.com

Itauan Dayvison Gomes de Medeiros
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
itauan.gomes.706@ufrn.edu.br

Gizelly Cardoso Lima
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
gizellyclima30@gmail.com

Claudio Moises Santos e Silva
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
claudio.silva@ufrn.br

Resumo: Este estudo analisou o comportamento mensal e sazonal da temperatura média (TMéd) e umidade relativa do ar (URA) nas oito ecorregiões da Caatinga entre 1980 e 2022, utilizando dados de 56 estações meteorológicas. O objetivo foi identificar padrões climáticos, tendências e anomalias que influenciam a vegetação e os ecossistemas locais. A metodologia incluiu imputação múltipla (método BootEM) para preencher lacunas nos dados e interpolação espacial por *krigagem ordinária* para mapear as variáveis. Os resultados revelaram variações significativas nas TMéd (22°C a 31°C) e URA (39% a 91%) entre as ecorregiões. A Depressão Sertaneja Setentrional (EDSS) e o Complexo Ibiapaba-Araripe (ECIA) apresentaram as maiores TMéd, enquanto o Planalto da Borborema (EPB) registrou as URA mais elevadas. Padrões sazonais mostraram temperaturas mais altas entre outubro e março e URA reduzida durante os meses secos (setembro–outubro). As discussões destacaram a influência da topografia, radiação solar e sistemas atmosféricos na variabilidade climática. Regiões com menor URA (EDSM) enfrentam maior risco de desertificação, enquanto áreas com TMéd elevadas (ECCM) são mais vulneráveis a secas. Conclui-se que através da avaliação de 42 anos de dados, foi possível observar tendências climáticas variáveis nas ecorregiões. A EDSS e o ECIA, deste modo, configuram-se tendências de aumento mais notado na TMéd, principalmente nos anos de forte ocorrência do *El Niño*, como 1998 e 2016. Por outro lado, ecorregiões como a ECCD demonstraram maior estabilidade térmica, descrevendo que as tendências de aumento de temperatura não são homogêneas em toda a Caatinga.

Palavras-chave: Variabilidade Climática; Semiárido; Séries Temporais

Abstract: This study analyzed the monthly and seasonal behavior of average temperature (TMéd) and relative humidity (RH) in the eight ecoregions of the Caatinga biome between 1980 and 2022, using data from 56 meteorological stations. The objective was to identify climatic patterns, trends, and anomalies that influence the vegetation and local ecosystems. The methodology included multiple imputation (BootEM method) to fill gaps in the data and spatial interpolation by ordinary kriging to map the variables. The results revealed significant variations in TMéd (22°C to 31°C) and RH (39% to 91%) among the ecoregions. The Northern Sertaneja Depression (EDSS) and the Ibiapaba-Araripe Complex (ECIA) presented the highest TMéd, while the Borborema Plateau (EPB) recorded the highest RH. Seasonal patterns showed higher temperatures between October and March and reduced RH during the dry months (September–October). The discussions highlighted the influence of topography, solar radiation, and atmospheric systems on climate variability. Regions with lower relative humidity (RED) (EDSM) face a greater risk of desertification, while areas with high average temperatures (AIT) (ECCM) are more vulnerable to droughts. It was concluded that, through the evaluation of 42 years of data, it was possible to observe variable climate trends in the ecoregions. The EDSS and ECIA, therefore, show trends of a more noticeable increase in average temperature, mainly in years of strong El Niño occurrence, such as 1998 and 2016. On the other hand, ecoregions such as the ECCD demonstrated greater thermal stability, indicating that the trends of increasing temperature are not homogeneous throughout the Caatinga.

Keywords: Climate Variability; Semi-Arid Region; Time Series

Resumen: This study analyzed the monthly and seasonal behavior of average temperature (TMéd) and relative humidity (RH) in the eight ecoregions of the Caatinga biome between 1980 and 2022, using data from 56 meteorological stations. The objective was to identify climatic patterns, trends, and anomalies that influence the vegetation and local ecosystems. The methodology included multiple imputation (BootEM method) to fill gaps in the data and spatial interpolation by ordinary kriging to map the variables. The results revealed significant variations in TMéd (22°C to 31°C) and RH (39% to 91%) among the ecoregions. The Northern Sertaneja Depression (EDSS) and the Ibiapaba-Araripe Complex (ECIA) presented the highest TMéd, while the Borborema Plateau (EPB) recorded the highest RH. Seasonal patterns showed higher temperatures between October and March and reduced RH during the dry months (September–October). The discussions highlighted the influence of topography,

solar radiation, and atmospheric systems on climate variability. Regions with lower relative humidity (RED) (EDSM) face a greater risk of desertification, while areas with high average temperatures (AIT) (ECCM) are more vulnerable to droughts. It was concluded that, through the evaluation of 42 years of data, it was possible to observe variable climate trends in the ecoregions. The EDSS and ECIA, therefore, show trends of a more noticeable increase in average temperature, mainly in years of strong El Niño occurrence, such as 1998 and 2016. On the other hand, ecoregions such as the ECCD demonstrated greater thermal stability, indicating that the trends of increasing temperature are not homogeneous throughout the Caatinga.

Palabras clave: Variabilidad climática; Región semiárida; Series temporales.

Submetido em: 11/05/2025
Aceito para publicação em: 25/11/2025
Publicado em: 03/12/2025

1. 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).

É uma área geograficamente definida que apresenta características ecológicas, climáticas, geológicas e de vegetação relativamente homogêneas. As ecorregiões são utilizadas para facilitar o estudo e a gestão dos recursos naturais, já que essas regiões compartilham espécies, ecossistemas e processos ecológicos similares (Ximenes; Amaral; Valeriano, 2010). Elas são classificadas com base em critérios como clima, tipo de solo, topografia e tipos de vegetação predominante (Santos, 2024).

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, materialmente ricos, pedregosos, pouco espessos e com fraca capacidade de retenção de água (Alves, 2007).

Apesar disso, a mesma 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 *et al.,* 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).

Deste modo, a caatinga é a área semiárida com maior concentração populacional no planeta, abrigando cerca de vinte e sete milhões de pessoas (IBGE, 2019). Neste sentido, tem-se tornado extremamente vulnerável à degradação do solo, devido a fatores tanto antrópicos e climatológicos (MMA, 2019; Santos *et al.*, 2020). Logo, os longos períodos de estiagem (Moura & Shukla, 1981; Marengo *et al.*, 2017; Cunha *et al.*, 2018; De Medeiros, De Oliveira; Torres, 2020; Mutti *et al.*, 2022) na região, demandam atenção no que concerne à gestão de

recursos hídricos e/ou agricultura familiar (Vale *et al.*, 2024) uma vez que há projeções de ocorrências de secas de maior intensidade e duração para o meio e final do século atual (De Medeiros; De Oliveira, 2022).

Portanto, a compreensão detalhada de variáveis meteorológicas e a variabilidade climática nessas ecorregiões são essenciais para desenvolver políticas públicas eficazes, que visem a mitigação dos impactos socioeconômicos e ambientais associados às secas e à aridez extremas (Lima, 2004; Silva; Andrade; Reis, 2018).

A região da Caatinga é acometida por secas (meteorológicas, hidrológicas e agrícolas) que ocorrem na escala interanual. Portanto, em algumas regiões o período "sazonal" seco é prolongado, chegando a oito meses em alguns anos (Andrade *et al.*, 2011; De Queiroz *et al.*, 2020). As secas na região afetam de maneira significativa as populações que residem em áreas de Caatinga, (Rocha Júnior *et al.*, 2020), com repercussões ao nível socioeconômico (Silva *et al.*, 2017; Finan; Nelson, 2001).

A temperatura na Caatinga é elevada na maior parte do ano, com médias mensais que frequentemente ultrapassam os 30°C (Marinho *et al*., 2020). No entanto, devido à baixa umidade do ar durante a noite, as temperaturas podem cair consideravelmente, criando oscilações térmicas que também desempenham um papel importante na ecologia da região, sendo eles: adaptação das plantas, ciclo de atividade dos animais, a disponibilidade de água que influenciam a evapotranspiração e a formação de orvalho, os processos biogeoquímicos e microhabitats. Logo, o conhecimento sobre a temperatura do ar e sua variabilidade é crucial para as diferentes áreas do conhecimento científico e para a tomada de decisão dos gestores públicos na definição de ações (Mateus; Potito, 2022).

O aumento da temperatura do ar pode favorecer o aumento da demanda hídrica na atmosfera, por consequência aumento da evapotranspiração, resultando na redução da quantidade de água no solo, no aumento da aridez, que aliado ao uso indevido do solo pode aumentar o risco de desertificação em partes da região (Marengo e Bernasconi, 2015). Entretanto, é importante constatar que as tendências de aumento na temperatura do ar não são observadas em todas as regiões da Caatinga (Silva *et al.,* 2023).

A umidade relativa do ar (UR) na Caatinga varia entre 20% e 100% ao longo do ano é caracterizada por variações sazonais e diurnas significativas. Neste sentido, estudos apontam que o uso e cobertura da terra de uma determinada área influencia na umidade relativa do ar (Andrade, 2021). Sendo assim, durante os períodos de seca, a umidade pode ser

extremamente baixa, o que contribui para a evaporação rápida da água disponível e para a intensificação da aridez do ambiente. À medida que uma área apresenta uma grande quantidade de árvores, isso influencia significativamente tanto a temperatura quanto a umidade (Alves *et al.*, 2020). Portanto, a vegetação impacta direta e indiretamente esses fatores. As espécies de árvores presentes em uma área podem determinar o tipo de ambiente daquele local.

