

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

MÁRIO HENRIQUE GUILHERME DOS SANTOS VANDERLEI

**ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO EM ALAGOAS COM O UNIVERSAL  
THERMAL CLIMATE INDEX**

Maceió, AL  
2024

MÁRIO HENRIQUE GUILHERME DOS SANTOS VANDERLEI

**ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO EM ALAGOAS COM O UNIVERSAL  
THERMAL CLIMATE INDEX**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Atmosféricas - ICAT da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

**Orientador:** Prof. Dr. Fabrício Daniel dos Santos  
Silva

Maceió, AL  
2024

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

V235a Vanderlei, Mário Henrique Guilherme dos Santos.  
Análise do conforto térmico em Alagoas com o Universal Thermal  
Climate Index / Mário Henrique Guilherme dos Santos Vanderlei. – 2024.  
67 f. : il. color.

Orientador: Fabrício Daniel dos Santos Silva.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) –  
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas.  
Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 56-67.

1. Conforto térmico humano - Alagoas. 2. UTCI (Universal Thermal  
Climate Index). 3. Climatologia. I. Título.

CDU: 551.58 (813.5)

## Folha de Aprovação

MÁRIO HENRIQUE GUILHERME DOS SANTOS VANDERLEI

### ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO EM ALAGOAS COM O UNIVERSAL THERMAL CLIMATE INDEX

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas e aprovado em 01 de fevereiro de 2024.

Documento assinado digitalmente  
 FABRÍCIO DANIEL DOS SANTOS SILVA  
Data: 01/02/2024 19:10:14-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Orientador (a) - Prof. Dr. Fabrício Daniel dos Santos Silva

#### Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 MARIA LUCIENE DIAS DE MELO  
Data: 01/02/2024 19:52:35-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Examinador (a) Interno (a) - Profa. Dra. Maria Luciene Dias de Melo

Documento assinado digitalmente  
 RAFAELA LISBOA COSTA  
Data: 01/02/2024 19:14:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Examinador (a) Interno(a) - Profa. Dra. Rafaela Lisboa Costa

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, ao meu orientador que me auxiliou e esteve ao meu lado durante boa parte da minha graduação.

Aos meus familiares e à minha namorada Rubia, por todo o apoio, companheirismo e ajuda. A todos os meus amigos que de alguma forma contribuíram para que eu estivesse aqui hoje, em especial: Mayara, João, Lucas, Lívia, Adélia, Luiz, Katyelle, Rayane, Paulo.

A todos os professores que me ensinaram ao longo de toda a jornada da graduação, sobretudo ao meu professor e orientador Fabrício Daniel dos Santos Silva, que não é apenas um orientador, é um pai.

Para finalizar, agradeço a todas as pessoas com quem convivi ao longo desses anos da graduação, que me incentivaram e de uma certa forma impactaram na minha formação acadêmica.

## RESUMO

O estudo abordou a distribuição espaço-temporal do conforto térmico humano no estado de Alagoas, empregando o Universal Thermal Climate Index (UTCI) para os períodos climatológicos de 1961-1990 e 1991-2020. Utilizando séries temporais diárias de temperatura média do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura média radiante, o UTCI foi calculado para estimar o nível de conforto térmico em cada um dos 102 municípios alagoanos. Os resultados obtidos revelaram uma tendência de aumento no índice UTCI, indicando condições térmicas menos favoráveis ao conforto humano ao longo dos anos estudados. Essa análise espaço-temporal permitiu identificar padrões específicos de variação no conforto térmico em diferentes regiões e estações do ano. As normais climatológicas foram analisadas a partir de suas médias climatológicas sazonais e anuais, analisando ainda, suas diferenças em ambos os períodos climatológicos 1991-2020 e 1961-1990. O verão e outono destacaram-se de acordo com as normais climatológicas e UTCI, como as estações preferenciais de riscos associados ao calor e o inverno e primavera como as estações em que predomina o conforto térmico. A utilização de séries temporais diárias e a abrangência municipal ofereceram uma visão abrangente das mudanças climáticas e suas implicações no conforto térmico, evidenciando o aumento na temperatura média do ar, aumento na temperatura média radiante, diminuição na umidade relativa e velocidade do vento. Assim, fornecendo uma base valiosa para compreender as dinâmicas climáticas locais e destacando a importância de estratégias de adaptação e mitigação para enfrentar os desafios crescentes associados ao aumento do índice UTCI no estado de Alagoas.

**Palavras-chave:** temperatura média radiante, umidade, conforto térmico, índice biometeorológico.

## ABSTRACT

The study addressed the space-time distribution of human thermal comfort in the state of Alagoas, employing the Universal Thermal Climate Index (UTCI) for the climatological periods of 1961-1990 and 1991-2020. Using daily time series of average air temperature, relative humidity, wind speed, and mean radiant temperature, UTCI was calculated to estimate the level of thermal comfort in each of the 102 municipalities in Alagoas. The results revealed a trend of increasing UTCI, indicating less favorable thermal conditions for human comfort over the studied years. This space-time analysis allowed for the identification of specific patterns of variation in thermal comfort in different regions and seasons. Climatological normals were analyzed based on their seasonal and annual climatological means, also examining their differences in both climatological periods of 1991-2020 and 1961-1990. Summer and autumn stood out according to climatological normal and UTCI, as the preferred seasons with heat-related risks, while winter and spring were identified as seasons dominated by thermal comfort. The use of daily time series and municipal coverage provided a comprehensive view of climate changes and their implications for thermal comfort, highlighting the increase in average air temperature, mean radiant temperature, and the decrease in relative humidity and wind speed. Thus, providing a valuable foundation for understanding local climate dynamics and emphasizing the importance of adaptation and mitigation strategies to address the growing challenges associated with the increase in UTCI in the state of Alagoas.

**Keyword:** mean radiant temperature, humidity, thermal comfort, biometeorological index.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Centroides dos municípios em que foram extraídas séries temporais da análise gradeada de Xavier et al. (2022) e da reanálise ERA5, nas diferentes mesorregiões de Alagoas.....	20
<b>Figura 2:</b> Climatologia da Temperatura média em Alagoas no (a) verão, (b) inverno, (c) outono e (d) verão. Período: 1961-1990.....	28
<b>Figura 3:</b> Climatologia da umidade relativa em Alagoas no (a) verão, (b) inverno, (c) outono e (d) primavera. Período: 1961-1990.....	29
<b>Figura 4:</b> Climatologia anual da (a) temperatura média e (b) umidade relativa. Período: 1961-1990.....	30
<b>Figura 5:</b> Climatologia da Temperatura média em Alagoas no (a) verão, (b) inverno, (c) outono e (d) verão. Período: 1991-2020.....	30
<b>Figura 6:</b> Climatologia da umidade relativa em Alagoas no (a) verão, (b) inverno, (c) outono e (d) primavera. Período: 1991-2020.....	31
<b>Figura 7:</b> Climatologia anual da (a) temperatura média e (b) umidade relativa. Período: 1991-2020.....	32
<b>Figura 8:</b> Diferença da Temperatura Média em Alagoas no período 1961-1990 e 1991-2020 no (a) verão, (b) outono, (c) inverno, (d) primavera e (e) ano.....	33
<b>Figura 9:</b> Diferença da Umidade Relativa em Alagoas no período 1961-1990 e 1991-2020 no (a) verão, (b) outono, (c) inverno, (d) primavera e (e) ano.....	34
<b>Figura 10:</b> Climatologia da Velocidade do Vento em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. Período: 1961-1990 .....	35
<b>Figura 11:</b> Climatologia da Velocidade do Vento em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. Período: 1991-2020 .....	36
<b>Figura 12:</b> Climatologia anual da Velocidade do Vento em Alagoas no período (a) 1961-1990 e (b) 1991-2020 .....	37
<b>Figura 13:</b> Diferença do Vento em Alagoas no período 1961-1990 e 1991-2020 no (a) verão, (b) outono, (c) inverno, (d) primavera e (e) ano .....	38
<b>Figura 14:</b> Climatologia da Temperatura Média Radiante em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. Período: 1961-1990.....	39

<b>Figura 15:</b> Climatologia da Temperatura Média Radiante em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. Período: 1991-2020.....	40
<b>Figura 16:</b> Climatologia anual da Temperatura Média Radiante em Alagoas no período (a) 1961-1990 e (b) 1991-2020.....	41
<b>Figura 17:</b> Diferença da temperatura média radiante em Alagoas no período 1961-1990 e 1991-2020 no (a) verão, (b) outono, (c) inverno, (d) primavera e (e) ano .....	41
<b>Figura 18:</b> Climatologia sazonal do Índice de Conforto Térmico em Alagoas no (a) e (b) verão, (c) e (d) outono, (e) e (f) inverno e (g) e (h) primavera. Período: 1961-1990 e 1991-2020 .....	43
<b>Figura 19:</b> Climatologia anual do Índice de Conforto Térmico Universal em Alagoas no período (a) 1961-1990 e (b) 1991-2020 .....	44
<b>Figura 20:</b> Diferença do UTCI em Alagoas no período 1961-1990 e 1991-2020 no (a) verão, (b) outono, (c) inverno, (d) primavera e (e) ano.....	46
<b>Figura 21:</b> Número de cluster (a) e dendograma (b) para os seis grupos com base nos dados climatológicos mensais do UTCI no período 1961-1990.....	47
<b>Figura 22:</b> Regiões homogêneas de UTCI no período 1961-1990.....	48
<b>Figura 23:</b> Climatologia mensal do UTCI para cada grupo homogêneo identificado no período 1961-1990.....	49
<b>Figura 24:</b> Número de cluster (a) e dendograma (b) para os seis grupos com base nos dados climatológicos mensais do UTCI no período 1991-2020.....	50
<b>Figura 25:</b> Regiões homogêneas de UTCI no período 1991-2020.....	51
<b>Figura 26:</b> Climatologia mensal do UTCI para cada grupo homogêneo identificado no período 1991-2020.....	52
<b>Figura 27:</b> Climatologias dos valores mensais de UTCI nos períodos 1961-1990 e 1991-2020, para cada grupo homogêneo .....	53

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Temperaturas equivalentes do UTCI categorizadas em termos de estresse térmico e percepção térmica .....	21
<b>Tabela 2:</b> Grupos e quantidade de municípios pertencentes .....	47
<b>Tabela 3:</b> Grupos e quantidade de municípios pertencentes .....	50
<b>Tabela 4:</b> Valores médios do UTCI dos grupos homogêneos em cada estação do ano, e respectivas diferenças entre 1991-2020 e 1961-1990 (destacadas em vermelho as positivas, e em azul as negativas) .....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

UTCI	Universal Thermal Climate Index
TMR	Temperatura Média Radiante
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
ISO	International Organization for Standardization
WBGT	Wet Bulb Globe Temperature
Ta	Temperatura do ar
°C	graus Celsius
UR	Umidade Relativa
%	percentual
hPa	hectoPascal
Tm	Temperatura Média do ar
NEB	Nordeste do Brasil
V	Velocidade do vento
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	11
2 OBJETIVOS .....	14
2.1 OBJETIVO GERAL .....	14
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO .....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	19
3.1 CONCEITO DE CONFORTO TÉRMICO E ÍNDICES .....	19
3.2 ANÁLISE DO UTCI PARA O BRASIL .....	21
3.3 RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO, ONDAS DE CALOR E EFEITOS NA SAÚDE.....	18
4. MATERIAIS E METODOLOGIA .....	19
4.1 DADOS E ÁREA DE ESTUDO.....	19
4.2 UNIVERSAL THERMAL CLIMATE INDEX.....	20
4.3 TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE.....	22
4.4 ANÁLISE DE CLUSTER OU AGRUPAMENTO .....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	27
5.1 ANÁLISE DA TM E UR PARA O PERÍODO 1961-1990.....	27
5.2 ANÁLISE DA TM E UR PARA O PERÍODO 1991-2020.....	30
5.3 DIFERENÇA ENTRE AS NORMAIS DA TM E UR (1991-2020) e (1961-1990).....	32
5.4 ANÁLISE DA VELOCIDADE DO VENTO PARA O PERÍODO 1961-1990.....	34
5.5 ANÁLISE DA VELOCIDADE DO VENTO PARA O PERÍODO 1991-2020.....	36
5.6 DIFERENÇA ENTRE AS NORMAIS DA VELOCIDADE DO VENTO (1991-2020) e (1961-1990).....	37
5.7 ANÁLISE DA TMR DURANTE O PERÍODO 1961-1990.....	38
5.8 ANÁLISE DA TMR DURANTE O PERÍODO 1991-2020.....	39
5.9 DIFERENÇA ENTRE AS NORMAIS DA TMR (1991-2020) e (1961-1990).....	41
5.10 UTCI .....	42
5.11 DIFERENÇA ENTRE AS NORMAIS DO UTCI (1991-2020) e (1961-1990) .....	45
5.12 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO.....	46
6. CONCLUSÃO .....	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56



## 1. INTRODUÇÃO

Uma das principais preocupações na biometeorologia humana reside na avaliação e previsão do ambiente térmico de maneira robusta, eficiente e aplicável. Isso se deve à necessidade de os seres humanos ajustarem seu equilíbrio térmico ao seu entorno, visando aprimorar o conforto, o desempenho e a saúde.

Conforto térmico pode ser definido como a satisfação mental de um indivíduo em relação ao ambiente que está a sua volta. Entretanto, a percepção de conforto térmico é muito subjetiva, e depende de vários fatores, sendo considerado uma condição psicológica de satisfação do indivíduo em relação as condições do ambiente onde o mesmo está inserido (Gobo et al., 2022).

A temperatura fisiológica humana depende da intensidade do seu metabolismo e das taxas de trocas de calor com o ambiente, variando para cada indivíduo de acordo com o seu peso, tipo de vestimenta utilizado, alimentação, fisiologia e grau de ajustamento às condições meteorológicas (Buriol et al., 2015). Ainda do ponto de vista fisiológico, o conforto térmico ocorre quando se tem equilíbrio na troca de calor entre o indivíduo e o ambiente na ausência de regulação pelo suor (Fanger, 1970; da Silva et al., 2019).

Em um ambiente natural, a quantificação do conforto térmico é realizada utilizando-se a temperatura e umidade do ar, devido a dificuldade da determinação de outras variáveis, que são facilmente modificadas pelo vestuário e sombreamento (Trassante et al., 2023).

Fanger (1970) envolveu a participação de indivíduos em experimentos realizados em câmaras climatizadas, visando estabelecer os limites das zonas de conforto e desconforto em relação ao calor e frio, ajustando diversas variáveis como temperatura, umidade e velocidade do vento. Devido às múltiplas distinções entre os seres humanos, como suas estruturas corporais e tipos de vestimentas, é desafiador garantir que todas as pessoas se sintam completamente confortáveis em condições específicas (Tomczyk e Bednorz, 2023). Assim, surgiram vários índices de conforto térmico ao ar livre, voltados para ambientes naturais abertos, sem necessariamente considerar se o indivíduo está diretamente exposto a essas condições, se está vestido adequadamente ou não. Índices biometeorológicos, como o Índice Universal Térmico Climático (UTCI), foram concebidos com a finalidade de proporcionar uma representação mais precisa e abrangente das condições térmicas percebidas pelo corpo

humano em diversos ambientes. Esses índices são o resultado de avanços significativos na compreensão das complexas interações entre variáveis climáticas, fisiológicas e ambientais, buscando, assim, oferecer uma avaliação mais robusta e refinada do impacto térmico sobre a experiência humana em diferentes contextos (Rachid e Qureshi, 2023).

Em estados como Alagoas, no Nordeste do Brasil (NEB), que apesar do pequeno território, é subdividido em três mesorregiões distintas: Leste, Agreste e Sertão, a variabilidade climática expõe a população a diferentes condições de conforto térmico, da escala horária à sazonal.

Por sua localização, o clima de Alagoas é influenciado pelos principais modos de variabilidade que regem a dinâmica climática do NEB como um todo, com destaque para as fases do El Niño-Oscilação Sul (ENOS); temperatura da superfície de mar no oceano atlântico (dipolo), oscilação do atlântico norte, a oscilação decadal do pacífico, a oscilação multidecadal do atlântico e a oscilação de Madden-Julian (Servain 1991; Servain et al. 2000; Kousky e Kayano 1994; Kayano e Andreoli 2004; Kayano e Capistrano 2014; Santos et al., 2023).

Além dos mecanismos mencionados anteriormente, Alagoas é significativamente impactada por linhas de instabilidade associadas aos efeitos das brisas marítima e terrestre, por perturbações atmosféricas causadas por vestígios de sistemas frontais, vórtices ciclônicos de altos níveis, complexos convectivos de mesoescala, e principalmente pelos distúrbios ondulatórios de leste (Kousky 1979; Kousky e Gan, 1981; Reboita et al., 2010; Costa et al., 2014; Carvalho et al., 2013; Gomes et al., 2015; Gomes et al., 2019; Anjos et al., 2019; Lyra et al., 2020; Veber et al., 2020; Repinaldo et al., 2020). Esses sistemas, majoritariamente associados a ocorrência ou não de precipitação, devido a maior ou menor presença de nebulosidade, também modulam a distribuição de temperaturas no estado, assim como na quantidade de vapor e conseqüente influencia na umidade relativa, além de perturbações no campo de pressão atmosférica e conseqüente intensidade da velocidade do vento, elementos que são os principais reguladores dos diferentes níveis de conforto térmico sentidos pela população.

Nesse sentido, nessa pesquisa o UTCI será usado para descrever, climatologicamente, o grau de conforto fisiológico médio que a população de Alagoas vem experimentando ao longo dos últimos 60 anos, de 1961 a 2020. O UTCI foi escolhido por não levar em conta

apenas a temperatura ambiente, mas também outras variáveis como a umidade, o vento e a radiação, todos fatores que afetam significativamente a nossa reação fisiológica ao ambiente circundante (Bröde et al. 2012).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O estudo tem como objetivo geral identificar a distribuição espaço temporal do UTCI no estado de Alagoas compreendendo dois períodos climatológicos: 1961-1990 e 1991-2020.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar o comportamento climatológico das variáveis que compõem índice UTCI nos últimos 60 anos.
- Observar se houve diferenças significativas entre as variáveis ao longo dos 60 anos de dados e avaliar o impacto resultante.
- Identificar regiões homogêneas do UTCI no estado de Alagoas através de uma análise de agrupamento, destacando suas características.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 CONCEITO DE CONFORTO TÉRMICO E ÍNDICES**

De acordo com os padrões definidos por ASHRAE 55-1992 (1992), conforto pode ser entendido como o estado da mente que expressa satisfação em relação ao ambiente que o circunda. Quando a exposição a condições ambientais excede a habilidade do corpo humano de manter sua temperatura interna estável, ocorre um aumento na temperatura corporal. Esse aumento é responsável por uma grande parcela das morbidades e mortalidades relacionadas ao calor. Isso resulta em uma sobrecarga do sistema cardiovascular, causando danos fisiológicos e o colapso de funções vitais. Grupos vulneráveis, como crianças, idosos, gestantes e pessoas com outras morbidades, são especialmente afetados (Silverman et al., 1958; Coffel et al., 2018).

O estresse térmico é mais proeminente em áreas com temperaturas naturalmente altas e em regiões onde a sazonalidade é acentuada por verões intensos. As mudanças no uso da terra trouxeram modificações nos padrões térmicos, decorrentes da substituição de áreas verdes por zonas residenciais. Tais transformações na superfície urbana não apenas afetam os padrões térmicos, mas também têm impactos significativos nos aspectos radiativos, de umidade e de vento. Como resultado, verifica-se uma elevada concentração de calor nas áreas urbanas em comparação com as regiões rurais adjacentes, fenômeno amplamente reconhecido como a intensificação da ilha de calor urbano (Krüger et al., 2022).

A resposta individual ao calor pode apresentar grande variação (Pradhan et al., 2013). A exposição prolongada ao estresse térmico pode comprometer a capacidade do organismo de manter a homeostase, ou seja, o equilíbrio interno constante. Isso pode resultar em uma série de distúrbios, incluindo fadiga, cãibras e insolação, além de danos aos órgãos vitais. Além disso, pode haver uma diminuição na produtividade e no desempenho físico e mental, bem como um aumento na incidência de acidentes de trabalho. (Pappenberger et al., 2015; Zare et al., 2018).

