



Evolução da Temperatura Média Radiante nos Municípios Alagoanos: Uma Análise Comparativa entre os Períodos 1961-1990 e 1991-2020.

Mário Henrique Guilherme dos Santos Vanderlei ¹
Fabrício Daniel dos Santos Silva ²
Rafaela Lisboa Costa ³
Helber Barros Gomes ⁴
Maria Luciene Dias de Melo ⁵
Henrique Ravi Rocha de Carvalho ⁶

Resumo

Este estudo aprofunda a compreensão das mudanças climáticas em Alagoas, Brasil, através da análise da evolução temporal e espacial da Temperatura Média Radiante (TMR), um dos principais componentes para a avaliação do conforto térmico através do Universal Thermal Climate Index (UTCI). Utilizando dados horários de reanálise do ERA-5 do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), foram comparados os períodos de 1961-1990 e 1991-2020. A TMR, uma medida crucial para a avaliação do conforto térmico humano, quantifica a troca de calor radiante entre um indivíduo e seu entorno. Os resultados revelam um aquecimento generalizado em Alagoas, com destaque para as estações quentes (verão e outono), onde as anomalias positivas de temperatura foram mais pronunciadas e abrangeram a maior parte do estado. Entretanto, o norte alagoano apresentou um comportamento divergente, com anomalias negativas mais intensas, especialmente no inverno e primavera, indicando um padrão climático mais complexo nessa região. A análise anual confirmou a tendência de aumento da TMR em grande parte do território alagoano, com exceção de algumas áreas do norte. Esses resultados evidenciam a necessidade de estudos mais aprofundados sobre as causas e consequências dessas variações térmicas, e destacam a importância de considerar as particularidades regionais ao se planejar ações de adaptação e mitigação das mudanças climáticas em Alagoas. Os resultados deste trabalho podem subsidiar a formulação de políticas públicas mais eficazes para a gestão dos recursos hídricos, a saúde pública e a agricultura.

Palavras-chave: Temperatura Média Radiante; Conforto Térmico; Universal Thermal Climate Index.

¹ Aluno do Curso de Mestrado em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, mario.vanderlei@icat.ufal.br.

² Prof. Dr. da Universidade Federal de Alagoas – Campus Maceió, Instituto de Ciências Atmosféricas, fabricao.santos@icat.ufal.br.

³ Bolsista PNPd da Universidade Federal de Alagoas – Campus Maceió, Instituto de Ciências Atmosféricas, rafaela.costa@icat.ufal.br.

⁴ Prof. Dr. da Universidade Federal de Alagoas – Campus Maceió, Instituto de Ciências Atmosféricas, helber.gomes@icat.ufal.br.

⁵ Prof. Dra. da Universidade Federal de Alagoas – Campus Maceió, Instituto de Ciências Atmosféricas, maria.melo@icat.ufal.br.

⁶ Prof. Dr. da Universidade Federal de Alagoas – Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Instituto de Engenharia de Agrimensura, henrique.ravi@ceca.ufal.br.



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 às 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 à dificuldade da determinação de outras variáveis, que são facilmente modificadas pelo vestuário e sombreamento (Trassante et al., 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

REALIZAÇÃO



Madden-Julian (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 (Costa et al., 2014; Gomes et al., 2019). 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.

O Índice Climático Térmico Universal (UTCI) emergiu como uma ferramenta crucial para a quantificação objetiva do conforto térmico humano. A complexidade do conforto térmico, influenciado por múltiplos fatores ambientais, encontra no UTCI uma representação abrangente. Dentre seus componentes, a Temperatura Média Radiante (TMR) destaca-se como um elemento fundamental. A TMR quantifica a troca de calor radiante entre um indivíduo e seu entorno, sendo determinante para a percepção térmica. A precisa quantificação da TMR é, portanto, essencial para a aplicação do UTCI e para uma avaliação rigorosa do conforto térmico em diferentes ambientes e condições climáticas. A TMR é influenciada por fatores como a temperatura do ar, a umidade relativa, a radiação solar e as características dos materiais presentes no ambiente, sendo fundamental para a avaliação do estresse térmico em diferentes situações.

