Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
Editora

# VARIABILIDADE DA TEMPERATURA DO AR NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO NORTE, NO ESTADO DA PARAÍBA

*Temperature variability in the Paraíba do Norte river basin, in the state of Paraíba*

*Variabilidad de la temperatura do ar en la cuenca del río Paraíba do Norte, en el estado de Paraíba*

**Maxsuel Bezerra do Nascimento**
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
maxsuel10gba@hotmail.com

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

**José Ludemario da Silva Medeiros**
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)
E-mail: joseludemariomedeiros@gmail.com

**Laercio Leal dos Santos**
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)
laercioleal@servidor.uepb.edu.br

**Resumo:** Eventos extremos de tempo ou clima são anormalidades que ocorrem em escalas de tempo que podem variar de dias a milênios. Os eventos extremos de curta duração têm tido maior interesse para os cientistas na área de climatologia, devido aos modelos climáticos. O objetivo principal deste trabalho é avaliar a variabilidade da Temperatura do ar da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba no Estado da Paraíba (BHRPB), através da análise espaço-temporal mensal e anual da sua Temperatura mínima do ar (TMín), Temperatura máxima do ar (TMáx) e Temperatura média do ar (TMéd), identificando-se assim suas oscilações que impactam no período seco ou chuvoso. Os dados meteorológicos utilizados nesse estudo foram disponibilizados por um projeto conjunto entre a Universidade do Texas (EUA) e Universidade Federal do Espírito Santo (Brasil). A análise temporal anual da TMín, TMáx e TMéd

demostrou similaridades entre todas três, constatou-se m aumento em todas as variáveis com destaque para a TMáx, atingindo picos de 36°C. Os resultados ajudam a compreender como a Temperatura do ar se comporta no decorrer dos anos, projetando-se assim cenários futuros, ajudando no planejamento ambiental de cada município, em políticas ambientais e climáticas.
**Palavras-chave:** Espaço, Temporal, Planejamento.

**Abstract:** Extreme weather or climate events are abnormalities that occur on time scales that can range from days to millennia. Short-term extreme events have been of greater interest to scientists in the area of climatology, due to climate models. The main objective of this work is to evaluate the variability of the air temperature of the Paraíba River Basin in the State of Paraíba (BHRPB), through monthly and annual spatio-temporal analysis of its minimum air temperature (TMín), maximum air temperature (TMáx) and Average air temperature (TMéd), thus identifying their fluctuations that impact the dry or rainy season. The meteorological data used in this study were made available by a joint project between the University of Texas (USA) and the Federal University of Espírito Santo (Brazil). The annual temporal analysis of TMín, TMáx and TMéd demonstrated similarities between all three, an increase was found in all variables, with emphasis on TMáx, reaching peaks of 36°C. The results help to understand how air temperature behaves over the years, thus projecting future scenarios, helping in the environmental planning of each municipality, in environmental and climate policies.
**Keywords:** Space, Time, Planning.

**Resumen:** Los fenómenos meteorológicos o climáticos extremos son anomalías que ocurren en escalas de tiempo que pueden variar desde días hasta milenios. Los eventos extremos de corta duración han sido de mayor interés para los científicos del área de climatología, debido a los modelos climáticos. El principal objetivo de este trabajo es evaluar la variabilidad de la temperatura del aire de la Cuenca del Río Paraíba en el Estado de Paraíba (BHRPB), a través de análisis espacio-temporales mensuales y anuales de su temperatura mínima del aire (TMín), temperatura máxima del aire ( TMáx) y Temperatura promedio del aire (TMéd), identificando así sus fluctuaciones que impactan en la temporada seca o lluviosa. Los datos meteorológicos utilizados en este estudio estuvieron disponibles gracias a un proyecto conjunto entre la Universidad de Texas (EE.UU.) y la Universidad Federal de Espírito Santo (Brasil). El análisis temporal anual de TMín, TMáx y TMéd demostró similitudes entre los tres, se encontró un aumento en todas las variables, con énfasis en TMáx, alcanzando picos de 36°C. Los resultados ayudan a comprender cómo se comporta la temperatura del aire a lo largo de los años, proyectando así escenarios futuros, ayudando en la planificación ambiental de cada municipio, en las políticas ambientales y climáticas.
**Palabras clave:** Espacio, tiempo, planificación.

Submetido em: 20/09/2024
Aceito para publicação em: 10/07/2024
Publicado em: 19/07/2024

## 1. INTRODUÇÃO

Os elementos e fenômenos meteorológicos dependem de vários processos naturais e mostram flutuações em diferentes escalas temporais e espaciais (SANTOS et al., 2019). Logo, os eventos extremos de tempo ou clima são anormalidades que ocorrem em escalas de tempo que podem variar de dias a milênios (MARENGO, 2009). Os eventos extremos de curta duração têm tido maior interesse para os cientistas na área de climatologia, devido os modelos climáticos, em alguns casos, indicam maiores frequências e intensidades dos eventos (MARENGO; TORRES; ALVES, 2016).

Por outro lado, mudanças na Temperatura do ar podem apontar alterações climáticas, sendo assim, a avaliação dessa variável torna-se essencial visto que os efeitos da temperatura do ar sob a égide das mudanças climáticas, pois, embora vários pesquisadores tenham previsto que o Aquecimento Global levará a um aumento da mortalidade relacionada ao calor (Yin et al., 2019). “No entanto, as oscilações das tendências térmicas, bem como seus efeitos sociais, são distintas em cada região do planeta e podem diferir da tendência global” (MINUZZI; CARAMORI; BORROZINO, 2011).

Sendo assim, a Temperatura do ar é, por meio dos seus dados climáticos, e o que mais intervém na fisiologia da flora e fauna, uma vez que a influência ocorre de forma direta sobre estes seres (STRECK et al., 2011; DE OLIVEIRA, 2023). Assim, o conhecimento prévio desta variável atmosférica é essencial para o planejamento agrícola e ambiental de estudos de aptidão e cultivos e cultivares para diferentes regiões (DE FRANÇA; DE MEDEIROS, 2020; DUARTE; DE MEDEIROS; MENEZES, 2020).

Portanto, a desordenada ocupação do ambiente urbano em determinados locais, extraindo a vegetação e impermeando as ruas com asfalto, edificações de prédios, e o crescente número de veículos, origina as chamadas ilhas de calor (NASCIMENTO; SILVA, 2023, p.2). Deste modo, impacta diretamente na elevação de Temperatura do ar de uma determinada localidade, principalmente da Temperatura mínima do ar.

A análise regional e atual da Temperatura do ar é fundamental em estudos que visam, por exemplo, projetar cenários climáticos futuros e prever possíveis impactos relacionados às mudanças climáticas. Estudos de caso evidenciam a semelhança em meio a estabilidade atmosférica e as ilhas de calor urbana em cidades de pequeno e médio porte do ambiente

tropical que aparecem altercações de temperatura do ar pronunciadas em circunstância de calmaria atmosférica (CARDOSO et al.,2017). Além disso, entre outras consequências na Temperatura do ar, que é uma variável climática que influencia diferentes processos biológicos, físicos e químicos no ecossistema natural, podem causar mudanças na disponibilidade de água no solo (NEVES et al., 2016).

