



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
CURSO DE GEOGRAFIA BACHARELADO

JOSIEL DOS SANTOS SILVA

**HÁ TENDÊNCIA SIGNIFICATIVA DE AUMENTO NA TEMPERATURA MÉDIA
DO AR NO ESTADO DE ALAGOAS?**

Maceió
2022



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
CURSO DE GEOGRAFIA BACHARELADO**

JOSIEL DOS SANTOS SILVA

**HÁ TENDÊNCIA SIGNIFICATIVA DE AUMENTO NA TEMPERATURA MÉDIA
DO AR NO ESTADO DE ALAGOAS?**

Relatório de Iniciação Científica apresentado ao Colegiado do Curso de Geografia Bacharelado do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção da nota final do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Orientador: Prof. Dr. Jório Bezerra Cabral Júnior

**Maceió
2022**

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária: Cláudio César Temoteo Galvino – CRB-4/1459

S586h	Silva, Josiel dos Santos. Há tendência significativa de aumento na temperatura média do ar no Estado de Alagoas? / Josiel dos Santos Silva. - 2022. 25 f.: il. Orientador: Jório Bezerra Cabral Júnior. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Maceió, 2022. Bibliografia: f. 23-25. 1. Temperatura do ar - Alagoas. 2. Análise de Cluster. 3. Mann-Kendall. I. Título.
-------	--

CDU: 551.524(813.5)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a minha família, meus pais, Genivaldo da Silva e Sandra Ferreira dos Santos, por nunca medirem esforços para garantir que eu alcançasse meus objetivos e chegasse onde estou hoje, aos meus irmãos, Joseane dos Santos Silva e Josenildo dos Santos Silva por terem me apoiado de forma incondicional, a minha companheira, Amanda Diogo Cavalcante, que aperfeiçoou a minha paciência, e ao mesmo tempo esteve comigo nos momentos tristes e alegres.

Ao Prof. Dr. Jório Bezerra Cabral Júnior, pela orientação, não apenas no TCC, mas em todos os demais projetos, que contribuíram para a minha formação de forma imensurável.

Aos colegas e amigos do grupo de pesquisa Climatologia Teórica e Aplicada (CTA) e do Laboratório de Estudos Climáticos (LAEC), pelas conversas e debates ao longo do tempo que passamos juntos e por toda ajuda ao longo do projeto.

A Universidade Federal de Alagoas (UFAL); Ao Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambientes (IGDEMA), em especial a todos os docentes pelo conhecimento passado e pela contribuição na minha formação.

Aos meus amigos Wellington dos Santos Graciliano e Anderson Lucas Leopoldino que fiz ao longo dessa jornada, e que contribuíram em minha vida acadêmica e pessoal.

E a todos que de alguma forma contribuíram para essa pesquisa.

HÁ TENDÊNCIA SIGNIFICATIVA DE AUMENTO NA TEMPERATURA MÉDIA DO AR NO ESTADO DE ALAGOAS?

Autor: Josiel dos Santos Silva
e-mail: josielsan.1092@gmail.com

Orientador: Jório Bezerra Cabral Júnior
e-mail: jorio.cabral@gmail.com

RESUMO

O aumento da temperatura do ar pode gerar diversos impactos ambientais e socioeconômicos, assim o objetivo principal neste estudo é caracterizar o perfil mensal e anual da temperatura média do ar, por sub-regiões no estado de Alagoas, Nordeste brasileiro, e identificar se há tendências significativas nas séries temporais. Para isso, utilizaram-se dados mensais das temperaturas do ar máxima e mínima (1980 a 2013), de 98 dos 102 municípios alagoanos, disponibilizados por Xavier et al. (2015). De posse dos dados, calculou-se a temperatura média do ar e aplicou-se o método da análise de Cluster para determinar sub-regiões da temperatura média do ar. As Análises de tendências foram verificadas nas escalas temporais mensal e anual, utilizando-se os testes não paramétricos de Mann-Kendall, Sen e Pettitt. Para todos os testes, a significância estatística adotada foi de 5%. Os resultados da análise de Cluster (agrupamento) mostraram que o estado de Alagoas possui 4 sub-regiões com características homogêneas de temperatura média do ar mensal. A sub-região 4 (S4), localizada no Sertão alagoano, apresentou as maiores temperaturas média do ar, mensal e anualmente (26,3 °C) comparado à S1 (25 °C), S2 (24,5 °C) e a S3 (25,5 °C). Na S1 (leste do estado) notou-se as menores amplitudes térmicas (3 °C). Anualmente e na maioria dos meses foram observadas tendências crescente e estatisticamente significativas a 5% nas 4 sub-regiões, com destaque para a S4 com um acréscimo de 0,13 °C, por ano. Conclui-se que o estado de Alagoas possui variabilidade no tempo e no espaço, nas distintas sub-regiões, que podem ser explicadas devido aos fatores geográficos, continentalidade, calor específico da água e às condições climáticas principalmente associadas à umidade do solo e do ar. Destaca-se, nesta pesquisa, que em todo o estado de Alagoas foi identificada tendência significativa de aumento na temperatura média do ar, considerando os 34 anos analisados.

Palavras-chave: Temperatura do ar. Análise de Cluster. Mann-Kendall.

ABSTRACT

The increase in air temperature can generate several environmental and socioeconomic impacts, so the main objective of this study is to characterize the monthly and annual profile of the average air temperature, by sub-regions in the state of Alagoas, Northeast Brazil, and identify if there are trends significant in the time series. For this, monthly data on maximum and minimum air temperatures (1980 to 2013) from 98 of the 102 municipalities in Alagoas, provided by Xavier et al. (2015). With the data, the average air temperature was calculated and the Cluster analysis method was applied to determine sub-regions of the average air temperature. Trend analyzes were verified on monthly and annual time scales, using the non-parametric tests of Mann-Kendall, Sen and Pettitt. For all tests, the statistical significance adopted was 5%. The results of the Cluster analysis (grouping) showed that the state of Alagoas has 4 sub-regions with homogeneous characteristics of average monthly air temperature. Sub-region 4 (S4), located in the Sertão of Alagoas, had the highest average air temperatures, monthly and annually (26.3 °C) compared to S1 (25 °C), S2 (24.5 °C) and at S3 (25.5°C). In S1 (east of the state) it was noticed the smallest thermal amplitudes (3 °C). Annually and in most months, increasing and statistically significant trends were observed at 5% in the 4 sub-regions, with emphasis on S4 with an increase of 0.13 °C per year. It is concluded that the state of Alagoas has variability in time and space, in different sub-regions, which can be explained due to geographic factors, continentality, specific heat of water and climatic conditions mainly associated with soil and air humidity. It is noteworthy, in this research, that throughout the state of Alagoas, a significant trend of increase in the average air temperature was identified, considering the 34 years analyzed.