Justificando a diversidade das ecorregiões da Caatinga, a pesquisa aqui destaca-se pela necessidade de transcrever informações conjuntas ao nível das ecorregiões da Caatinga. As variáveis meteorológicas serão úteis na caracterização climática de cada ecorregião. A escolha da temperatura média do ar (TMéd) e da umidade relativa do ar (URA) justifica-se por serem variáveis termo-higrométricas primordiais que atuam de maneira cooperativa na regulação dos meios ecológicos. Logo, a TMéd está relacionada sobretudo às taxas de evapotranspiração e metabolismo das espécies, enquanto a URA está inteiramente relacionada ao balanço hídrico, à proeminência no uso da água pela vegetação e à regulamentação dos micro-habitats.

A avaliação dessas variáveis, portanto, auxilia em uma visão conjunta do estresse ambiental, para determinar a vulnerabilidade e características de cada ecorregião às mudanças climáticas. A informação desse trabalho é primordial para a atual e futuras gerações, pois reata informações úteis para diretrizes de políticas públicas participativas.

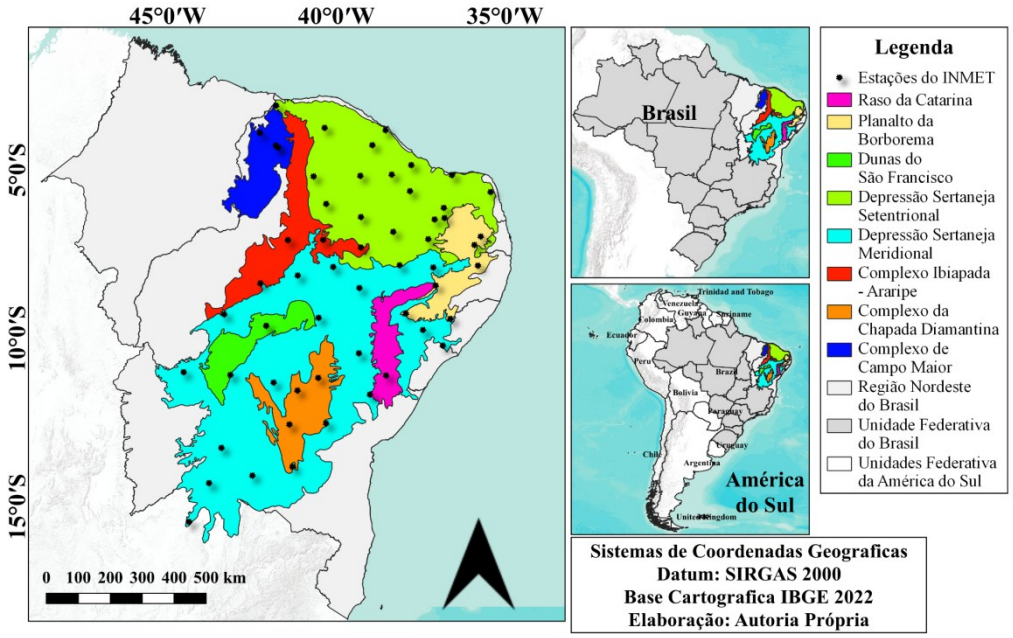
Sendo assim, o objetivo principal é verificar o comportamento mensal e sazonal da temperatura média e umidade relativa do ar nas Ecorregiões da Caatinga ao longo de 42 anos (1980-2022), identificando padrões, tendências e anomalias climáticas que possam influenciar a vegetação e o ecossistema local.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo contempla a área de Caatinga, subdividida em oito Ecorregiões. A Caatinga, segundo o IBGE, abrange áreas de todos os estados do NEB, chegando ao norte do estado de Minas Gerais (MG), conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Mapa de Localização das Estações Automáticas do INMET nas Ecorregiões do Bioma Caatinga



Fonte: Os autores, 2025

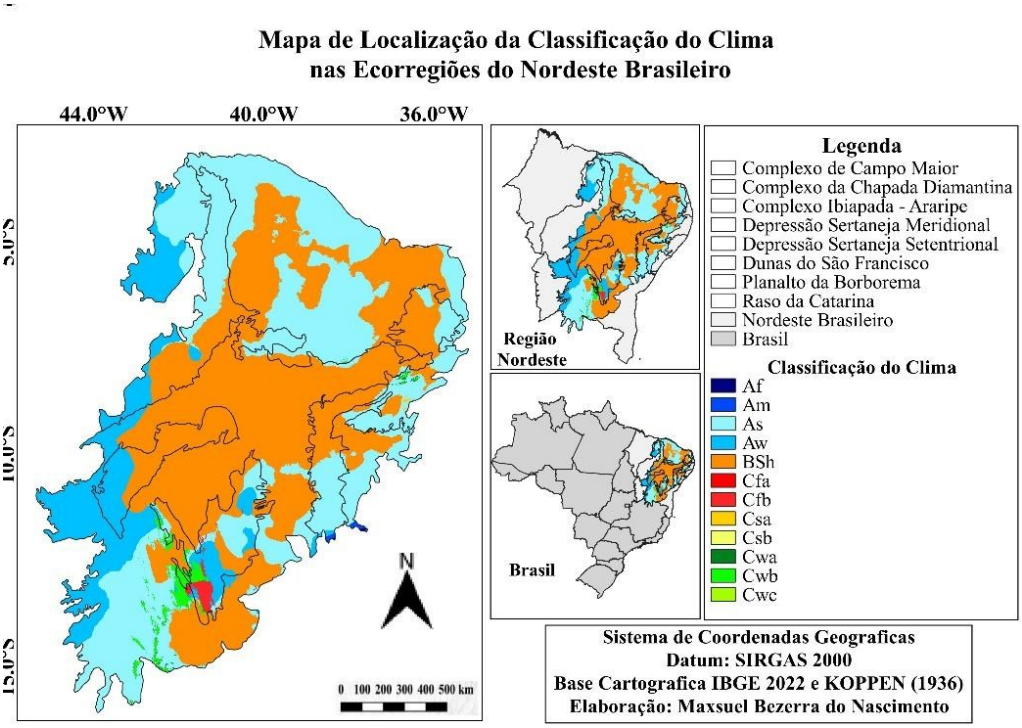
As ecorregiões possuem características particulares em relação a vários aspectos físicos, entre eles o tipo de solo. Sendo assim, segundo Velloso *et al*., (2002) a ecorregião do Complexo de Campo Maior possui solos sedimentares, com baixa drenagem, com predominância dos plintossolos, solos rasos e ácidos. O Complexo Ibiapaba-Araripe: Solos localizados em chapadas, mais profundos, com predominância dos latossolos, solos com fertilidade baixa e arenosos.

Os autores mencionam ainda que na Depressão Sertaneja Setentrional: Solos de planícies baixas, rasos, pedregosos, com predominância dos luvissolos, argissolos, neossolos e planossolos. O Planalto da Borborema: Predominância de neossolos, argissolos e planossolos. A Depressão Sertaneja Meridional: Solos mais profundos, com predominância de latossolos, argissolos, neossolos, luvissolos e planossolos.

Por fim, os mesmos autores afirmam que as Dunas de São Francisco: Solos arenosos, de deposição eólica, baixa fertilidade, com predominância de neossolos. O Complexo da Chapada Diamantina: Predominância de neossolos, com grandes afloramentos rochosos, latossolos e argissolos. E por fim, o Raso da Catarina: Bacia com predominância de neossolos e latossolos, solos arenosos, profundos e pouco férteis.

Neste sentido, o semiárido do Brasil, incluindo a Caatinga, apresenta características climáticas diferentes (Figura 2), vale destacar que o predomínio é massivo do tipo Bsh e pouca e limitada a ocorrência dos tipos C, logo a variação compreende: Af (Zona tropical sem estação seca), Am (Zona tropical de monção), As (Zona tropical com verão seco), Aw (Zona tropical com inverno seco), Bsh (Zona Seca semiárida de baixa latitude e altitude), Cfa (Clima oceânico da Zona subtropical úmida, sem estação seca com verão quente), Cfb (Clima oceânico da zona subtropical úmida, sem estação seca com verão temperado), Csa (Zona subtropical úmida Com verão seco e quente), Csb (Zona subtropical úmida com verão seco e temperado), Cwa (Zona subtropical úmida com inverno seco e verão quente), Cwb (Zona subtropical úmida com inverno seco e verão temperado) e Cwc (Zona subtropical úmida com inverno seco e verão curto e fresco) (Álvarez *et al*., 2013).

Figura 2 - Mapa da Classificação do Clima nas Ecorregiões do NEB



Fonte: Os autores, 2025. Baseado na Classificação de Koppen, 1936, proposto por Alvarez *et al.*, 2013.

2.2 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 100 estações meteorológicas (90 no NEB e 10 no norte de MG) no qual foram utilizadas para a pesquisa 55 estações meteorológicas, que são indicadas na Figura 1.

Portanto, utilizou-se como critérios de exclusão, as estações que não estão inseridas nas 8 ecorregiões do NEB, por meio da localização de suas coordenadas geográficas plotadas no *software Qgis*. Os dados analisados são as séries mensais de temperatura média (TMéd) e umidade relativa do ar (URA). O período de dados foi de janeiro de 1980 a dezembro de 2022, com amostragem mensal.

A opção por trabalhar com dados *in situ* reflete a busca por maior representatividade e fidelidade às condições reais observadas na região de estudo. Mesmo após filtragem e controle de qualidade dos dados, foi possível manter uma cobertura espacial consistente. Os dados finais apresentaram percentuais médios de dados faltantes de 19,2% para temperatura e 34% para umidade relativa do ar. Ainda assim, conservou-se a estrutura média anual das séries, preservando-se sua integridade estatística e resoluções originais: 0,1°C para temperatura e 1 unidade percentual para umidade relativa. Essa escolha assegura a comparabilidade temporal dos dados, mesmo diante das limitações inerentes a esse tipo de levantamento.