O clima pode ser entendido pela interação dos elementos abióticos (relevo, precipitação, Temperatura do ar, solo e umidade relativa do ar (URA), latitude, continentalidade/maritimidade, correntes marítimas) e biológico (vegetação), na formação de uma determinada área (FRANCISCO et al., 2020). Portanto, é necessário entender como cada componente abiótico e biótico interfere ou se correlaciona diretamente na formação do clima de cada ambiente, seja ele nos aspectos naturais ou em um ambiente construído (cidades), verificando-se assim quais modificações ocorrem naquele local.

Sendo assim, a região do Nordeste Brasileiro (NEB) é uma das regiões mais problemáticas em termos abióticos e bióticos, por meio das suas características físicas e das diversidades de ecossistemas presentes, em meio a mata atlântica, caatinga e demais fragmentos de outros ecossistemas. Essa região conta com uma grande área semiárida, que corresponde a 53% do território nordestino, que de acordo com Ferreira et al. (2018) se destaca como uma região em que a precipitação pluviométrica tem suas irregularidades, ou seja, não são contínuas, e altas Temperatura do ar no decorrer dos meses.

Além disso, tem como característica o seu clima quente e seco com Temperatura do ar médias a 27 °C que abrange todos os nove Estados do NEB. Deste modo, as condições climáticas, a hidrologia e a vegetação são de extrema importância para compreender como cada ambiente se forma (NASCIMENTO; BANDEIRA; ARAÚJO, 2019). Logo, aumentos de Temperatura do ar conexos à mudança de clima decorrente do aquecimento global podem originar maior evaporação de lagos, açudes, reservatórios e aumento da evapotranspiração (SANTOS et al., 2019).

Portanto, é imprescindível conhecer o clima de determinada região, bacia hidrográfica, ou até mesmo de cada município, sendo assim, o presente estudo visa destacar a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba no Estado da Paraíba (BHRPB) localizado no estado da Paraíba. Outrossim, o rio “Paraíba”, sendo o mesmo que possui nome idêntico ao do estado, é o

principal curso d'água da região e desempenha um papel fundamental no abastecimento de água e na agricultura, sua região possui um clima tropical, com períodos de secas e chuvas.

A vegetação na BHRPB inclui áreas de Mata Atlântica, especialmente nas regiões mais próximas às nascentes do rio, que funciona como um obstáculo natural ao escoamento das águas, diminuindo o impacto no solo (CORREIA et al., 2019, p.43). A água é utilizada para abastecimento público, irrigação agrícola e diversas atividades industriais.

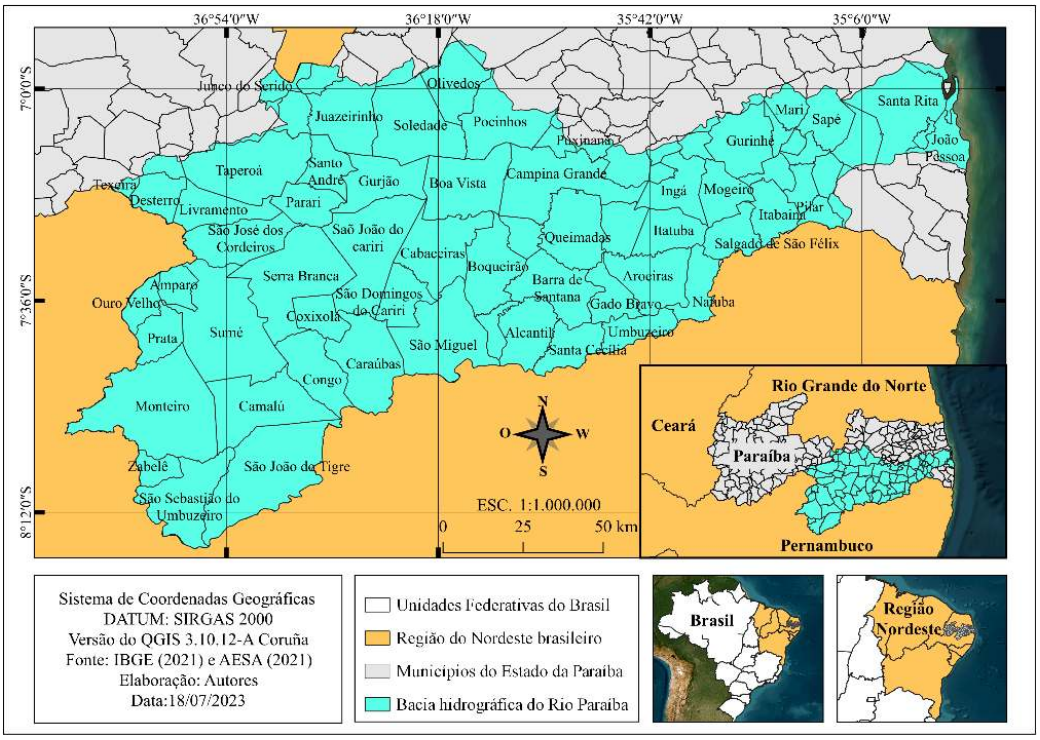
Deste modo, o objetivo principal deste trabalho é avaliar a variabilidade da Temperatura do ar da BHRPB, através da análise temporal anual da Temperatura mínima do ar (TMín), Temperatura máxima do ar (TMáx) e Temperatura média do ar (TMéd), no período de 1980 a 2017 e a análise espaço-temporal mensal da TMéd, identificando-se assim suas oscilações que impactam no período seco ou chuvoso.

# 2. METODOLOGIA

## 2.1 Área de Estudo

A área de estudo da presente pesquisa é Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (BHRPB), apresentado na Figura 1, localizada no Estado da Paraíba. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a bacia está entre as latitudes 6º51’31” e 8º26’21” Sul e longitudes 34º48’35” e 37º2’15” Oeste, possuindo uma área de 20.071,83 km2 e fazendo fronteiras com o Estado de Pernambuco a Oeste e a Sul com a Bacia do Rio Gramame, com o Oceano Atlântico a Leste e com as Bacias do Espinharas, Seridó, Jacu, Curimataú, Mamanguape e Miriri ao Norte.

**Figura 1 -** Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba em relação ao Estado da Paraíba e ao Brasil




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2024)

A BHRPB é composta pelas regiões hidrográficas do Alto, Médio, Baixo Paraíba e na Sub-bacia do Rio Taperoá, havendo distinções entre elas tanto nas características naturais, quanto nas socioeconômicas, principalmente no alto e médio paraíba. Além disso, é a segunda maior do Estado, pois de acordo com o IBGE (2021) abrange 38% do seu território, com uma população estimada de 1.828.178 que corresponde a 52% da população total da Paraíba.

Deste modo, em termos populacionais pode se caracterizar que a região do Baixo Curso do rio Paraíba é a mais habitada, e tal fato lhe proporciona um alto grau de urbanização. Em seguida, pelo Médio Curso do rio Paraíba e, juntas, o Alto Curso do rio Paraíba e a Sub-Bacia do Taperoá, como as menores em termos populacionais.

Portanto, sendo a principal bacia hidrográfica de domínio estadual, estão incluídos os municípios de João Pessoa e Campina Grande, que são considerados os dois maiores centros urbanos do Estado, além de outros 83 municípios que estão inseridos totalmente ou parcialmente em seus domínios.