Keywords: Air temperature. Cluster Analysis. Mann-Kendall.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	10
2.2 DADOS.....	11
2.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	11
2.3.1 Análise de Agrupamento.....	11
2.3.2 Teste de Mann-Kendall.....	12
2.3.3 Teste de Sen.....	13
2.3.4 Teste de Pettitt.....	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4 CONCLUSÕES.....	22
REFERÊNCIAS.....	23

1 INTRODUÇÃO

A temperatura do ar é um dos principais elementos climáticos, sendo o que promove maiores efeitos diretos e significativos sobre muitos processos fisiológicos que ocorrem nos seres vivos, assim é fundamental em diversos setores da economia e áreas do conhecimento, como por exemplo, na agropecuária, meio ambiente, geociências, entre outros (MEDEIROS et al., 2005), dessa forma o aumento da temperatura implica em vários problemas ecológicos e sociais principalmente para as regiões economicamente vulneráveis como o Nordeste brasileiro (NEB) (MARENGO et al., 2017).

Mahlstein et al. (2011) associaram que a maior parte do aquecimento global da última metade do século 20 pode ser atribuída à influência humana, onde as mudanças climáticas globais causadas pela intensificação dos gases do efeito estufa, decorrentes da ação antrópica, tornaram-se evidente nas últimas décadas. O incremento desses gases na atmosfera se intensificaram juntamente com o desenvolvimento urbano e o avanço da industrialização. Argüeso et al. (2014) verificaram que a influência da urbanização sobre a temperatura do ar ocorre em escala local, e que pode contribuir para o aquecimento de maior escala através da mudança do balanço de energia (em superfície) e da intensificação de emissão dos gases do efeito estufa (GEE).

Vários trabalhos apontam prognósticos de aumento de temperatura do ar a nível global ocasionados por ações antrópicas. Schleussner et al. (2016) avaliam os principais impactos das mudanças climáticas nos níveis de aquecimento de 1,5 °C e 2 °C, incluindo eventos climáticos extremos, disponibilidade de água, rendimentos agrícolas, aumento do nível do mar e risco de perda de recifes de coral principalmente nas regiões tropicais, e que o incremento de 0,5 °C pode gerar grandes diferenças nos impactos mencionados. O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) recentemente divulgou o seu sexto relatório (AR6) que constatou que a elevação da temperatura nos últimos 50 anos ocorreu mais rapidamente do que nos últimos 2 milênios, resultando num aquecimento do planeta em 1,1 °C no último século e meio, sendo a queima de combustíveis fósseis a principal causa, destaca-se ainda que com o impulso das emissões dos GEE o planeta aquecerá em 1,5°C em todos os cenários, podendo alcançar atingir esse aumento já nos anos 2030 (IPCC, 2021).

Nesse contexto, Marengo e Bernasconi (2015) advertiram que o aumento da temperatura do ar favorece o aumento da seca na região do NEB, resultando em redução na quantidade de água do solo, aumento na aridez, que juntamente com o mau uso do solo, podem aumentar o risco de desertificação em partes do NEB. Silva et al. (2018) utilizando dados de 1980 a 2013

obtiveram resultados semelhantes quanto ao aumento dos índices de temperatura do ar para o NEB. Costa et al. (2020) analisaram os índices de extremos climáticos para o NEB de 1961 a 2014 e constataram, nas últimas décadas, tendências de diminuição significativas no número de dias e noites frias, e aumentos no número de dias e noites quentes. Wanderley (2014) para o município de Rio Largo, AL identificou tendência positiva na temperatura diurna com um acréscimo decenal de 0,48 °C.

Ainda não é totalmente conhecida as variações das temperaturas máximas, mínimas e médias do ar por sub-regiões do estado de Alagoas, NEB. Portanto, torna-se necessário para além de uma melhor compreensão das características regionais e temporais da temperatura do ar, verificar se há tendência com significância estatística nas variabilidades espaciais (por sub-regiões) e temporais (mensal, anual e por décadas) visando contribuir para o entendimento de trabalhos futuros que relacionam as influências dessas variabilidades para o meio ambiente, a economia, a sociedade, entre outros no estado de Alagoas. Diante do exposto o objetivo principal neste estudo é caracterizar o perfil mensal e anual da temperatura média do ar, por sub-regiões no estado de Alagoas, NEB, e identificar se há tendências significativas nas séries temporais.

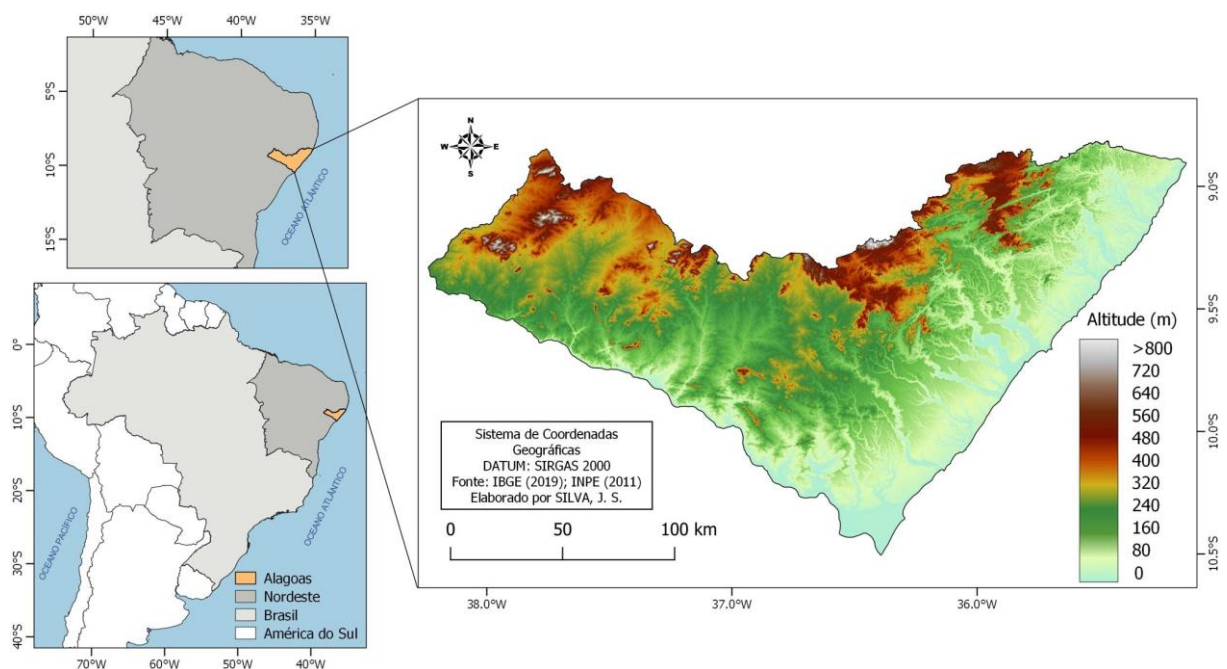
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado de Alagoas (entre as latitudes 8°48' S e 10°30' S e longitudes 38°15' W e 35°09' W), localizado na região NEB, possui 102 municípios, divididos em três mesorregiões, Leste, Agreste e Sertão Alagoano de acordo com o IBGE (1990). As altitudes são inferiores a 850 m acima do nível do mar, mais de 80% do estado encontra-se abaixo de 300 m de altitude (Figura 1), com uma área de 27.779,343 km², que representa 0,3% do território nacional (ASSIS et al., 2007).