Ainda de acordo com Zare et al. (2018), a sensação de conforto térmico resulta do equilíbrio entre variáveis ambientais - como temperatura, pressão de vapor d'água,

velocidade do ar e temperatura média radiante - e o calor metabólico do corpo humano. Este último também é influenciado por fatores complexos, como o nível de atividade física e as roupas usadas. A complexidade do cálculo dos índices de conforto surge da interação entre o ambiente natural e a fisiologia dependente, o que exige a adoção de certas padronizações (Sheffield et al., 2013). Estabeleceu-se que as condições ambientais ideais são determinadas por temperaturas do bulbo seco variando entre 21 e 24°C, com um nível de umidade aproximado de 50% (Kaywhite et al., 1991).

Os índices de conforto térmico são ferramentas que permitem avaliar o nível de bem-estar térmico de uma pessoa ou de um grupo de pessoas em um determinado ambiente. Eles são baseados em variáveis físicas, como temperatura, umidade, velocidade do vento e radiação solar, e em variáveis fisiológicas, como taxa metabólica e isolamento térmico das roupas (da Silva et al., 2019). Na última década, vários índices de conforto térmico foram desenvolvidos, buscando melhorar a precisão e a aplicabilidade dos métodos existentes, sendo a maioria aprovados pela *International Organization for Standardization* (ISO). Esses índices podem ser divididos em duas categorias: experimentais e racionais.

- Experimentais: São obtidos a partir de ensaios com voluntários em câmaras climáticas ou em ambientes reais, medindo as respostas fisiológicas e as sensações térmicas dos participantes.
- Racionais: São derivados de modelos matemáticos que simulam o balanço de energia entre o corpo humano e o ambiente.

Ambos os tipos de índices têm vantagens e desvantagens, dependendo do objetivo e do contexto da avaliação do conforto térmico.

O índice térmico climático universal (UTCI, de sua sigla em inglês para *Universal Thermal Climate Index*) é atualmente um dos índices mais utilizados e reconhecidos como referência. Este índice é especialmente indicado para avaliar o estresse térmico em espaços abertos ao ar livre. É um índice racional com sensibilidade às variações da temperatura, temperatura média radiante, umidade e velocidade do vento (Blazejczyk et al., 2012).

O UTCI foi elaborado com base no modelo termorregulatório multimodal desenvolvido por Fiala (2012), que considera:

- O comportamento adaptativo em relação ao isolamento térmico a partir de estudos de campo desenvolvidos na Europa;

- A distribuição da roupa em diferentes partes do corpo;
- A redução da resistência térmica e evaporativa da roupa causada pelo vento e pelo movimento da pessoa andando a 4 km/h em superfície plana.

O UTCI segue o conceito da temperatura equivalente e apresenta para o ambiente de referência as seguintes definições:

- 50% de umidade relativa (com pressão de vapor não excedendo 20 hPa);
- A temperatura do ar ( $T_a$ ) igual a temperatura radiante média ( $T_{rm}$ );
- Velocidade do vento de 0,5 m/s, medida a 10 m de altura.

### **3.2 ESTUDOS DO UTCI PARA O BRASIL**

No nordeste do Brasil, a aplicação do UTCI na avaliação do conforto térmico ainda é um campo de estudo relativamente novo, com poucos trabalhos publicados até o momento. Um desses estudos foi realizado por Nince et al. (2013), que utilizaram o UTCI para avaliar o conforto térmico na cidade de Cuiabá, no estado de Mato Grosso. Este estudo foi pioneiro na aplicação do UTCI em uma cidade brasileira com clima tropical.

Bröde et al. (2012), Krüger et al. (2012) e Martini et al. (2013) aplicaram o UTCI para avaliar o conforto térmico na cidade de Curitiba, no estado do Paraná. Estes estudos foram importantes para entender como o UTCI se comporta em uma cidade com clima subtropical.

Petalas (2015) aplicou o UTCI para avaliar o conforto térmico na cidade de Fortaleza, no estado do Ceará. Este estudo contribuiu para a compreensão do conforto térmico em uma cidade com clima tropical úmido.

Mais recentemente, Krüger et al. (2017) avaliaram o uso do UTCI na cidade do Rio de Janeiro. Este estudo foi relevante para entender como o UTCI se comporta em uma cidade com clima tropical litorâneo.

Por fim, Silva e Hirashima (2021) realizaram um estudo com o intuito de calibrar as categorias de percepção térmica do índice UTCI para espaços urbanos em Belo Horizonte, Minas Gerais, caracterizada por um clima tropical. A calibração do UTCI permitiu a avaliação do conforto térmico em espaços abertos, fornecendo informações importantes para a tomada de decisões na adoção de estratégias para o planejamento urbano.

Os estudos mencionados acima revelam uma crescente preocupação com o aumento do desconforto térmico experimentado pela população em áreas urbanizadas, conforme medido pelo Índice de Desconforto Térmico Universal (UTCI). O avanço da urbanização tem contribuído significativamente para a modificação do ambiente local, resultando em ilhas de calor urbanas e alterações nos padrões climáticos.

### **3.3 RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO, ONDAS DE CALOR E EFEITOS NA SAÚDE**

Mandú et al. (2021) estudou a interação entre os índices de conforto térmico, as ondas de calor e seus impactos na saúde na região da Floresta Nacional do Tapajós. Os resultados indicam que a ocorrência de ondas de calor está correlacionada a um aumento significativo no desconforto térmico sentido pela população local, registrando um acréscimo de aproximadamente 40% durante esses eventos. Além disso, a presença de ondas de calor intensifica os níveis de desconforto, podendo acarretar consequências na saúde pública e nas atividades socioeconômicas da região.

Estudos anteriores destacam os efeitos significativos das temperaturas extremas na saúde humana, com especial atenção para grupos vulneráveis, como idosos, crianças, indivíduos doentes/acamados e populações de baixa renda. Essas condições climáticas extremas podem acarretar efeitos adversos e, em situações extremas, conduzir até mesmo a fatalidades (McGeehin e Mirabelli, 2001; Jenerrete et al., 2007; Geirinhas et al., 2020). A incidência de ondas de calor pode intensificar o estresse térmico e a morbidade, agravar a formação de ilhas de calor em áreas urbanas e influenciar negativamente a produtividade nas atividades agrícolas e agropecuárias, além de impactar a demanda por energia elétrica e hídrica (Laaid et al., 2012; Mitchell et al., 2016).

Dessa forma, a conexão entre os índices de conforto térmico, a incidência de ondas de calor e seus efeitos na saúde humana emerge como uma preocupação significativa, destacando a importância de medidas públicas para mitigar os impactos adversos do desconforto térmico.

## 4. MATERIAIS E METODOLOGIA

### 4.1 DADOS E ÁREA DE ESTUDO

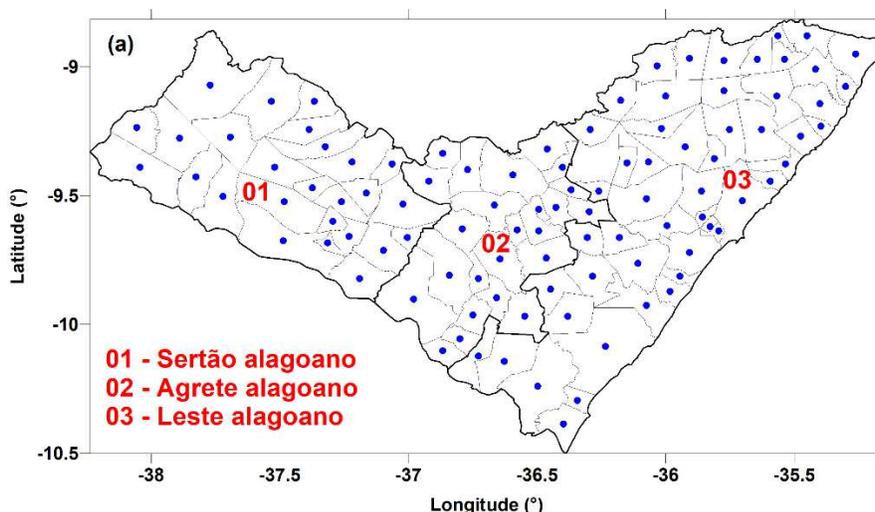
Foram utilizados dados horários de temperatura média radiante da reanálise ERA-5 do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF, de sua sigla em inglês para *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) no período de 1961-2020 (60 anos), um dos mais importantes parâmetros para o cálculo do UTCI e sua respectiva análise no decorrer do período citado. Esta reanálise possui resolução espacial de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  em escala temporal horária, convertidos posteriormente para valores diários a partir da média simples dos 24 horários.

Para complementar os demais dados de superfície necessários para o cálculo do UTCI, utilizou-se a análise gradeada disponibilizada por Xavier et al. (2022) para extrair séries temporais de valores diários da umidade relativa, temperatura média e velocidade do vento. Essa análise é baseada em todas as informações coletadas por estações meteorológicas de órgãos oficiais do Brasil, possui resolução de  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ , e segundo os autores, utilizaram de diferentes técnicas de interpolação e da taxa de *lapse rate* para ajuste da topografia e assim ajustarem de forma mais fidedigna possível as estimativas das variáveis na resolução da grade. Vários estudos vêm usando essa análise gradeada como verdade de superfície, ou simplesmente como a base de dados observados para análises climáticas e validação de modelos (da Rocha Júnior et al., 2019; Paredes-Trejo et al., 2019; Silva et al., 2019; dos Reis et al., 2020; da Rocha Júnior et al., 2022, Herdies et al., 2023; dos Santos Silva et al., 2023).

Como as bases de dados utilizadas são disponibilizadas em grades regulares com distintas resoluções espaciais, foram extraídas séries temporais de cada uma delas para as coordenadas geográficas dos centroides de cada município alagoano (Figura 1), utilizando-se o método de interpolação bilinear simples (Liu et al., 2015), que atribui pesos diferentes aos pontos da grade de acordo com a sua proximidade em linha reta das coordenadas de cada centroide (Xavier et al., 2016; da Rocha Júnior et al., 2019; Silva et al., 2022). Esta metodologia foi aplicada usando-se scripts desenvolvidos em linguagem R na versão 4.0.3.

O estado de Alagoas é caracterizado pela subdivisão em três mesorregiões, demarcadas geograficamente como unidades territoriais que desempenham um papel

fundamental na análise e compreensão da sua climatologia. No Agreste Alagoano, predomina um clima tropical com chuvas de verão, caracterizado por estações bem definidas e temperaturas moderadas, proporcionando condições favoráveis para a agricultura. Já no Leste Alagoano, observa-se um clima tropical úmido, com chuvas distribuídas ao longo do ano e temperaturas elevadas, influenciadas pela proximidade com o litoral. Essa região costeira muitas vezes experimenta eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e tempestades. Por fim, no Sertão Alagoano, prevalece um clima semiárido, com chuvas escassas e irregulares, altas temperaturas e baixa umidade, apresentando desafios para a agricultura e a gestão dos recursos hídricos.



**Figura 1:** Centroides dos municípios em que foram extraídas séries temporais da análise gradeada de Xavier et al. (2022) e da reanálise ERA5, nas diferentes mesorregiões de Alagoas.

Os dados diários foram convertidos em médias mensais para cálculo das normais climatológicas de dois períodos distintos: 1961-1990 e 1991-2020. O cálculo das normais climatológicas seguiu as normas da OMM para séries de dados completos e sem falhas (Ramos et al., 2009; Diniz et al., 2018), obedecendo-se a equação 1 para cada variável de cálculo do UTCI, assim como para o próprio UTCI.

$$X_{ij} = \frac{\sum_k X_{ijk}}{N} \quad Eq. (1)$$

Em que  $X_{ijk}$  é o valor observado da variável  $X$  no dia  $k$ , do mês  $i$ , do ano  $j$ , e  $N$  é o número de dias no mês  $i$ , do ano  $j$ , para os quais se dispõe de observações.

Os dados mensais possibilitaram, em seguida, o cálculo sazonal e anual das variáveis,

para uma melhor síntese e apresentação dos resultados.

## 4.2 UNIVERSAL THERMAL CLIMATE INDEX

O UTCI é um índice que visa avaliar a sensação térmica percebida por um indivíduo, levando em consideração fatores como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar (Błażejczyk et al., 2010; 2012; 2013; Bröde et al., 2010, 2012; Jendritzky et al. 2009, 2012). Ele foi desenvolvido para oferecer uma representação mais precisa das condições térmicas percebidas pelo corpo humano em diferentes ambientes.

O UTCI foi proposto pela primeira vez em 2009 por um grupo de pesquisadores internacionais e é considerado uma abordagem avançada em comparação com índices térmicos mais tradicionais, como o Índice de Calor (Heat Index) ou o Índice de Bulbo Úmido (Wet Bulb Globe Temperature - WBGT). Esses índices frequentemente se baseiam apenas na temperatura do ar, sem levar em conta outros fatores importantes. O UTCI incorpora uma fórmula complexa que considera variáveis como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar global, representada pela equação 2:

$$UTCI = 3,21 + 0,872 * TM + 0,2459 * TMR - 2,5078 * V - 0,0176 * UR \quad Eq. (2)$$

Na Equação (2)  $TM$  é a temperatura média em °C,  $TMR$  é a temperatura média radiante em °C,  $V$  é a velocidade média do vento em m/s, e  $UR$  é a umidade relativa em %.

De acordo com a resposta fisiológica térmica do corpo humano, correspondente ao padrão de conforto do índice, o UTCI pode ser dividido em 10 categorias, de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1.** Temperaturas equivalentes do UTCI categorizadas em termos de estresse térmico e percepção térmica.

Faixas	UTCI (°C)	Categoria do estresse	Percepção térmica
1	> 46	Estresse por calor extremo	Tórrido
2	38~46	Estresse térmico muito forte	Muito quente

3	32~38	Forte estresse por calor	Quente
4	26~32	Estresse térmico moderado	Esquentando
5	9~26	Sem estresse térmico	Confortável
6	0~9	Estresse por frio leve	Levemente frio
7	-13~0	Estresse por frio moderado	Fresco
8	-27~-13	Forte estresse por frio	Esfriando
9	-40~-27	Estresse por frio muito forte	Frio
10	<-40	Estresse por frio extremo	Congelante

### 4.3 TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE

De acordo com Silva et al. (2023), para melhor entendimento do potencial do UTCI, precisamos compreender bem o conceito e como calcular a temperatura média radiante (TMR), componente fundamental do UTCI. É essa variável que quantifica a troca de calor entre um ser humano e seu ambiente circunvizinho. TMR é definida como uma temperatura homogênea de um local imaginário no qual a transferência de calor radiante do corpo humano é igual a transferência de calor radiante no local real não homogêneo (ISO 7726, 1998).

A troca líquida de energia radiante entre dois objetos é aproximadamente proporcional ao produto de sua diferença de temperatura multiplicada por sua emissividade, que é a capacidade de emitir e absorver calor. Nesse sentido a TMR é a temperatura média ponderada da área de todos os objetos ao redor do corpo. Uma premissa necessária é que as diferenças de temperatura dos objetos devem ser pequenas em comparação às suas temperaturas absolutas.

Existem diferentes maneiras de estimar a TMR, seja aplicando sua definição e usando equações para calculá-la, ou medindo-a com determinados termômetros ou sensores (Guo et al., 2020). Para este estudo, os dados horários de temperatura média radiante da reanálise do ECMWF foram calculados a partir da Equação 3.

Uma vez que a quantidade de calor radiante perdida ou recebida pelo corpo humano é a soma algébrica de todos os fluxos radiantes trocados por suas partes expostas com as fontes circundantes, a TMR pode ser calculada a partir da temperatura medida das paredes e superfícies circundantes e suas posições em relação à pessoa. Portanto, é necessário medir

essas temperaturas e os fatores de ângulo entre a pessoa e as superfícies circundantes (ISO 7726, 1998). A maioria dos materiais de construção tem uma alta emitância  $\epsilon$ , então todas as superfícies da sala podem ser consideradas pretas. Como a soma dos fatores de ângulo é a unidade, a quarta potência da TMR é igual ao valor médio das temperaturas da superfície circundante à quarta potência, ponderada pelos respectivos fatores de ângulo. A equação 3 é então usada:

$$TMR^4 = T_1^4 F_{p-1} + T_2^4 F_{p-2} + \dots + T_n^4 F_{p-n} \quad Eq. (3)$$

Na Eq. (3)  $TMR$  é a temperatura média radiante;  $T_n$  é a temperatura da superfície "n", em Kelvins;  $F_{p-n}$  é o fator de ângulo entre uma pessoa e a superfície "n".

Em geral, os fatores angulares são difíceis de determinar e normalmente dependem da posição e orientação da pessoa. Além disso, este método torna-se complexo e demorado à medida que o número de superfícies aumenta e estas apresentam formas elaboradas. Atualmente, não há como coletar esses dados de maneira eficaz. Por esse motivo, uma maneira mais fácil de determinar TMR é medindo-a com um termômetro específico: *black-globe thermometer*, ou termômetro de globo negro.

Esse termômetro consiste em um globo negro central onde é colocado um sensor de temperatura, como no bulbo de um termômetro de mercúrio. Esse globo possui geralmente um diâmetro de 15 centímetros, com a superfície escurecida para absorver a radiação de suas paredes, medindo na verdade a temperatura do globo, tendendo ao equilíbrio térmico sob o efeito da convecção e da radiação provenientes das diferentes fontes de calor do seu envoltório. Com esse princípio, conhece-se a TMR. De acordo com a ISO 7726, pode-se usar a seguinte equação:

$$TMR = \left[ (GT + 273,15)^4 + \frac{1,1 \cdot 10^8 \cdot v^{0,6}}{\epsilon \cdot D^{0,4}} (GT - T) \right]^{\frac{1}{4}} - 273,15 \quad Eq. (4)$$

Na Eq. (4)  $TMR$  é a temperatura média radiante (°C);  $GT$  é a temperatura do globo (°C);  $v$  é a velocidade do ar ao nível do globo (m/s);  $\epsilon$  é a emissividade do globo (sem dimensão);  $D$  é o diâmetro do globo (m);  $T$  é a temperatura do ar (°C);

Para um globo padrão com  $D=15$  cm e  $\varepsilon = 0,95$ , a equação pode ser simplificada para:

$$TMR = [(GT + 273,15)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v^{0,6}(GT - T)]^{0,25} - 273,15 \quad Eq. (5)$$

Como todo método, há detalhes que podem influenciar a performance do cálculo da temperatura do globo. Por definirmos a TMR em relação a um corpo humano, a forma esférica do termômetro de globo é uma boa aproximação para uma pessoa sentada, para pessoas em pé a temperatura do globo superestima a radiação entre a superfície e o teto. Se o tamanho do bulbo for maior, o coeficiente de transferência de convecção diminui e o efeito da radiação é superestimado na mesma proporção. No entanto, esses são detalhes que não reduzem o ganho do uso dessa estimativa na equação do UTCI como uma das mais eficazes para estimativa do conforto térmico humano, com a principal vantagem de poder ser aplicada a qualquer tipo de clima (Vinogradova, 2021).

#### 4.4 ANÁLISE DE CLUSTER OU AGRUPAMENTO

A análise de agrupamento desempenha um papel importante na compreensão e classificação de padrões climáticos. Esta abordagem é frequentemente utilizada para identificar regiões geográficas que compartilham características climáticas semelhantes, permitindo uma análise mais detalhada e uma melhor compreensão dos fenômenos meteorológicos.

Algumas aplicações específicas da análise de agrupamento incluem:

- **Classificação de Regiões Climáticas:** A análise de agrupamento pode ser aplicada para classificar diferentes regiões geográficas com base em padrões climáticos comuns. Isso ajuda a entender as similaridades e diferenças nos regimes climáticos e a categorizar áreas com condições climáticas comparáveis.
- **Identificação de Padrões Meteorológicos:** Ao agrupar dados meteorológicos, é possível identificar padrões de comportamento em determinadas áreas ao

longo do tempo. Isso inclui a identificação de estações do ano, tendências climáticas e variações sazonais (Silva et al., 2023).

- Estudo de Ondas de Calor e Eventos Extremos: A análise de agrupamento é útil para estudar a distribuição espacial de eventos meteorológicos extremos, como ondas de calor. Ela permite a identificação de regiões que experimentam condições similares durante esses eventos, possibilitando a análise dos fatores que contribuem para sua ocorrência (Gibson et al., 2017).
- Zoneamento Climático: A partir da análise de agrupamento, é possível criar zonas climáticas mais refinadas, levando em consideração não apenas a temperatura, mas também outros parâmetros meteorológicos, como umidade, precipitação e ventos (Valeriano et al., 2017).