O estudo tem como objetivo identificar a distribuição espaço temporal da Temperatura Média Radiante (TMR) no estado de Alagoas compreendendo dois períodos climatológicos: 1961-1990 e 1991-2020.

METODOLOGIA



Foram utilizados dados horários da TMR de reanálise do 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). 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.

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.

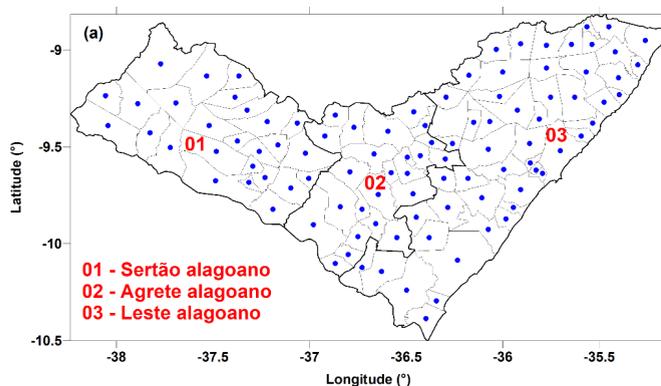


Figura 1: Centroides dos municípios em que foram extraídas séries temporais da análise gradeada de Xavier et al. (2022) e da reanálise ERA5, nas diferentes mesorregiões de Alagoas.

Os dados diários foram convertidos em médias mensais para cálculo da TMR 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 a equação 1 para a realização do cálculo da TMR.

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

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 da TMR, para uma melhor síntese e apresentação dos resultados.

Temperatura Média Radiante

De acordo com Silva et al. (2023), para melhor entendimento do potencial do Universal Thermal Climate Index (UTCI), um dos principais índices de conforto térmico, 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).

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 ε , 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 2 é então usada:

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

Na Eq. (2) 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:

$$TMR = \left[(GT + 273,15)^4 + \frac{1,1 \cdot 10^8 \cdot v^{0,6}}{\varepsilon \cdot D^{0,4}} (GT - T) \right]^{\frac{1}{4}} - 273,15 \quad Eq. (3)$$

Na Eq. (3) 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); ε 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:

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

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).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE DA TMR DURANTE O PERÍODO 1961-1990

A temperatura média radiante apresenta valores elevados nas estações do verão (Figura 2a) e primavera (Figura 2d), com valores de 33°C a 36°C e 29°C a 36°C, nota-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 2c e 2b), variando entre 26°C a 31°C e 30°C a 33°C, respectivamente.