Conforme a classificação de Köppen, o estado possui dois tipos climáticos: Tropical chuvoso (A) e o Semiárido (B) a leste e oeste, respectivamente (ALVARES et al., 2013). No litoral a disponibilidade hídrica é maior comparada a porção oeste, que possui predominância de déficit hídrico na maior parte do ano (CABRAL JÚNIOR; BEZERRA, 2018; MEDEIROS et al., 2021; RODRIGUES et al., 2021). Essas características repercutem também no tipo da vegetação, sendo observado no estado a presença do Bioma da Mata Atlântica e o Bioma da Caatinga (IBGE, 2004).

Figura 1 - Localização e hipsometria da área de estudo (estado de Alagoas), região Nordeste do Brasil



Elaboração: Autor, set., 2021

2.2 DADOS

Inicialmente foram tabulados os dados de latitude e longitude para cada ponto centroide municipal, totalizando-se 102 no total. A partir dessas informações foram extraídos os dados mensais de temperaturas do ar máxima e mínima, diariamente, no período de 1980 a 2013, de 98 dos 102 municípios alagoanos.

Esses dados estão disponíveis gratuitamente em <https://utexas.app.box.com/v/Xavier-et-al-IJOC-DATA> e foram organizados e validados por Xavier et al. (2015), que utilizaram diferentes bancos de dados de diferentes instituições de pesquisa do Brasil no intuito de ampliar e melhorar a distribuição temporal e espacial de dados meteorológicos, com uma resolução espacial de 0,25° x 0,25°.

2.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

De posse dos dados calculou-se a temperatura média do ar (tmed), a partir dos valores de temperatura máxima (tmáx) e temperatura mínima (tmin). Em seguida, utilizou-se a análise de Agrupamento (técnica estatística multivariada) para definir quais são os pontos centroides pertencentes a uma determinada sub-região com características de tmed aproximadamente homogêneas. A distribuição espacial e temporal das temperaturas do ar foram apresentadas utilizando-se o método de interpolação Inverse Distance Weighted (IDW).

2.3.1 Análise de Agrupamento

A análise de Cluster define diferentes grupos que apresentam, dentro de cada grupo, elementos com características similares. Para obtenção da similaridade entre os grupos foi utilizado o método da distância euclidiana, que segundo Mimmack et al. (2001) é uma das medidas indicadas para a regionalização de dados climáticos, sendo expressa por:

$$d(X_i, X_j) = \left[\sum_{k=1}^p (X_{i,k} - X_{j,k})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Sendo, $X_{i,k}$ e $X_{j,k}$ os elementos a serem comparados, $X_i \neq X_j = 1, \dots, n$ (número total da amostra), portanto representam os dois elementos a serem comparados, de acordo com a observação da K-ésima variável de cada elemento amostral e p representa o número de variáveis.

A abordagem hierárquica foi utilizada cujo método de ligação adotado foi o de Ward (variância mínima), proposto por Ward (1963), que é baseado pela análise de variância. A soma dos quadrados, dentro de cada grupo, foi verificada a partir do quadrado da distância euclidiana de cada elemento pertencente a cada grupo, conforme a equação 2.

$$w = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{n_g} \|X_i - \bar{X}_g\|^2 = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{k=1}^k (X_{i,k} - \bar{X}_{g,k})^2 \quad (2)$$

Sendo, W – representa a função de ligação de Ward, dada pela soma de quadrados dentro de cada grupo (G_i) (medida de homogeneidade); G – é o número de elementos no grupo G_i quando se está no passo k do processo de agrupamento; $X_{i,k}$ - é o vetor de observações do k -ésimo elemento que pertence ao i -ésimo grupo; $\bar{X}_g$ – é o centróide do grupo G_i .

2.3.2 Teste de Mann-Kendall

De posse das séries temporais mensais de 34 anos de dados de temperaturas do ar para o estado de Alagoas ($T_{máx}$, t_{min} e t_{med}), foram aplicados testes estatísticos no intuito de analisar indícios e características de tendências (aumento ou diminuição de temperatura do ar), para cada município de Alagoas.

Verificou-se em cada série temporal das temperaturas do ar, mensal e anual, se houve tendência significativa a partir do teste não paramétrico proposto por Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975). As etapas do teste constam nas equações 3, 4, 5 e 6.

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} sinal (x_j - x_i) \quad (3)$$

Sendo: S - o resultado da soma das contagens de $(x_j - x_i)$; x_j - o primeiro valor após x_i ; n - o número de dados da série temporal. Para cada par de dados são atribuídos os seguintes valores:

$$sinal = \begin{cases} +1 & se (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & se (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & se (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

A distribuição de probabilidade da estatística S tende à normalidade quando há grandes amostras de observações (n), com média zero e variância dada por:

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

Sendo: t_p - o número de dados com valores iguais em certo grupo; q - o número de grupos contendo valores iguais na série de dados em um grupo p .

A estatística do teste de Mann-Kendall é baseado no valor da variável Z_{MK} , calculado conforme a equação 6:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, & se S > 0 \\ 0, & se S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, & se S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

2.3.3 Teste de Sen

Somente a partir do teste de Mann-Kendall não é possível verificar a magnitude da tendência na série histórica. Portanto, tornou-se necessário a aplicação do estimador estatístico não paramétrico de Sen (1968), que calcula essa magnitude, a partir da equação 7.

$$S_e = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad \text{para } i = 1, 2, 3 \dots, N. \quad (7)$$

Sendo x_j e x_i os valores de x nos instantes j e i respectivamente, para $j > i$.

A intensidade média da tendência foi obtida pela mediana dos N valores da declividade de Sen (S_e), ou seja, o acréscimo ou decréscimo em função do tempo.

2.3.4 Teste de Pettitt

Para complementar a análise de tendência, adotou-se o teste de Pettitt (PETTITT, 1979),

sendo também um teste estatístico não paramétrico, que identifica o tempo em que houve quebra na estrutura temporal. O procedimento estabelece avaliar se a série temporal, submetida a um teste de homogeneidade de duas subamostras, $X_1, \dots, X_t$ e $X_{t+1}, \dots, X_T$, pertencem à mesma população e identifica se há diferenças significativas na média entre ambas. Para tanto, contabilizou-se a frequência que um dado da primeira amostra é maior que o da segunda através da equação 8.

$$U_{t,N} = U_{t-1,N} + \sum_{j=1}^N \text{sgn}(x_t - x_j) \text{ Para } t= 2, 3, \dots, N. \quad (8)$$

A partir do teste de Pettitt é possível identificar a existência de mudança brusca na série temporal. O valor crítico da estatística $k_{(t)}$ e o valor-p da estatística (p) são dados pelas equações:

$$K_{(t)} = \text{Max}_{1 \leq t \leq N} |U_{t,N}| \text{ para } t= 2, 3, \dots, N. \quad (9)$$