Em resumo, a análise de agrupamento na meteorologia proporciona uma visão mais aprofundada da complexidade climática, ajudando os meteorologistas a compreenderem as variações regionais e aprimorarem suas previsões e estudos climáticos.

Com a distribuição dos pontos mostrados na Figura 1, utilizamos a técnica estatística multivariada conhecida como análise de agrupamento para identificar áreas homogêneas baseadas na distribuição mensal do UTCI em Alagoas. O uso dessa técnica é comum para este propósito na área das ciências climáticas, definindo grupos que envolvem estações com características similares (Lyra et al., 2014; Santos et al., 2015; Costa et al., 2020; Silva et al., 2023). A estrutura de similaridade dos elementos de cada grupo foi obtida pelo método da distância euclidiana (Mimmack et al., 2001), expressa como:

$$d_e = \left[ \sum_{j=1}^n (P_{p,j} - P_{k,j})^2 \right]^{0,5} \quad Eq. (6)$$

Na Eq. (6)  $d_e$  é a distância euclidiana, e  $P_{p,j}$  e  $P_{k,j}$  são as variáveis quantitativas  $j$  dos elementos  $p$  e  $k$ , respectivamente.

Para o agrupamento utilizamos o método Ward (1963), que identifica a menor variação entre os clusters (Hervada-Sala e Jarauta-Bragulat, 2004), unindo elementos cuja soma dos quadrados ou soma dos erros seja mínima, utilizando um método não

supervisionado conhecido como K-means (André et al, 2008). O K-means visa agrupar os indivíduos de acordo com suas similaridades, aqui representadas pela distribuição mensal dos valores de UTCI de cada série temporal correspondente ao centróide de cada município de Alagoas. A soma dos quadrados dentro de cada grupo foi verificada a partir do quadrado da distância euclidiana de cada elemento a cada grupo (Silva et al, 2023).

$$W = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{n_g} \|x_i - \bar{x}_g\|^2 = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{k=1}^K (x_{i,k} - \bar{x}_{g,k})^2 \quad Eq. (7)$$

Na Eq. (7)  $W$  representa a função de ligação de Ward, dada pela soma dos quadrados dentro de cada grupo ( $G_i$ ) (medida de homogeneidade);  $G$  é o número de elementos do grupo  $G_i$  na etapa  $k$  do processo de agrupamento;  $X_{i,k}$  é o vetor de observações do  $k$ -ésimo elemento pertencente ao  $i$ -ésimo grupo; e  $X_g$  é o centróide do grupo  $G_i$ .

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O UTCI, assim como outros índices de conforto térmico, naturalmente depende das variáveis meteorológicas e de suas diversas combinações (Deosthali, 1999; Gobo et al., 2022). A temperatura é a variável mais crucial dentre essas, presente em todos os índices de conforto, enquanto a umidade desempenha o papel de representar o vapor d'água. A influência da umidade é destacada ao potencializar os efeitos da temperatura nas condições de conforto, podendo amplificar ou atenuar as sensações de conforto/desconforto. A combinação de temperatura alta/baixa com umidade alta/baixa apresenta diferentes implicações nas categorias de conforto de qualquer índice, sendo essas variáveis essenciais nos cálculos do UTCI (Barros, 2022).

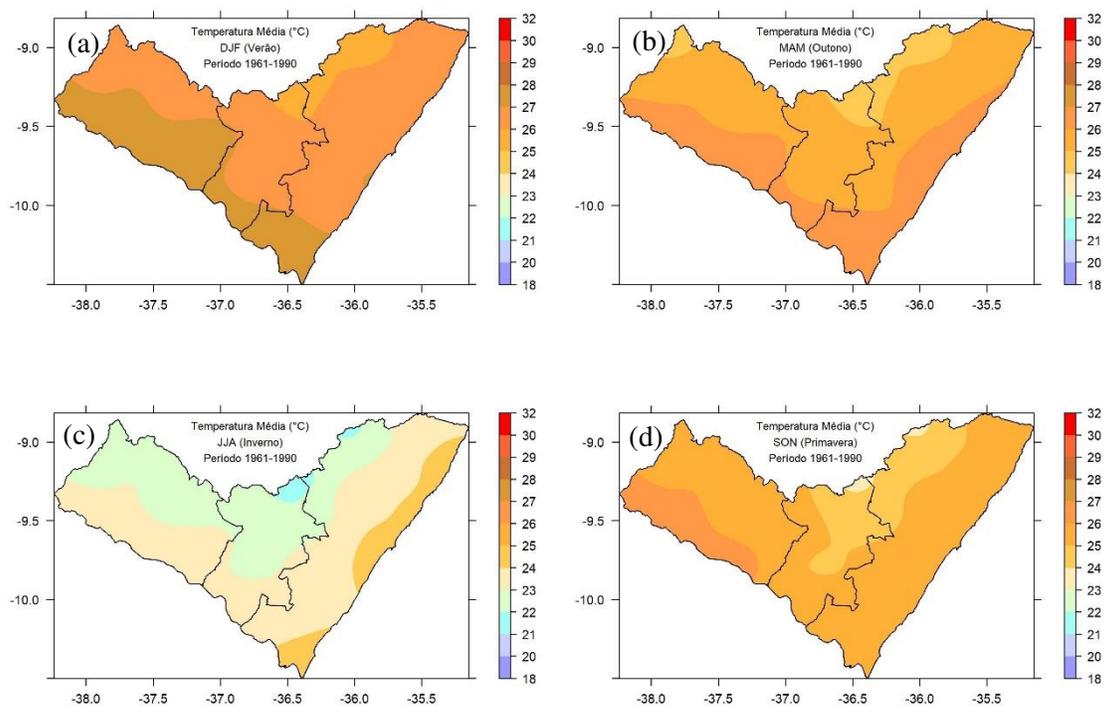
Já na presença de ventilação a sensação térmica é de uma temperatura ambiental diferente do real, que é a temperatura efetiva (Barbirato, 2007). A ventilação natural pode ser usada com três finalidades complementares: manter a qualidade do ar nos ambientes internos, remover a carga térmica adquirida pela edificação, em decorrência dos ganhos de calor externos e internos, e promover o resfriamento fisiológico dos usuários. Quanto ao papel do vento no resfriamento fisiológico, esse age provocando evaporação do suor da pele e efetivando trocas de calor por convecção, que ocorrem quando o fluxo de ar entra em contato com o corpo humano (Ashley e Sherman, 1984). O resfriamento fisiológico é particularmente importante em regiões com elevada umidade do ar, pois a pele úmida é frequentemente a principal causa de desconforto (Givoni, 1992).

Diante desses aspectos, essa seção inicia-se apresentando as climatologias sazonal e anual das respectivas variáveis meteorológicas que compõem o cálculo do UTCI, para duas normais climatológicas distintas: 1961-1990 e 1991-2020.

### 5.1 ANÁLISE DA TM E UR PARA O PERÍODO 1961-1990

O ciclo sazonal das temperaturas médias mostra maiores valores no verão (Figura 2a), com variação de 25°C a 27°C, com o setor sul mais elevado em todas as mesorregiões, apresentando valores mais baixos a nordeste do estado. As temperaturas mais amenas são observadas no inverno (Figura 2c), variando de 21°C a 24°C, assim como no verão, as

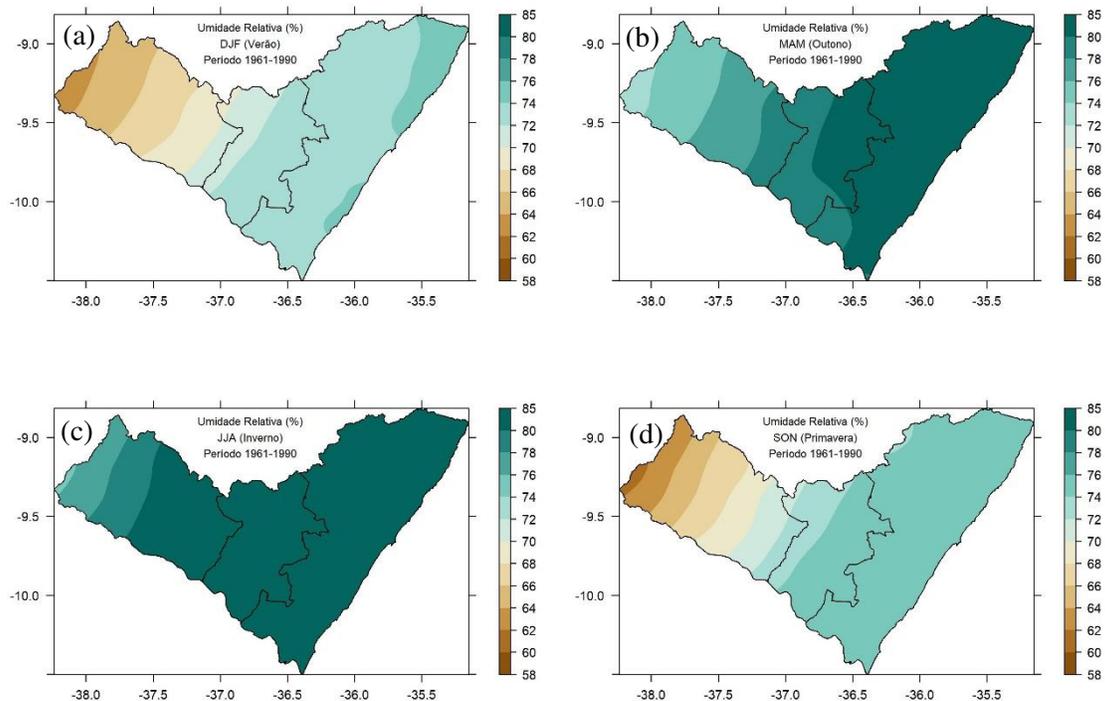
menores temperaturas estão presentes no norte do leste alagoano, a proximidade com o oceano atlântico desempenha um papel significativo nessa moderação térmica, com as áreas costeiras geralmente experimentando temperaturas mais suaves devido à influência do efeito termorregulador do oceano. Além disso, a brisa marítima, um fenômeno comum nas áreas litorâneas, contribui para a moderação térmica. As temperaturas médias no outono (Figura 2b) e primavera (Figura 2d) tem níveis parecidos, variando de 23°C a 26°C, porém, o outono levemente mais quente, e com uma faixa aquecida mais ampla que se estende por toda parte sul de todas as mesorregiões, enquanto a parte mais quente da primavera se atém ao sertão alagoano.



**Figura 2:** Climatologia (1961-1990) da Temperatura média em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.

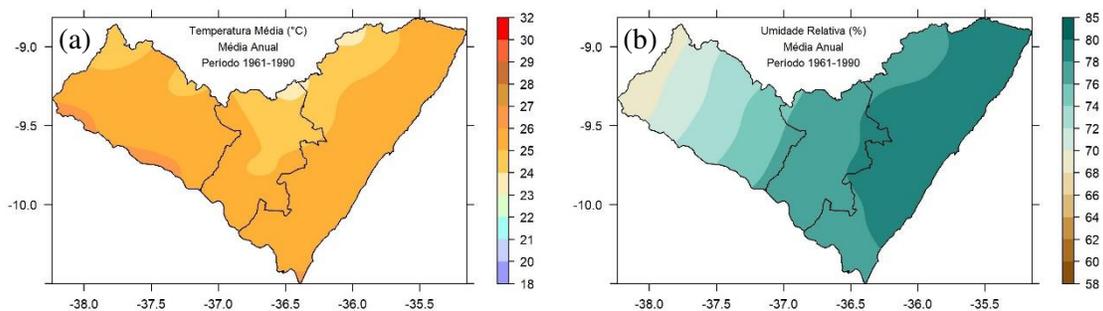
A climatologia da umidade relativa mostra um gradiente leste-oeste, de mais úmido para mais seco, com umidade relativa mais baixa no verão (Figura 3a) e primavera (Figura 3d). Com as chuvas mais concentradas no outono-inverno (Gomes et al., 2019), naturalmente

as taxas médias de umidade aumentam no outono consideravelmente em relação ao verão e primavera, com valores de 70 a 85% (Figura 3b), e atingem seus máximos médios no inverno, com a maior parte de Alagoas apresentando valores médios entre 74 a 85% (Figura 3c).



**Figura 3:** Climatologia (1961-1990) da umidade relativa em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.

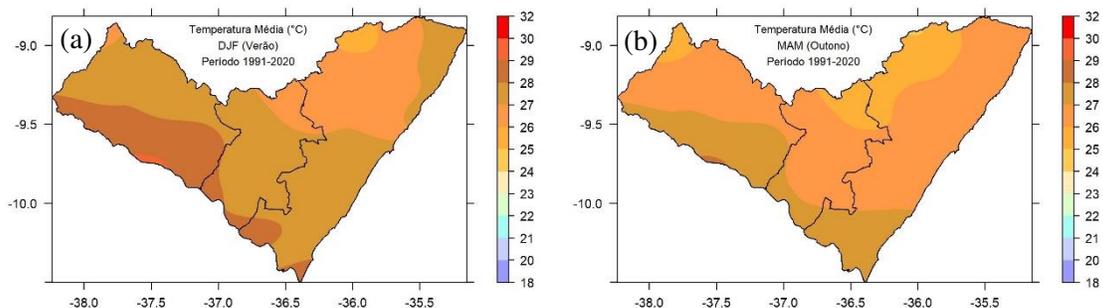
A Figura 4 apresenta a média anual da temperatura média (Figura 4a) e da umidade relativa (Figura 4b). Percebe-se gradientes distintos entre as variáveis, com a temperatura variando de norte a sul do estado, com valores a partir de 23°C no Norte e alcançando 26°C no sul do sertão alagoano. A umidade apresenta um gradiente Leste-Oeste, mais úmido a leste com médias anuais próximas de 80% e menos úmido a oeste com médias anuais próximas a 70%.

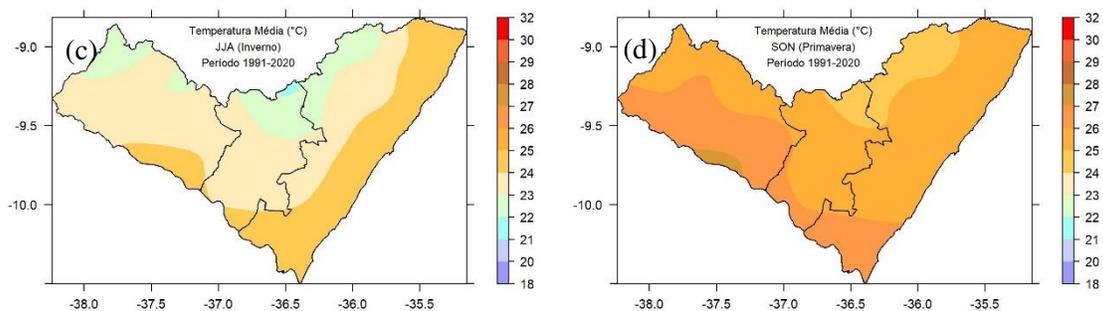


**Figura 4:** Climatologia (1961-1990) anual da (a) temperatura média e (b) umidade relativa.

## 5.2 ANÁLISE DA TME UR PARA O PERÍODO 1991-2020

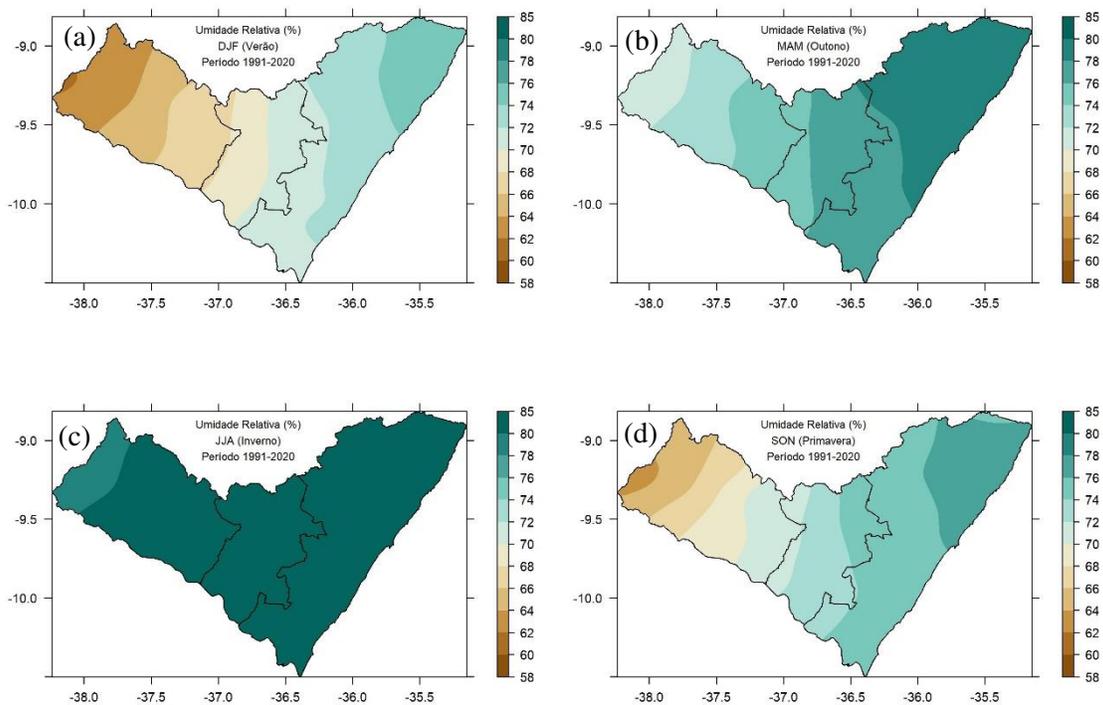
O ciclo sazonal das temperaturas médias mostra maiores valores no verão (Figura 5a), com variação de 24°C a 28°C, com um valor mais elevado ao sul, principalmente do sertão alagoano, apresentando valores mais baixos ao norte do leste alagoano. As temperaturas mais amenas são observadas no inverno (Figura 5c), com um gradiente de norte a sul do estado, com variação de 21°C a 24°C. As temperaturas médias no outono (Figura 5b) e primavera (Figura 5d) tem níveis distintos desta vez, com o outono variando de 25°C a 27°C, porém, o outono levemente mais quente, e com uma faixa aquecida mais ampla que se estende por toda parte sul de todas as mesorregiões, enquanto a parte mais quente da primavera se atém ao sertão alagoano.





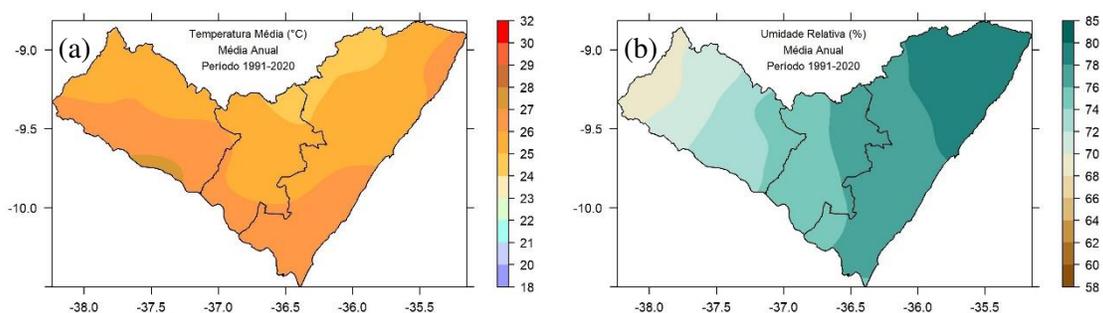
**Figura 5:** Climatologia (1991-2020) da Temperatura média em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.

Assim como no período 1961-1990, a climatologia da umidade relativa mostra um gradiente leste-oeste, de mais úmido para mais seco, com a umidade relativa mais baixa no verão (Figura 6a) e primavera (Figura 6d) com valores que variam de 60 a 76%, e atingem seus máximos médios no inverno, com a maior parte de Alagoas apresentando valores médios entre 78 a 85% (Figura 6c).