2.3 Método de Imputação Múltipla

Uma vez que todas as 55 estações meteorológicas apresentaram falhas, optou-se por preencher os dados mensais a partir do método de Imputação Múltipla (IM). Essa metodologia foi utilizada pois as abordagens convencionais de imputação são baseadas na substituição dos valores ausentes por estimativas pontuais, por exemplo, médias ou medianas. Entretanto, essas abordagens podem produzir resultados inadequados, principalmente quando o número de falhas é relativamente elevado (Zhou *et al*., 2001; Engels; Diehr, 2003; Little e Rubin, 2019).

A IM, por outro lado, gera várias imputações possíveis para os valores ausentes, refletindo assim a incerteza inerente ao processo (Little e Rubin, 1987). Quando há valores ausentes em variáveis de interesse, a imputação múltipla é uma abordagem que visa fornecer estimativas mais precisas e robustas, levando em consideração a incerteza associada à imputação por meio de técnicas de reamostragens, a exemplo do *bootstrap* (Davison; Hinkley,

1997). Essa técnica tem sido usada, inclusive, para o preenchimento de dados de precipitação diária no NEB (Rodrigues *et al*., 2023) e velocidade do vento para o Brasil (Lima *et al.* 2024).

O processo de IM geralmente segue cinco passos com o pacote Amélia II (Honaker; King; Blackwell, 2011) contido no software R 2011. O primeiro é a identificação de variáveis no qual determina quais variáveis têm valores ausentes no conjunto de dados. O segundo passo é a modelagem de imputação, no qual determina um modelo estatístico para cada variável com valores ausentes. Isso pode envolver modelos como regressão linear, regressão logística, métodos de árvores de decisão, entre outros, dependendo da natureza dos dados.

A terceira etapa é a geração de múltiplas imputações, que leva em consideração os modelos desenvolvidos, em que geram várias imputações possíveis para os valores ausentes. Cada imputação representa uma estimativa possível para os dados faltantes. O penúltimo procedimento é a análise dos dados imputados, que realiza análises estatísticas separadas em cada conjunto de dados imputado, isso permite levar em consideração a variabilidade entre as imputações e incorporar a incerteza nas inferências.

Por fim, a combinação dos resultados das análises realizadas em cada conjunto de dados imputado para obter estimativas finais e intervalos de confiança que levem em conta a incerteza da imputação. Nesta pesquisa, a estimativa combinada foi a média das estimativas individuais, Equação (Eq.).

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

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

$$\textbf{Eq2.} = T = \underline{U} + 1 + \frac{1}{m}B$$

em que: **Eq3.** =

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

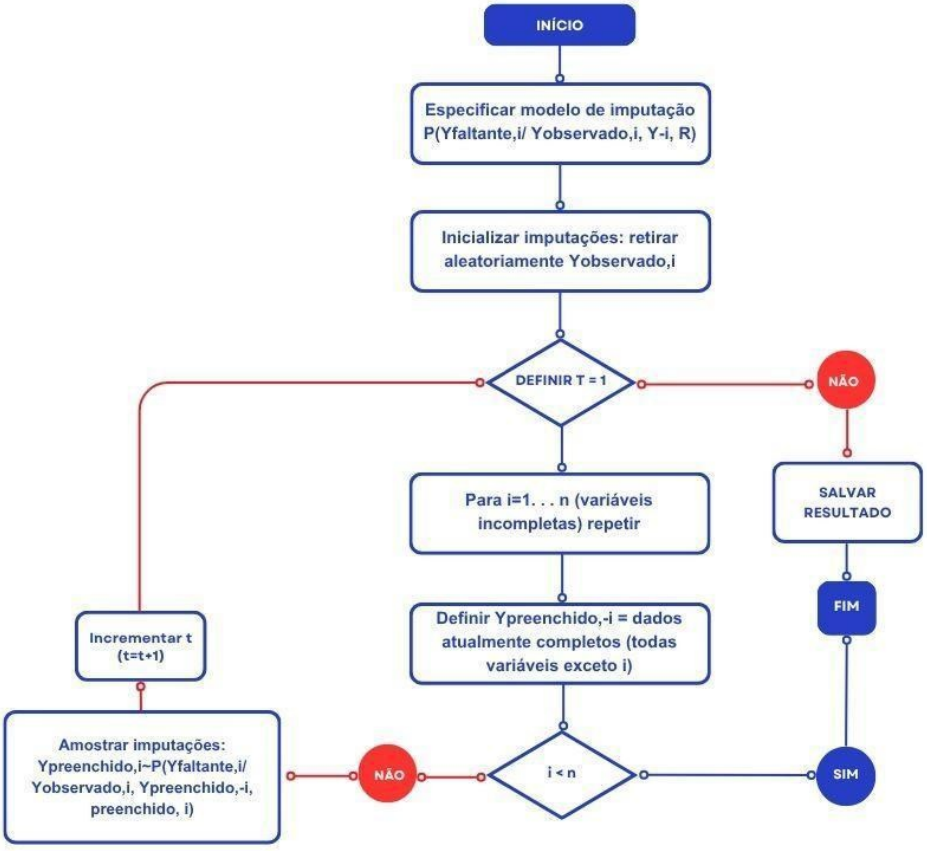
Existem vários métodos entre eles o *Sample, Predictive Mean Matching* (PMM), *Imputation by Bayesian linear regression* (Norm), porém o utilizado neste estudo foi o método de reamostragem *bootstrap* via algoritmo *Expectation Maximization* (EM), designado BootEM. A escolha do BootEM foi pelo fato de que em alguns estudos, analisaram que o

mesmo respondeu melhor ao preenchimento desses dados faltantes (Rodrigues, 2020; Rodrigues et al., 2023).

O BootEM utiliza a Multivariate Imputation by Chained Equations (MICE) que é um método de cadência que gera inúmeras imputações de dados multivariados incompletos por amostragem de Gibbs, técnica de simulação Bayesiana, que mostra distribuições condicionais com o desígnio de alcançar padrões da distribuição conjunta (Gandolfi, 2016).

O fluxograma do código MICE é demonstrado na Figura 3, sendo o número de iteração T comumente é mínimo entre 5 ou 10, o algoritmo provoca múltiplas imputações (m) executando os passos expostos adiante (Little e Rubin, 1987; Buuren e Oudshoorn, 2011).

Figura 3 - Fluxograma referente às etapas e loops seguidos pelo método MICE.



Fonte: Os autores, 2025

A metodologia BootEM imputa os dados inexistentes de uma série temporal por estimações provenientes pelos algoritmos EM implementados em várias amostras *bootstrap* dos elementos originais (Efron, 1994; Honaker; King; Blackwell, 2011).

Deste modo, pesquisas recentes na área de climatologia demonstraram que a IM respondeu ao fornecimento de dados faltantes pela imputação. Nos trabalhos de Marinho *et al.*, (2020) e Rodrigues (2020), a utilização do algoritmo de maximização do bootstrap serviu para imputar dados faltantes das estações meteorológicas entre 14% e 30% nas regiões litorâneas e no semiárido. Já no estudo de Lima *et al.*, (2024), foi realizada a análise de algoritmos EM para todas as regiões do Brasil para a velocidade média do vento, demonstrando-se assim cada particularidade que cada região possui.

Logo, a metodologia empregada foi realizada para diversas variáveis mencionadas nos estudos publicados, podendo-se assim ser utilizadas em outras pesquisas, para transcrever informações sobre determinada região. Portanto, objetiva-se entender o comportamento dessa IM nas variáveis de TMéd e URA nas Ecorregiões.

2.4 Análise espacial

O mapeamento das variáveis meteorológicas serviu para demonstrar como ocorre o comportamento das variáveis no transcorrer do espaço das ecorregiões, 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 Desktop* 3.24.3 e do *Golden Software Surfer* (versão 8.0 e 16.0), 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*.

Para a etapa de *krigagem*, foi ajustado um modelo de semivariograma linear, considerado o mais adequado para representar a estrutura de dependência espacial dos dados. O modelo apresentou os seguintes parâmetros: efeito pepita (*nugget*), patamar (*sill*) e alcance (*range*), os quais descrevem, respectivamente, a variabilidade em pequena escala, a variância total do processo e a distância até onde existe correlação espacial. A escolha do modelo linear se justifica pela sua capacidade de representar um crescimento contínuo da variância com a distância, característica observada nos dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Caatinga, ao longo das últimas décadas, tem experimentado uma série de eventos climáticos e anomalias. De janeiro de 1980 a dezembro de 2022, os principais eventos e anomalias climáticas incluem: Secas Extremas e Períodos de Seca: A Caatinga é notoriamente conhecida por seus períodos de seca prolongada. Secas severas ocorreram em vários anos, afetando gravemente a vegetação e os recursos hídricos da região. Exemplos de anos com secas severas incluem 1983, 1993, 1998, 2012 e 2016.

El Niño e *La Niña*: Estes fenômenos climáticos têm grande impacto na Caatinga. O *El* Niño tende a reduzir a quantidade de chuvas na região, exacerbando as condições de seca. Por outro lado, *La Niña* pode trazer períodos de chuvas acima da média. Os eventos de *El Niño* ocorreram, por exemplo, em 1982-1983, 1997-1998 e 2015-2016. Os eventos de *La Niña* ocorreram, por exemplo, em 1988-1989, 1999-2000 e 2010-2011.

3.1 Variação mensal

Após analisar as isotérmicas da temperatura média (TMéd) em um período abrangente de 1980-2022 (Figura 4, torna-se evidente a variação no comportamento térmico das ecorregiões em estudo. Este estudo visa descrever, de maneira direta, como essas regiões se comportam ao longo dos meses, destacando tanto as ecorregiões com altas quanto com baixas TMéd.