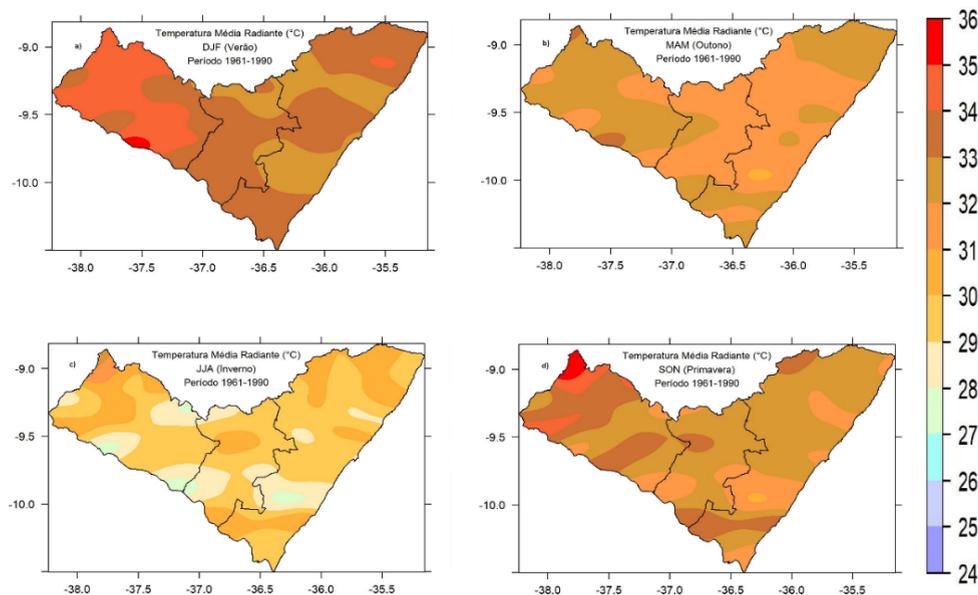


Figura 2: Climatologia da Temperatura Média Radiante em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. Período: 1961-1990.



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 3a) com temperaturas variando de 32°C a 36°C, e níveis mais amenos na primavera (Figura 3d) se comparado com o período anterior, com variação de 29°C a 33°C. No inverno (Figura 3c) 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 3b) houve o aumento de 1°C em relação ao período de 1961-1990 na região do sertão alagoano.

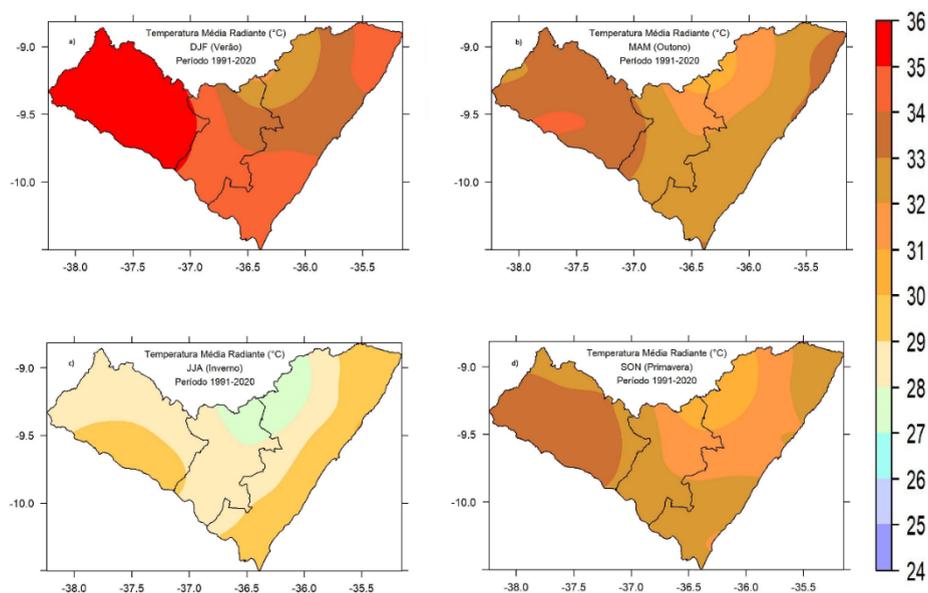


Figura 3: Climatologia da Temperatura Média Radiante em Alagoas no (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. Período: 1991-2020.

Quando se compara os valores médios anuais das duas normais climatológicas (Figura 4), nota-se uma distribuição mais aleatória da TMR no período 1961-1990 (Figura 4a), com valores mais elevados no sertão, de 32 °C a 34 °C, enquanto no período 1991-2020 (Figura 4b) 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.

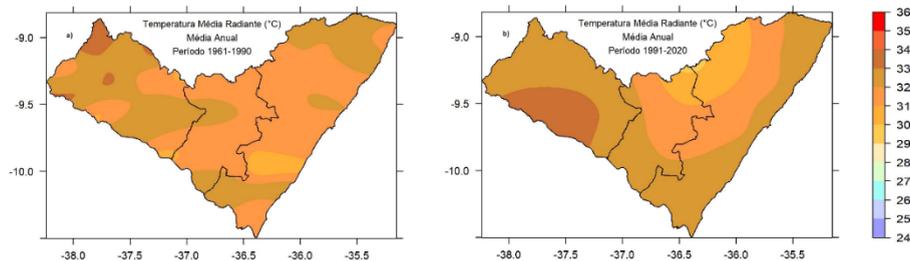


Figura 4: Climatologia anual da Temperatura Média Radiante em Alagoas no período (a) 1961-1990 e (b) 1991-2020.