**Figura 6:** Climatologia (1991-2020) da umidade relativa em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.

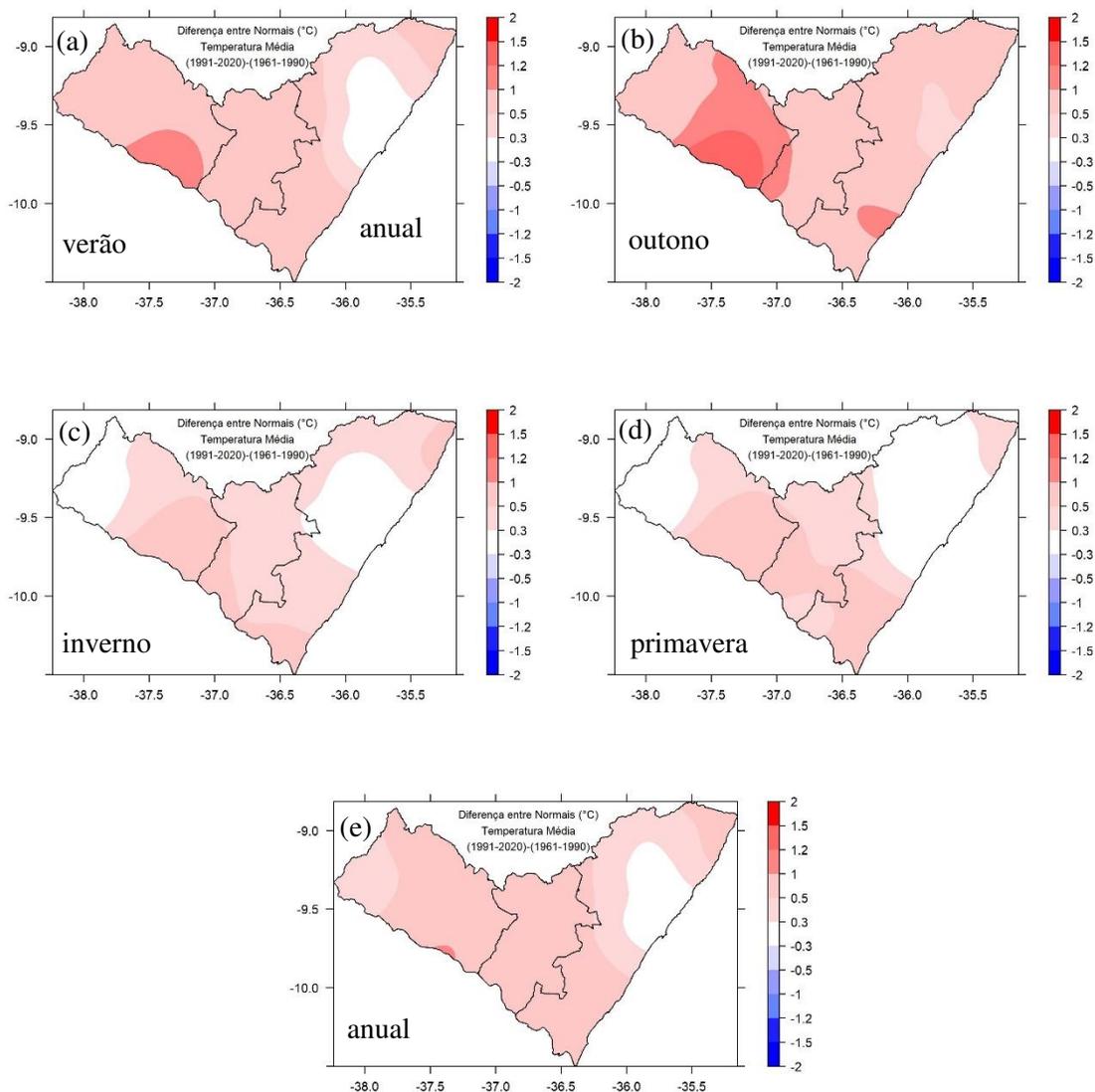
A Figura 7 apresenta a média anual da temperatura média (Figura 7a) e da umidade relativa (Figura 7b). Novamente percebe-se gradientes distintos entre as variáveis, com a temperatura variando de norte a sul do estado, com valores a partir de 24°C no Norte e alcançando 26°C no sul do sertão alagoano, apresentando um aumento de 1°C na região norte do estado de Alagoas, em relação ao primeiro período analisado. A umidade apresenta um gradiente leste-oeste, mais úmido a leste com médias anuais próximas de 80% e menos úmido a oeste com médias anuais próximas a 68%, apresentando também uma redução em relação ao primeiro período analisado.



**Figura 7:** Climatologia (1991-2020) anual da (a) temperatura média e (b) umidade relativa.

### 5.3 DIFERENÇA ENTRE AS NORMAIS DA TM E UR (1991-2020) e (1961-1990)

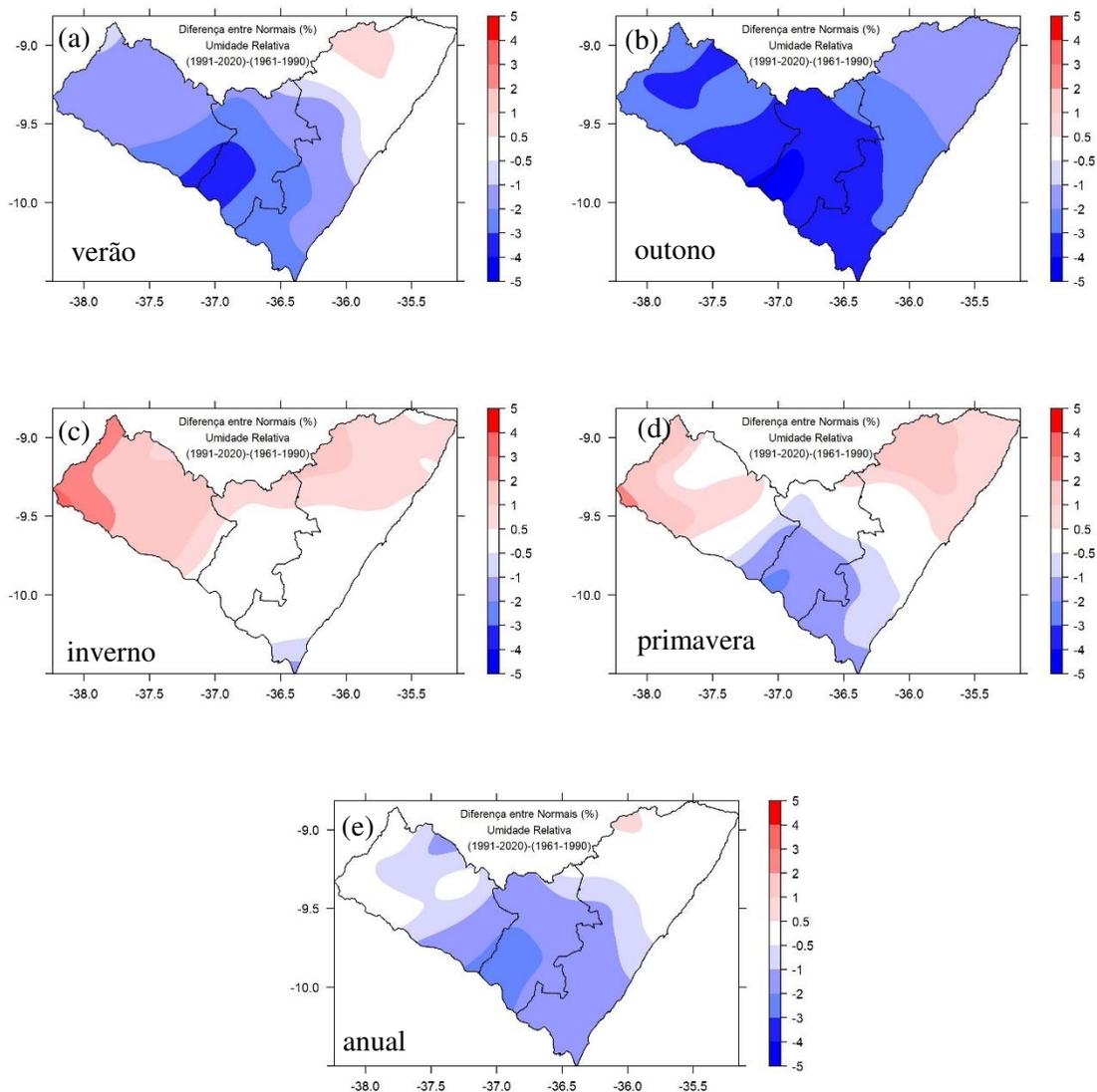
Durante o verão (Figura 8a) e outono (Figura 8b), estações que apresentam as maiores temperaturas, nota-se uma anomalia positiva em todo o agreste e sertão alagoano, com anomalias positivas acima de 1 na parte sul do sertão. No inverno (Figura 8c) e primavera (Figura 8d) essa anomalia não se faz tão presente no leste alagoano e oeste do sertão alagoano, concentrando-se majoritariamente no agreste. Anualmente (Figura 8e), houve uma variação que atinge valores acima de 0,5 °C, com normalidade em alguns municípios da região leste de Alagoas.



**Figura 8:** Diferença (1991-2020)-(1961-1990) da Temperatura Média em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno, (d) primavera e (e) ano.

Em relação a umidade relativa, nota-se uma anomalia negativa no verão (Figura 9a) em toda região do agreste e sertão alagoano, com uma pequena anomalia positiva no norte do leste alagoano. Durante o outono (Figura 9b), há apenas anomalias negativas, com valores atingindo -5% em todas as mesorregiões, principalmente no agreste alagoano. No inverno (Figura 9c) e primavera (Figura 9d), as anomalias positivas atingem valores próximos de 2%, principalmente no sertão alagoano, com anomalias negativas presentes no agreste alagoano, majoritariamente na região agreste do estado. Anualmente (Figura 9e) há uma anomalia

negativa próxima de 2% no agreste e uma pequena fração do sertão e leste alagoano.



**Figura 9:** Diferença (1991-2020)(1961-1990) da Umidade Relativa em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno, (d) primavera e (e) anual.

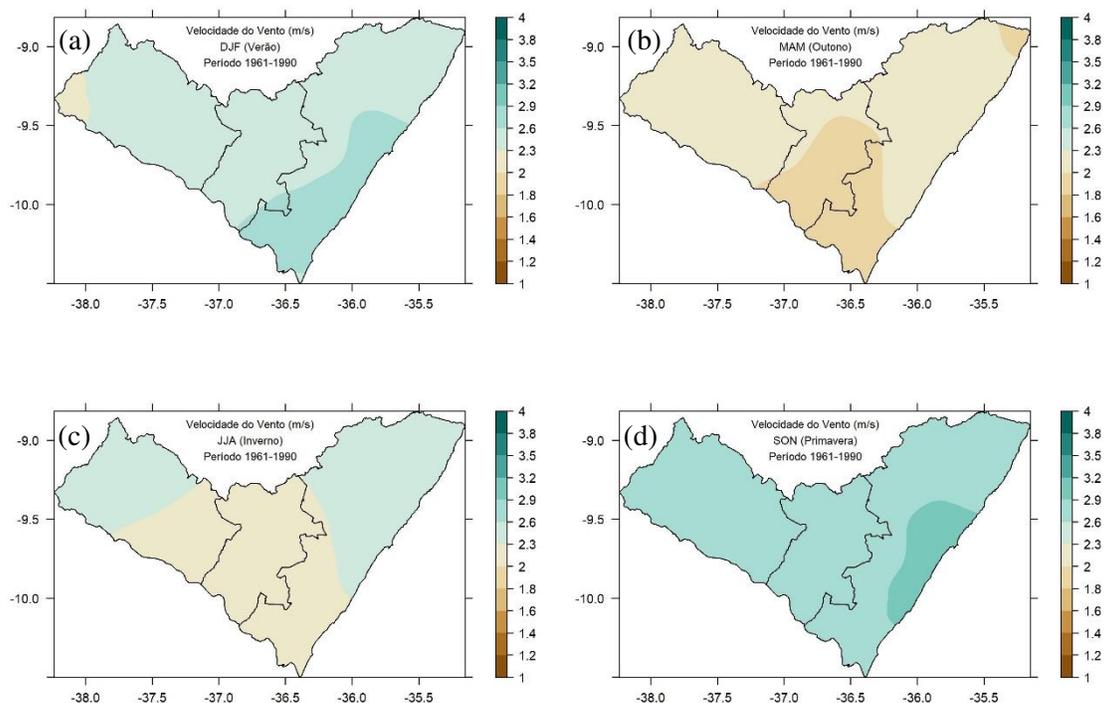
#### 5.4 ANÁLISE DA VELOCIDADE DO VENTO PARA O PERÍODO 1961-1990

A velocidade do vento é um dos componentes importantes na determinação do UTCI, pois influencia significativamente a transferência de calor entre o corpo humano e o ambiente. Quando há vento, ele pode acelerar a evaporação do suor da pele, removendo calor

do corpo e proporcionando uma sensação de resfriamento. No entanto, em condições de vento forte, a sensação térmica pode ser percebida como mais fria do que a temperatura real do ar, devido à maior perda de calor pelo corpo (Cândido, 2006).

A relação entre a velocidade do vento e o UTCI geralmente é integrada ao cálculo do índice, mas a contribuição específica pode variar dependendo das condições locais e do modelo utilizado para calcular o UTCI. Em resumo, em situações de vento mais intenso, o UTCI pode indicar uma sensação térmica mais fria do que a temperatura do ar isoladamente sugeriria.

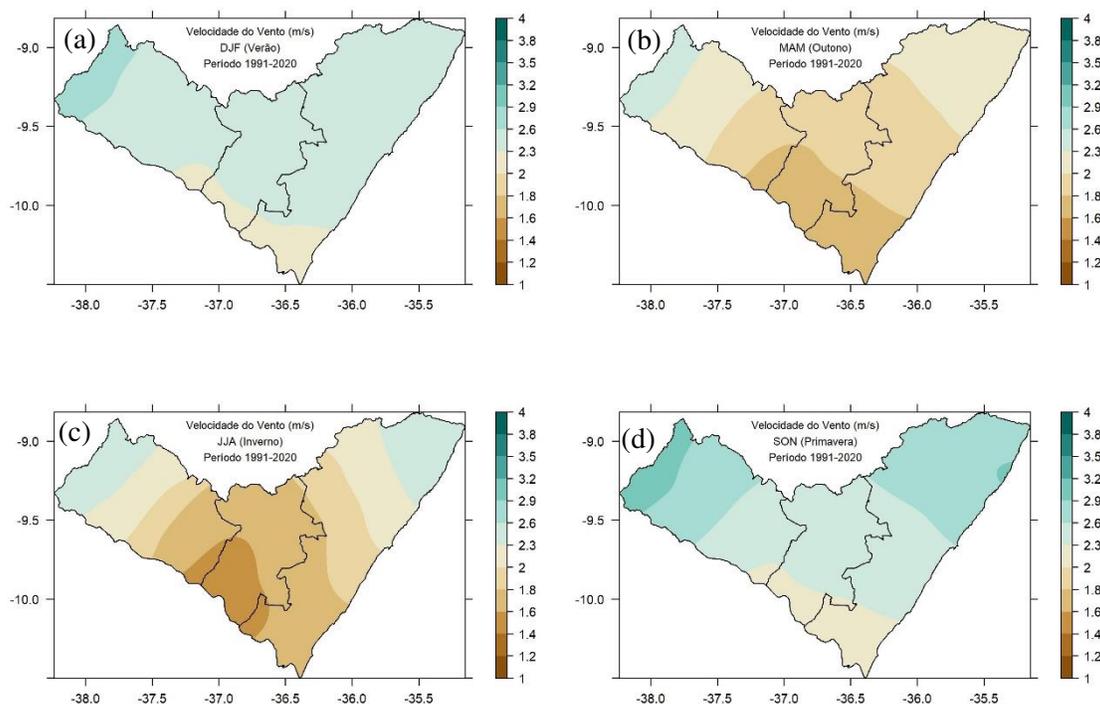
No período 1961-1990, o ciclo sazonal da velocidade do vento mostra maior intensidade no verão (Figura 10a), com variação de 2 a 2,6 m/s, e primavera (Figura 8d), variando de 2,6 a 2,9 m/s. Ventos com menor intensidade são observadas no inverno (Figura 10c) e outono (Figura 10b), com a velocidade do vento variando de 2 a 2,3 m/s e 1,6 a 1,8 m/s, respectivamente.



**Figura 10:** Climatologia (1961-1990) da Velocidade do Vento em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.

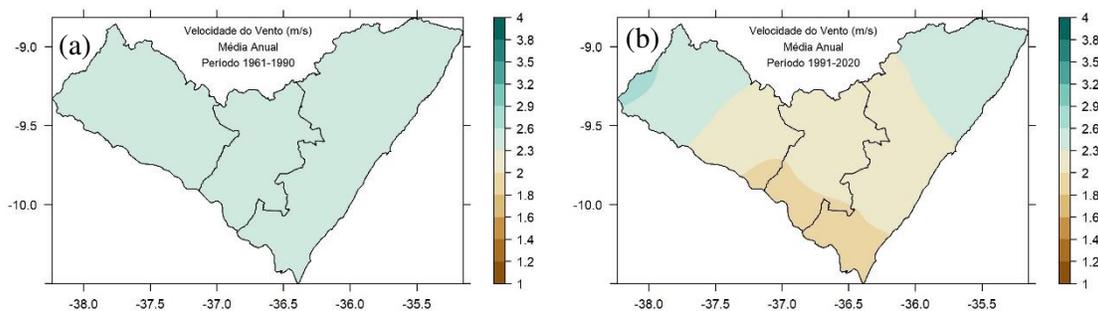
## 5.5 ANÁLISE DA VELOCIDADE DO VENTO PARA O PERÍODO 1991-2020

A Figura 11 mostra uma perda considerável na intensidade do vento em relação ao período 1961-1990, durante o verão (Figura 11a) e primavera (Figura 11d) torna-se perceptível essa redução, agora com velocidades que variam entre 2 a 2,6 m/s e 2 a 2,9 m/s, respectivamente. Assim como no verão e primavera, no inverno e outono também houve uma perda de intensidade, com a velocidade do vento no inverno (Figura 11c) variando entre 1,4 a 2,3 m/s e variando entre 1,6 a 2,3 m/s no outono (Figura 11b).



**Figura 11:** Climatologia (1991-2020) da Velocidade do Vento em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.

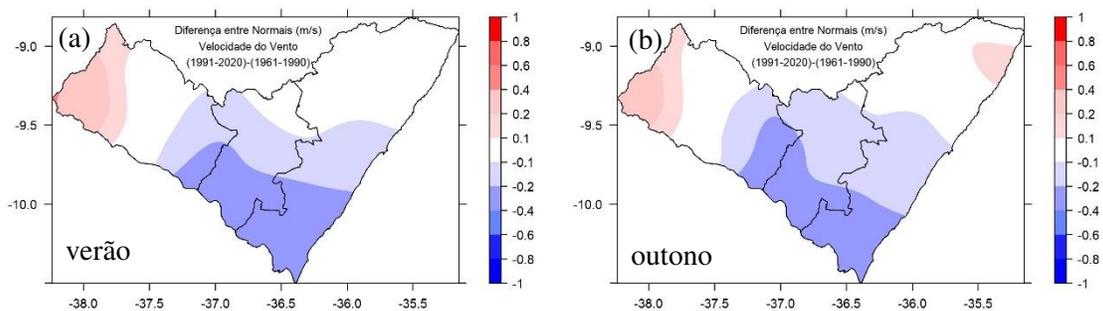
Comparando-se as médias anuais das respectivas normais climatológicas anuais da velocidade do vento, nota-se nos mapas da Figura 12 uma redução na velocidade do vento no período 1991-2020, principalmente no agreste alagoano, onde a velocidade do vento foi reduzida em até 1,6 m/s. Entretanto, nota-se um aumento na velocidade do vento no extremo oeste de Alagoas, com velocidade do vento atingindo 2,6 m/s. Costa e Lyra (2012) apontaram um bom aproveitamento do vento nesta região do sertão.

