III SIMPOSIO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA HUMANA
26 a 28 de agosto de 2026

VARIABILIDADE E TENDÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE ESTRESSE TÉRMICO EM CARACARAÍ-RR (2005–2025).

RESUMO

Este estudo analisou a variabilidade e a tendência do estresse térmico no município de Caracaraí-RR, entre 2005 e 2025, com base no Índice de Temperatura e Umidade (ITU), calculado a partir de dados mensais de temperatura do ar e umidade relativa fornecidos pelo INMET (estação 82042). Aplicaram-se regressão linear, teste de Mann-Kendall e estimador de Sen's slope para identificar tendências estatisticamente significativas. Os resultados indicam ITU médio de 26,6 ± 0,7 unidades, com 72% das observações acima do limiar de conforto térmico (ITU ≥ 24). Observou-se tendência de aumento significativo de +0,034 ITU/ano ($p < 0,001$), implicando acréscimo acumulado de 0,65 unidades no período. Os maiores valores concentraram-se entre agosto e outubro, coincidindo com o período mais seco e quente da região. A convergência entre métodos paramétrico e não paramétricos reforça a robustez da tendência identificada, mesmo diante da alta variabilidade interanual típica de séries climáticas tropicais. Conclui-se que há intensificação progressiva do estresse térmico em Caracaraí, reforçando a necessidade de estratégias sazonais de mitigação e de políticas públicas voltadas à adaptação climática. Este trabalho oferece abordagem metodológica replicável para monitoramento biometeorológico em regiões com escassez de literatura climatológica na Amazônia setentrional.

Palavras-chave: Conforto Térmico, Índice de Temperatura e Umidade, Tendência Climática, Caracaraí-RR.

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia enfrenta cenários críticos associados às mudanças climáticas, com projeções de aumento superior a 4 °C na temperatura média e redução significativa na precipitação (PBMC, 2021). Essas alterações intensificam a ocorrência de eventos extremos e afetam diretamente o conforto térmico, com implicações relevantes para a saúde humana e para as atividades econômicas (MARENGO; SOUSA Jr., 2018; SANTOS et al., 2023). Em escala regional, esses impactos são potencializados por transformações antrópicas. No estado de Roraima, a expansão urbana e o avanço da fronteira agrícola têm contribuído para modificações no microclima, reforçando a necessidade de caracterização das condições térmicas locais (BARBOSA, 2023). Nesse contexto, o município de Caracaraí, situado na região central do estado, apresenta escassez de estudos climatológicos de longo prazo, configurando uma importante lacuna no conhecimento científico.

O conforto térmico é uma condição psicológica que expressa a satisfação do indivíduo com o ambiente em que está inserido, constituindo um parâmetro para avaliar o grau de agradabilidade térmica (TEIXEIRA,2023). Trata-se de um conceito multidimensional, influenciado por fatores climáticos, individuais e subjetivos, sendo a temperatura do ar o principal elemento controlador das trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente (MALLICK 1996; TEIXEIRA,2023). Nesse contexto, a relevância dessa temática se intensifica diante dos múltiplos fatores que modulam os efeitos da exposição térmica sobre a saúde (MARTINS et al., 2024). Estudos indicam que o desconforto térmico está associado ao aumento de doenças do sistema circulatório (MURARA et al., 2010), além de provocar desde alterações de humor até elevação da mortalidade (SALES et al., 2018). Evidências apontam ainda que indivíduos idosos apresentam maior vulnerabilidade, reforçando o papel de fatores como idade e sexo na modulação dos riscos ambientais à saúde (REQUIA et al., 2024).

Diante disso, o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) constitui uma ferramenta amplamente utilizada na avaliação do desconforto térmico, por integrar temperatura do ar e umidade relativa em um único indicador, valores elevados de ITU indicam maior estresse térmico, especialmente em regiões tropicais (LUCENA; CABRAL JÚNIOR; STEINKE,2020).

2. OBJETIVO

Analisar a variabilidade e a tendência das condições de estresse térmico no município de Caracaraí, com base no índice ITU.

3. MÉTODO

3.1- Região de estudo e dados

Caracaraí-RR (1°45'56"S; 61°07'03"W) possui clima equatorial úmido, com período chuvoso (dezembro-maio) e seco (junho-novembro) (IBGE,2025). Foram utilizados dados diários de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) no período de 2005 a 2025, obtidos da Estação Meteorológica do INMET (código 82042). (INMET, 2026). Os dados foram agregados em médias mensais para serem analisados.