Durante os meses de janeiro, fevereiro e março (Figura 4 Jan, Fev, Mar), observa-se uma homogeneidade na distribuição da TMéd, com poucas variações em graus Celsius, mantendo um padrão consistente. As temperaturas variam de 22,0°C ao norte da EDSS até 23,0°C no sul da EDSS, oeste da ECCD e na EDSM, próxima à divisa com a ECCD. As TMéd mais altas são registradas ao norte da EDSS, em áreas específicas, com valores em torno de 29,0°C a 30,0°C, além da EDSF, ECIA, e leste da EDSM e noroeste da EPB, com médias entre 28,0°C e 29,0°C. Logo, Alves *et al.* (2021) em sua pesquisa destaca que os meses de fevereiro e março, apresentam percentuais de 20 % de anomalias positivas da temperatura no solo.

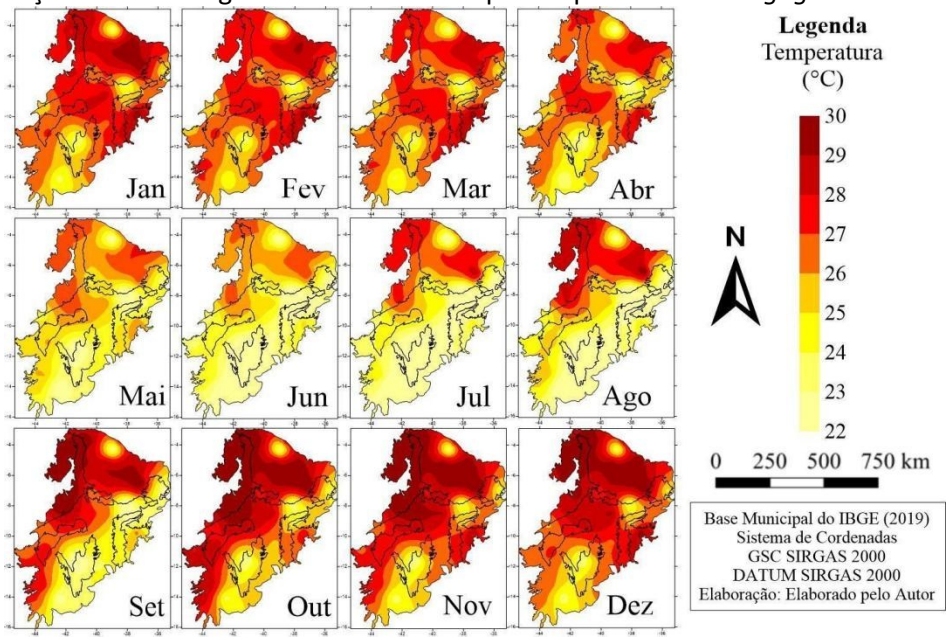
No mês de abril (Figura 4 Abr), as maiores TMéd são encontradas na EDSS, principalmente ao nordeste e noroeste, em pequenas áreas da ECCM, ECIA, EDSF, leste da EDSM e sudeste da ERC, próximas a 29,0°C. As TMéd mais baixas ocorrem ao norte da EDSS e ao sul, na divisa com a EDSM, e a oeste da ECCD, com 22,0°C.

Nos meses de maio, junho e julho (Figura 4 Mai, Jun, Jul), as maiores TMéd são observadas nas ecorregiões ao norte (EDSS) e oeste (ECCM e ECIA), variando entre 28,0°C e 29,0°C. As TMéd mais baixas estão ao norte da EDSS, nordeste e sul da EDSM e oeste da ECCD, entre 19,0°C e 21,0°C. Em agosto e setembro (Figura 4 Ago, Set), a distribuição espacial das TMéd é semelhante, com TMéd mais elevadas ao norte (EDSS) e oeste (ECCM e ECIA), variando entre 29,0°C e 30,0°C. Por outro lado, as TMéd mais baixas são encontradas entre leste e sul, com destaque para as ecorregiões (EDSM, ECCD, ERC e EPB), em áreas específicas, entre 19°C e 20°C.

Por fim, nos meses de outubro, novembro e dezembro (Figura 4 Out, Nov, Dez), embora haja similaridade, há uma pequena variação em dezembro que não segue o comportamento usual da região central e sul das ecorregiões. As TMéd nesses meses variam de 22,0°C a 31,0°C, com as mais elevadas no oeste (ECCM e ECIA) e norte (EDSS), entre 30,0°C e 31,0°C, enquanto as TMéd mais baixas podem ser observadas em uma pequena parte ao norte da EDSS, leste da EPB, ECCD e nordeste da EDSM, entre 22,0°C e 23,0°C. Segundo Alves *et al.* (2021) o pico de focos de calor em outubro e novembro coincide com o aumento térmico do final do ano, que antecede o retorno das chuvas e reforça a tendência de elevação das temperaturas na Caatinga.

A variação das TMéd na Caatinga está absolutamente associada à influência da climatologia regional, incluindo a radiação solar, o curso atmosférico e a sazonalidade das chuvas (Carvalho; Moura; Silva, 2018). Durante os meses mais quentes (outubro a março), as temperaturas elevadas são impulsionadas pela alta ocorrência solar e pela escassez de precipitações, características típicas do período seco (Querino; Júnior; Moura, 2022). Nos meses de maio a julho, o movimento de massas de ar seco e frio, associadas ao ZCAS, reduz as temperaturas. Já os meses de agosto e setembro refletem a estiagem prolongada e o crescimento da radiação solar. Os resultados apontam um padrão de aquecimento e intensificação da variabilidade térmica, compatível com estudos recentes sobre as mudanças climáticas no semiárido brasileiro, evidenciando o avanço de condições mais quentes e secas (Silva *et al*., 2016; Alves *et al*., 2021).

Figura 4 - Distribuição espacial da TMéd média acumulada mensal obtida por meio dos dados de estações meteorológicas do INMET e interpolada pelo método *krigagem ordinária*.



Fonte: Os autores, 2025

Portanto, nos meses de janeiro (Figura 5 Jan) e fevereiro (Figura 5 Fev), observam-se características semelhantes no comportamento da URA, com pequenas variações. Destaca-se que as menores URA variam de 56,0% a 65,0% na região central das ecorregiões, onde se localiza a EDSM e o sudeste da EDSS. Por outro lado, as maiores URA estão presentes nas extremidades, abrangendo as ecorregiões ECCM, ECIA, EDSS e EPB, entre 78,0% e 88,0%. Assim, os dados de umidade relativa do ar são de extrema importância para a realização do zoneamento agroclimático e para a determinação da adaptabilidade de animais e vegetais (Silva *et al.*, 2010).

Nos meses de março (Figura 5 Mar) e abril (Figura 5 Abr), observa-se uma distribuição similar, com a maior parcela de URA alta ao norte nas ecorregiões da EDSS, ECCM e ECIA, entre 85,0% e 91,0%, enquanto as menores URA estão presentes na parte norte da EDSM, sudoeste da ECCD e sudeste da EDSF, entre 60,0% e 65,0%.

Em maio (Figura 5 Mai) e junho (Figura 5 Jun), a URA fica em destaque, com as áreas norte e leste registrando as maiores URA e a sul e oeste, as menores. As ecorregiões que contêm URA acima de 85,0% são o norte e leste da EDSS, leste e sul da EPB e nordeste da ERC, enquanto os menores valores são encontrados a leste na ECIA e sudoeste da EDSM, entre 50,0% e 55,0%. Estes valores entre 50,0% e 55,0% no oeste corroboram estudos prévios que

associam a drástica redução da URA no período seco na região, intensificando o estresse hídrico e ocorrência de focos de calor acima da média (Alves *et al.*, 2021).

Agosto (Figura 5 Ago) é um mês de transição, com áreas específicas indo de leste para oeste, com maiores URA a leste, variando entre 80,0% e 90,0%, e menores URA a oeste, entre 47,0% e 52,0%, destacando-se as ecorregiões da ECIA, nordeste da EDSS, sudoeste da EDSM e EDSF.

Setembro (Figura 5 Set) e outubro (Figura 5 Out) são meses com URA predominantemente baixa, principalmente na região oeste das ecorregiões ECCM, ECIA, EDSM e EDSF, entre 39,0% e 43,0%, e em parte da EDSS abaixo de 50,0%. Os valores críticos de 39,0% a 43,0% no oeste representam o ápice da sazonalidade seca, padrão consistentemente documentado na literatura como fator determinante para a susceptibilidade à ignição de focos de calor (Bello; Freitas; Vieira, 2023). Entretanto, em pequenas áreas a leste, como na EPB na região nordeste, as URA podem chegar a 82,0%, enquanto nas demais áreas ficam entre 70,0% ao sul da EPB, ERC e EDSM, e uma pequena área ao norte da EDSS.

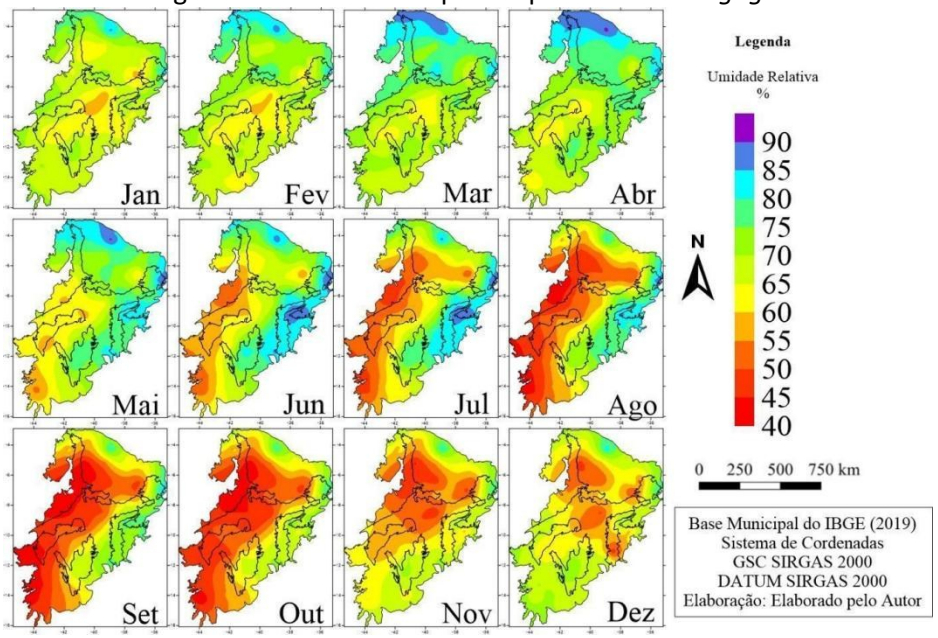
Por fim, novembro (Figura 5 Nov) e dezembro (Figura 5 Dez) apresentam regiões de URA similares, com as menores URA na EDSS a sudoeste e sudeste, EDSM ao norte, ECIA entre 44,0% e 48,0% e, apenas em dezembro, sul da ERC com 47,0%. Os maiores valores de URA registrados nesses meses são perceptíveis ao norte da EDSS e leste da EPB, com aproximadamente 83,0%.