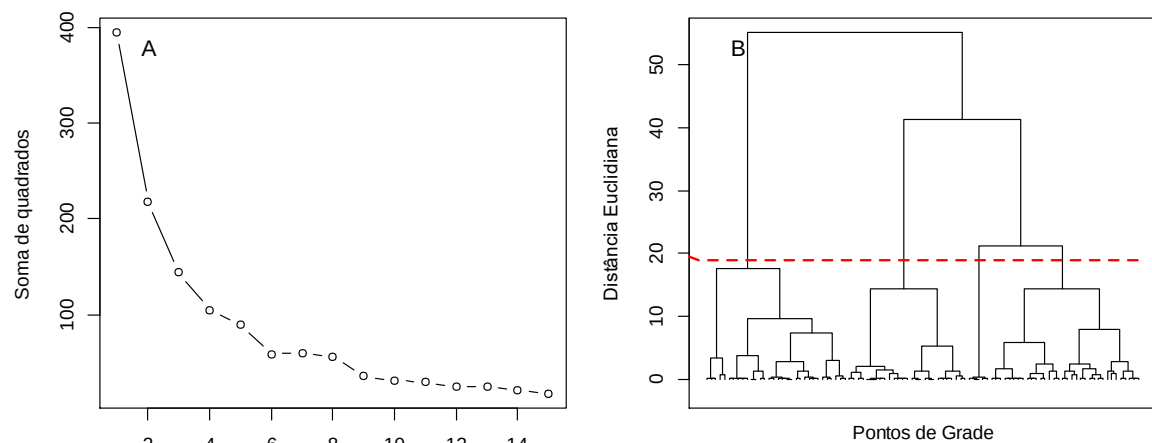
$$p = 2e^{\frac{-6(k_N)^2}{(N^3+N^2)}} \text{ para } t= 2, 3, \dots, N. \quad (10)$$

Em todos os testes desenvolvidos neste estudo considerou-se um nível de significância estatística de 5%, análises estas utilizando-se o software estatístico livre R 3.3.1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de cluster propiciou a divisão de sub-regiões com características homogêneas no estado de Alagoas, considerando-se a temperatura média do ar mensal. Observa-se que a partir do número de cluster 4 a soma dos quadrados permaneceu aproximadamente constante (Figura 2-a), logo esse foi o número considerado para subdividir o estado de Alagoas em quatro sub-regiões, cujos pontos centroides municipais foram agrupados e demonstrados através do dendrograma (Figura 2-b), com o respectivo recorte (linha vermelha), utilizado para dividir o número de grupos a partir do método da distância euclidiana e do agrupamento hierárquico através da técnica de ligação de Ward. O quantitativo de municípios pertencentes a cada sub-região é apresentado na Tabela 1.

Figura 2 - Número de cluster (A) e dendrograma (B) referentes aos quatro grupos da temperatura média do ar mensal, a partir da análise de agrupamento, considerando-se a distância euclidiana e o método de ligação de Ward, para o estado de Alagoas, período: 1980 a 2013



Elaboração: Autor, ago., 2021

Tabela 1 - Frequência absoluta e relativa do número de municípios pertencentes as sub-regiões da temperatura média do ar para o estado de Alagoas

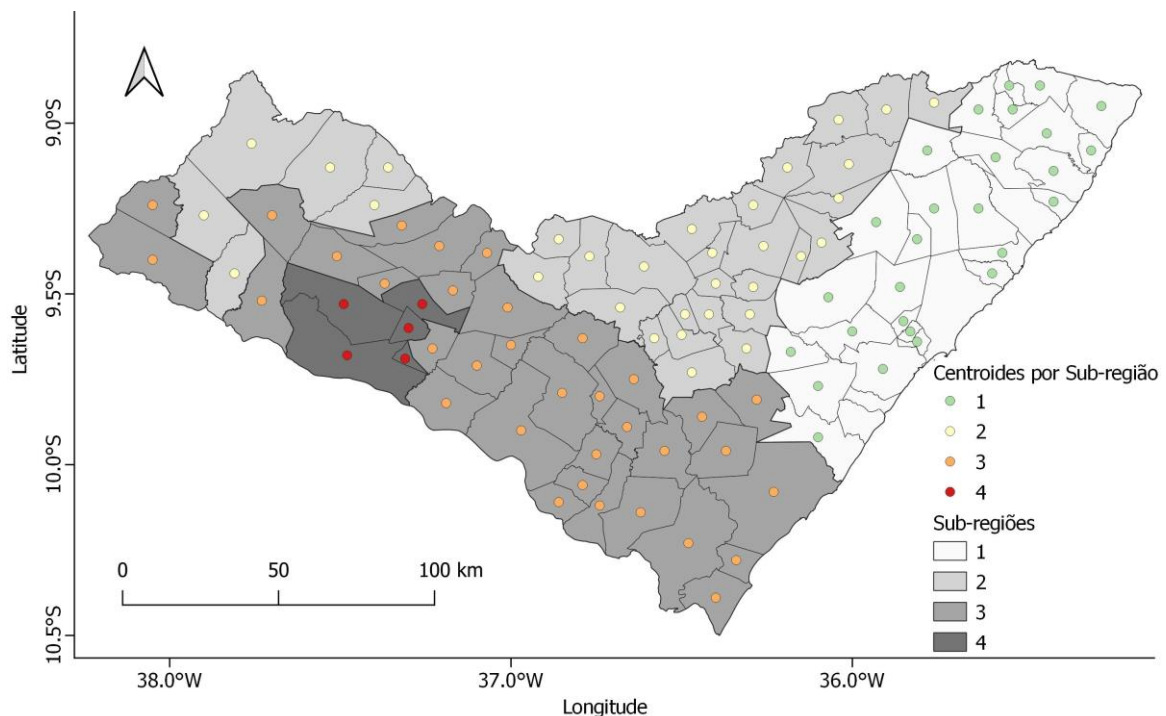
Sub-região	Nº de municípios	% de municípios
1	31	30,4
2	32	31,4
3	34	33,3
4	5	4,9
Total	102	100

Elaboração: Autor, ago., 2021

O estado de Alagoas possui 102 municípios, nota-se que a Sub-região 1 (S1) apresenta 30,4% dos municípios do estado, que se encontra no leste do estado, abrangendo a maior parte

do Litoral alagoano. A Sub-região 2 (S2) tem 31,4% dos municípios, caracterizada por altimetrias mais elevadas, em termos médios, chegam a ultrapassar os 700 m, em alguns pontos, estando a maior parte localizada no norte do estado na divisa com o estado de Pernambuco, situada predominantemente sobre o Planalto da Borborema, conforme já descrito por Côrrea et al. (2010) e Monteiro e Côrrea (2020). Para a Sub-região 3 (S3) tem-se o maior número de municípios, sendo a maior sub-região com 33,3% dos municípios, com predominância de depressões, ocupa o sul e o centro-oeste do estado. Quanto a Sub-região 4 (S4), esta dispõe de apenas 5 municípios, localizados no oeste do estado entre os municípios da S3, no Sertão de Alagoas.