3.2. Análise estatística e cálculo de índices

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) foi calculado conforme BARBIRATO et al. (2007)

$$ITU = 0{,}8 \cdot Ta + UR \cdot Ta\,/500, \quad \text{Equação 1}$$

onde Ta temperatura do ar (°C) e UR umidade relativa (%). Os critérios de classificação estão na Tabela.

Tabela 1- Classificação do ITU para conforto térmico

Nível de conforto	**Confortável**	**Levemente desconfortável**	**Extremamente desconfortável**
ITU	**21< ITU < 24**	**24 < ITU < 26**	**ITU≥26**

Fonte: Adaptado de Martins et al. (2024).

Para análise de tendência, aplicou-se regressão linear simples:

$$ITU_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \varepsilon_t \quad \text{Equação 2}$$

onde β_1 representa a taxa de variação anual do ITU. A significância da tendência foi testada pelo método não paramétrico de Mann-Kendall (HIRSCH et al., 1982):

$$S = \Sigma_{i=1}^{n-1} \Sigma_{j=i+1}^{n} \text{sign}(x_j - x_i);\ Z = (S-1)/\sqrt{\text{Var}(S)} \text{ se } S > 0 \quad \text{Equação 3}$$

A magnitude da tendência foi estimada pelo estimador de SEN (1968):

$$Q = \text{median}[(x_j - x_i)/(j - i)], \forall j > i \quad \text{Equação 4}$$

onde Q > 0 indica tendência crescente. Todos os testes foram realizados com nível de significância de 5% (p < 0,05).

4. RESULTADOS

4.1. Variabilidade sazonal e caracterização bioclimática

Observa-se na Figura 1A que a temperatura do ar variando de 26,5°C (junho e julho) a 28,5°C (fevereiro e março), resultando em uma amplitude de 2,0°C entre os meses mais frios e mais quentes. Os valores máximos atingiram picos superiores a 30°C em fevereiro e março, enquanto os mínimos registraram valores próximos a 25°C nos meses de junho-agosto.

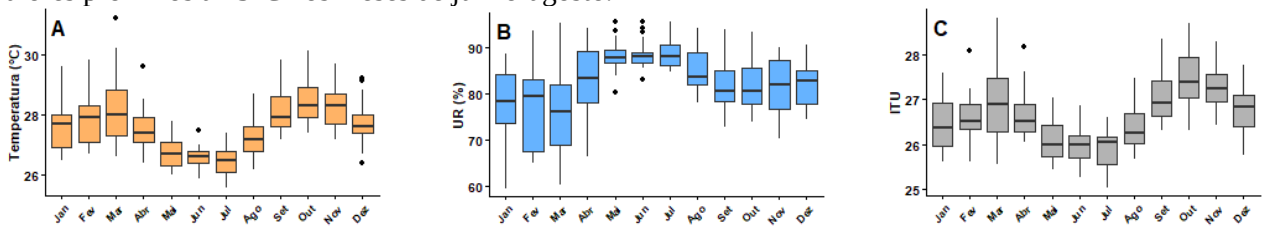

Figura 1. Variação mensal em Caracaraí-RR (2005–2025): (A) temperatura do ar (°C); (B) umidade relativa do ar (%); (C) Índice de Temperatura e Umidade (ITU, unidades). Fonte: Dados processados pelos autores (2026).

A umidade relativa do ar Figura 1B apresentou comportamento inverso ao da temperatura, com medianas variando de 75% (fevereiro e março) a 90% (junho e julho), evidenciando uma amplitude de 15 pontos percentuais entre os extremos sazonais. A série mostrou alta variabilidade interanual em todos os meses, com numerosos valores atípicos (outliers) concentrados principalmente entre maio e junho. Os valores mínimos absolutos chegaram a 60-65% em alguns meses do verão, enquanto os máximos ultrapassaram 95% durante o inverno.