Observa-se que a EPB e parte da região norte da EDSS, ECCM e ECIA apresentam as maiores URA em todos os meses, enquanto as menores URA ocorrem ao sudeste da EDSM, logo após a EPB, que atua como barreira devido ao seu elevado nível de altitude. Além disso, todas as ecorregiões mais a oeste apresentam URA menor, como ECCM (mais ao sul), ECIA (mais ao sul), EDSM e EDSF.

Logo, a URA no percurso dos meses durante o ano na Caatinga reflete as características climáticas da região, com acentuada influência do período de seca e do ordenamento espacial das chuvas. Entre janeiro e abril, a URA é mais alta nas extremidades, quanto ao norte da EDSS e nas ecorregiões leste, justamente à maior umidade da atmosfera associada à união da ZCIT (Monteiro, 2022). Já em maio e junho, a URA diminui nas áreas mais ao oeste devido ao início do período seco. Nos meses de setembro e outubro, a URA é mais baixa, especialmente no oeste, onde a falta de chuvas e o calor intenso predominam (Silva Dias;

Rozante; Machado, 2009). Em novembro e dezembro, o padrão de umidade permanece semelhante, com menores URA ao sudoeste e maiores no norte e leste.

Figura 5 - Distribuição espacial da URA média acumulada mensal obtida por meio dos dados de estações meteorológicas do INMET e interpolada pelo método *krigagem ordinária.*



Fonte: Os autores, 2025

3.2 Variabilidade interanual

Para compreender o comportamento anual das ecorregiões em relação à temperatura média (TMéd), realizou-se a análise das isotérmicas da TMéd (Figura 6). A média é uma medida amplamente utilizada para distinguir os parâmetros das variáveis, e na análise da temperatura, a TMéd é especialmente relevante.

Na análise das isotérmicas da TMéd da EDSS, observa-se uma variação entre 22,0°C e 30,0°C. Destaca-se uma pequena área na região norte com variações entre 22,0°C e 24,0°C, com destaque para o ano de 1986, que se estendeu a outras áreas. As maiores TMéd ocorrem a leste, com maior intensidade em 1998, atingindo 30,0°C, enquanto o restante da EDSS fica entre 27,0°C e 28,0°C.

A ECIA apresenta variação na TMéd entre 25,0°C e 27,0°C ao longo dos anos, com destaque para os anos de 1998, 2015 e 2016, que alcançaram até 30,0°C. A ECCM possui as TMéd mais elevadas entre 27,0°C e 30,0°C, com a maioria dos anos na faixa de 27,0°C a 28,0°C, mas com aumentos ao sul em anos específicos, atingindo 30,0°C.

Logo, a EPB, a parte nordeste registra as menores TMéd, entre 23,0°C e 24,0°C, enquanto a parte mais ao noroeste, próxima da divisa com a EDSS, registra as mais elevadas entre 27,0°C e 28,0°C, e o restante do território entre 25,0°C e 26,0°C. Esse gradiente térmico na EPB é um reflexo direto da influência do relevo, onde áreas mais elevadas, como planaltos, registram TMéd menores, um padrão para regiões semiáridas (Reboita *et al.*, 2016).

A ERC demonstra variações na TMéd entre 21,0°C e 23,0°C no nordeste, enquanto o restante varia entre 24,0°C e 27,0°C, com anos específicos alcançando 29°C, mostrando menores elevações no nordeste e maiores no sul. Assim, na EDSM, sendo a maior ecorregião, apresenta variações significativas na TMéd, variando de 20,0°C a 30,0°C. A região norte varia entre 20,0°C e 25,0°C no nordeste e entre 26,0°C e 28,0°C no noroeste, enquanto o leste varia entre 25,0°C e 28,0°C. O sul e sudeste registram entre 21,0°C e 23,0°C, e o sudoeste entre 25,0°C e 28,0°C. As TMéd consistentemente mais baixas no sul e sudeste da EDSM estão associadas a maiores altitudes e a uma maior cobertura vegetal residual, que modera o aquecimento da superfície, conforme observado em outros estudos sobre o bioma Caatinga (Lucena *et al*., 2021).

Na ECCD, as TMéd variam entre 20,0°C e 24,0°C, com áreas de menor TMéd a oeste e central em 20,0°C, e as mais elevadas a leste e norte, próximas de 24,0°C. Por fim, na EDSF, as TMéd variam entre 23,0°C e 27,0°C, sendo mais elevadas ao norte e nordeste entre 25,0°C e 27,0°C, com exceções de anos, e entre 23,0°C e 25,0°C na parte sudoeste e central.

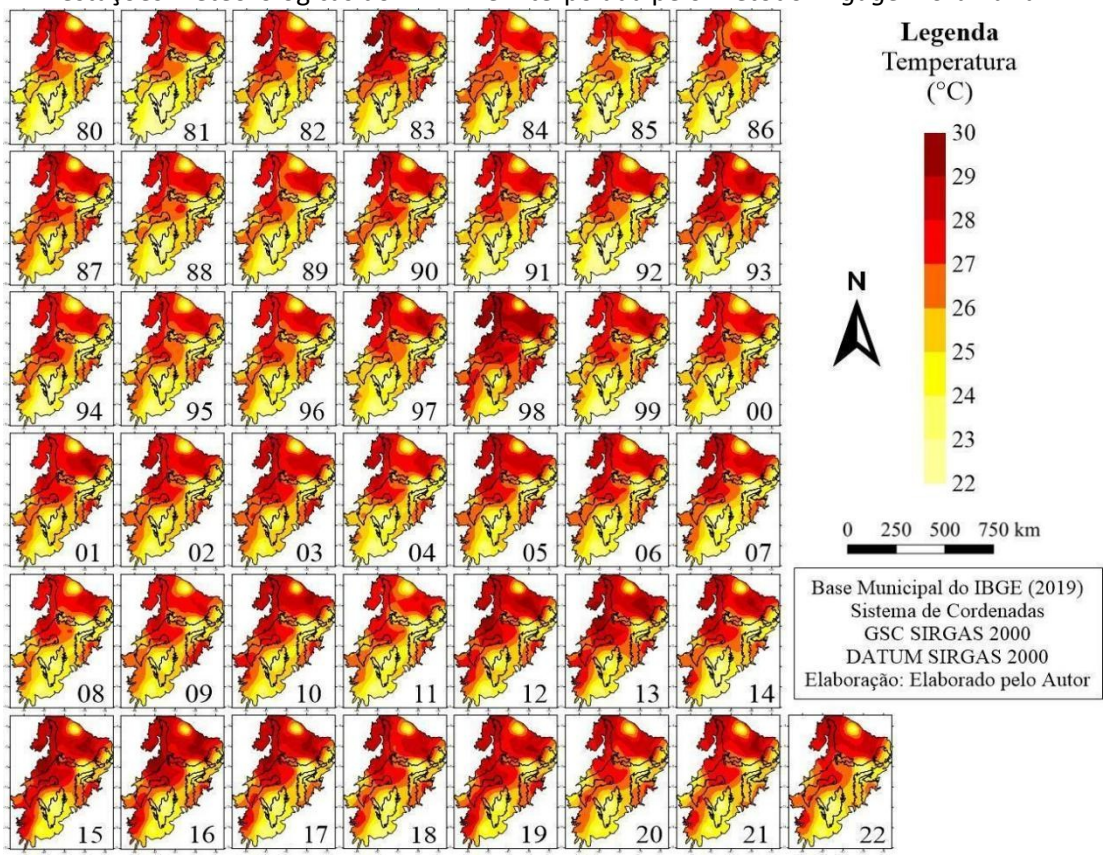
As variações na temperatura média (TMéd) nas diferentes ecorregiões, quanto evidenciado pelos anos de 1986, 1998, 2015 e 2016, refletem a ascendência de eventos climáticos quanto *El Niño* e ondas de calor, que podem aumentar as temperaturas em várias áreas, quanto o leste da EDSS e o sul da EDSM, alcançando ainda 30°C (Freire; Lima; Cavalcanti, 2011).

Além da variabilidade, o mecanismo de temperatura avaliado nas ecorregiões como EDSS e ECIA ao longo da série histórica apresenta projeções regionais de mudanças climáticas, que fornece um aumento da TMéd como tendência no semiárido brasileiro. Essas elevações têm impacto na vegetação e nos ecossistemas locais, afetando sua biodiversidade e a dinâmica de recursos hídricos (Artaxo, 2020).

Regiões com TMéd mais altas, quanto a ECCM e o norte da EDSF, enfrentam um perigo maior de secas e incêndios florestais. Em contrapartida, áreas com temperaturas mais amenas, quanto a ERC, enfrentam uma menor variação térmica, senão ainda desse modo

podem estar afetadas por extremos climáticos (Blank, 2015). Essas mudanças nas condições térmicas são essenciais para compreender a resiliência ecológica e os desafios de adaptação das ecorregiões.

Figura 6 - Distribuição espacial da TMéd média acumulada anual obtida por meio dos dados de estações meteorológicas do INMET e interpolada pelo método *krigagem ordinária*.