## 2.2. Aquisição dos Dados

Os dados meteorológicos utilizados nesse estudo foram disponibilizados por um projeto conjunto entre a Universidade do Texas (EUA) e Universidade Federal do Espírito Santo (Brasil). Os dados são de domínio público e estão disponíveis no site: https://utexas.box.com/Xavier-etal-IJOC-DATA. A metodologia para a obtenção dessa base de dados é descrita por Xavier, King e Scanlon (2016).

De acordo com os mesmos autores o método de interpolação é um produto meteorológico gradeado da estação, os dados são pontos com densidades variadas em uma região, à soma dos dados dividida pelo número de dados, ou seja, para cada quadrado da grade com resolução de 0,25° × 0,25°, consideramos o centroide como o local de interpolação e incluiu um máximo de cinco dados mais próximos.

De acordo com os mesmos autores, são disponibilizadas as seguintes variáveis meteorológicas: precipitação, vento, Temperatura do ar mínima e máxima, URA e evapotranspiração. Estão dispostos em uma grade regular de 0,25°× 0,25°, sendo oriundos de uma reanálise e cobrem todo o território brasileiro. Logo, para a pesquisa foram utilizados apenas os dados de TMín, TMáx e TMéd.

Assim, os dados de reanálise referem-se a conjuntos de dados meteorológicos e climáticos gerados por modelos numéricos que recriam e estimam o estado passado do sistema atmosférico, são utilizados para reconstruir informações sobre o clima e as condições meteorológicas em períodos passados, fornecendo uma visão detalhada do estado da atmosfera.

O período amostral compreende os anos de 1980 a 2017 que foram os dados disponibilizados. Inicialmente, com os dados de TMín e TMáx foram gerados gráficos em planilhas eletrônicas da variabilidade temporal no intuito de analisar a série histórica, através desses dados será possível entender o comportamento da variável na BHRPB em estudo, demonstrando assim a dinâmica da Temperatura do ar.

Além disso foram utilizados dados pluviométricos mensais da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESA), para composição da variabilidade temporal da precipitação da BHRPB. Logo, com os dados de precipitação disponibilizados no

período de 1980 a 2019 foram gerados gráficos (no Excel 2019) da variabilidade temporal da pluviometria no intuito de analisar a série histórica, onde através desses dados irá ser possível entender o comportamento da variável na BHRPB em estudo, demonstrando assim a dinâmica climática com a TMéd.

## 2.3.Teste não paramétrico de Mann-Kendall para análise de tendência de séries de Temperatura do ar

A análise da tendência em uma série temporal de dados de precipitação o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). Os dados com series históricas longas podem não seguir uma consignação sobre a configuração da classificação considerando-a uma análise não paramétrica. Segundo Cabral Junior & Lucena, (2020) a equação (Eq) 1 é a seguinte: Eq 1:

$$S = \sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{i=1} sinal\ (X_j - X_i)$$

No qual S é o absoluto das contagens de (xj-xi); xj é o valor inicial após xi, n é o número de dados da série temporal. Para cada par de dados são atribuídos os seguintes valores na equação 2:

Eq 2:

$$sinal = \begin{cases} +1\ se\ (X_j - X_i) > 0 \\ 0\ se\ (X_j - X_i) = 0 \\ -1\ se\ (X_j - X_i) < 0 \end{cases}$$

Assim como tem um número elevado de observações (n), a classificação de probabilidade S tende para uma classificação normal, com média zero e variância dada na equação 3:

Eq 3:

$$VAR(S) = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{q} t_p(t_p-1)(2t_p+5)\right]$$

Por fim, Tp é o número de dados com valores idênticas em certo grupo; q é o número de grupos dominando valores iguais na série de dados em um grupo p. A estatística do teste de Mann-Kendall é baseada no valor da variável ZMK, medido segundo a equação 4:

Eq 4:

$$Z_{Mk} = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, se\ S > 0 \\ 0, se\ S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, se\ S < 0 \end{cases}$$

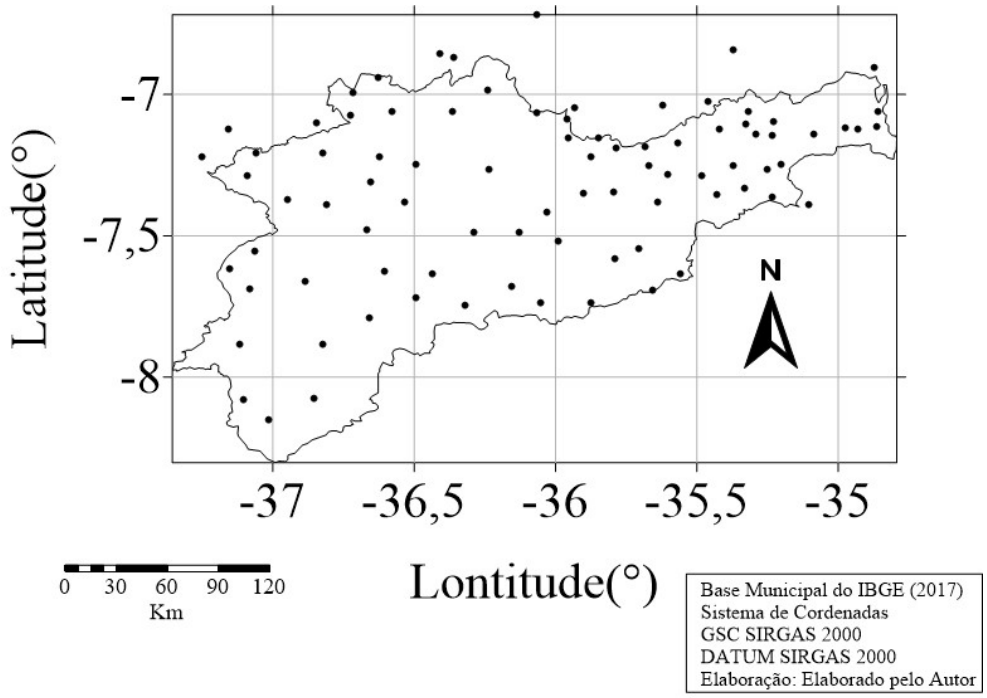
O tratamento dos dados utilizou-se o software estatístico XLSTAT (versão 2014.5.03) com entrada de dados para as planilhas eletrônicas.

## 2.4. Mapeamento

Para o mapeamento, foi utilizado na pesquisa, delimitar a Temperatura do ar com o objetivo de demonstrar o comportamento dessa variável na BHRPB, evidenciando a sua espacialização no decorrer dos meses, mostrando o seu comportamento na região. Nesse sentido, foram utilizados os softwares Qgis (versão 3. 16. 0) e do Golden Software Surfer (versão 16.0).

Além disso, no mapeamento foi utilizado o método de Krigagem ordinária, para gerar as figuras de espacialização na variável física (Temperatura do ar) proposta na pesquisa. O semivariograma é a parte central dos estudos geoestatísticos, sendo capaz de descrever tanto qualitativa quanto quantitativamente a variação espacial, além de ser o ponto chave na determinação do preditor geoestatístico–krigagem. Portanto, vale destacar que o número de postos meteorológicos encontrados foram de 85 de presentes na BHRPB (Figura 2). Assim, esses postos serviram para a interpolação e a confecções das isotermas mensais no estudo.