Figura 3 - Sub-regiões da temperatura média do ar distribuídas no estado de Alagoas, definidas com a localização dos grupos homogêneos



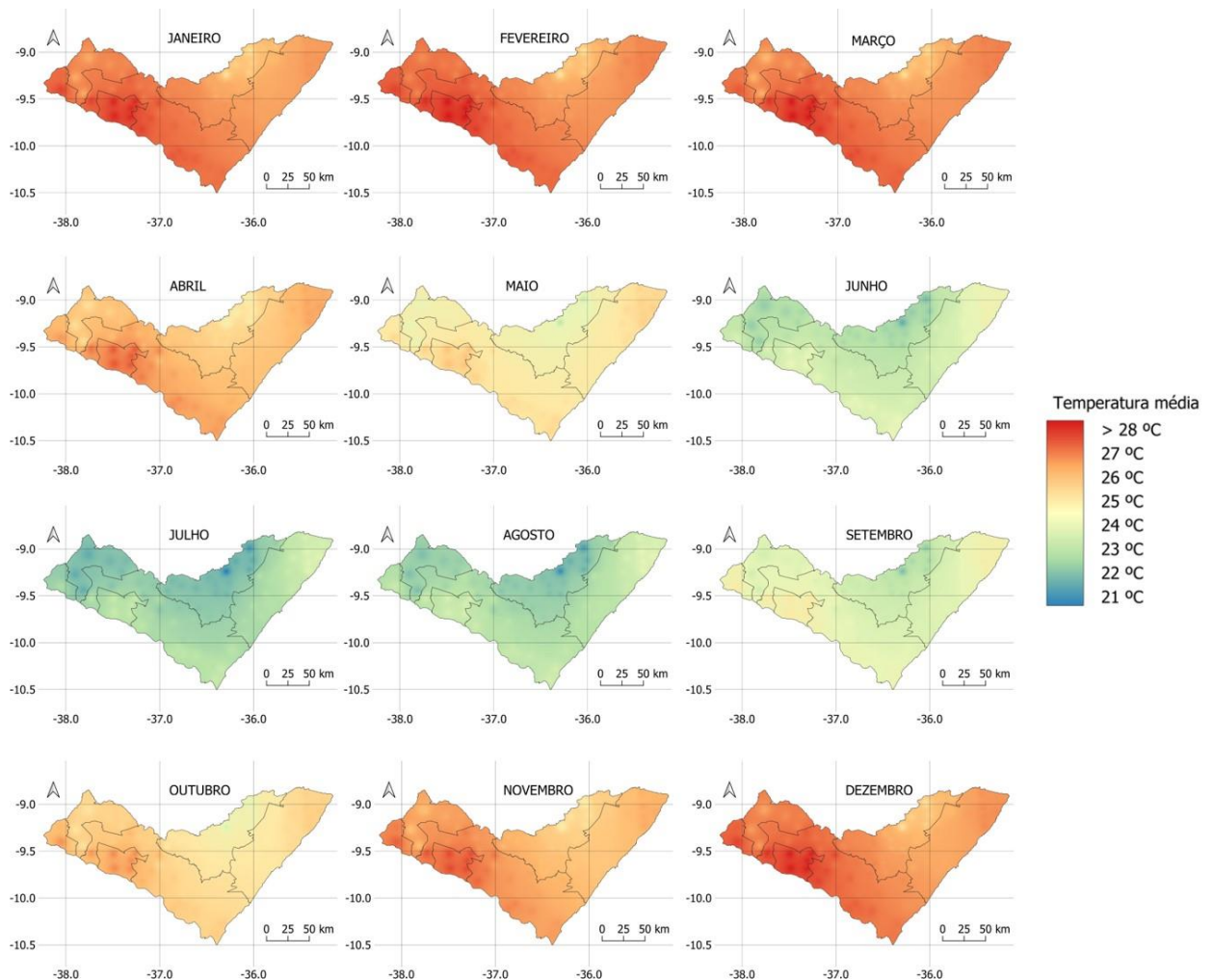
Elaboração: Autor, set., 2021

Nas Figuras 4 e 5 verifica-se a variabilidade espacial e temporal da temperatura média do ar para o estado de Alagoas. Observa-se que as ocorrências dos maiores valores são registradas nos meses entre dezembro e março, cujas temperaturas são superiores a 28 °C, período do verão, por outro lado o trimestre de junho, julho e agosto, inverno no hemisfério sul, apresentam as menores temperaturas que oscilam, em média, entre 21 e 23 °C (Figura 4).

Para os meses das estações de transição, abril-maio e outubro-novembro, as temperaturas variaram com maior frequência no intervalo entre 24 e 26 °C. Entretanto, possuem

características próprias das estações, em que nos meses do outono há um resfriamento do ar sucessivamente à medida em que se aproxima do inverno e o oposto ocorre na primavera até que se inicie o verão. Essas variações são esperadas em função da localização geográfica e do movimento anual aparente do Sol, de acordo com Medeiros et al. (2005) e Cabral Júnior et al. (2013).

Figura 4 - Distribuição espacial mensal da temperatura média do ar para o estado de Alagoas no período de 1980 a 2013

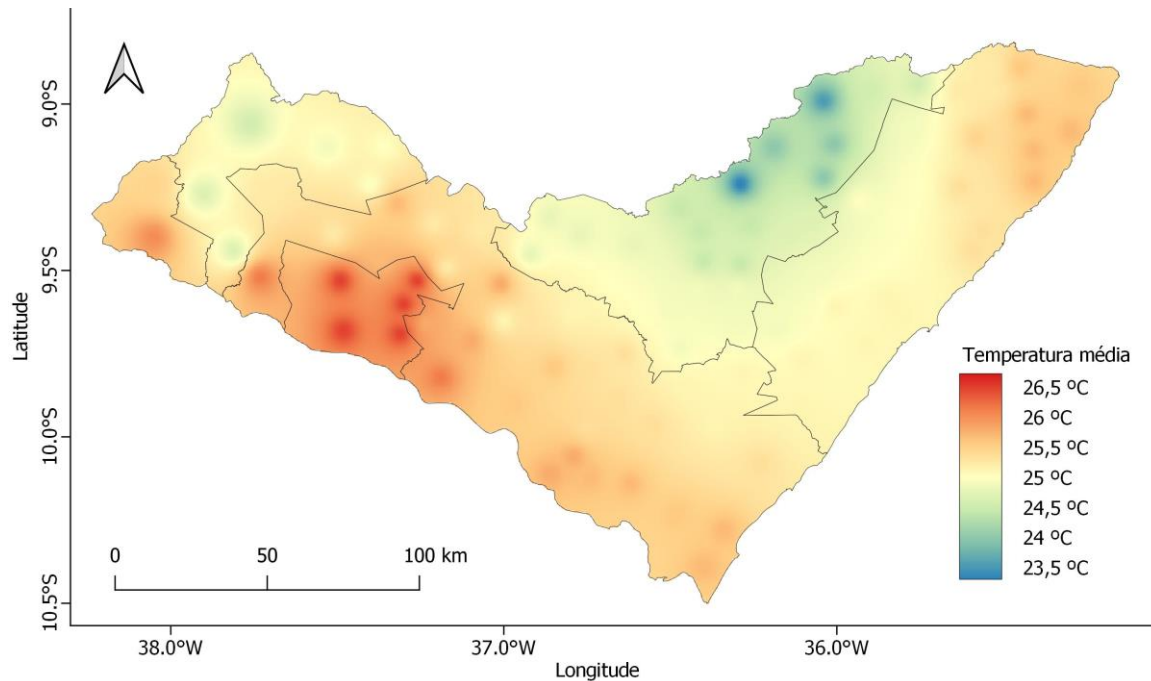


Elaboração: Autor, set., 2021

Em termos anuais (Figura 5), na maior parte de Alagoas a temperatura média anual é de 25 °C, com o menor e maior valor médio variando, respectivamente, entre 23,5 e 26,3 °C. A S2 se destaca como a de menor temperatura, em média, e o município de Chã Preta, que está inserido no Planalto da Borborema, é o município de menor temperatura média anual (23,5 °C),

enquanto as maiores temperaturas estão concentradas a oeste, tendo São José da Tapera e os outros quatro municípios da S4 com a maior média anual (26,3 °C).