Fonte: Os autores, 2025

A análise das isotermas anuais da URA no período de 1980-2022 proporcionou uma compreensão do comportamento das ecorregiões ao longo dos anos, permitindo identificar aquelas com maiores e menores URA (Figura 7) e entender se houve diminuição ou aumento ao longo do tempo.

Na EDSS, a segunda maior em extensão territorial, as isotermas anuais variaram ao longo dos 43 anos, revelando regiões com características distintas. A parte noroeste apresentou altas URA entre 80,0% e 90,0%, com destaques para os anos de 2009, 2011 e 2019. Por outro lado, as menores URA foram registradas nas regiões sudoeste da EDSS, variando entre 60,0% e 53,0%, especialmente nos anos de 1980, 1981 e 1998. Além disso, a região leste, após a EPB, apresentou valores entre 65% e 58%, devido à sua altitude, enquanto o restante da EDSS variou entre 75,0% e 65,0% (Figura 7).

A ECIA mostrou-se uma das ecorregiões com menores URA, variando entre 60,0% e 40,0% na maior parte de seu território, com mínimos registrados nos anos de 1983 e 2012. No entanto, na parte norte, os valores foram mais elevados, variando entre 70,0% e 77,0%, com picos em 1994 e 1995 próximos dos 80,0%.

Por sua vez, a URA na ECCM demonstrou variações ao longo dos anos, com maiores valores ao norte e menores ao sul. Os máximos ao norte ficaram entre 75,0% e 85,0%, com picos em 1994, 2000 e 2011, enquanto na região sul variaram entre 50,0% e 59,0%, com mínimos em 1981, 2007 e 2012 (Figura 7). O contraste norte-sul na ECCM reflete a influência da ZCIT, cuja posição oscilante explica os picos de umidade no norte durante seu período chuvoso característico de fevereiro a maio (Paiva; Cavalcanti, 2011). A EPB destacou-se por apresentar as maiores URA em comparação com outras ecorregiões, variando entre 77,0% e 90,0% ao longo dos anos. O extremo nordeste registrou URA anualmente entre 85,0% e 90,0%, enquanto nas demais regiões variou entre 77,0% e 85,0%. Os anos de 2020 e 2022 apresentaram URA acima de 90% no leste e sudoeste em 2010 e 2011, enquanto os menores valores foram registrados em 1990, 1992 e 1998, entre 77,0% e 83,0%.

Na região sul, a URA foi menor, variando entre 75,0% e 60,0%, com destaque para os anos de 1993 e 2012. No entanto, em 1989, houve um caso excepcional com URA elevada, chegando a 90,0%. No geral, a ecorregião pode ser considerada com altas URA, como evidenciado nos anos de 2000 e 2022, em que a maioria do território registrou valores acima de 8,05% (Figura 7).

A EDSM, sendo a maior em termos territoriais, apresentou várias características na URA ao longo dos anos. Os menores valores foram registrados na parte norte-noroeste, entre 55,0% e 45,0%, com mínimos em 1982, 1993 e 2012. Já na parte sul e sudoeste, os valores foram abaixo de 50,0%, com destaque para 2015, 2016 e 2019. A intensificação de URA abaixo de 50% na EDSM consolida o balanço hídrico negativo do semiárido, onde a precipitação irregular e a alta evapotranspiração potencializam a aridez (Júnior *et al.*, 2021; Lucena *et al*., 2021). Por outro lado, na região leste, sudeste e sudoeste, a URA foi alta, variando entre 60,0% e 80,0%, com aumento nos últimos anos de 2020 a 2022 e consequente diminuição a oeste (Figura 7).

Na ECCD, a URA permaneceu entre 77,0% e 85,0% ao longo dos anos, com variações menores nos anos de 1998 ao norte e 2012 a oeste. Os anos com URA acima de 85,0% foram 1997 e 2020 a oeste. Portanto, Meira, Almeida e Veiga (2024) destacam que mesmo em anos

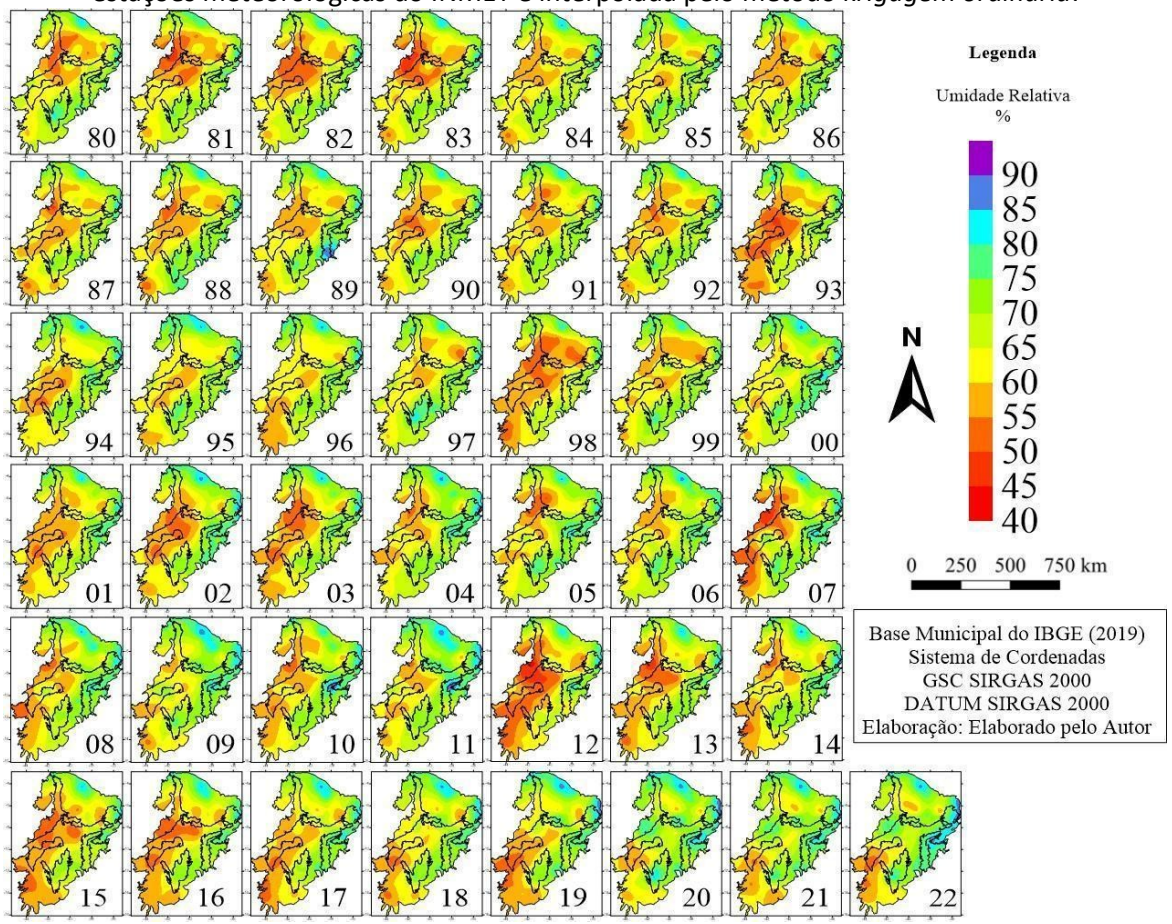
de variação, sugere uma dinâmica local de umidade distinta de regiões áridas, onde a escassez hídrica limita a umidade atmosférica apesar do calor abundante.

Por fim, a URA da EDSF apresentou modificações ao longo dos anos, com URA menores ao nordeste desde 1980, enquanto a partir de 1991, a URA diminuiu ao sudoeste, permanecendo elevada apenas na região central. As URA elevadas variaram entre 60% e 75%, enquanto as menores ficaram entre 55,0% e 45,0%, destacando-se os anos de 1993 e 2012 (Figura 7). Os fatores ambientais no qual influenciaram as variações na URA nas ecorregiões ao longo dos anos de 1980-2022 estão inteiramente relacionados aos sistemas atmosféricos em ação, quanto o *El Niño* ou *La Niña*, além de massas de ar quente e úmido.

Entretanto, a tendência de dessecação observada de forma mais consistente nas ecorregiões do oeste (EDSF, EDSM) ao longo das décadas pode ser um indicativo de mudanças nos padrões de circulação atmosférica em resposta ao aquecimento global, resultando em uma expansão das condições semiáridas. Durante os anos de *El Niño*, como em 1998 e 2012, a intensificação das temperaturas e o aumento da aridez reduziram a URA, notadamente nas regiões mais a sul e sudeste (Santos; Ferreira; Santana, 2023).

Em contrapartida, com a ação do *La Niña*, observada entre 1994 e 2011, a maior precipitação favorece o progresso da URA, especialmente nas áreas ao norte e leste (Araújo *et al*., 2013). A sintonia desses fenômenos com a topografia, quanto às regiões de maior altitude e a proximidade de áreas de vegetação densa, ainda contribuiu para a alternação nas URA no decorrer dos anos (Silva *et al*., 2003).

Figura 7 - Distribuição espacial da URA média acumulada anual obtida por meio dos dados de estações meteorológicas do INMET e interpolada pelo método *krigagem ordinária*.



Fonte: Os autores, 2025

O quadro 1 apresenta a caracterização detalhada da variabilidade climática das oito ecorregiões, fornecendo dados importantes sobre TMéd e URA mensal. Esses dados são importantes para compreender as diferenças climáticas regionais e sua interferência nos ecossistemas locais. Ao avaliar e descrever esses dados, é possível reconhecer melhor os padrões climáticos e suas interferências para a administração ambiental e o planejamento de ações de adaptação.

Quadro 1 - Caracterização da variabilidade climática das oito Ecorregiões.