**Figura 2 -** Mapa de localização das 85 estações.




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2024)

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

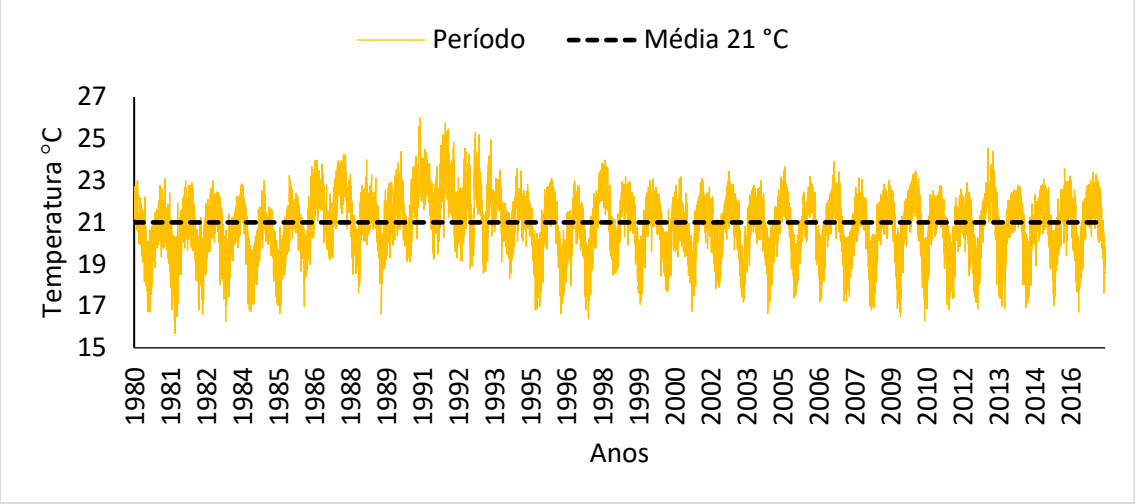
### 3.1. Análise temporal da Temperatura do ar anual

A Temperatura mínima do ar (TMín) (Figura 3) apresenta uma variabilidade de 15 °C a 26 °C nos seus extremos ao longo dos anos e valor médio de 21 °C. Os anos de 1991 a 1993 e 2013 são os que apresentam os maiores valores de TMín chegando à média histórica do período analisado de 26 °C, ou seja, 5 °C acima da TMín média na área de estudo.

Por outro lado, é possível observar alguns ciclos de TMín durante a série histórica, sendo eles de 1981 a 1983 com 15 °C, 1995 a 1997 com 17 °C e 2009 a 2010 com 16 °C. A variação fica em no máximo 6 °C abaixo da média histórica mínima. Diante disso, pode-se destacar que a TMín não sofreu alteração ao longo do tempo, estando em equilíbrio.

E possível notar um aumento da TMín entre os anos de 1987 a 1994, o que causa um aumento da Temperatura do ar nesse período, mostrando que a TMín agravou impactos nesse anos, o que consequentemente tornaram-se anos bem secos, impactando nas atividades humanas e na biodiversidade presente.

**Figura 3 -** Temperatura Mínima do ar Anual da série histórica de 1980 a 2017.




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2024)

Para confirmar essas afirmações aplicou-se o método estatístico Mann-Kendall a um nível de significância de 95% para verificar se estava tendo ou não um aumento nas condições de Temperatura do ar da BHRPB. Portanto, para o teste de Mann-Kendall, segue as seguintes hipóteses:

H0: Não há uma tendência na série de Temperatura do ar;

H1: Há uma tendência positiva na série de Temperatura do ar.

Por meio da Tabela 1 é possível destacar os resultados obtidos através dos testes de Mann-Kendall, logo, os resultados indicaram que o p-valor calculado é maior que o nível de significância alfa=0,05, sendo assim, se rejeita a hipótese nula H0. Na estatística descritiva, o p-valor em TMáx (0.2361), TMín (2.2e-16) e TMéd (2.2e-16) mostra que a hipótese nula foi rejeitada, portanto, podemos sugerir que não há uma tendência significativa em nossa série temporal.

**Tabela 1 -** Testes de Mann-Kendall à um nível de significância de 95%, identificação e avaliação de tendências em uma série histórica para dados mensais de Temperatura do ar.

| TESTE NÃO PARAMÉTRICO<br>Teste de Mann-Kendall | TMáx | TMín | TMéd |
|---|---|---|---|
| **p-value** | 0.2361 | 2.2e-16 | 2.2e-16 |
| **Alfa** | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| **S** | 6.351590e+05 | 1.333443e+07 | 9.812401e+06 |
| **varS** | 2.874298e+11 | 2.874298e+11 | 2.874298e+11 |
| **tau** | 6.742063e-03 | 1.415419e-01 | 1.041563e-01 |

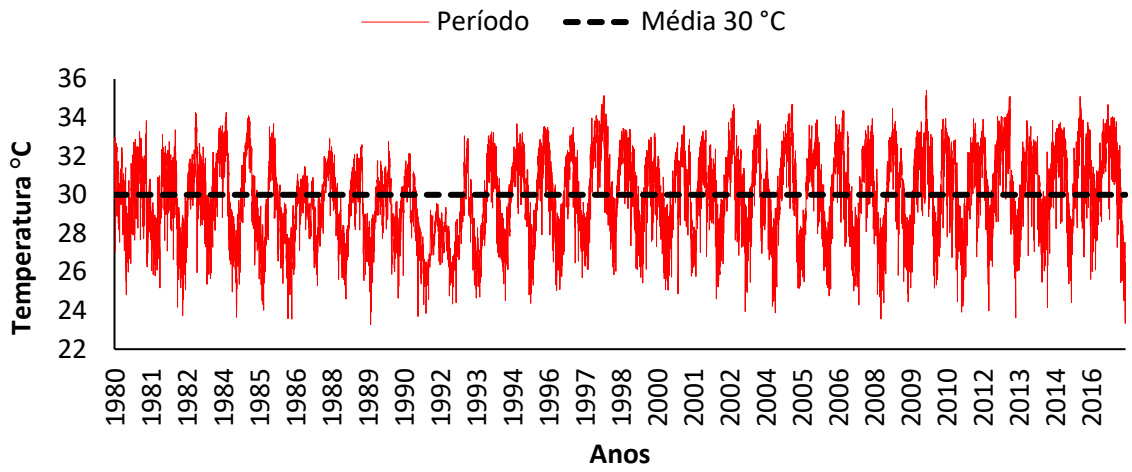
**Fonte:** Elaborado pelos autores (2024)

Em relação à Temperatura máxima do ar (TMáx) observa-se uma média de 30 °C (Figura 4). No período que compreende os anos de 1986 a 1993 a Temperatura do ar apresenta-se abaixo da média registrada, com 28 °C. Já os períodos de maiores elevação de Temperatura do ar ocorrem de 1998 em diante, em que as Temperatura do ar se elevam em torno de 36 °C, ficando 6 °C acima da média.