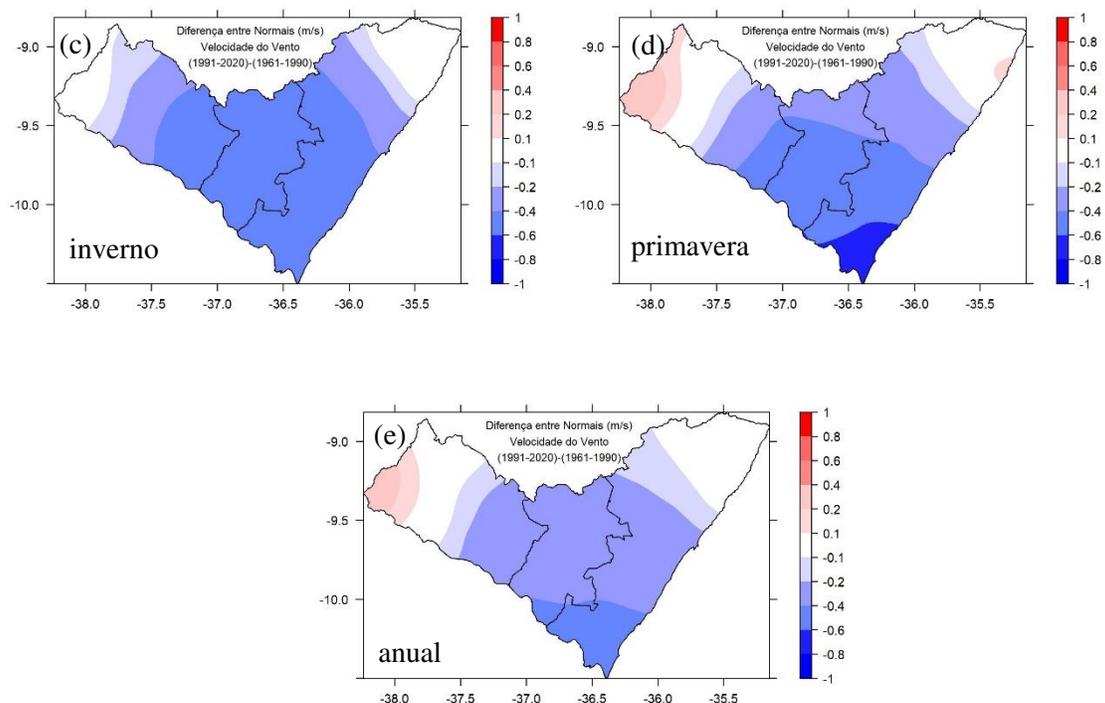


**Figura 12:** Climatologia anual (1961-1990 e 1991-2020) da Velocidade do Vento em Alagoas.

### 5.6 DIFERENÇA ENTRE AS NORMAIS DA VELOCIDADE DO VENTO (1991-2020) e (1961-1990)

Nas anomalias de vento, podemos notar um comportamento similar entre todas as figuras, com uma predominância de anomalia negativa no agreste do estado, com os maiores valores durante o inverno (Figura 13c) e primavera (Figura 13d), esta última chegando a  $-1$  m/s. Durante o verão (Figura 13a) e outono (Figura 13b) há um aumento na velocidade do vento no oeste do sertão alagoano e uma normalidade no leste de Alagoas. Anualmente (Figura 13e) observa-se um aumento acima de  $0,2$  m/s no extremo oeste do sertão alagoano, com normalidades ao norte da região leste e anomalias negativas próximas a  $-0,4$  m/s no agreste do estado.

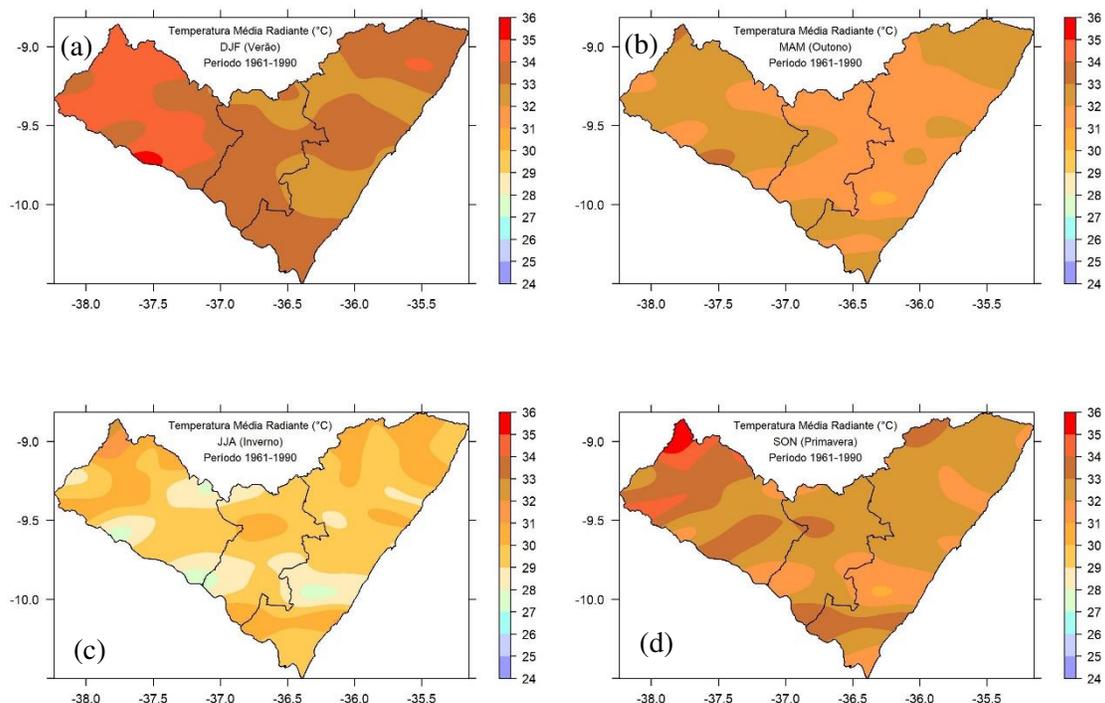




**Figura 13:** Diferença (1991-2020)(1961-1990) do Vento em Alagoas no período no (a) verão, (b) outono, (c) inverno, (d) primavera e (e) ano.

## 5.7 ANÁLISE DA TMR DURANTE O PERÍODO 1961-1990

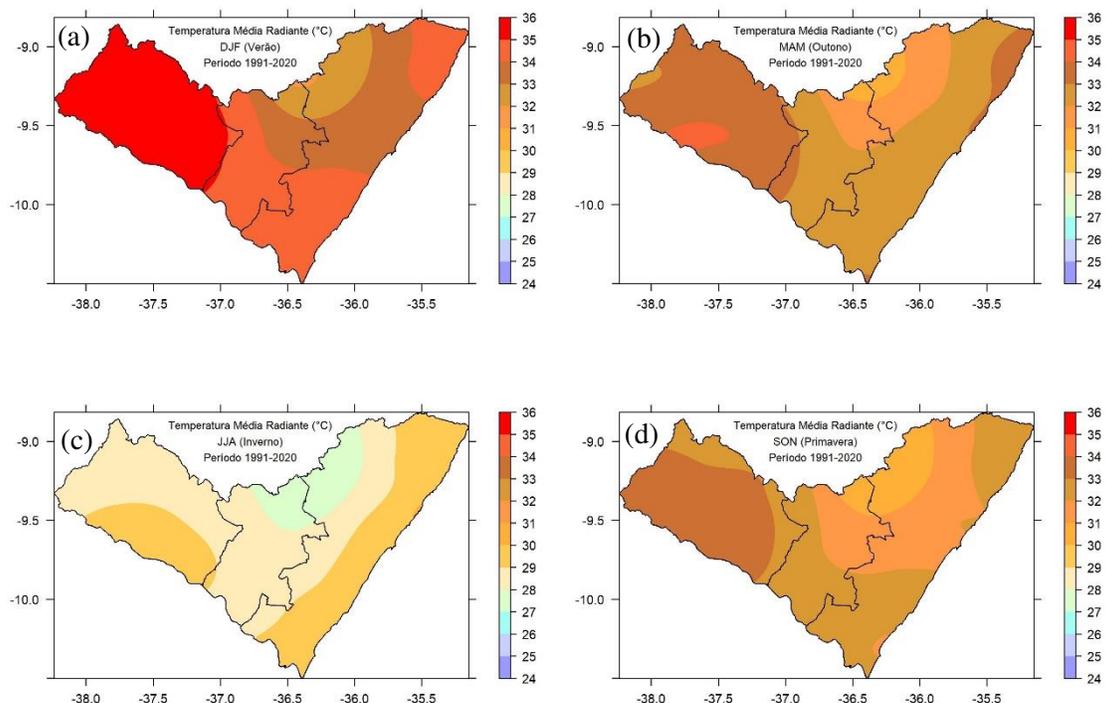
A temperatura média radiante apresenta valores elevados nas estações do verão (Figura 14a) e primavera (Figura 14d), com valores de 33°C a 36°C e 29°C a 36°C, percebe-se que diferente das normais climatológicas anteriores, não há um gradiente presente na distribuição espacial dessa variável. Um comportamento já apresentado na temperatura média também é observado na TMR, com temperaturas mais amenas durante o inverno e o outono (Figuras 14c e 14b), variando entre 26°C a 31°C e 30°C a 33°C, respectivamente.



**Figura 14:** Climatologia (1961-1990) da Temperatura Média Radiante em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.

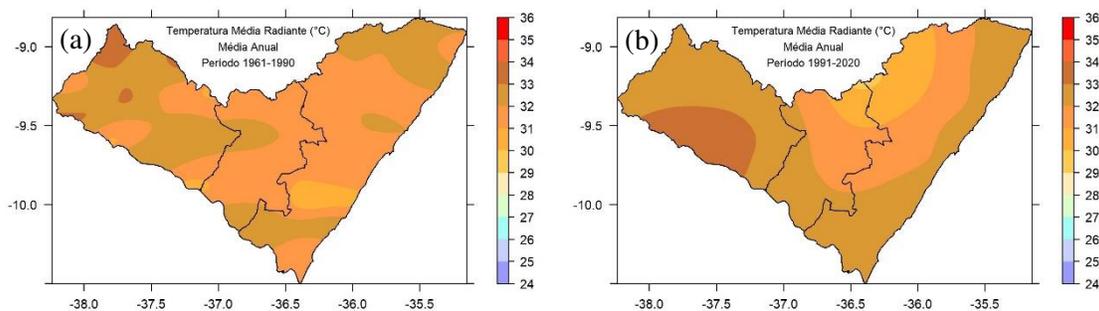
## 5.8 ANÁLISE DA TMR DURANTE O PERÍODO 1991-2020

Para o período climatológico de 1991-2020 tem-se a região do sertão alagoano com níveis extremos de TMR durante o verão (Figura 15a) com temperaturas variando de 32°C a 36°C, e níveis mais amenos na primavera (Figura 15d) se comparado com o período anterior, com variação de 29°C a 33°C. No inverno (Figura 15c) as temperaturas permanecem mais amenas, entretanto, a faixa de temperatura de 27°C se concentrou na parte norte do agreste e noroeste do leste alagoano. No outono (Figura 15b) houve o aumento de 1°C em relação ao período de 1961-1990 na região do sertão alagoano.



**Figura 15:** Climatologia (1991-2020) da Temperatura Média Radiante em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera.

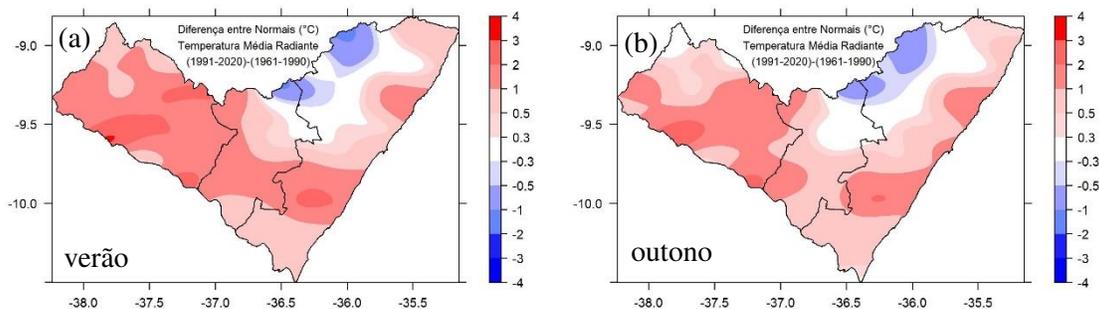
Quando se compara os valores médios anuais das duas normais climatológicas (Figura 16), nota-se uma distribuição mais aleatória da TMR no período 1961-1990 (Figura 16a), com valores mais elevados no sertão, de 32 °C a 34 °C, enquanto no período 1991-2020 (Figura 16b) essa aleatoriedade se perde dando lugar a áreas com valores muito bem definidos e organizados de TMR. Percebe-se uma grande área no sertão com valores de 33 °C a 34 °C, envolto em uma área maior que varia de 32 °C a 33 °C, que se estende além do sertão para o centro-sul do agreste alagoano e toda a faixa litorânea, com um núcleo de valores inferiores que variam de 29 °C a 32 °C em parte do agreste e leste alagoano.

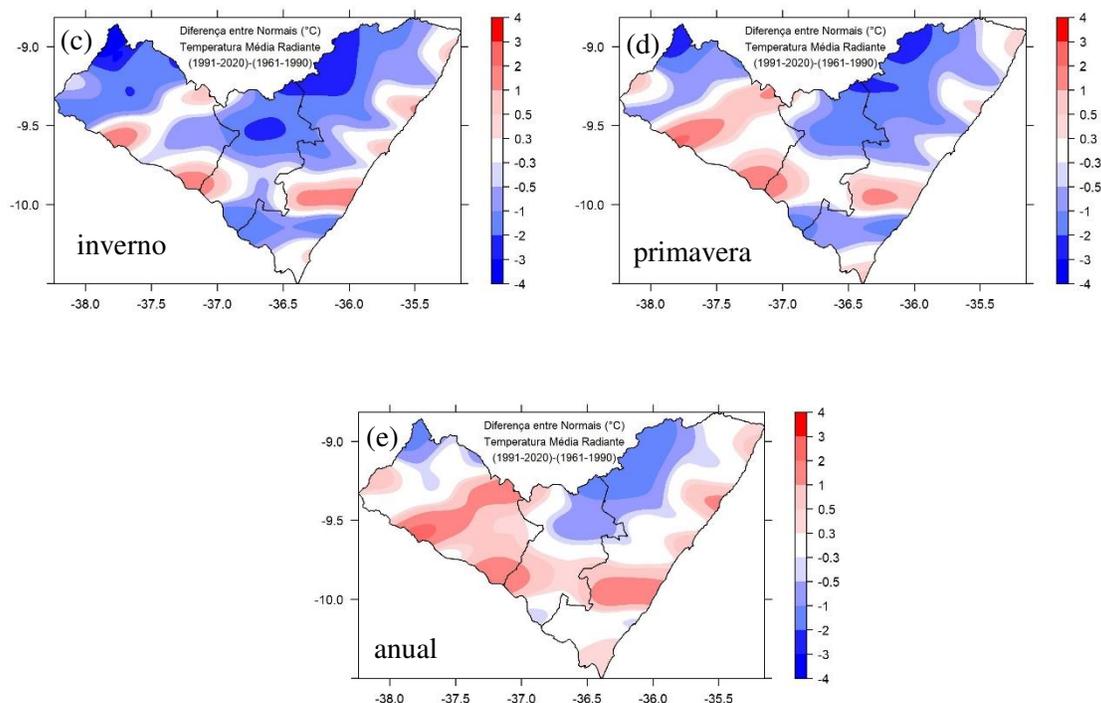


**Figura 16:** Climatologia (1961-1990 e 1991-2020) anual da Temperatura Média Radiante em Alagoas.

### 5.9 DIFERENÇA ENTRE AS NORMAIS DA TMR (1991-2020) e (1961-1990)

O comportamento da temperatura média radiante é semelhante no verão (Figura 17a) e outono (Figura 17c), com anomalias positivas próxima de  $2^{\circ}\text{C}$ , cobrindo praticamente todo o estado de Alagoas, com exceção da faixa norte que se estende do leste ao agreste do estado, apresentando valores na faixa de  $-2^{\circ}\text{C}$ . No inverno (Figura 17b) e primavera (Figura 17d) as anomalias negativas se fazem maioria, com temperaturas chegando a  $-4^{\circ}\text{C}$  no norte do estado e aproximadamente  $2^{\circ}\text{C}$  no leste e no oeste de Alagoas. Anualmente (Figura 17e) observa-se uma predominância de anomalias positivas próximas de  $3^{\circ}\text{C}$  ao longo de Alagoas, e anomalias negativas próximas de  $-2^{\circ}\text{C}$  alocadas ao norte das mesorregiões.





**Figura 17:** Diferença (1991-2020)(1961-1990) da temperatura média radiante em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno, (d) primavera e (e) anual.

## 5.10 UTCI

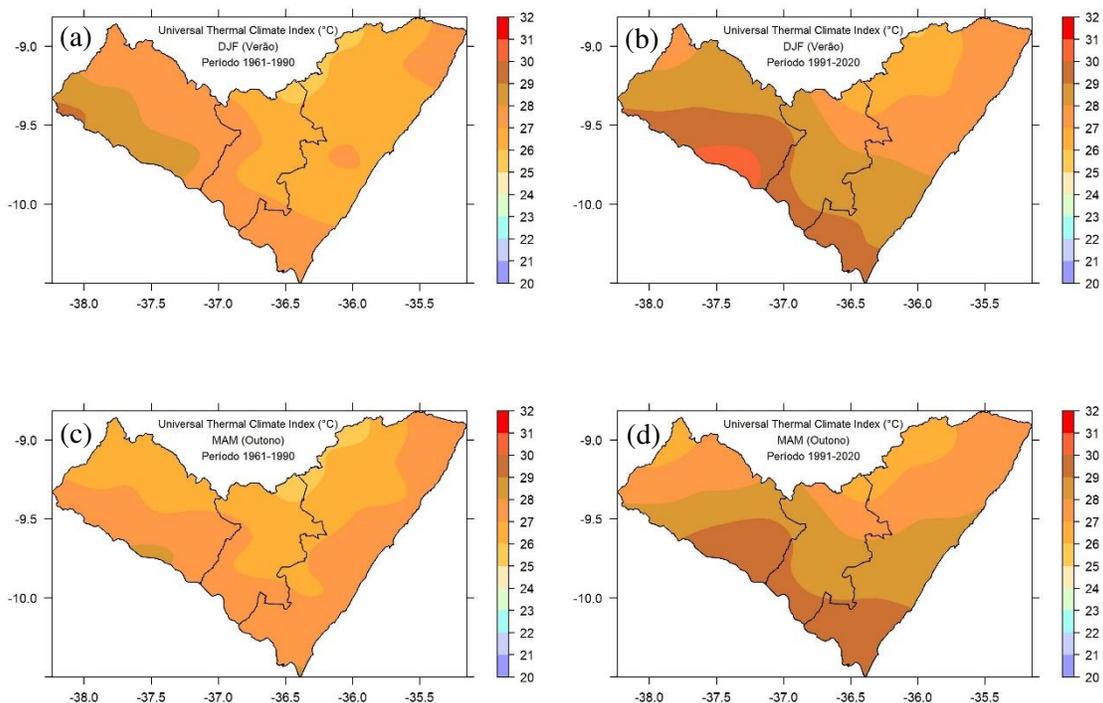
Para uma melhor análise e visualização da evolução do UTCI nos dois períodos climatológicos, optou-se por uma análise comparativa. No verão, durante período 1991-2020 (Figura 18b) nota-se um aumento significativo nos índices de temperatura, com uma faixa de temperaturas que variam de 29°C a 30°C se estendendo sul da região leste de Alagoas ao sertão alagoano. Enquanto no período 1961-1990 (Figura 18a) as temperaturas variaram de 25°C a 28°C. Ambos os períodos apresentaram níveis de estresse moderado para o calor, de acordo com a Tabela 1.