Ecorregião	TMéd	URA
ECCD	**Mensal**: TMéd varia de 20°C a 24°C, com menores valores ao centro e oeste (20°C) e mais elevados ao leste e norte (24°C). No inverno (junho/julho), TMéd mais baixas (19°C). **Anual**: A TMéd vai de 20°C a 24°C. Logo, as menores TMéd ocorreram nos anos de 1986 e 1998, com variação entre 20°C e 22°C.	**Mensal**: As maiores URA ocorrem entre janeiro e fevereiro (77%-85%) e as menores em setembro e outubro (39%-43%). **Anual**: Variabilidade baixa, URA constante entre 77% e 85%, com picos em 1997 e 2020 a oeste.
ECCM	**Mensal**: A maioria das TMéd varia entre 27°C a 30°C. Logo, junho e julho com TMéd mais amenas (21°C). **Anual**: Varia entre 27°C e 30°C, com 1998 e 2015 destacando-se com valores mais altos (30°C), e as TMéd mais baixas em 1986.	**Mensal**: As maiores URA são em março e abril (85%-91%) e as menores em setembro e outubro (39%-43%). **Anual**: URA mais alta ocorre ao norte, com máximos entre 75%-85% em 1994, 2000 e 2011, e mínimos ao sul (50%-59%) nos anos de 1981, 2007 e 2012.
ECIA	**Mensal**: A TMéd varia entre 28°C e 29°C, com variações sazonais. As TMéd mais amenas ocorrem em junho/julho (21°C). **Anual**: A TMéd varia entre 25°C e 30°C. Anos como 1998, 2015 e 2016 atingem até 30°C.	**Mensal**: A maior URA ocorre nos meses de março e abril (85%-91%) e as menores em setembro e outubro (39%-43%). **Anual**: A Maior URA foi ao norte (70%-77%), com picos em 1994 e 1995, e menores na maior parte da ecorregião (60%-40%).
EDSM	**Mensal**: A variação de TMéd entre 19°C e 30°C. Logo, os meses de inverno (junho/julho) têm TMéd menores (19°C). **Anual**: A TMéd varia entre 20°C e 30°C. Os anos mais quentes têm registros entre 27°C e 30°C. Menores valores (20°C) no sul da ecorregião.	**Mensal**: As maiores URA são entre janeiro e fevereiro (56%-65%) e as menores entre setembro e outubro (39%-43%). **Anual**: Os menores valores ao norte-noroeste (45%-55%), especialmente em 1982, 1993 e 2012, e maiores ao leste e sudeste (60%-80%), com aumento em 2020-2022.
EDSS	**Mensal**: A TMéd varia de 22°C a 30°C. Maior variação no norte, com temperaturas mais altas de 29°C a 30°C nos meses quentes (outubro-março). **Anual**: TMéd de 22°C a 30°C, com 1998 destacando-se com TMéd mais altas (30°C) e 1986 com menores (22°C a 24°C).	**Mensal**: As maiores URA são em março e abril (85%-91%) e as menores em setembro e outubro (39%-43%). **Anual**: A Maior URA são a norte e nordeste (80%-90%), ocorrendo entre os anos de 2009, 2011 e 2019, e menores no sudoeste (53%-60%) nos anos de 1980, 1981 e 1998.
EDSF	**Mensal**: TMéd variando entre 23°C e 27°C. Os meses mais quentes (novembro-dezembro) chegam a 30°C. **Anual**: TMéd variando entre 23°C e 27°C. O ano mais elevado foi 1998, com 27°C na maior parte do território.	**Mensal**: A maior URA são em janeiro e fevereiro (78%-88%) e as menores entre setembro e outubro (39%-43%). **Anual**: A URA é mais elevada ao norte e leste, com máximos entre 77%-90% como ocorreu em 2020 e 2022, e as menores no sul (60%-75%) nos anos de 1993 e 2012.
EPB	**Mensal**: TMéd variam de 23°C a 28°C, com as mais altas observadas no noroeste em média 28°C. **Anual**: A TMéd é estável, variando entre 25°C e 28°C, com os maiores valores em anos como 1998 e 2015.	**Mensal**: Maior URA em janeiro e fevereiro (78%-88%) e menores em setembro e outubro (39%-43%). **Anual**: A URA constante alta, entre 77%-90%, com picos em 2020 e 2022, e mínimos em 1990, 1992 e 1998.
ERC	**Mensal**: A TMéd entre 21°C e 29°C. Os menores valores no nordeste são de 21°C e ao sul 29°C. **Anual**: A TMéd variando de 21°C a 29°C, com menor TMéd em anos como 1986 (21°C).	**Mensal**: A Maior URA ocorre entre janeiro e fevereiro (78%-88%) e as menores entre setembro e outubro (39%-43%). **Anual**: A maior URA foi ao norte (70%-77%) e a menor no sul (44%-47%) nos anos de 1990 e 2012.

Fonte: Os autores, 2025

A caracterização da variabilidade climática das oito ecorregiões (Tabela 1) revela padrões distintos de TMéd e URA no decorrer dos anos de 1980-2022, assim como na sua variabilidade mensal. Observa-se que a URA acompanha essa dinâmica, sendo mais elevada nos primeiros meses do ano e menor na transição para o período seco.

Deste modo, há uma tendência na variabilidade interanual, influenciada por fenômenos como o *El Niño*, que impactam as temperaturas. Nos anos mais quentes, como exemplo os anos de 1998 e 2015, às TMéd foram intensas, reforçando uma medida de aquecimento progressivo (Duarte; Ribeiro, 2023).

Já os eventos de seca mais elevados, registrados em 1983 e 1998, evidenciam a sensibilidade climática dessas regiões. As tendências observadas de aumento de temperatura em ecorregiões como EDSS e ECIA, combinadas com a redução da URA no oeste da EDSM e EDSF, estão em consonância com projeções de mudanças climáticas globais para regiões semiáridas. O padrão de aquecimento não homogêneo e a intensificação da aridez em áreas específicas determinam uma possível influência ao longo do tempo, que podem servir e aumentar a frequência e intensidade de eventos extremos, tais como as secas e ondas de calor relatadas na série histórica no período de 42 anos. Essas variações climáticas ressaltam a imprescindibilidade de estratégias adaptativas para acometer impactos sobre os ecossistemas e as populações que dependem dos recursos naturais locais (Carlos; Cunha; Pires, 2019).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desse estudo revelaram uma diversidade significativa na disposição geográfica das ecorregiões. Mesmo estando próximas geograficamente, essas regiões mostram padrões climáticos diferentes. A temperatura média (TMéd) variou de 22,0°C a 30,0°C e a umidade relativa do ar (URA) mostrou uma considerável flutuação ao longo dos meses e anos, variando entre 40,0% e 90,0%.

Os achados ressaltam a pluralidade e a complexidade das condições climáticas nas diversas ecorregiões que foram analisadas. A grande diversidade de URA e temperaturas indica que, ainda que em regiões próximas, as condições ambientais podem ser bem distintas.

Essa variação pode ser oriunda por características como a topografia, vegetação predominante, a ocorrência de corpos de água, entre outros. Entender essas mudanças é primordial para a formulação de políticas públicas de gestão ambiental e adaptação às

mudanças climáticas, com o objetivo de proteger os ecossistemas e o bem-estar da população presente nas ecorregiões.

Através da avaliação de 42 anos de dados, foi possível observar tendências climáticas variáveis nas ecorregiões. A EDSS e o ECIA, deste modo, configuram-se tendências de aumento mais notado na TMéd, principalmente nos anos de forte ocorrência do *El Niño*, como 1998 e 2016. Por outro lado, ecorregiões como a ECCD demonstraram maior estabilidade térmica, descrevendo que as tendências de aumento de temperatura não são homogêneas em toda a Caatinga.

A análise da URA revelou uma tendência clara de diminuição nas ecorregiões do oeste, como EDSF e partes da EDSM, principalmente durante os meses de seca (setembro e outubro). Esta tendência, relacionada à elevação da temperatura em algumas ecorregiões, aumenta o risco de aridificação e desertificação, influenciando sobretudo na disponibilidade da água e nos ecossistemas locais. Estas tendências são primordiais para a formulação de ações de gerenciamento hídricos e adaptação e mitigação às mudanças climáticas.

Por fim, a constatação dessas tendências térmicas e higrométricas caracterizadas por ecorregião permite compreender a dinâmica ecossistêmica ao interligar, sobretudo, a elevação de temperatura na EDSS e ECIA ao potencial crescimento da evapotranspiração e estresse hídrico. Essas informações são primordiais para a preservação da biodiversidade, pois orientam a criação de estratégias sustentáveis customizadas para as vulnerabilidades de cada território. No futuro, esses dados alimentarão modelos preditivos mais precisos, permitindo uma resposta mais eficaz a fenômenos extremos. Portanto, o monitoramento climático contínuo é indispensável para equilibrar o desenvolvimento humano e a conservação ambiental.

5. REFERÊNCIAS

ÁLVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

ALVES, J. J. Geoecologia da Caatinga no semi-árido do nordeste brasileiro. **CLIMEP-Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 2, n. 1, 2007.

ALVES, C. P. *et al*. Influência da temperatura e umidade relativa do ar no consumo alimentar de suínos no semiárido brasileiro**. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 4, p. 4263-4269, 2020. DOI: 10.34188/bjaerv3n4-122

ALVES, J. M. B. *et al.* Um estudo de focos de calor no bioma Caatinga e suas relações com variáveis meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 513-527, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863630015

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

ANDRADE, E. M. *et al.* Investigation of the maximum and minimum temperatures in the semiarid region of northeastern Brazil. **REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE**, v. 5, n. 2, 2011.