Observa-se que a TMáx apresenta elevação no período analisado como pode ser observado na Tabela 1, em todas as análises de Temperatura do ar estudada da TMín a TMáx, e como consequência produz impactos diretamente na disponibilidade hídrica da região, fazendo com que o nível de Umidade Relativa do Ar (URA) também seja afetado. Portanto, no NEB, a precipitação apresenta uma distribuição irregular devido as mudanças climáticas presente em determinada área, seja ela em micro ou macro escala, fazendo com que a energia disponível em algumas épocas do ano seja utilizada para aquecer o ar, ressaltando a importância da TMáx para essa região (NASCIMENTO; FRADE; DA SILVA, 2018).

Avaliando os cenários das consequências dessa elevação da Temperatura do ar, é possível que esses impactos no aumento da Temperatura do ar provocarão no período da seca, uma diminuição na produção de alimentos, o que impacta na agricultura de subsistência da região presente (CUNNINGHAM et al., 2017).

**Figura 4 -** Temperatura Máxima do ar Anual da série histórica de 1980 a 2017




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2024)

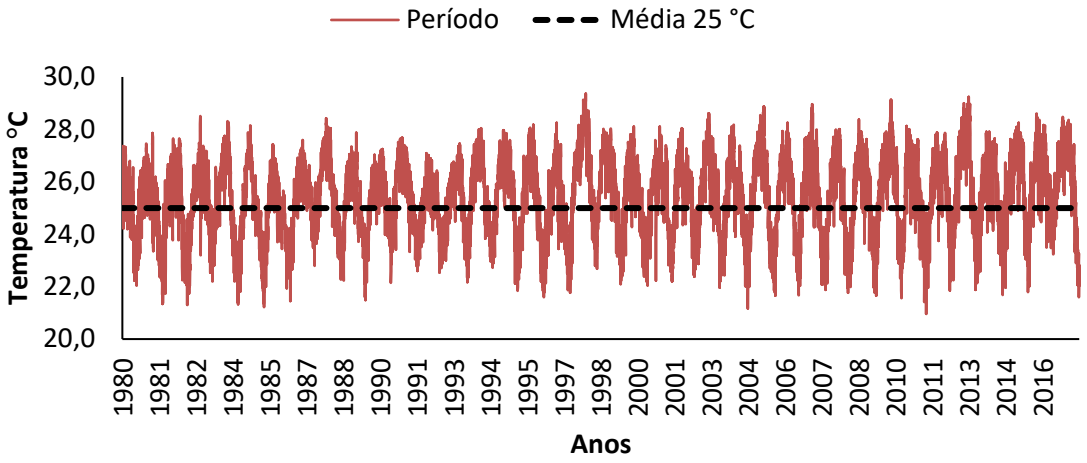
A Temperatura média do ar anual (TMéd) servirá de base para a análise mensal temporal e espacial, sendo analisada com base na TMáx e TMín, o que possibilita, verificar a estabilidade da série histórica na escala de tempo.

Diante disso, foi possível verificar que a TMéd na região varia entre 21°C a 29°C, apresentando variações no decorrer dos anos. Logo, a TMéd anual calculada foi de 25°C, o que caracterizou, variações de 4°C (Figura 5).

Diante desses resultados, é possível constatar que a variável TMéd não vem aumentando nos últimos anos, diferente da TMáx, que teve uma elevação. Portanto, pode se destacar que a região, mantem um equilíbrio na variável TMéd no contexto histórico, observando que com o passar dos anos, ocorre uma elevação natural em determinados meses no ano.

A variação da TMéd pode ocorrer devido à redução de água nos reservatórios, umidade do solo e transpiração das plantas, durante o período seco, o que volta à normalidade após o período úmido com o retorno de água aos reservatórios, aumento da umidade no solo e transpiração das plantas normalizada.

**Figura 5 -** Temperatura Média do ar Anual da série histórica de 1980 a 2017




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2024)

## 3.2. Análise temporal da Temperatura do ar mensal

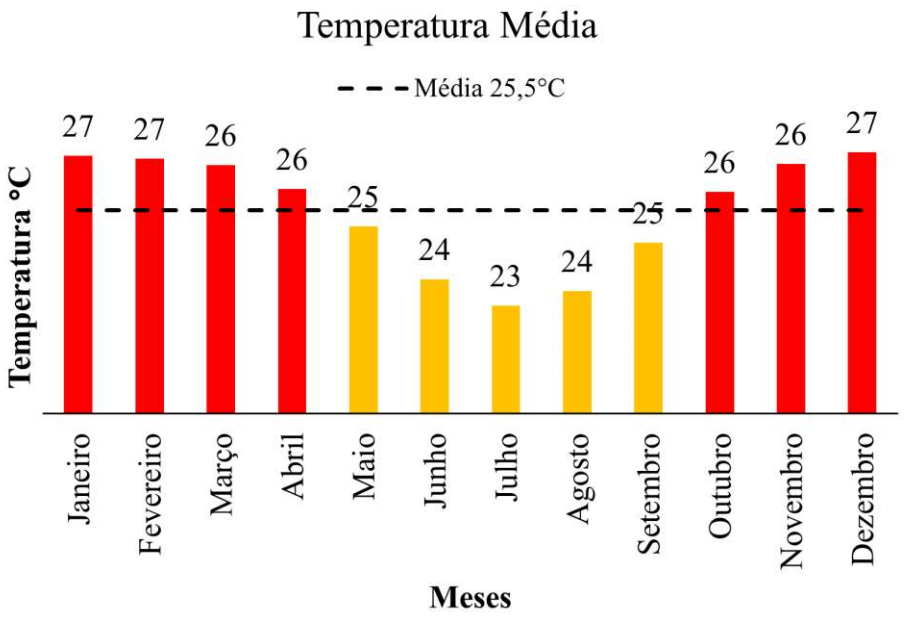
A Temperatura do ar se destaca em meio às variáveis atmosféricas mais usadas no desenvolvimento de estudos de impactos ambientais. Portanto, por meio dos dados mensais da TMéd, foi possível destacar dois períodos distintos, com sete meses caracterizados acima da média e cinco abaixo BHRPB (Figura 6).

Assim, um deles é caracterizado como Temperatura do ar abaixo da média compreendendo o período de maio a setembro, considerando julho o mês com a menor Temperatura do ar: 23°C. Por outro lado, o período com Temperatura do ar mais elevadas compreende o período de outubro a abril, com destaque para os meses de janeiro e dezembro, apresentando Temperatura do ar na ordem de 27 °C. Em geral as maiores médias térmicas de Temperatura do ar na superfície ocorrem durante o verão, e as menores durante o inverno (MEDEIROS et al., 2015a).

Logo, é possível evidenciar que na BHRPB a TMéd mensal se destaca por Temperatura do ar mais elevadas do que a média apontada no período analisado, isso se dá devido a três fatores, o primeiro se refere a posição leste no qual se provém do oceano atlântico, o segundo por estar no semiárido brasileiro e o terceiro por conta do planalto da Borborema para a região oeste que serve de barreira inibidora de massas de ar, vindas do litoral.

As Projeções do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014) indicam que a partir de 2070 as condições de Temperatura do ar para o NEB apresentarão elevação entre 3,5° e 4,5°C e um agravamento do déficit hídrico com diminuição na distribuição das chuvas entre 40 e 50%, podendo desencadear a partir daí um processo de desertificação da caatinga.