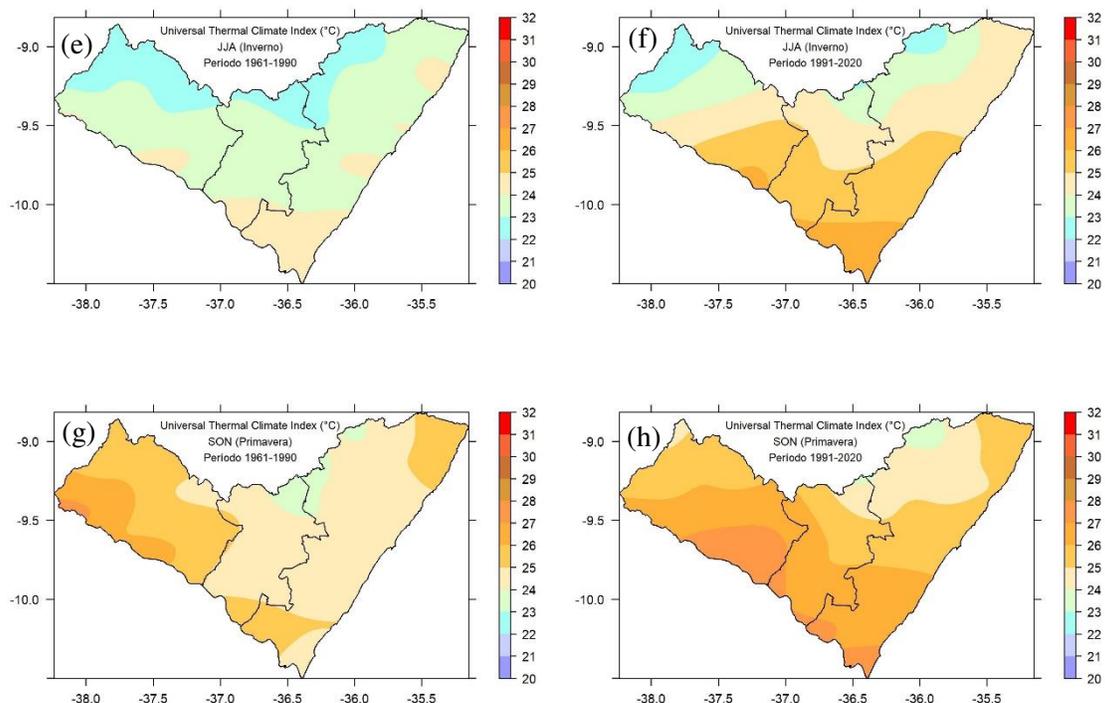
No inverno é possível a visualização de um gradiente norte-sul, com temperaturas que variam de 22°C a 24°C durante o período de 1961-1990 (Figura 18e), indicando conforto térmico. No período de 1991-2020 (Figura 18f) o gradiente norte-sul se mantém, entretanto, houve um aumento nos índices do UTCI, com temperaturas que agora variam de 22°C a 26°C. Apesar do aumento, o inverno no estado de Alagoas permaneceu dentro da faixa de

conforto térmico.

No outono o gradiente norte-sul se faz presente, partindo de temperaturas mais amenas para temperaturas mais elevadas, com temperaturas variando de 25°C a 27°C no período 1961-1990 (Figura 18c) e com variação de 26°C a 29°C no período 1991-2020 (Figura 18d), atingindo níveis de estresse moderado para o calor

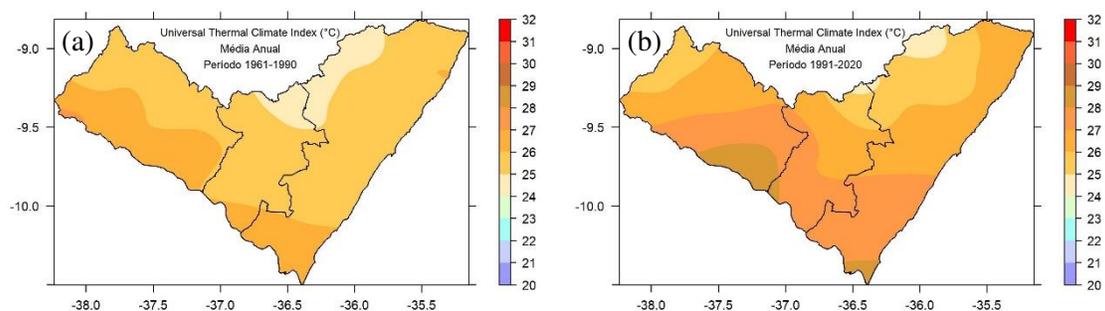
As variações de temperatura se mostraram semelhantes em ambos os períodos durante a primavera, com o aumento de 1°C na temperatura do período 1991-2020 (Figura 18h). O período 1961-1990 (Figura 18g) apresenta temperaturas mais amenas na maior parte do leste e agreste alagoano, no período 1991-2020 essas temperaturas mais amenas se fazem presentes apenas no norte das três mesorregiões alagoanas.





**Figura 18:** Climatologia (1961-1990 e 1991-2020) sazonal do Índice de Conforto Térmico em Alagoas no (a) e (b) verão, (c) e (d) outono, (e) e (f) inverno e (g) e (h) primavera.

Conforme previsto pela análise sazonal, a avaliação anual revela um aumento nas temperaturas do UTCI ao longo dos períodos climatológicos. Com um gradiente norte-sul, o período de 1961-1990 (Figura 19a) registra temperaturas variando de 24°C a 26°C, indicando um ambiente de conforto térmico. Já no período de 1991-2020 (Figura 19b), as temperaturas aumentam, atingindo 28°C no sul da região do sertão e leste alagoano, sinalizando um moderado estresse térmico devido ao calor.

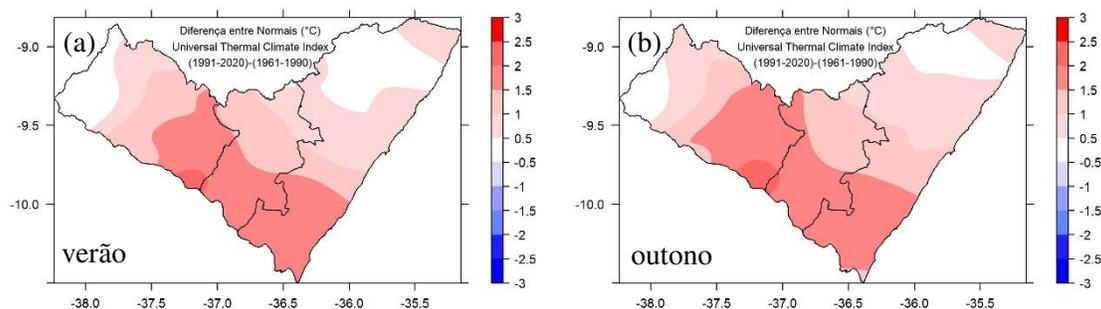


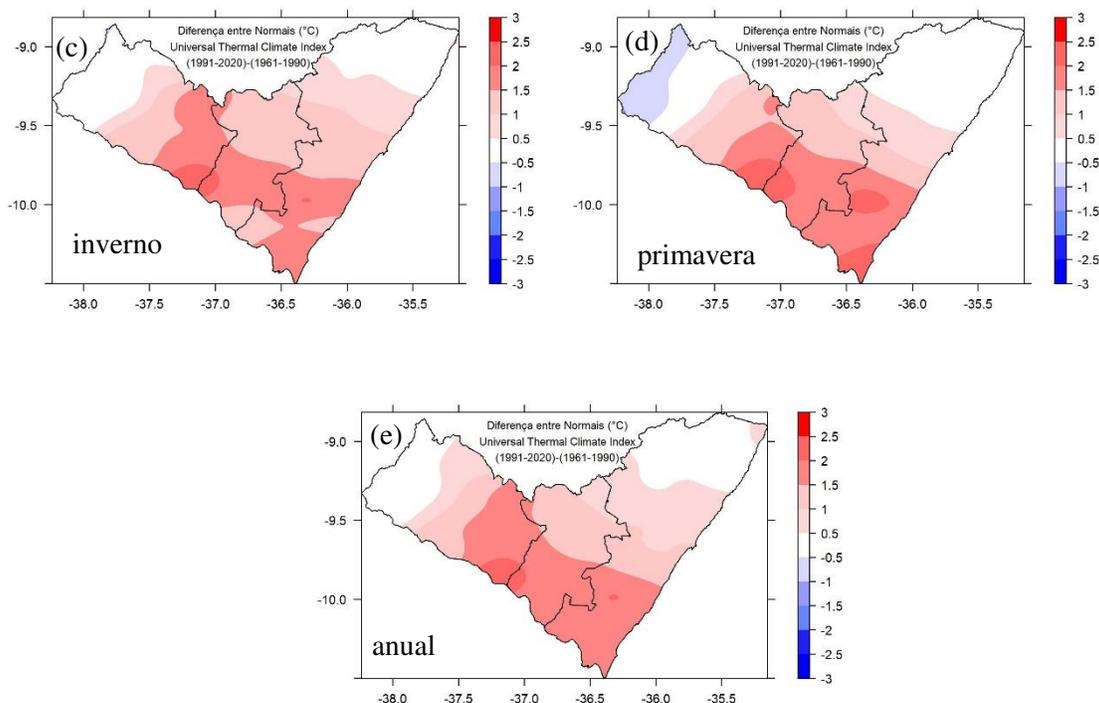
**Figura 19:** Climatologia (1961-1990 e 1991-2020) anual do Índice de Conforto Térmico Universal em Alagoas no período.

### 5.11 DIFERENÇA ENTRE AS NORMAIS DO UTCI (1991-2020) e (1961-1990)

Em todos os mapas da Figura 20 é notável a predominância da anomalia positiva em grande parte do estado, com exceção dos extremos oeste e nordeste, apresentando normalidade. A anomalia positiva do UTCI variou de 0,5°C a 2°C, mostrando um aumento em relação a normal climatológica do período 1961-1990, com destaque para a porção centro-sul de Alagoas. A primavera (Figura 20d), é a única estação onde há uma leve anomalia negativa em municípios do extremo oeste, na mesorregião do sertão.

Como resultado, na diferença média anual entre as normais climatológicas, fica evidente o aumento dos valores de UTCI no período 1991-2020 em relação a 1961-1990 na metade leste do sertão, em todo o agreste e na porção mais a sul da mesorregião leste. Esse aumento variou de 0,5 °C a 2,5 °C, que são valores bastante expressivos de anomalia entre períodos distintos, mostrando uma resposta clara principalmente ao aquecimento observado nos campos de temperatura média, redução da umidade relativa e diminuição da velocidade média do vento no período 1991-2020. Essa combinação aumentou substancialmente os valores associados ao estresse térmico. Por estar-se tratando de valores médios sazonais e anuais, pode-se inferir que esse aumento do estresse térmico moderado observado no UTCI nos últimos 30 anos analisados, estará consequentemente associado ao aumento de horas diárias nas quais a população de muitos dos municípios alagoanos está exposta a uma condição de estresse térmico forte pelo calor.





**Figura 20:** Diferença (1991-2020)(1961-1990) do UTCI em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno, (d) primavera e (e) anual.

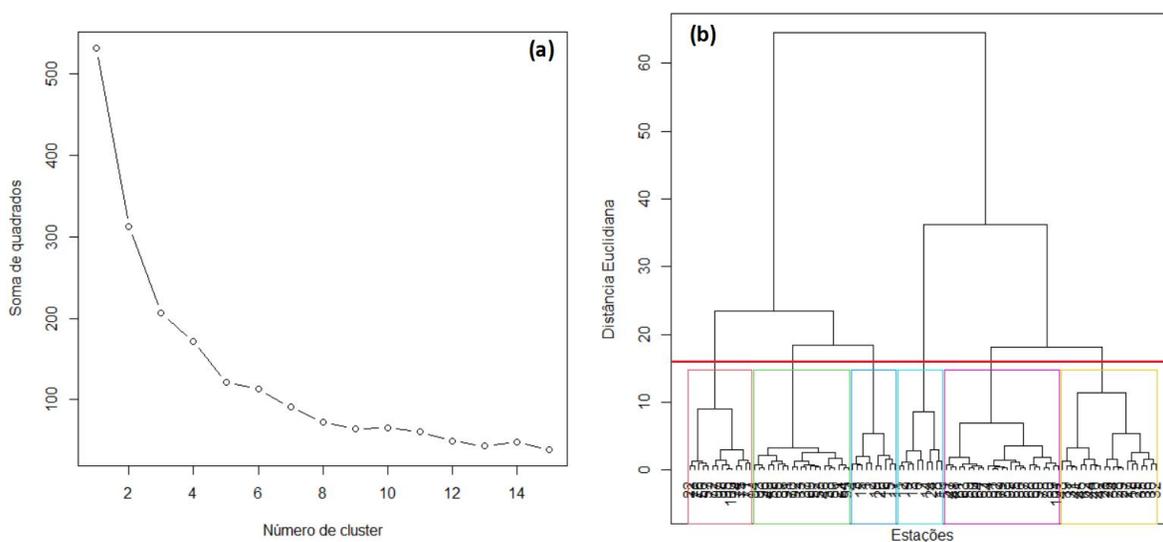
## 5.12 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

### (a) Período 1961-1990

A análise de agrupamento foi realizada com dados mensais de UTCI relativos às duas normais climatológicas, 1961-1990 e 1991-2020, com objetivo de verificar se as mudanças nas normais observadas das variáveis climáticas e do UTCI impactaram nas regiões homogêneas de UTCI em Alagoas e também destacar a similaridade em diferentes municípios de uma mesma mesorregião. Foram identificados seis grupos homogêneos em cada período climatológico. Esse número de grupos mostrou-se o ideal para a subdivisão de grupos homogêneos de UTCI, pois apenas com esse número de grupos foi possível a identificação de regiões homogêneas sem "intrusão" de elementos de demais grupos.

A Figura 21a mostra que com seis grupos, para o período 1961-1990, a soma dos quadrados manteve-se aproximadamente constante, com os municípios agrupados e demonstrados em um dendograma (Figura 21b) com a respectiva linha vermelha usada para dividir os grupos de acordo com o método da distância euclidiana e o agrupamento hierárquico usando a técnica de ligação de Ward (LYRA et al, 2014; SILVA et al, 2023). A Tabela 2 mostra o número de postos pluviométricos pertencentes a cada região homogênea.

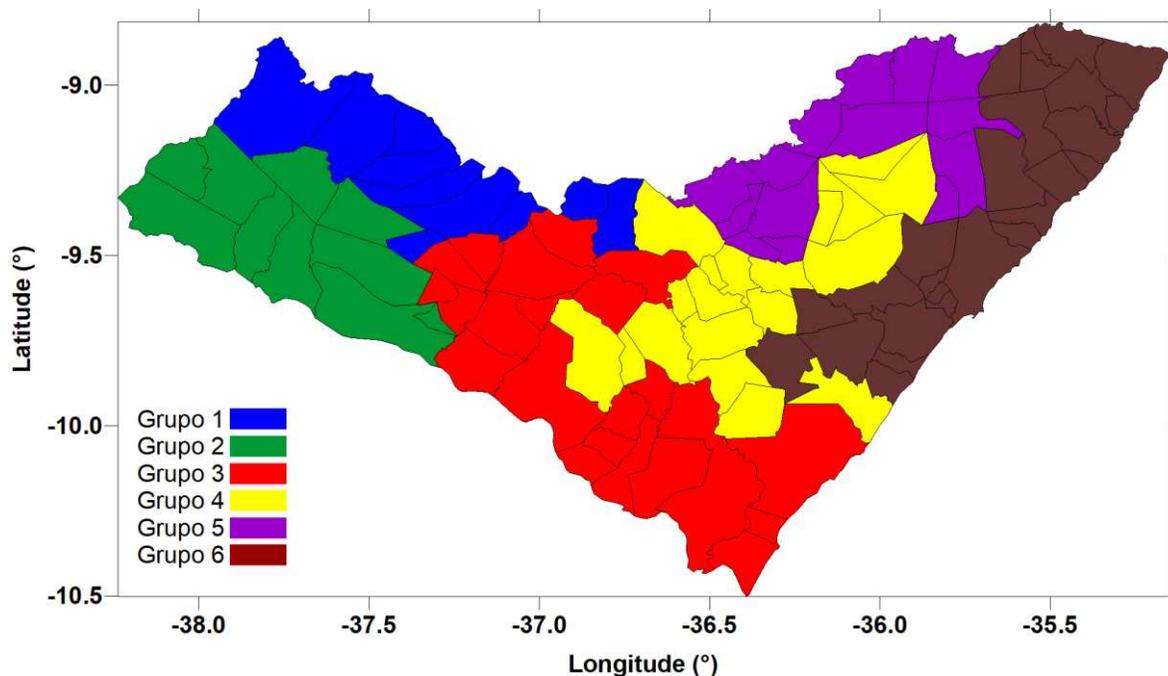
A Figura 22 mostra a distribuição das regiões homogêneas de UTCI, com o sertão do estado basicamente com dois grandes grupos, o grupo 1 e o grupo 2, o agreste com amostras de quatro grupos (1, 3, 4 e 5), e o leste de Alagoas com amostras dos grupos 3 e 4, e englobando completamente o grupo 6.



**Figura 21:** Número de cluster (a) e dendograma (b) para os seis grupos com base nos dados climatológicos mensais do UTCI no período 1961-1990.

**Tabela 2:** Grupos e quantidade de municípios pertencentes.

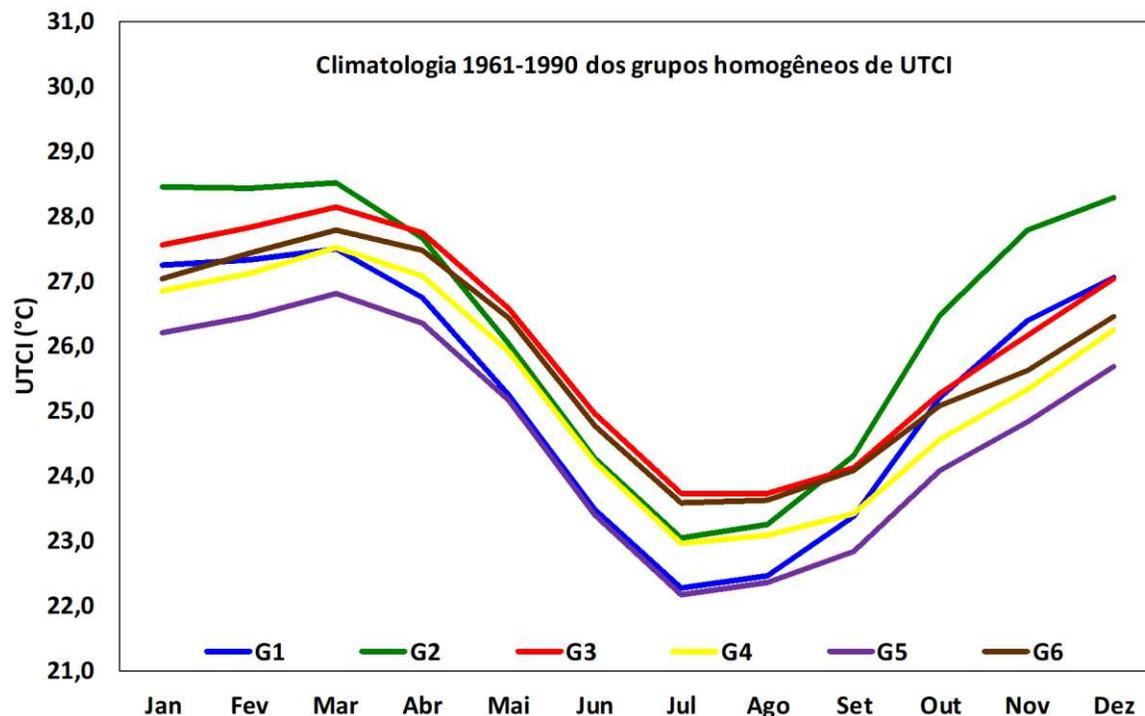
Grupos	Número de municípios	Frequência Relativa
1	10	9,80
2	10	9,80
3	23	22,55
4	19	18,63
5	14	13,73
6	26	25,49



**Figura 22:** Regiões homogêneas de UTCI no período 1961-1990.

A Figura 22 mostra a climatologia sazonal do UTCI de cada grupo, onde justifica-se uma vez mais a divisão de Alagoas em seis regiões homogêneas, haja vista as marcantes diferenças nos valores mensais do ciclo anual de cada grupo, todos com forte sazonalidade. O Grupo 2, situado na mesorregião do sertão, se destaca como o de maiores valores de UTCI na primavera e no verão (setembro a fevereiro), enquanto o grupo 1 também situado na porção mais à norte do sertão teve um comportamento intermediário entre os grupos, o que denota uma possível interferência do rio São Francisco na concentração de calor em municípios do grupo 2, com valores médios de UTCI que ultrapassam os 28 °C nos meses mais quentes do ano, indicando estresse térmico moderado como a condição climática média a qual a população desses municípios está exposta durante seis meses do ano. O Grupo 5 é o oposto, com os valores médios de UTCI mais baixos observados durante todo o ano, podendo-se inferir que nos municípios desse grupo há uma maior quantidade de dias classificados como confortáveis, mesmo assim, vale-se destacar que de janeiro a abril os valores médios desse grupo superam os 26 °C, limiar que estabelece estresse térmico moderado. Nota-se que o mês de março, primeiro mês do outono logo após o verão, é o mês de pico nos valores médios de UTCI de todos os grupos, levando-se a inferir que é o mês do ano que em média apresenta o maior número de horas com estresse térmico e consequentemente de dias com estresse pelo

calor. A sazonalidade é marcante, e no inverno há um declínio dos valores de UTCI, com os municípios do grupo 3 apresentando os valores mais elevados de UTCI, em média de 24 °C, até pouco mais de 22 °C do grupo 5, mostrando predominância de dias confortáveis nessa estação do ano.