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

O comportamento da temperatura média radiante é semelhante no verão (Figura 5a) e outono (Figura 5c), com anomalias positivas próxima de 2°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°C. No inverno (Figura 5b) e primavera (Figura 5d) as anomalias negativas se fazem maioria, com temperaturas chegando a -4°C no norte do estado e aproximadamente 2°C no leste e no oeste de Alagoas. Anualmente (Figura 5e) observa-se uma predominância de anomalias positivas próximas de 3°C ao longo de Alagoas, e anomalias negativas próximas de -2°C alocadas ao norte das mesorregiões.

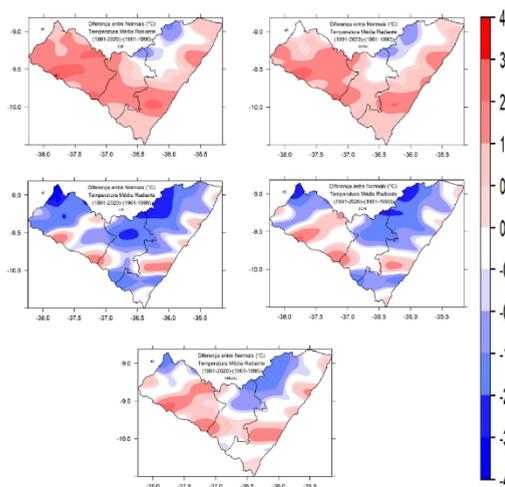




Figura 5: Diferença da temperatura média radiante em Alagoas no período 1961-1990 e 1991-2020 no (a) verão, (b) outono, (c) inverno, (d) primavera e (e) anual.

CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

A temperatura média radiante (TMR) em Alagoas tem apresentado um comportamento característico e com importantes implicações para o clima regional. As análises revelaram um aumento significativo da TMR, especialmente no sertão alagoano, durante o período mais recente (1991-2020) em comparação com o período anterior (1961-1990). Essa elevação da TMR, mais acentuada no verão e outono, indica um aquecimento da superfície e pode estar relacionada a diversos fatores, como mudanças no uso da terra, urbanização e intensificação do efeito estufa.

A distribuição espacial da TMR também sofreu alterações ao longo do tempo. A aleatoriedade observada no primeiro período analisado deu lugar a padrões mais definidos e organizados no período mais recente, com áreas de alta TMR concentrando-se no sertão e se expandindo para outras regiões do estado. Essa mudança na distribuição espacial sugere uma intensificação dos processos de aquecimento em determinadas áreas e pode ter impactos significativos sobre a agricultura, recursos hídricos e saúde da população.

As anomalias positivas da TMR, predominantes em grande parte do estado, indicam um desvio significativo das condições climáticas normais e podem estar associadas a eventos extremos, como ondas de calor e secas. Essas anomalias, mais intensas no verão e outono, reforçam a tendência de aumento da TMR e a necessidade de monitoramento contínuo das condições climáticas em Alagoas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro da FAPEAL, relativo aos projetos: “Implementação de um sistema de previsão climática mensal e sazonal para o Nordeste do Brasil a partir de modelos dinâmicos internacionais” aprovado no Edital FAPEAL N° 002/2022, e ao projeto “Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação (PDPG/CAPES/FAPEAL)”, aprovado no Edital n°18/2020.



REFERÊNCIAS

- 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.
- 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 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.
- 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.
- Fanger, P.O. “Thermal comfort - Analysis and applications in environmental engineering”. McGraw-Hill Book Company, New York, 1970.
- 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. “Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic”. *Climate Dynamics*, v. 53, p. 1393–1411, 2019.
- 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.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

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