**Figura 6 -**Temperatura Média do ar mensal de 1980 a 2017




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2024)

## 3.3. Análise comparativa entre Precipitação e TMéd

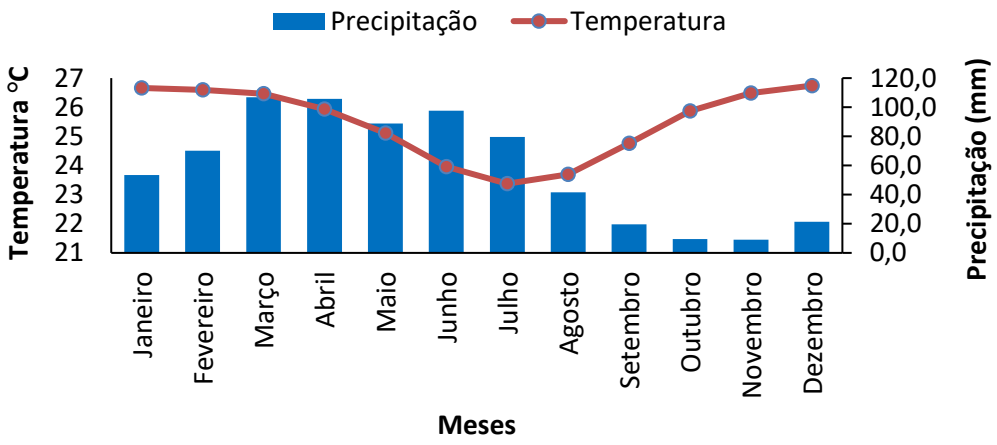
Além disso é possível, correlacionar as variáveis precipitação mensal com a TMéd mensal (Figura 7), onde foi possível destacar que alguns meses apresentam características diretamente proporcionais no decorrer do ano, ou seja, meses que se encontram no período seco, como os meses de outubro e novembro tem sua precipitação mínima em meses com TMéd alta. Observa-se que a Temperatura do ar estava bem elevada, o que reforça que nesses meses as condições do ambiente favorecem eventos de seca nesta região.

Outrossim, nos meses considerados úmidos (Figura 7) a Temperatura do ar se manteve elevada em março e abril, porém são meses de maior índice pluviométrico para a região oeste da BHRPB. Outro destaque é que os meses de junho e julho possui as menores TMéd

registradas na série histórica, o que desta forma, pode-se afirmar que a área leste da BHRPB é a que possui municípios que tem uma diminuição na sua TMéd, se comparado as demais áreas.

Diante dessa análise destaca-se a necessidade do monitoramento contínuo em termos hídricos, para entender como as condições do ambiente se modificam, por meio das condições hídricas do solo, os índices pluviométricos, as Temperatura do ar e outros fatores. Assim, o conhecimento desses fatos vai ajudar no desenvolvimento de ações de gestão na BHRPB, na manutenção e observação desses fatores, por meio de um melhor gerenciamento dos recursos hídricos, com uma distribuição igualitária, prevendo cenários futuros.

**Figura 7 -** Comportamento temporal entre as variáveis Precipitação e Temperatura Mensal do ar da série histórica




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2024)

## 3.4. Análise espacial da Temperatura média do ar mensal

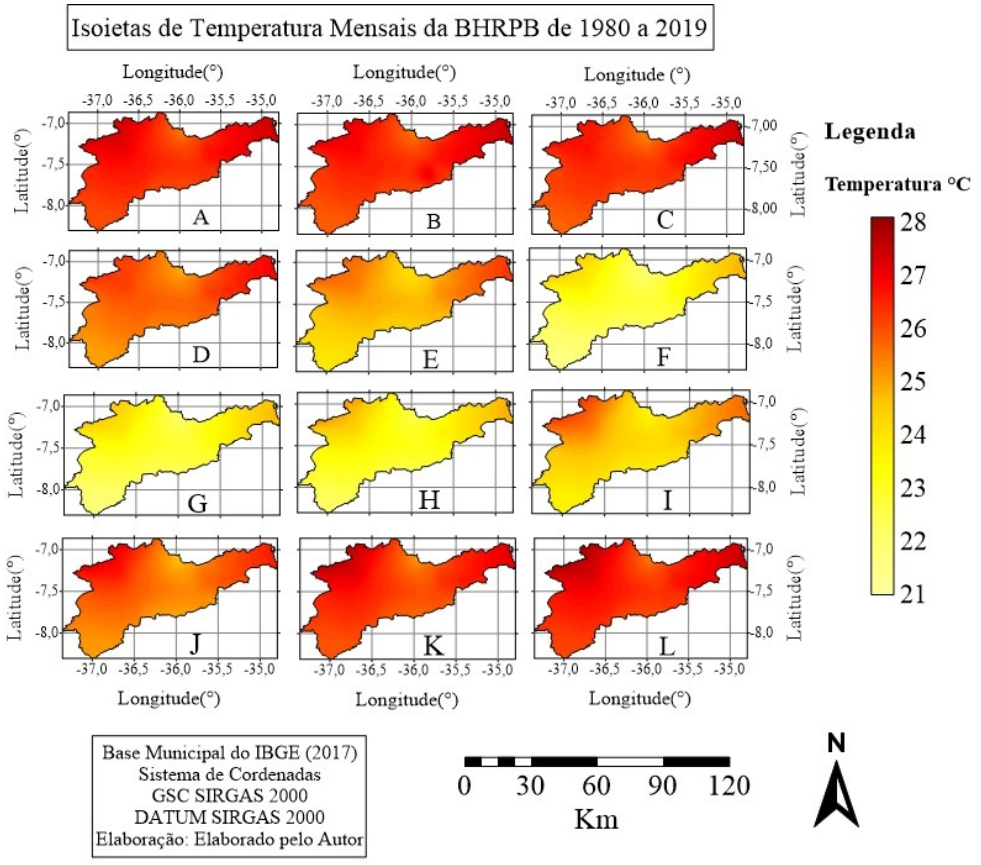
Na Krigagem Ordinária, um dos métodos de interpolação espacial baseados em semivariogramas é o SILL, que é o valor máximo da semivariância atingido quando a distância entre os pontos tende ao infinito. Ele indica a variabilidade máxima que os dados podem apresentar quando estão completamente descorrelacionados. O patamar também é determinado a partir dos dados observados.

Além disso, a seleção e estimativa dos parâmetros do semivariograma são realizadas por meio de técnicas de ajuste, como o método dos momentos, máxima verossimilhança ou

mínimos quadrados ponderados. Essas técnicas permitem encontrar os valores mais adequados para os parâmetros do semivariograma, buscando uma melhor representação da estrutura de dependência espacial dos dados. Sendo assim, utilizado esses métodos para a realização das imagens da TMéd na BHRPB.

No intuito de avaliar a distribuição espacial da TMéd, foi realizado a análise mensal das isotermas de janeiro a dezembro da região da BHRPB (Figura 4), através da série histórica de 1980 a 2019.