ANDRADE, R. V. D. **História natural de uma nova espécie de formigas do gênero Thaumatomyrmex mayr, 1887 (insecta, hymenoptera, formicidae, ponerinae, ponerini) das dunas interiores do médio Rio São Francisco, Casa Nova, Bahia, Brasil**. 2021, 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, 2021

ARAÚJO, R. G. *et al.* A influência do evento El Niño-Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazonica,** v. 43, p. 469-480, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000400009

ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos avançados,** v. 34, p. 53-66, 2020. DOI: 10.1590/s0103-4014.2020.34100.005

BELLO, J. P.; FREITAS, A. C. V.; VIEIRA, E. M. Uma Análise do risco de fogo para o bioma Caatinga. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 734-759, 2023. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16693

BLANK, D. M. P. O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas. **Mercator (Fortaleza),** v. 14, n. 2, p. 157-172, 2015. DOI: https://doi.org/10.4215/RM2015.1402.0010

BUUREN, S. V. G.; OUDSHOORN, Karin. Mice: Multivariate imputation by chained equations in R. **Journal of statistical software**, American Statistical Association, Vol. 45, p. 1-67. 2011. DOI: https://doi.org/10.18637/jss.v045.i03

CARLOS, S. M.; CUNHA, D. A.; PIRES, M. V. Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural,** v. 57, n. 3, p. 455-471, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/1806-9479.2019.187600

CARVALHO, H. F. S.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F. Fluxos de radiação e energia em caatinga preservada e cana-de-açúcar no Semiárido. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 452-458, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-7786333005

CUNHA, A. P. M. A. *et al.* Changes in the spatial–temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast. **Atmospheric Science Letters**, v. 19, n. 10, p. e855, 2018.
DOI: https://doi.org/10.1002/asl.855

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

DE MEDEIROS, F. J.; DE OLIVEIRA, C. P.; TORRES, R. R. Climatic aspects and vertical structure circulation associated with the severe drought in Northeast Brazil (2012–2016). **Climate Dynamics**, v. 55, p. 2327-2341, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s00382-020-05385-1

DE MEDEIROS, F. J.; DE OLIVEIRA, C. P. Assessment of dry and heavy rainfall days and their projected changes over Northeast Brazil in Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 models. **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8665-8686, 2022. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.7759

DE QUEIROZ, M. G. *et al.* Partitioning of rainfall in a seasonal dry tropical forest. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 20, n. 2, p. 230-242, 2020.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.02.001

DUARTE, M. L.; RIBEIRO, A. Influência do El Niño e La Niña na produtividade de plantios de Eucalipto em distintas regiões no Brasil. **Ciência Florestal**, v. 33, p. e61334, 2023. DOI: https://doi.org/10.5902/1980509861334

EFRON, B. Missing data, imputation, and the bootstrap. **Journal of the American Statistical Association**, v. 89, n. 426, p. 463-475, 1994. DOI: https://doi.org/10.1080/01621459.1994.10476768

ENGELS, J. M.; DIEHR, P.. Imputation of missing longitudinal data: a comparison of methods. **Journal of clinical epidemiology**, v. 56, n. 10, p. 968-976, 2003.
DOI: https://doi.org/10.1016/S0895-4356(03)00170-7

FINAN, T. J.; NELSON, D. R. Making rain, making roads, making do: public and private adaptations to drought in Ceará, Northeast Brazil. **Climate research**, v. 19, n. 2, p. 97-108, 2001. DOI: doi:10.3354/cr019097

FREIRE, J. L. M.; LIMA, J. R. A.; CAVALCANTI, E. P. Análise de aspectos meteorológicos sobre o Nordeste do Brasil em anos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 1, p. 429-444, 2011.

GANDOLFI, M. **Imputação múltipla via algorítmo MICE e método IMLD**. 2016, 101 p. Dissertação de Mestrado em Bioestatística pela Universidade Estadual de Maringá, 2016.

HONAKER, J.; KING, G.; BLACKWELL, M. Amelia II: A program for missing data. **Journal of statistical software,** v. 45, p. 1-47, 2011. DOI:10.18637/jss.v045.i07

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema Costeiro-Marinho 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.

JÚNIOR, J. B. C. *et al.* Considerações sobre a evapotranspiração estimada pelo algorítimo SEBAL no semiárido brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 7, n. 1, p. 45-51, 2021.

LIMA, J. R. S. **Balanço hídrico e de energia em solo cultivado e sem vegetação, para as condições do brejo paraibano**. 2004. Tese. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

LIMA, G. C. *et al.* Evolution of wind speed observed in Brazil between 1961 and 2020. **International Journal of Climatology,** v. 44, n. 6, p. 1932-1954, 2024. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.8433

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.

LUCENA, R. L. *et al.* Temperatura e sensação térmica na depressão sertaneja: análise da região do Seridó no semiárido brasileiro. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 11, p. 85-97, 2021. DOI: http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.011.0009

MATEUS, C.; POTITO, A.. Long-term trends in daily extreme air temperature indices in Ireland from 1885 to 2018. **Weather and Climate Extremes**, v. 36, p. 100464, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100464

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change,** v. 129, p. 103-115, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, p. 1189-1200, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8

MARINHO, K. F. S. *et al.* Climate profiles in Brazilian microregions. **Atmosphere,** v. 11, n. 11, p. 1217, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/atmos11111217.

MEIRA, W. N.; ALMEIDA, F. S.; VEIGA, A. J. P. Climatic features in the Serra do Sincorá geopark, in Chapada Diamantina, in the state of Bahia, Brazil. **LUMEN ET VIRTUS,** v. 15, n. 38, p. 555-568, 2024. DOI:https://doi.org/10.56238/sevened2024.018-008

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Biomas/Caatinga Brasília: MMA, 2019. Disponível em: https://www.mma.gov.br/biomas/Caatinga.html Acesso em: 12 mar. 2024.
» https://www.mma.gov.br/biomas/Caatinga.html

MONTEIRO, J. *et al.* A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino. **Revista brasileira de Geografia Física**, v. 15, p. 312-332, 2022.

MORO, M. F. *et al.* Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. Rodriguésia, v. 66, p. 717-743, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/2175-7860201566305

MORO, M. F. *et al.* 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, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of the atmospheric sciences**, v. 38, n. 12, p. 2653-2675, 1981.
DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0469(1981)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2

MUTTI, P. R. *et al*. Long-term meteorological drought characterization in the São Francisco watershed, Brazil: A climatic water balance approach. **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8162-8183, 2022. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.7701

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

PAIVA, S. C.; CAVALCANTI, E. P. Fluxos de Calor Latente e Sensível à Superfície em Caatinga: Estudo Observacional e de Simulação com o BRAMS no Início do Período de Secas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 677-691, 2011.

QUERINO, C. A. S.; JÚNIOR, J. M. L.; MOURA, M. A. L. Balanço de Radiação no Bioma Caatinga no Semiárido Alagoano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 06, p. 2715-2729, 2022.

REBOITA, M. S. *et al.* Causas da semi-aridez do sertão nordestino. **Revista brasileira de Climatologia**, v. 19, 2016.

RODRIGUES, D. T. *et al.* Spatial and temporal assessment of the extreme and daily precipitation of the Tropical Rainfall Measuring Mission satellite in Northeast Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 41, n. 2, p. 549-572, 2020.
DOI: https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1643940

RODRIGUES, D. T. *et al.* 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

ROCHA JÚNIOR, R. L. *et al.* Bivariate assessment of drought return periods and frequency in brazilian northeast using joint distribution by copula method. **Geosciences,** v. 10, n. 4, p. 135, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/geosciences10040135

SANTOS, C. A. C. *et al.* Spatio-temporal patterns of energy exchange and evapotranspiration during an intense drought for drylands in Brazil. **International Journal of Applie**d Earth Observation and Geoinformation, v. 85, p. 101982, 2020.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101982

SANTOS, P. H. N.; FERREIRA, W. S.; SANTANA, B. L. P. Repercussões do El Niño e La Niña na precipitação do estado de Sergipe-Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia,** v. 33, p. 409-437, 2023. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v33i19.17395

SANTOS, R. S. **DOMÍNIO SEMIÁRIDO DA CAATINGA: UMA PROPOSTA TIPOLÓGICA E REGIONAL ATRAVÉS DA CARTOGRAFIA DE PAISAGEM**. 2024, 259 p. Tese em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco, 2024.

SILVA, A. P. L. M. *et al.* MODELAGEM ATMOSFÉRICA NO NORDESTE BRASILEIRO. **Anais** do XV SBRH - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003.

SILVA DIAS, M. A. F.; ROZANTE, J. R.; MACHADO, L. A. Complexos convectivos de mesoescala na América do Sul. **Tempo e Clima no Brasil**, 2009.

SILVA, P. C. G. *et al.* Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. (orgs.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 17–48.

SILVA, P. *et al.* Future projections of fire occurrence in Brazil using EC-Earth climate model. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 3, p. 288-297, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-778631320150142

SILVA, J. M. C. *et al.* Sustainable development in the Caatinga. **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**, p. 445-458, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_18

SILVA, P. E.; ANDRADE, L. M. B.; REIS, J. S. Regiões pluviométricas e saúde no Rio Grande do Norte. Confins**. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia**, n. 34, 2018. DOI: https://doi.org/10.4000/confins.12855

SILVA, J. S. *et al*. Climatology and significant trends in air temperature in Alagoas, Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology,** v. 151, n. 3, p. 1805-1824, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-023-04358-8

VALE, T. M. C. do *et al.* Climate and water balance influence on agricultural productivity over the Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 155, n. 2, p. 879-900, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-023-04664-1

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

XIMENES, A. C.; AMARAL, S.; VALERIANO, D. M. O conceito de ecorregião e os métodos utilizados para o seu mapeamento. **Geografia**, v. 35, n. 1, p. 219-227, 2010

ZHOU, X. H.; ECKERT, G. J.; TIERNEY, W. M. Multiple imputation in public health research. **Statistics in medicine,** v. 20, n. 9-10, p. 1541-1549, 2001.
DOI: https://doi.org/10.1002/sim.689