Figura 5 - Distribuição espacial anual da temperatura média do ar para o estado de Alagoas no período de 1980 a 2013



Elaboração: Autor, set., 2021

Destaca-se, para as variações espaciais, que na S2 foram identificadas as menores médias das temperaturas média, máxima e mínima do ar em todos os meses, atribuído principalmente ao fator relevo (maior altitude). Majoritariamente as médias das temperaturas médias mensais foram inferiores a 26 °C. Em contrapartida, a S4 se destacou por ser a mais quente, com temperaturas, em termos médios anuais, que ultrapassam 26 °C da temperatura. Nesse sentido, estudos de Lucena et al. (2022) mostraram a importância do efeito relevo para as variações no regime térmico, indicando a contribuição inversa da altitude para a temperatura do ar, mesmo em pontos muito próximos.

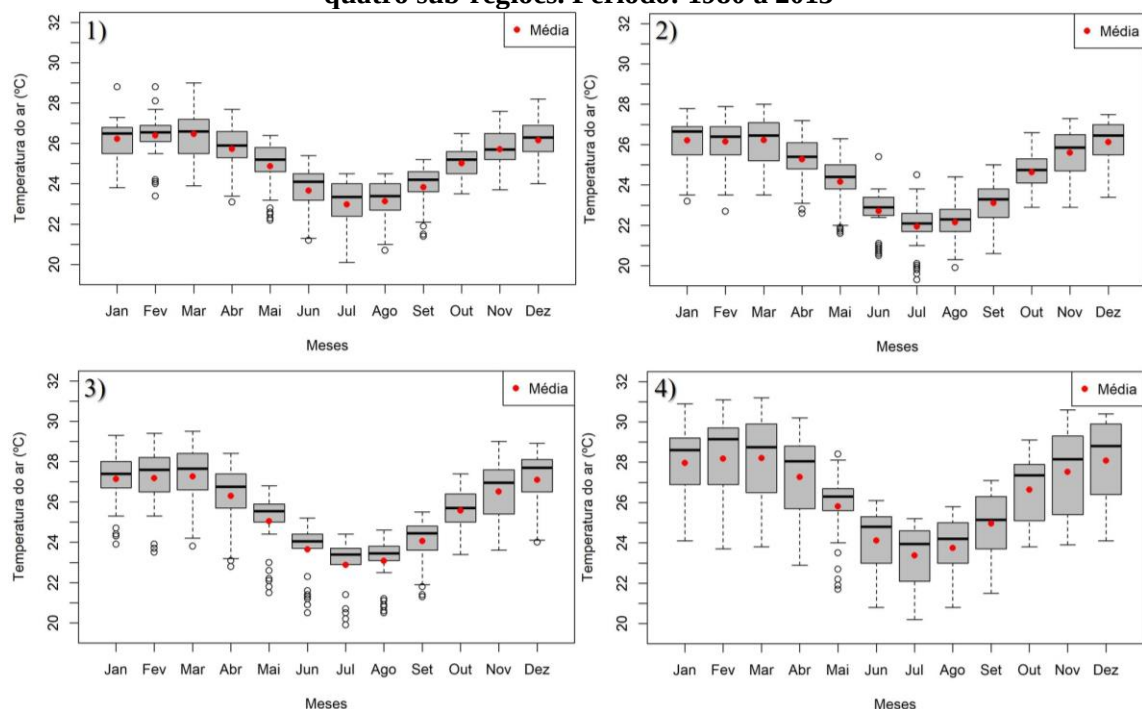
Verificou-se nesta pesquisa que as S1 e S3 possuem as menores amplitudes térmicas (Figura 4). O que praticamente as diferencia é que a amplitude térmica passa a ser mais elevada na S3 (entre verão e inverno) e também com diferenças maiores entre as médias dos pontos dentro do grupo, quando comparadas à S1, com exceção da porção nordeste do estado (localizada na S1), no qual apresenta a maior diferença térmica quando comparada ao restante da sub-região. Essa menor amplitude termal da S1, comparada as outras sub-regiões de Alagoas, pode ser atribuída à influência conjunta do efeito relevo no clima (menores altitudes e baixas

variações altimétricas), da brisa oceânica e também da maior concentração de chuvas (LYRA et al., 2014), portanto, a concentração de maior quantidade de vapor d'água no ar favorece para menores amplitudes termiais (ALMEIDA, 2016).

Com o intuito de visualizar os períodos de menores e maiores temperaturas em cada grupo (Figura 6), elaborou-se o gráfico *boxplot*, no qual é possível observar a dissimilaridade entre os grupos e analisar as respectivas amplitudes mensais.

Nota-se que para todos os grupos as maiores médias estão entre os meses de dezembro e março, e as menores presentes entre junho e agosto. A S1, representada pelo município de Rio Largo, obtém a menor variação média mensal, sendo fevereiro o mês com a menor amplitude térmica e março a maior, que também têm a máxima da série (29 °C). A S2, representada pelo município de Mar vermelho, apresenta a menor média mensal entre todos os grupos registrada no mês de julho (22 °C), com a menor variabilidade no mês de junho. Para a S3, representada pelo município de Girau do Ponciano, verifica-se que durante todo o inverno há as menores amplitudes térmicas mensais, comparadas a outras sub-regiões, as máximas das médias ocorrem nos meses de fevereiro (29,4 °C) e março (29,5 °C). Enquanto isso a S4, representada pelo município de Pão de Açúcar, além de possuir as maiores médias (28,2 °C) também dispõe das maiores amplitudes térmicas mensais, com destaque para os meses entre novembro e abril, chegando a atingir uma amplitude superior a 5 °C.

Figura 6 - Boxplots da temperatura média do ar mensal com as respectivas médias para as quatro sub-regiões. Período: 1980 a 2013