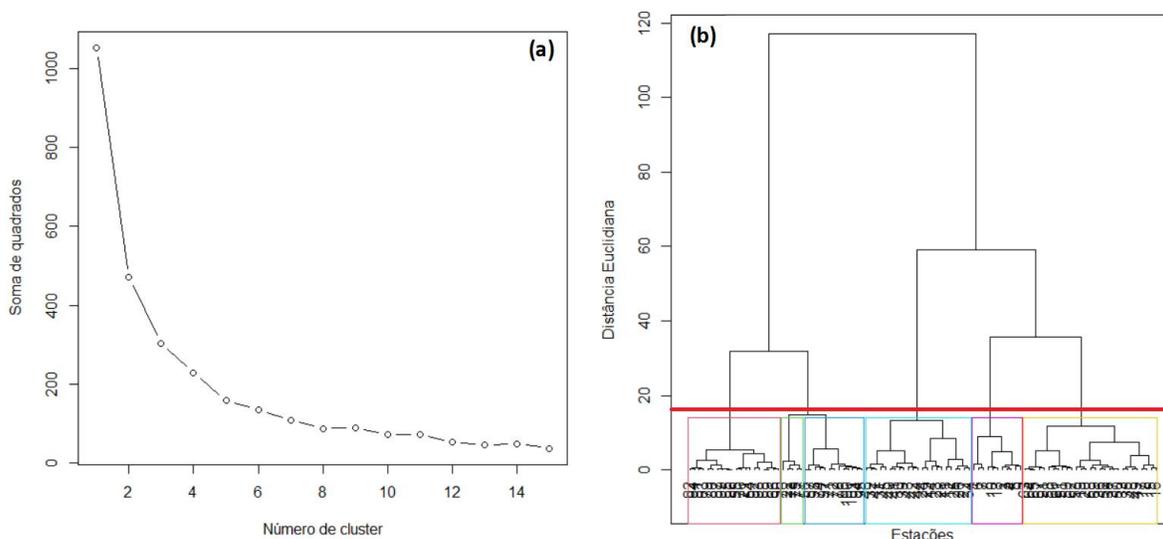
**Figura 23:** Climatologia mensal do UTCI para cada grupo homogêneo identificado no período 1961-1990.

### (b) Período 1991-2020

Para o período climatológico 1991-2020, a Figura 24a mostra que a soma dos quadrados obteve um aumento considerável na sua escala em relação ao período de 1961-1990. No dendograma (Figura 24b) temos um destaque para o aumento da distância euclidiana em relação ao período 1961-1990. A Tabela 3 mostra o número de municípios pertencentes a cada região homogênea.

A Figura 25 mostra a distribuição das regiões homogêneas de UTCI, com o sertão do estado ocupado em sua grande maioria pelo grupo 1 e o grupo 2, o agreste com amostras de quatro grupos (2, 3, 5 e 6), e o leste de Alagoas com amostras dos grupos 2, 3, 5 e 6

englobando completamente o grupo 4.



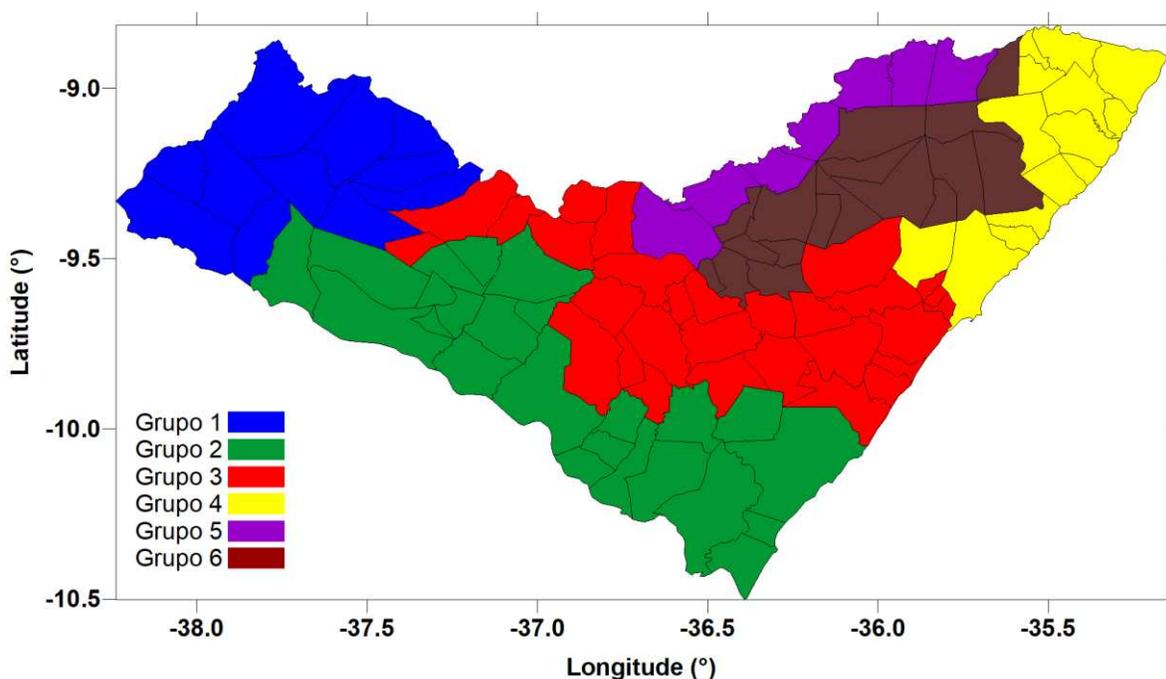
**Figura 24:** Número de cluster (a) e dendrograma (b) para os seis grupos com base nos dados climatológicos mensais do UTCI no período 1991-2020.

**Tabela 3:** Grupos e quantidade de municípios pertencentes.

Grupos	Número de municípios	Frequência Relativa
1	11	10,78
2	24	23,52
3	29	28,43
4	20	19,61
5	5	4,90
6	13	12,75

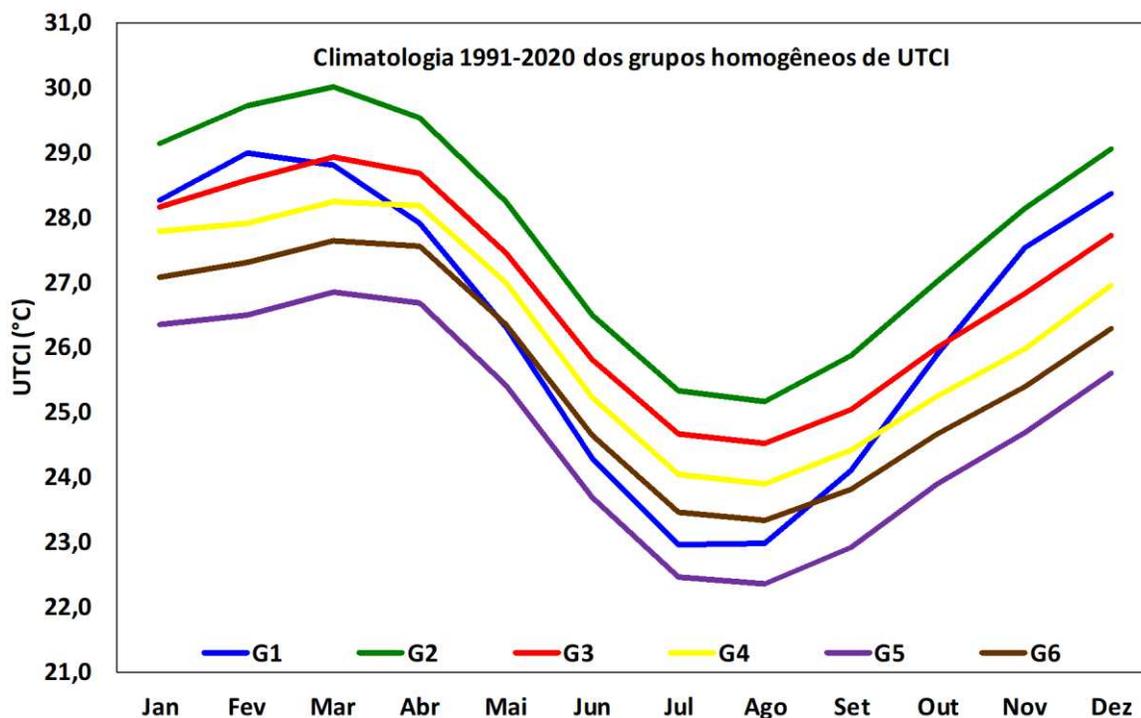
Em relação ao período 1961-1990, houveram notáveis mudanças na área observada dos grupos homogêneos. O grupo 1 formado por municípios ao norte da mesorregião do serão e do agreste, agora se restringe a municípios à oeste, inseridos completamente no sertão alagoano. O grupo 2, antes restrito a uma faixa do sertão limítrofe ao Rio São Francisco, aumentou significativamente em área, perdendo municípios localizados no sertão em 1961-1990 para o grupo 1, porém avançando para municípios ao longo do Rio São Francisco das mesorregiões agreste e leste até o litoral sul. O grupo 3 antes limitado ao agreste e leste mais ao sul de Alagoas, abrange em 1991-2020 municípios da faixa central do estado, com municípios desde a porção mais a leste do sertão, ao norte do agreste e porção central do leste alagoano, atuando como uma zona limitadora dos grupos 1 e 2 com os demais grupos 4, 5 e

6. O grupo 4 sofreu uma das mais significativas mudanças, antes restrita a municípios na porção central de Alagoas estendendo-se discretamente ao litoral, agora agrupa municípios totalmente distintos do período 1961-1990, na parte central da faixa leste até a fronteira mais ao norte com o estado de Pernambuco. O grupo 5 permanece situado em uma faixa limítrofe ao estado de Pernambuco, no entanto, perdeu municípios para o grupo 6, que assim como o grupo 4, destaca-se pela mudança abrupta na área ocupada em 1991-2020 em relação a 1961-1990, com poucos municípios de sua área anterior e afastando-se do litoral, sem nenhum município nessa área do estado, e avançando para o interior da mesorregião do leste alagoano.



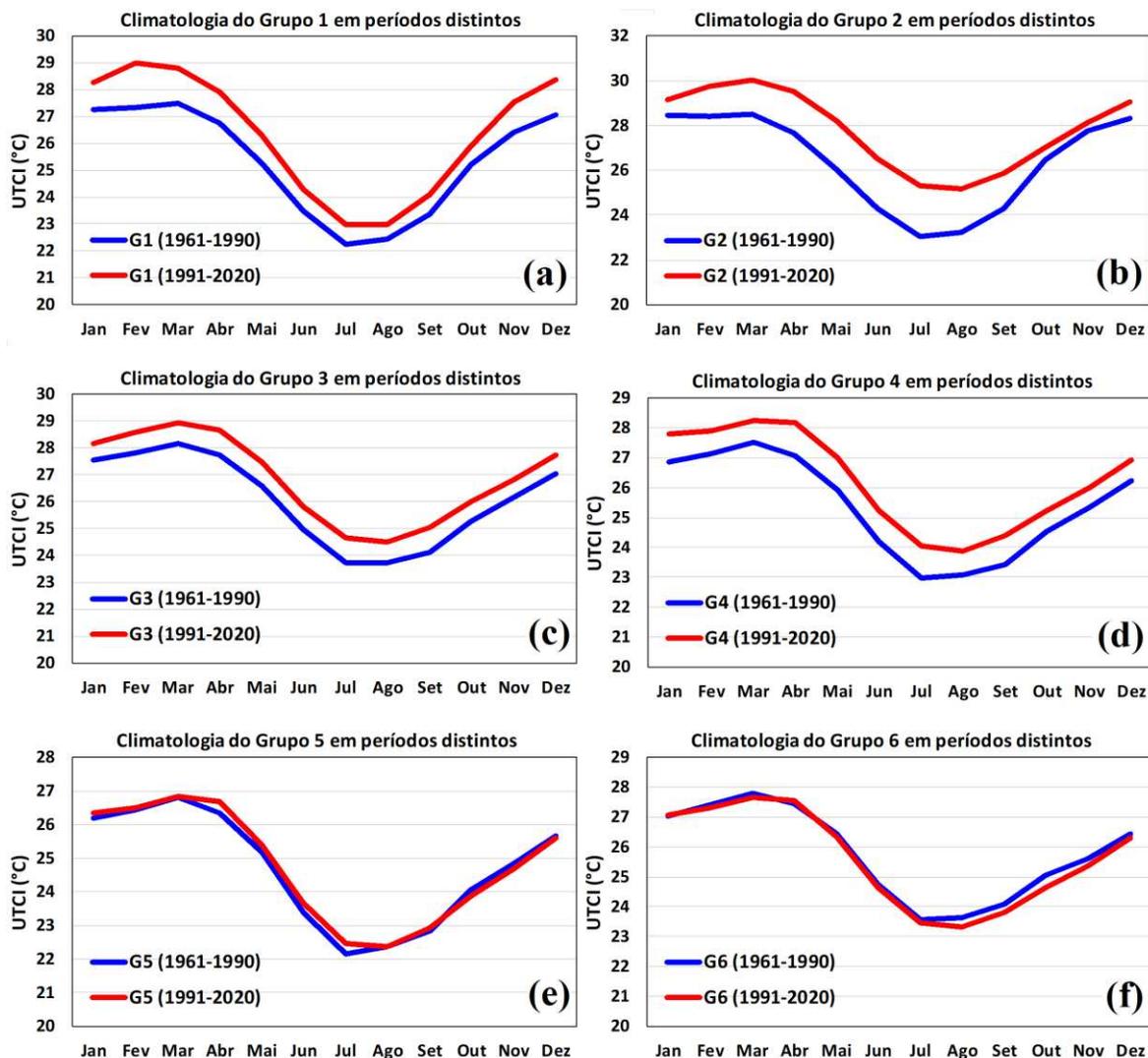
**Figura 25:** Regiões homogêneas de UTCI no período 1991-2020.

Essas mudanças refletem no ciclo médio anual do UTCI, onde pode-se observar na Figura 26, aumento significativo nos valores médios mensais do UTCI na maior parte das regiões homogêneas, com incremento da sazonalidade, onde vê-se um maior distanciamento entre os extremos máximos observados entre os meses de verão e outono versus os menores valores observados nos meses do inverno, embora perceba-se que até nos meses do inverno, houve aumento dos valores de UTCI em relação ao período 1961-1990.



**Figura 26:** Climatologia mensal do UTCI para cada grupo homogêneo identificado no período 1991-2020.

Tais diferenças mostram como a dinâmica de mudanças no comportamento das variáveis atmosféricas, com o aumento da temperatura, diminuição da umidade e da velocidade do vento, interferem nas regiões homogêneas de UTCI ao longo do tempo. Essas mudanças são mais perceptíveis nos gráficos da Figura 27, que mostram as diferenças na climatologia mensal entre os grupos nos respectivos períodos climatológicos, com os grupos 1 a 4 mostrando aumento significativo dos valores de UTCI no período 1991-2020 em relação ao período 1961-1990. Os grupos 5 e 6, após a mudança verificada na abrangência de municípios, não apresentaram sinais significativos de aumento nos valores de UTCI, até com diminuição destes em algumas estações do ano, como mostrado na informação complementar da Tabela 4.



**Figura 27:** Climatologias dos valores mensais de UTCI nos períodos 1961-1990 e 1991-2020, para cada grupo homogêneo.

**Tabela 4:** Valores médios do UTCI dos grupos homogêneos em cada estação do ano, e respectivas diferenças entre 1991-2020 e 1961-1990 (destacadas em vermelho as positivas, e em azul as negativas).

UTCi	Estação			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
G1 (1961-1990)	27,2	26,5	22,7	25,0
G1 (1991-2020)	28,5	27,7	23,4	25,8
Diferença	1,3	1,2	0,7	0,9
G2 (1961-1990)	28,4	27,4	23,5	26,2
G2 (1991-2020)	29,3	29,3	25,7	27,0

Diferença	0,9	1,9	2,1	0,8
G3 (1961-1990)	27,5	27,5	24,1	25,2
G3 (1991-2020)	28,2	28,4	25,0	26,0
Diferença	0,7	0,9	0,9	0,8
G4 (1961-1990)	26,7	26,8	23,4	24,4
G4 (1991-2020)	27,5	27,8	24,4	25,2
Diferença	0,8	1,0	1,0	0,8
G5 (1961-1990)	26,1	26,1	22,6	23,9
G5 (1991-2020)	26,2	26,3	22,8	23,8
Diferença	0,0	0,2	0,2	-0,1
G6 (1961-1990)	27,0	27,2	24,0	24,9
G6 (1991-2020)	26,9	27,2	23,8	24,6
Diferença	-0,1	0,0	-0,2	-0,3

---

## 6. CONCLUSÃO

Analisou-se a distribuição espaço-temporal do UTCI no estado de Alagoas nos últimos 60 anos, relativo ao período 1961-2020. Preliminarmente, avaliaram-se as variáveis meteorológicas que compõem o cálculo do UTCI, constatando-se o seguinte:

- (1) A temperatura média aumentou nos últimos 30 anos do período analisado, principalmente nas mesorregiões do agreste e partes do sertão e leste alagoanos, com a maior diferença no outono na mesorregião do sertão, com elevação de até 1,5 °C em relação a 1961-1990. Na média anual, o leste alagoano apresentou aumento de temperatura de 0,5 °C a 1 °C. No agreste o aumento foi de até 1 °C e no sertão de até 1,2 °C.
- (2) A umidade relativa diminuiu no verão e principalmente no outono, em até 5 %, aumentou nas porções ao norte das mesorregiões leste e agreste em até 2 % no inverno, e em até 4 % no sertão. Na primavera o aumento da umidade ficou restrito a porções do leste e sertão, com diminuição no agreste. Na média anual, o destaque foi a diminuição da umidade relativa no agreste, de até 3 %, e em partes do sertão e leste alagoanos.
- (3) Houve diminuição significativa dos valores médios anuais da velocidade do vento no período 1991-2020 em relação ao período 1961-1990, de até 1 m/s.
- (4) A temperatura média radiante aumentou nas áreas onde diminuíram a umidade relativa e a velocidade do vento, e diminuiu em áreas isoladas do sertão e uma área com maior extensão em porção da faixa leste e do agreste, fronteira com estado de Pernambuco.

A aplicação da técnica de análise de agrupamento aos valores médios mensais de UTCI mostrou que Alagoas deve ser subdividida em seis grupos, ou regiões homogêneas de UTCI. No entanto, a variabilidade e mudanças verificadas entre 1961-1990 e 1991-2020 mostraram que esses grupos homogêneos apresentam diferenças significativas entre esses períodos.

Em síntese, a análise das condições climáticas em Alagoas indica um cenário de aumento no Índice UTCI na maior parte do estado, refletindo o aquecimento do ambiente principalmente nas áreas onde foram verificados o aumento da temperatura do ar, a diminuição na velocidade média do vento e a diminuição na umidade relativa. Tal resultado permite inferir que a população da maior parte dos municípios alagoanos está, cada vez mais, exposta a condições de desconforto térmico ao ar livre.