**Figura 8 -** Isotermas médias mensais de TMéd da BHRPB de Janeiro (A), Fevereiro (B), Março (C), Abril (D), Maio (E), Junho (F), Julho (G), Agosto (H), Setembro (I), Outubro (J), Novembro (K) e Dezembro (L).




**Fonte:** Elaborado pelos autores (2024)

Deste modo, a espacialização da TMéd na BHRPB ilustra o comportamento durante todos os meses. Neste sentido, os meses de janeiro e fevereiro (Figuras 8A e 8B) são considerados os de maior Temperatura média do ar na região visto que em quase toda a bacia

hidrográfica, essa Temperatura do ar varia próxima aos 27 °C. Pode-se destacar ainda, que em alguns pontos na parte norte e no sudoeste, essas Temperatura do ar ficam próximas dos 25, sendo assim as áreas com menor TMéd nesses meses.

Além disso, o mês de março (Figura 8C), em relação a TMéd, se comporta de maneira similar a janeiro e fevereiro, porém sua Temperatura do ar não passa dos 26°C ao leste, noroeste e sul, sendo o seu pico máximo na TMéd. Já o valor mínimo de TMéd é em torno de 25°C nas regiões norte e sudoeste.

O mês de abril (Figura 8D) se apresenta como o de transição entre as altas e baixas Temperatura do ar. Nesse mês, já se nota uma homogeneidade na distribuição de TMéd, com características distintas, sendo a parte leste a de maior pico com 27 °C, a região central com 26 °C e as regiões norte e sudoeste com 25 °C.

O início do período com TMéd, abaixo da média (Figura 6) ocorre no mês de maio (Figura 8E), no qual a maior parte da BHRPB está entre a média ou abaixo dela, ou seja, abaixo de 25 °C, com exceção da região leste que apresenta 26 °C, mantendo-se assim como a área que apresenta Temperatura do ar mais elevadas.

Os meses de junho a agosto (Figuras, 8F, 8G e 8H) apresentam comportamentos similares na distribuição espacial, entre 21°C e 25°C em toda sua extensão, com destaque para o mês de julho (Figura 8G), que apresenta as menores médias registradas em toda a BHRPB. Esses resultados são semelhantes ao encontrado por Medeiros et al. (2015b) na análise espacial da Temperatura do ar.

Por outro lado, o mês de setembro, apresenta um valor abaixo da média (Figura 8I). Observa-se uma similaridade com o mês de maio (Figura 8E), no qual destacam-se as regiões leste e noroeste da BHRPB, chegando à Temperatura do ar de 26 °C e nas demais regiões próximas dos 25 °C.

O mês de outubro (Figura 8J) é caracterizado por maiores valores de TMéd, sendo o período de transição. Neste sentido, é possível evidenciar que a Temperatura do ar varia entre 24 °C em uma pequena parte ao norte, sendo a região com Temperatura do ar mais baixas, e nas regiões leste e noroeste chegando à Temperatura do ar de 27°C.

Por fim, os meses de novembro e dezembro (Figuras 8K e 8L) possuem aumento significativo em sua Temperatura do ar, sendo similares ao pico inicial dos meses de janeiro a

março (Figuras 8A, 8B e 8C) com poucas variações na BHRPB, possuindo o mínimo de 25 °C a norte e sudoeste, e o máximo a leste noroeste com 27°C.

Sendo assim, é possível destacar que essas variações espaciais da Temperatura do ar neste período de 40 anos, é em decorrência dos fatores ambientais característicos das estações e dos sistemas atuantes nesta região, no qual com o passar dos anos vem sofrendo alterações, ou seja, pela intensidade que os sistemas climáticos atuantes chegam no local. Além disso, tem as características antrópicas, como a construção de centros urbanos, a retirada da vegetação em diversos locais, seja pelo solo exposto, ou na plantação de culturas o que impactam diretamente nas alterações da TMéd nessa região.

Logo, com a exposição e com o conhecimento desses dados de modo especializado, ajuda-se assim aos proprietários e gestores locais, na esfera municipal a estadual, ao comitê de bacias hidrográficas, tais resultados na projeção de cenários e conhecimentos dos dados já existentes, para que assim, observem quais locais sofrem por meio da TMín, TMáx e TMéd na região. Por meio desses resultados os proprietários locais, podem projetar quais são as melhores culturas a serem exploradas em determinadas épocas do ano, no município em que se encontram e assim, não ter uma perca maior na sua produção.

Deste modo, é necessária uma maior atenção aos meses com TMéd elevada, visto que o aumento da Temperatura do ar pode afetar direta ou indiretamente o ambiente natural com impactos nos grandes centros urbanos, formando ilhas de calor, perca da biodiversidade em matas nativas devido ao desmatamento o que ocasiona um aumento na Temperatura do ar, afetam ainda diretamente o clima local e no abastecimento dos mananciais.

Ainda, podem causar danos à saúde como problemas na pele, desidratação, aumento de pressão arterial, tontura, dor de cabeça e até podendo desmaiar, esse aumento de Temperatura do ar, ocasiona um maior impacto em crianças e principalmente nos idosos. Sendo assim, de modo geral os períodos prolongados de Temperatura do ar exclusivamente elevadas estão acompanhadas ao aumento da mobilidade e da mortalidade (KOPE et al., 2004). Os idosos, principalmente acima dos 85 anos, são mais vulneráveis ao calor devido à fragilidade da sua condição de saúde, agravada por falta de autonomia física e psíquica e isolamento social (JONES et al., 1982; SEMENZA et al., 1996; MARTO, 2005).

Além disso, com o aumento de TMéd nesses meses, pode ocorrer um agravo em microescala na região, modificando o meio. Assim, esses impactos podem afetar diretamente

nos níveis dos reservatórios, causando um aumento no número de cianobactérias e de outros afloramentos. A variabilidade da temperatura do ar desempenha uma influência expressiva na evaporação dos corpos hídricos em um determinado local. O acréscimo da temperatura está espontaneamente conexo a uma ascensão na taxa de evaporação, pois a energia térmica do calor acelera as moléculas de água, facilitando sua transição do estado líquido para o vapor.

Por fim, a variação diária e sazonal da temperatura também desempenha um papel crucial, com regiões que experimentam flutuações mais pronunciadas geralmente apresentando uma evaporação mais intensa.

## 4. CONCLUSÕES

A análise temporal anual da TMín, TMáx e TMéd demostrou similaridades entre todas três, constatou-se m aumento em todas as variáveis com destaque para a TMáx, atingindo picos de 36°C.

Foi possível comprovar que a pluviometria mensal e TMéd mensal, quando analisadas, apresentam uma relação, sendo assim os meses que tiveram uma maior Temperatura do ar, são os meses mais secos, e da mesma forma, quando se tem uma maior precipitação o nível da Temperatura do ar diminui na BHRPB. Sendo, assim características da região por meio dos sistemas atuantes, além do relevo da região.

Na análise das Isotermas mensais da TMéd, verificou-se que a distribuição da Temperatura do ar na região geralmente ocorre de leste e noroeste, com os maiores valores de Temperatura do ar, por outro lado o Sudeste e uma pequena parte do norte, se destacam como sendo as áreas de menor Temperatura do ar devido as condições físicas de relevo.