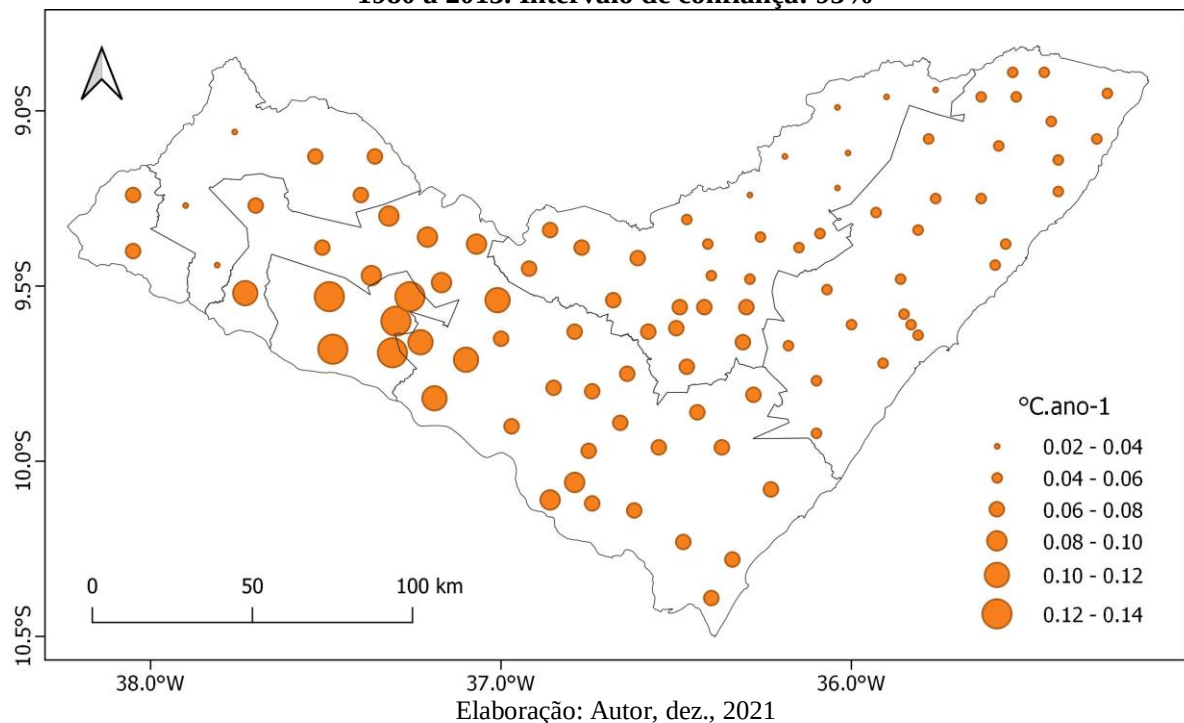


Elaboração: Autor, set., 2021

As tendências de aumento na temperatura média para todo o estado de Alagoas (Figura 7) foram observadas. Essa tendência foi estatisticamente significativa a 5% nas quatro sub-regiões. Na S1, a temperatura média registrou um acréscimo entre 0,04 a 0,06 °C.ano⁻¹ em todos os seus pontos (municípios). Para a S2, os acréscimos da temperatura média oscilaram de 0,02 a 0,09 °C.ano⁻¹.

Na S3, a temperatura média registrou acréscimo sempre superior a 0,06 °C.ano⁻¹, nas proximidades da S4 registraram-se aumentos superiores a 0,1 °C.ano⁻¹, com destaque para o município de Piranhas com um acréscimo 0,12 °C.ano⁻¹. A sub-região mais quente do estado de Alagoas (S4) apresentou tendências com os maiores aumentos da temperatura média (0,13 °C.ano⁻¹). Em termos médios, esses resultados reverberam em um acréscimo significativo na ordem de 1,3 °C por década na temperatura média do ar.

Figura 7 - Tendências anuais da temperatura média do ar para o estado de Alagoas, período: 1980 a 2013. Intervalo de confiança: 95%



Os resultados apresentados neste trabalho indicam impactos na temperatura do ar que podem estar associados às mudanças climáticas regionais e/ou globais, através do sequenciamento de acréscimos na temperatura do ar para todo o estado de Alagoas. Estudos de Marengo (2014) indicaram, por meio de projeções feitas para até 2100, que haverá aumento de temperatura e ondas de calor em todas as regiões do Brasil, corroborando com os resultados do 6º Relatório de Avaliação (AR6) recentemente publicado pelo IPCC (IPCC, 2021) ao

constatarem que a taxa de aquecimento está se acelerando. O IPCC faz ainda um alerta de que as temperaturas médias globais de superfície aumentaram mais rapidamente desde 1970 do que em qualquer outro período de 50 anos durante pelo menos os últimos 2000 anos, assim como uma tendência de aquecimento em 1,5 °C, podendo ocorrer em médio prazo.

Vários estudos têm confirmado que o aumento da temperatura do ar é uma realidade que necessita ser melhor entendida e enfrentada, para que possibilite estratégias de planejamento viáveis de mitigação e adaptação socioambiental. No Brasil, Cavalcante et al. (2020) encontrou para o estado do Ceará, um padrão de aumento do período 1994-2015 em relação ao período 1961-1990, da ordem de 0,7 °C, 0,4 °C e 0,6 °C em média das temperaturas máxima, mínima e média, respectivamente. Ávila et al. (2014) encontraram para o estado de Minas Gerais tendências significativas na temperatura máxima do ar anual em 37 dos 43 municípios avaliados, enquanto para a mínima, foram registrados 27 municípios, ambas com tendência de aumento de até 1 °C, e sazonalmente com um acréscimo de até 1,5 °C por década na temperatura mínima.

No estado da Paraíba, Dantas et al. (2015) encontraram, para o município de Campina Grande, PB magnitude positiva nas máximas das temperaturas máxima e mínima diária de 0,05 e 0,018 °C.ano⁻¹, respectivamente, associando a intensa expansão urbana como uma possível causa dessa alteração. Fragomeni et al. (2020) reforçaram sobre impactos com o aumento na temperatura média, que contribui para o desconforto térmico e a vulnerabilidade a doenças. Portanto, os resultados desta pesquisa contribuem para um melhor entendimento temporal e espacial e pode ser utilizado para gestão do território.

Parte dos resultados, aqui encontrados, evidenciaram ainda que as maiores magnitudes das tendências de aumento da temperatura do ar, encontradas para o estado de Alagoas, não estão na zona costeira (onde se tem o maior contingente populacional), os valores mais elevados são observados na porção da região Semiárida, região essa que é afetada pela irregularidade da precipitação (MUTTI et al., 2020; MEDEIROS et al., 2021; RODRIGUES et al., 2021) e por elevados valores de Evapotranspiração de Referência (ET₀) (CABRAL JÚNIOR; BEZERRA, 2018). Portanto, aumento na temperatura média do ar contribuem para aumento da ET₀ (CABRAL JÚNIOR et al., 2019), que por sua vez pode estar intensificando registros de secas (MARENGO et al., 2017). Em consonância com Huang et al. (2016) alerta-se que devido a elevada vulnerabilidade das regiões semiáridas frente às mudanças climáticas, qualquer mudança no regime térmico e pluvial propiciam consequências desastrosas para a produtividade agrícola e bem-estar geral da população.

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados encontrados neste trabalho, conclui-se que:

1. O estado de Alagoas apresenta quatro sub-regiões de acordo com a temperatura média do ar e nesta pesquisa foram denominadas de sub-regiões 1 (S1), 2 (S2), 3 (S3) e 4 (S4);
2. A S4 é a sub-região que apresenta os maiores valores da temperatura média do ar, mensalmente acima de 28 °C, nos meses do verão, e anualmente com temperatura média de 26,3 °C. Por outro lado, a S2 apresentou as menores temperaturas médias mensais do ar, inferiores a 26 °C na maior parte dos municípios dessa sub-região, apresentando no inverno a menor temperatura média anual de Alagoas (23,5 °C), cuja sub-região é que obtém as maiores altitudes;
3. A S1 possui as menores amplitudes térmicas, associadas à influência conjunta da localização geográfica, da brisa oceânica e também da maior concentração de chuvas, embora a S3 apresenta amplitude semelhante, mas os valores são mais elevados e com maiores diferenças internamente (entre os municípios);
4. Foram encontradas tendências significativas de aumento da temperatura média mensal e anual para todo o estado de Alagoas, com destaque para a S4 com acréscimo de 1,3 °C/década;
5. O incremento na temperatura do ar em Alagoas, pode estar aumentando a vulnerabilidade nessa área, especialmente na área que contempla a região Semiárida (oeste do estado), que por sua vez, já é caracterizada pela predominância de déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. A. **Climatologia Aplicada à Geografia**, 2nd ed.; ADUEPB: Campina Grande, Brasil, 2016. 317 p.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.
- ARGÜESO, D.; EVANS J. P.; FITA, L.; BORMANN, K. J. Temperature response to future urbanization and climate change. **Clim Dyn**, v. 42, p. 2183-2199, 2014.
- ASSIS, J. S.; ALVES, A. L.; NASCIMENTO, M. C. **Atlas Escolar de Alagoas: Estudo Geo-Histórico e Cultural**. João Pessoa: Grafset, 2007. 210 p.
- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; YANAGI, S. N. M.; SACRAMENTO NETO, O. B. Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 4, p. 247-256, 2014.
- CABRAL JUNIOR, J. B.; ALMEIDA, H. A.; SILVA, C. M. S. Análise Comparativa da Temperatura Média do Ar em Campina Grande, PB, obtida pelo Método dos Extremos e pelo Método Padrão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 4, p. 888-902, dez. 2013.
- CABRAL JÚNIOR, J. B.; BEZERRA, B. G. Análises da evapotranspiração de referência e do índice de aridez para o Nordeste do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, n. 1, p. 71-89, jul. 2018.
- CABRAL JÚNIOR, J. B.; SILVA, C. M. S.; ALMEIDA, H. A.; BEZERRA, B. G.; SPYRIDES, M. H. C. Detecting linear trend of reference evapotranspiration in irrigated farming areas in Brazil's semiarid region. **Theoretical And Applied Climatology**, v. 138, 2019.
- CAVALCANTE, A. M. B.; SANTOS, E. B.; SILVA FILHO, V. P.; DANTAS, V. A.; VIEIRA, L. C. S.; GANDU, A. W. Análise Espaço-Temporal das Temperaturas no Ceará no Contexto das Mudanças Climáticas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 743-752, abr. 2020.
- CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B de A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, v. 31, p. 35-52, 2010.
- COSTA, R. L.; BAPTISTA, G. M. M.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. S.; ROCHA JÚNIOR, R. L.; SALVADOR, M. A.; HERDIES, D. L. Analysis of climate extremes indices over northeast Brazil from 1961 to 2014. **Weather Clim Extrem**, v. 28, 2020.
- DANTAS, L. G.; SANTOS, C. A. C.; OLINDA, R. A. Tendências anuais e sazonais nos extremos de temperatura do ar e precipitação em Campina Grande – PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 423-434, 2015.

FRAGOMENI, M. B. A.; BERNARDES, S.; SHEPHERD J. M.; RIVERO, R. A collaborative approach to heat response planning: A case study to understand the integration of urban climatology and land-use planning. **Urban Climate**, v. 33, 2020.

HUANG, J.; JI, M.; XIE, Y.; WANG, S.; HE, Y.; RAN, J. Global semi-arid climate change over last 60 years. **Clim Dyn**, 46, p. 1131–1150, 2016.

IBGE. **Divisão do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas**. Vol I. Rio de Janeiro: Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (FIBGE). Diretoria de Geociências (DGC) e Departamento de Geografia (DEGEO), 1990. 137 p.

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**. Rio de Janeiro, 2004.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.

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

LUCENA, R. L.; SILVA, F. E. B.; APRÍGIO, T. R. M.; CABRAL JÚNIOR, J. B. The Influence of Altitude on the Climate of Semiarid Areas: Contributions to Conservation. **The International Journal of Climate Change: Impacts and Responses**, v. 14, n. 2, p. 81-93, 2022.

LYRA, G. B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; ZERI, L. M. M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 13, p. 3546 - 3558, 2014.

MAHLSTEIN, I.; KNUTTI, R.; SOLOMON, S.; PORTMANN, R. Early onset of significant local warming in low latitude countries. **Environ. Res. Lett.**, v. 6, n. 3, 2011.

MANN, H. B. **Non-parametric tests against trend**. *Econometrica* 13, 245-259, 1945

MARENGO, J. A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, n. 103, p. 25-32, 2014.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, v. 129, n. 1-2, p. 103-115, 2015.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 2017.

MEDEIROS, F. J.; DE OLIVEIRA, C. P.; GOMES, R. D. S.; DA SILVA, M. L.; CABRAL JÚNIOR, J. B. Hydrometeorological conditions in the semiarid and east coast regions of northeast brazil in the 2012-2017 period. **An. Acad. Bras. Cienc.**, 93, e20200198, 2021.

MEDEIROS, S. S.; CECILIO, R. A.; MELO JUNIOR, J. C. F.; SILVA JUNIOR, J. L. C. Estimativas e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p. 247-255, 2005.

MIMMACK, G. M.; MASON, S. J.; GALPIN, J. S. Choice of distance matrices in cluster analysis: defining regions. **Journal of Climate**, v. 14, n. 12, p. 2790-2797, 2001.

MONTEIRO, K. A.; CORRÊA, A. C. B. Application of morphometric techniques for the delimitation of Borborema Highlands, northeast of Brazil, eastern escarpment from drainage knick-points. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 103, p. 102729, 2020

MUTTI, P. R.; ABREU, L. P.; ANDRADE, L.M. B.; SPYRIDES, M. H. C.; LIMA, K. C.; OLIVEIRA, C.P.; DUBREUIL, V.; BEZERRA, B. G. A detailed framework for the characterization of rainfall climatology in semiarid watersheds. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 139, p. 109-125, 2020.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied statistics**, p. 126-135, 1979.

RODRIGUES, D. T.; SANTOS E SILVA, C. M.; DOS REIS, J. S.; PALHARINI, R. S. A.; CABRAL JÚNIOR, J. B.; DA SILVA, H. J. F.; MUTTI, P. R.; BEZERRA, B. G.; GONÇALVES, W. A. Evaluation of the Integrated Multi-SatellitE Retrievals for the Global Precipitation Measurement (IMERG) Product in the São Francisco Basin (Brazil). **Water**, 13, 2714, 2021.

SCHLEUSSNER, C.-F.; LISSNER, T. K.; FISCHER, E. M.; WOHLAND, J.; PERRETTE, M.; GOLLY, A.; ROGELJ, J.; CHILDERS, K.; SCHEWE, J.; FRIELER, K.; MENGEL, M.; HARE, W.; SCHAEFFER, M. Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case of 1.5 °C and 2 °C. **Earth Syst. Dynam.**, v. 7, p. 327-351, 2016.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, p.1379-1389, 1968.

SILVA, P. E.; SILVA, C. M. S.; SPYRIDES, M. H. C.; ANDRADE, L. M. B. Precipitation and air temperature extremes in the Amazon and northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 2, p. 1-17, 2018.

WANDERLEY, H. S. et al. Mudança no Regime Temporal da Temperatura do Ar e Precipitação Pluviométrica na Região de Rio Largo, Alagoas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 7, n. 4, p. 662-667, nov. 2014

WARD, J. Hierarchical Grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, p. 236-244, 1963.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644–2659, 2015.