Estes resultados destacam a necessidade premente de estratégias de planejamento urbano e políticas ambientais que busquem mitigar os efeitos adversos do crescimento urbano desordenado, promovendo ambientes mais sustentáveis e saudáveis para a população.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

André, R.G.B.; Marques, V.S.; Pinheiro, F.M.A.; Ferraudo, A.S. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23(4), p. 501-509, 2008.

Anjos, M.; Lopes, A. Sea breeze front identification on the northeastern coast of Brazil and its implications for meteorological conditions in the Sergipe region. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 137, p. 2151–2165, 2019.

ANSI/ASHRAE Standard 55 – 1992. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA, 1992.

Ashley, S.; Sherman, M. The Calculation of Natural Ventilation and Comfort. **ASHRAE Transactions**, v.90; Part 1B, Atlanta, 1984.

Barbirato, G.M.; Souza, L.C.L.; Torres, S.C. **Clima e Cidade: a Abordagem Climática como Subsídios**. Maceió: EDUFAL, 154, 2007.

Barros, J.P.M. **Análise Climatológica de Diferentes Índices de Conforto Térmico em Alagoas. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Graduação em Meteorologia, Maceió-AL. p. 45, 2022. Disponível em: [repositorio.ufal.br/bitstream/123456789/10067/1/Análise climatológica de diferentes índices de conforto térmico em Alagoas.pdf](https://repositorio.ufal.br/bitstream/123456789/10067/1/Análise%20climatológica%20de%20diferentes%20índices%20de%20conforto%20térmico%20em%20Alagoas.pdf). Acesso em dezembro de 2023.**

Błażejczyk, K.; Bröde, P.; Fiala, D.; Havenith, G.; Holmér, I.; Jendritzky, G.; Kampmann, B.; Kunert, A. Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale. **Miscellanea Geographica**, v. 14, p. 91–102, 2010.

Blazejczyk, K.; Epstein, Y.; Jendritzky, G.; Staiger, H.; Tinz, B. Comparison of UTCI to selected thermal indices. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, p. 515–535, 2012.

Błażejczyk, K.; Jendritzky, G.; Bröde, P.; Fiala, D.; Havenith, G.; Epstein, Y.; Psikuta, A.; Kampmann, B. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). **Geographia Polonica**, v. 86, p. 5–10, 2013.

Bröde, P.; Jendritzky, G.; Fiala, D.; Havenith, G. **The universal thermal climate index UTCI in operational use. Proceedings of conference: adapting to change: new thinking on comfort.** Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9–11 April 2010.

Bröde, P.; Krüger, E. L.; Rossi, F. A.; Fiala, D. Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI—a case study in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v.56, p. 471–480, 2012.

Buriol, G.A.; Estefanel, V.; Righi, E.Z.; Bressan, V.C. Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v. 45(2), p. 223–230, 2015.

Cândido, C. **Ventilação natural e conforto térmico em climas quentes.** Tópicos avançados em Conforto térmico (Prof. Roberto Lamberts), in: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) - Centro Tecnológico (CT) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2006.

Carvalho, M.A.V.; Oyama, M.D. Variabilidade da largura e intensidade da Zona de

Convergência Intertropical Atlântica: Aspectos observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, p. 305–316, 2013.

Coffel, E. D.; Horton, R.; de Sherbinin, A. Temperature and humidity based projections of a rapid rise in global heat stress exposure during the 21st century. **Environmental Research Letters**, v. 13, p. 014001, 2018.

Costa, G. B.; Lyra, R. F. F. Análise dos padrões de vento no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n 1, p. 31-38, 2012.

Costa, R.L.; de Mello Baptista, G.M.; Barros Gomes, H.; dos Santos Silva, F.D.; da Rocha Júnior, R.L.; de Araújo Salvador, M.; Herdies, D.L. Analysis of climate extremes indices over northeast Brazil from 1961 to 2014. **Weather and Climate Extremes**, v. 28, p. 100254, 2020.

Costa, R.L.; Souza, E.P.; Silva, F.D.S. An application of a thermodynamic theory on studying an Upper-Tropospheric Cyclonic Vortex over northeast Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 96–104, 2014.

da Rocha Júnior, R.L.; dos Santos Silva, F.D.; Lisboa Costa, R.; Barros Gomes, H.; Herdies, D.L.; Rodrigues da Silva, V.d.P.; Candido Xavier, A. Analysis of the Space–Temporal Trends of Wet Conditions in the Different Rainy Seasons of Brazilian Northeast by Quantile Regression and Bootstrap Test. **Geosciences**, v. 9, p. 457, 2019.

da Rocha Júnior, R.L.; Silva, F.D.S.; Pinto, D.D.C.; Costa, R.L.; Gomes, H.B.; Herdies, D.L.; Freitas, I.G.F.; Nova, T.S.V. Análise de extremos de temperatura no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, p. 445-460, 2022.

da Silva, I.R.; Nedel, A.S.; Marques, J.R.Q.; Nolasco Júnior, L.R. Excess of children's outpatient consultations due to asthma and bronchitis and the association between meteorological variables in Canoas City, Southern Brazil. **International Journal of**

**Biometeorology**, v. 63, p. 1517–1524, 2019.

Deosthali, V. Assessment of impact of urbanization on climate: an application of bio-climatic index. **Atmospheric Environment**, v. 33, p. 4125-4133, 1999.

Diniz, F.A.; Ramos, A.M.; Rebello, E.R.G. Brazilian climate normals for 1981–2010. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 131–143, 2018.

dos Reis, L.C.; Silva, C.M.S.; Silva, C.M.S.; Bezerra, B.G.; Mutti, P.R.; Spyrides, M.H.C.; da Silva, P.E. Analysis of Climate Extreme Indices in the MATOPIBA Region, Brazil. **Pure and Applied Geophysics**, v. 177, p. 4457–4478, 2020.

dos Santos Silva, F.D.; da Costa, C.P.W.; dos Santos Franco, V.; Gomes, H.B.; da Silva, M.C.L.; dos Santos Vanderlei, M.H.G.; Costa, R.L.; da Rocha Júnior, R.L.; Cabral Júnior, J.B.; dos Reis, J.S.; et al. Intercomparison of Different Sources of Precipitation Data in the Brazilian Legal Amazon. **Climate**, v. 11, p. 241, 2023.

Fanger, P.O. Thermal comfort - Analysis and applications in environmental engineering. **McGraw-Hill Book Company**, New York, 1970.

Fiala, D.; Havenith, G.; Bröde P.; Kampmann B.; Jendritzky, G. UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, p. 429-441, 2012

Geirinhas, J.L.; Russo, A.; Libonati, R.; Trigo, R.M.; Castro, L.C.O.; Peres, L.F.; Magalhães, M.A.F.M.; Nunes, B. Heat-related mortality at the beginning of the twenty-first century in Rio de Janeiro, Brazil. **International journal of biometeorology**, v.64, p. 1329-1332, 2020.

Gibson, P.B.; Perkins-Kirkpatrick, S.E.; Alexander, L.V.; Fischer, E.M. Comparing Australian heat waves in the CMIP5 models through cluster analysis. **Journal of**

**Geophysical Research: Atmospheres**, v. 122, p. 1-16, 2017.

Givoni, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18(1), p. 11-23, 1992.

Gobo, J.P.A.; Wollmann, C.A.; Celuppi, M.C.; Galvani, E.; Faria, M.R.; Mendes, D.; Oliveira-Júnior, J.F.; Malheiros, T.S.; Riffel, E.S.; Gonçalves, F.L.T. The bioclimate present and future in the state of São Paulo/ Brazil: Space-time analysis of human thermal comfort. **Sustainable Cities and Society**, v. 78, p. 103611, 2022.

Gomes, H.B.; Ambrizzi, T.; Da Silva, B.F.P.; Hodges, K.; Dias, P.L.S.; Herdies, D.; Silva, M.C.L.; Gomes, H.B. Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic. **Climate Dynamics**, v. 53, p. 1393–1411, 2019.

Gomes, H.B.; Ambrizzi, T.; Herdies, D.L.; Hodges, K.; Da Silva, B.F.P. Easterly Wave Disturbances over Northeast Brazil: An Observational Analysis. **Advances in Meteorology**, v. 2015, p. 176238, 2015.

Guo, H.; Ferrara, M.; Coleman, J.; Loyola, M.; Meggers, F. Air temperature and mean radiant temperature data, collected and simulated across a radiantly-heated high-bay laboratory. **Data in Brief**, v. 30, p. 105192, 2020.

Herdies, D.L.; Silva, F.D.d.S.; Gomes, H.B.; Silva, M.C.L.d.; Gomes, H.B.; Costa, R.L.; Lins, M.C.C.; Reis, J.S.d.; Kubota, P.Y.; Souza, D.C.d.; et al. Evaluation of Surface Data Simulation Performance with the Brazilian Global Atmospheric Model (BAM). **Atmosphere**, v. 14, p. 125, 2023.

Hervada-Sala, C.; Jarauta-Bragulat, E. A program to perform Ward's clustering method on several regionalized variables. **Computers & Geosciences**, v. 30, p. 881–886, 2004.

ISO International Organization Standardization. ISO 7726. **Ergonomics of the thermal**

**environment: instruments for measuring physical quantities.** Genève: ISO, 1998.

Jendritzky, G.; de Dear, R.; Havenith, G. UTCI – why another thermal index? **International Journal of Biometeorology**, v. 56 (3), p. 421–428, 2012.

Jendritzky, G.; Havenith, G.; Weihs, P.; Batchvarova, E. Towards a Universal Thermal Climate Index UTCI for assessing the thermal environment of the human being. **Final Report COSTAction**, 730 p, 2009.

Jenerette, G.D.; Harlan, S.; Brazel, A.; Jones, N.; Larsen, L.; Stefanov, W.L. Regional relationships between surface temperature, vegetation, and human settlement in a rapidly urbanizing ecosystem. **Landscape ecology**, v. 3(22) 353-365, 2007.

Kayano, M.T.; Andreoli, R.V. Decadal variability of northern northeast Brazil rainfall and its relation to tropical sea surface temperature and global sea level pressure anomalies. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, p. C11.

Kayano, M.T.; Capistrano, V.P. How the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) modifies the ENSO influence on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, v. 34, p. 162–178, 2014.

Kaywhite, M.; Hodous, T. K.; Vercruyssen, M. Effects of thermal environment and chemical protective clothing on work tolerance, physiological responses, and subjective ratings. **Ergonomics**, v. 34, p. 445–457, 1991.

Kousky, V.E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 1140-1153, 1979.

Kousky, V.E.; Gan, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 36, n. 6, p. 538-551, 1981.

Kousky, V.E.; Kayano, M.T. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. **Journal of Climate**. v. 7, p. 1131-1143, 1994.

Krüger, E.; Emmanuel, R.; Bröde, P.; Fiala, D. Predicting outdoor thermal sensation from two field studies in Curitiba, Brazil and Glasgow, UK using the Universal Thermal Climate Index (UTCI). In: WINDSOR CONFERENCE 2012 - The changing context of comfort in an unpredictable world, 2012, Windsor, Reino Unido. **Conference program**, v. 1, p. 1-12, 2012.

Krüger, E.L.; Drach, P.; Bröde, P. Outdoor comfort study in Rio de Janeiro: site-related context effects on reported thermal sensation. **International Journal of Biometeorology**, v. 61, p. 463-475, 2017.

Krüger, E.L.; Gobo, J.P.A.; Nedel, A.S.; Gonçalves, F.L.T.; Lucio, P.S.; Tejas, G.T.; Piacenti-Silva, M. A first approach to human biometeorology research in Brazil: a systematic review and meta-analysis. **International Journal of Biometeorology**, v. 66, p. 1-19, 2022.

Laaidi, K.; Zeghnoun, A.; Dousset, B.; Bretin, P.; Vandentorren, S.; Giraudet, E.; Beaudou, P. The impact of heat islands on mortality in Paris during the August 2003 heat wave. **Environmental Health Perspectives**, v. 120(2), p. 254-9, 2012.

Liu, B.; Liu, F.; Wang, C.; Mei, S. Unit commitment considering flexibility and uncertainty of wind power generation. **Power System Technology**, v. 39, p. 730-736, 2015.

Lyra, G.B.; Oliveira Júnior, J.F.; Zeri, 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, p. 3546-3558, 2014.

Lyra, M.J.A.; Fedorova, N.; Levit, V.; Freitas, I.G.F. Características dos Complexos Convectivos de Mesoescala no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 727-734, 2020.

Mandú, T.B.; Nascimento, A.L.S.; Jacondino, W.D.; Gomes, A.C.S, Impacto das Ondas de Calor no Conforto Térmico Humano na Região da Floresta Nacional do Tapajós, Oeste do Pará. **Biodiversidade Brasileira**, v. 11, n.4, 2021.

Martini, A.; Biondi, D.; Batista, A.C.; Zamproni, K. A periodicidade diária do índice de conforto térmico na arborização de ruas de Curitiba-PR. **Scientia Plena**, v. 9, n. 5, 2013.

McGeehin MA & Mirabelli M. The potential impacts of climate variability and change on temperature-related morbidity and mortality in the United States. **Environmental Health Perspectives**, v. 2(109), p. 185-189, 2001.

Mimmack, G.M.; Mason, S.J.; Galpin, J.S. Choice of distance matrices in cluster analysis: Defining regions. **Journal of Climate**, v. 14, p. 2790–2797, 2001.

Mitchell, D.; Heaviside, C.; Vardoulakis, S.; Huntingford, C.; Masato, G.; Guillod, B.P.; Frumhoff, P.; Bowery, A.; Wallom, D.; Allen, M. Attributing human mortality during extreme heat waves to anthropogenic climate change. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 7, 2016.

Nince, P.C.C.; Muisis, C.R.; Biudes, M.S.; Nogueira, J.S.; Nogueira, M.C.J.A. Usos dos índices PET e UTCI na avaliação do conforto térmico no campus da UZMT em Cuiabá-MT. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental (REGET-UFSM)**. V.9, p. 2026-2036, 2013.

Pappenberger, F.; Jendritzky, G.; Staiger, H.; Dutra, E.; Giuseppe, F.; Richardson, D.S.; Cloke, H.L. Global forecasting of thermal health hazards: the skill of probabilistic predictions of the Universal Thermal Climate Index (UTCI). **International Journal Biometeorological**, v. 59, p. 311-323, 2015.

Paredes-Trejo, F.; Barbosa, H.A.; dos Santos, C.A.C. Evaluation of the Performance of

SM2RAIN-Derived Rainfall Products over Brazil. **Remote Sensing**, v. 11, p. 1113, 2019.

Petalas, K. V. **Estudo da sensação térmica e definição de limites de conforto para espaços abertos na cidade de Fortaleza, CE**. Tese de D.Sc., Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza-CE. Disponível em: [http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/501/browse?type=title&sort\\_by=1&order=ASC&rpp=20&etal=-1&null=&offset=37](http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/501/browse?type=title&sort_by=1&order=ASC&rpp=20&etal=-1&null=&offset=37). Acesso em dezembro de 2023.

Pradhan, B.; Shrestha, S.; Shrestha, R.; Pradhanang, S.; Kayastha, B.; Pradhan, P. Assessing climate change and heat stress responses in the Tarai region of Nepal. **Industrial Health**, v. 51, p. 101–112, 2013.

Rachid, A.; Qureshi, A.M. Sensitivity Analysis of Heat Stress Indices. **Climate**, v. 11, p. 181, 2023.

Ramos, A.M.; Santos, L.A.R.; Fortes, L.T. **Normais Climatológicas do Brasil 1961–1990**; INMET: Brasília, Brazil, 2009; 465p.

Reboita, M.S.; Gan, M.A.; Rocha, R.P.; Ambrizzi, T. Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 185–204, 2010.

Repinaldo, H.F.B.; Fedorova, N.; Levit, V.; Repinaldo, C.R.R. Upper Tropospheric Cyclonic Vortex and Brazilian Northeast Jet Stream over Alagoas State: Circulation Patterns and Precipitation. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 745–754, 2020.

Santos, E.B.; Lucio, P.S.; Santos e Silva, C.M. Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. **Atmospheric Science Letters**, v. 16, p. 185–192, 2015.

Santos, J.S.; de Oliveira'Júnior, J.F.; Costa, M.S.; Cardoso, K.R.A.; Shah, M.; Shahzad, R.;

Silva, L.F.F.F.; Romão, W.M.O.; Singh, S.K.; Mendes, D.; Santos, I.G.S.; da Silva Júnior, R.S. Effects of extreme phases of El Niño-Southern Oscillation on rainfall extremes in Alagoas, Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 43(1), p. 1-22, 2023.

Servain, J. Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications. **Journal of Geophysical Research**, v. 96, p. 137–146, 1991.

Servain, J.; Wainer, I.; Ayina, H.L.; Roquet, H. The Relationship Between the Simulated Climatic Variability Modes of the Tropical Atlantic. **International Journal of Climatology**, v. 20, p. 939–953, 2000.

Sheffield, P. E.; Herrera, J. G. R.; Lemke, B.; Kjellstrom, T.; Romero, L. E. B. Current and future heat stress in Nicaraguan work places under a changing climate. **Industrial Health**, v. 51, p. 123–127, 2013.

Silva, E.H.d.L.; Silva, F.D.d.S.; Junior, R.S.d.S.; Pinto, D.D.C.; Costa, R.L.; Gomes, H.B.; Júnior, J.B.C.; de Freitas, I.G.F.; Herdies, D.L. Performance Assessment of Different Precipitation Databases (Gridded Analyses and Reanalyses) for the New Brazilian Agricultural Frontier: SEALBA. **Water**, v. 14, p. 1473, 2022.

Silva, F.D.S.; Costa, R.L.; Melo, M.L.D.; Cabral Júnior, J.B.; Silva, H.J.F.; Vanderlei, M.H.G.S. Biometeorologia - índices de conforto térmico. In: Glauber Lopes Mariano. (Org.). **Meteorologia em tópicos**. 1ed.Maceió: Edufal, 2023, v. 8, p. 9-35.

Silva, J.S.; Cabral Júnior, J.B.; Rodrigues, D.T.; Silva, F.D.S. Climatology and significant trends in air temperature in Alagoas, Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 151, p. 1-20, 2023.

Silva, P.E.; Spyrides, M.H.C.; Barbosa, L.M. Analysis of Climate Extreme Indices in the Northeast Brazil and the Brazilian Amazon in the Period from 1980 to 2013. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, p. 137–148, 2019.

Silva, T.J.V.; Hirashima, S.Q.S. Conforto térmico em espaços abertos: o estado da arte do universal thermal climate index - utci no brasil. **XVII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Foz do Iguaçu, PR.

Silverman, W.A.; Fertig, J.W.; Berger, A.P.; The influence of the thermal environment upon the survival of newly born premature infants. **Pediatrics**. v.22(5), p. 876-86, 1958.

Tomczyk, A.M.; Bednorz, E. Thermal stress during heat waves and cold spells in Poland. **Weather and Climate Extremes**, v. 42, p. 100612, 2023.

Trassante, F.C.; de Freitas, R.A.P.; Nedel, A.S.; Machado, R.M.; de Medeiros, M.A.F.; Lindermann, D.; Nascimento, A.L.; Casagrande, F.; Mendonca, L.F.F.; Alonso, M.F. Analysis of thermal discomfort associated with synoptic conditions in the city of Pelotas, southernmost region of Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 68, p. 1-15, 2023.

Valeriano, T.T.B.; Rolim, G.S.; Aparecido, L.E.O. A method to determine agro-climatic zones based on correlation and cluster analyses. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 134 (6), 2017.

Veber, M.E.; Fedorova, N.; Levit, V. Desenvolvimento de Atividades Convectivas Sobre a Região Nordeste do Brasil, Organizada Pela Extremidade Frontal. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 995–1003, 2020.

Vinogradova, V. Using the Universal Thermal Climate Index (UTCI) for the assessment of bioclimatic conditions in Russia. **International Journal of Biometeorology**, v. 65, p. 1473–1483, 2021.

Xavier, A. C.; Scanlon, B. R.; King, C. W.; & Alves, A. I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, v. 42(16), p.

8390–8404, 2022.

Xavier, A.C.; King, C.W.; Scanlon, B.R. Daily gridded meteorological variables in brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 2644–2659, 2016.

Zare, S.; Hasheminejad, N.; Shirvan, H. E.; Hemmatjo, R.; Sarebanzadeh, K.; Ahmadi, S. Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year. **Weather and Climate Extremes**, v. 19, p. 49–57, 2018.