Por fim, os resultados ajudam a compreender como a Temperatura do ar se comporta no decorrer dos anos, ajudando no planejamento ambiental de cada município, em políticas ambientais e climáticas. Compreender essas interações é essencial para análises hidrológicas e ambientais, proporcionando uma visão abrangente dos padrões de evaporação para essa região específica.

## REFERÊNCIAS


CABRAL JÚNIOR, Jório Bezerra; LUCENA, Rebecca Luna. análises das precipitações pelos testes não paramétricos de Mann-Kendall e Kruskal-Wallis. **Mercator (Fortaleza)**, v. 19, p. e19001, 2020. DOI: https://doi.org/10.4215/rm2020.e19001

CARDOSO, Renata dos Santos et al. Assessment of urban heat islands in small-and mid-sized cities in Brazil. **Climate**, v. 5, p. 14, 2017.

CUNNINGHAN, C.; CUNHA, A. P.; BRITO, S.; MARENGO, J.; COUTINHO, M. CLIMATE CHANGE END DROUGHT IN BRASIL. IN. MARCHEZINI, B.; WISNER, B.; LONDE, L. R.; SAITO, S. M. (Org.). Reduction of vulnerability to disasters: From Knowledge to action São Carlos, Brasil: **Editora RiMa**, p. 361-375, 2017.

CORREIA, Iluliane Maria Gadelha et al. Mata ciliar, conservação e sustentabilidade, fundamentos da importância para o semiárido paraibano: estudo de caso no alto curso do Rio Paraíba. **Revista de Geociências do Nordeste,** v. 5, n. 2, p. 41-60, 2019. DOI: https://doi.org/10.21680/2447-3359.2019v5n2ID17233

DE FRANÇA, Manoel Vieira; DE MEDEIROS, Raimundo Mainar. Aptidão climática do sorgo como suporte alimentar a avicultura de São Bento Una-Pernambuco, Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 4, p. 275-283, 2020.

DE OLIVEIRA, Leonardo Debossan. **As contribuições da climatologia para prevenção e combate a incêndios florestais no Parque Estadual Serra do Rola Moça**. 2023. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais. As contribuições da climatologia para prevenção e combate a incêndios florestais no Parque Estadual Serra do Rola Moça. 2023. 232 p.

DIVISÃO regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 82p.

DUARTE, Jaqueline Fernandes De Medeiros ; DE MEDEIROS, Raimundo Mainar; MENEZES, Hudson Ellen Alencar. Aptidão agroclimática de culturas anuais e perenes no município de Recife-PE, Brasil. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 18, n. 1, p. 34-42, 2020.

FERREIRA, Pedro dos Santos et al. Variabilidade espaço-temporal das tendências de precipitação na mesorregião sul Cearense e sua relação com as anomalias de TSM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33 n. 1 p. 141-152, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-7786331006

FRANCISCO, Paulo Roberto Megna et al.ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO DO MUNICÍPIO DE SOUSA-PB UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS. **Estudos e Inovações na Engenharia e Agronomia v.4,** 1ª edição, Campina Grande-PB, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contagem da população 2021. Brasília: IBGE, 2021. s.p. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/cidadessat/index.php. Acesso em: 01 maio 2022.

JONES, T. Stephen et al. Morbidity and mortalityassociated with the July 1980 heat wave in St. Louis and KansasCity, MO. **JAMA**, v. 247, v. 24, p.3327-3331, 1982.

KENDALL, M. G. Rank Correlation Measures. **Ed. Charles Griffin**. London, 1975.

KOPPE C, KOVATS S, JENDRITZKY G, MENNE B. Heat--waves: risks and responses. In: Organização Mundial de Saúde, ed. Health and Global Environmental Change Series, Nº 2. Copenhaga: **WHO Regional Office for Europe 2004**. Disponível em: https://apps.who.int/iris/handle/10665/107552

MANN, Henry B. (Nonparametric tests against trend. Econometrica: **Journal of the econometric society**, 245-259, 1945.

MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha et al.Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Paraíba. In: XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2012, João Pessoa. **Anais....** Porto Alegre: ABRH, 2012. v. 1. p. 1-20. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/1095>. Acesso em: 28 Mout. 2021.

MARENGO, José A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. **Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS)**. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. Disponível em: http://www. fbds. org. br/fbds/IMG/pdf/doc-504. pdf. Acesso em, v. 24, 2009.

MARENGO, Jose A.; TORRES, Roger Rodrigues; ALVES, Lincoln Muniz. Drought in northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology,** v. 129, n. 3-4: p. 1189-1200, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8

MARTO, Natália. Ondas de calor. Impacto sobre a saúde. **Acta Médica Portuguesa**, v. 18, n. 6, p. 467-74, 2005. DOI: https://doi.org/10.20344/amp.1063

MEDEIROS, Raimundo Mainar et al. Variabilidade da Temperatura do ar Média do Ar no Estado da Paraíba-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 128-135, 2015. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.1.p128-135.

MINUZZI, Rosandro Boligon; CARAMORI, Paulo Henrique; BORROZINO, Edmirson. Tendências na variabilidade climática sazonal e anual das Temperatura do ars máxima e mínima do ar no Estado do Paraná. **Bragantia, Campinas**, v.70, n.2, p.471- 479, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000200031

NASCIMENTO, Jennifer Marinho; FRADE, Tatiane Gomes; DA SILVA, Richarde Marques. Modelagem da resposta do escoamento em uma bacia do semiárido da Paraíba utilizando o modelo SWAT. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 3, p. 1137-1150, 2018. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.3.p1137-1150.

NASCIMENTO, Maxsuel Bezerra do; BANDEIRA, Maria Marlen; ARAÚJO, Lincoln Eloi de. Variabilidade climática da precipitação do município de Areia/Paraíba, Brasil. **Gaia Scientia**, v. 13, n. 3, p.24-37, 2019.

NASCIMENTO, Maxsuel Bezerra; SILVA, Cláudio Moisés. Variabilidade da Temperatura e Formação de Ilhas de Calor em dois municípios do Rio Grande do Norte. **Anais eletrônicos** [...] Livro de Memórias do IV SUSTENTARE e VII WIPIS: Workshop internancional de Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos, 2023, p. 1-7. DOI: 10.29327/sustentare_wipis_2022.513265

NEVES, Gabriela Leite et al. Trend Of Air Temperature In The State of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.18, p.180-193, 2016. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p035-048.

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Base Científica das Mudanças Climáticas. **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional.** v. 1, 2014.

SANTOS, André Luis Santana et al. Propriedades Multifractais da Temperatura do ar do Ar Diária no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia,** v.34, n.1, p.23-31, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0102-778633401

SEMENZA, Jan C. et al. Heat related deaths during theJuly 1995 heat wave in Chicago. **N Engl J Med** v. 335, n. 2, p. 84-90, 1996. DOI: 10.1056/NEJM199607113350203

STRECK, Nereu Augusto et al. Variabilidade interdecadal na série secular de Temperatura do ar do ar em Santa Maria, RS. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n.8, p.781-790, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000800001

XAVIER, Alexandre C.; KING, Carey W.; SCANLON, Bridget R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology,** v. 36, n. 6, p. 2644–2659, 2016. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.4518

YIN, Qian et al. Mapping the increased minimun mortality temperatures in the contexto of global climate change. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 4640, 2019.