Conforme ilustrado na Figura 1C, o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) apresentou variação sazonal consistente com o regime climático local: observa-se as variações de 26,0 unidades (junho e julho) a 27,5 unidades (fevereiro, março, outubro e novembro), resultando em amplitude de 1,5° unidades. Os valores máximos ultrapassaram 28 unidades em fevereiro e março, enquanto os mínimos ficaram abaixo de 25 unidades em junho e julho. A presença de outliers (fevereiro, abril) indica ocorrência pontual de condições

de estresse térmico mais severo, mesmo fora do período tipicamente mais crítico. Essa configuração, associada à concentração de 72% das observações acima do limiar de conforto (ITU ≥ 24), assemelha-se ao padrão reportado por SANTOS et al. (2023) para o leste amazônico (ITU médio 25,3–26,1 entre 2003–2021). A persistência do desconforto térmico mesmo nos meses de menor insolação corrobora a dinâmica descrita por MARTINS et al. (2024) em Alter do Chão, onde a combinação de altas temperaturas e umidade residual pós-chuvosa sustenta índices de estresse elevados. A alta dispersão interanual e a presença de outliers em meses de transição (maio–junho) refletem a modulação por oscilações de larga escala, padrão típico de séries tropicais sujeitas à influência do ENSO.

4.2. Detecção e magnitude da tendência temporal

A análise de tendência (Figura 2) evidenciou aumento monotônico e estatisticamente significativo do ITU (τ = 0,173; $p < 0,001$; n = 252). A convergência entre a inclinação da regressão linear (+0,034 unidades/ano) e o estimador de Sen (+0,031 unidades/ano) valida a robustez da detecção, alinhando-se às recomendações da EMBRAPA (2020) para o tratamento de séries meteorológicas brasileiras, nas quais a não normalidade e a autocorrelação temporal exigem abordagens não paramétricas complementares. Essa triangulação de métodos (paramétrico + Mann-Kendall + Sen) tem se consolidado como prática padrão em estudos de conforto térmico global, conforme demonstrado por ASGHARI et al. (2022) na análise de tendências do THI no Irã, onde a concordância entre estimadores foi crucial para distinguir sinais climáticos de ruído interanual. No contexto amazônico, a taxa acumulada de 0,65unidades em 21 anos (0,031 × 21 = 0,651) supera as projeções médias de aquecimento regional (0,2 °C/década; IPCC, 2021), sugerindo que drivers locais como a expansão da fronteira agropecuária e a alteração da cobertura vegetal em Roraima podem estar amplificando a resposta biometeorológica local.

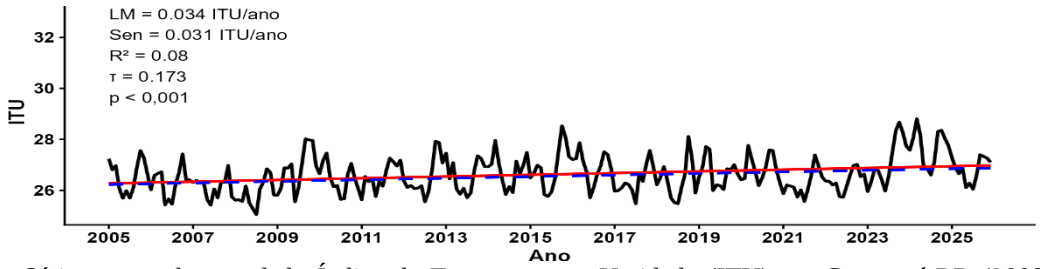

Figura 2- Série temporal mensal do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) em Caracaraí-RR (2008-2025). Linha preta: valores observados; linha vermelha contínua: tendência por regressão linear; linha azul tracejada: tendência por Sen's Slope. Fonte: Dados processados pelos autores, (2026).

5. CONCLUSÕES

O Indice de Temperatura e Umidade em Caracaraí-RR apresentou tendência de aumento significativo (+0,034 ITU/ano; $p < 0,001$) entre 2005 e 2025, com concentração dos maiores valores durante o período seco (agosto-outubro). O acréscimo acumulado de 0,65 unidades em 21 anos indica agravamento progressivo do estresse térmico na região, reforçando a necessidade de políticas públicas de adaptação climática. Este estudo preenche lacuna na literatura climatológica de Caracaraí-RR e oferece protocolo replicável para municípios de médio porte na Amazônia setentrional.

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASGHARI, F. et al. Spatio-Temporal Evolution of the Thermo-Hygrometric Index (THI) during Cold Seasons: A Trend Analysis Study in Iran. **Sustainability**, v. 14, n. 24, 2022.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e Cidade: a Abordagem Climática como Subsídios**. Maceió: EDUFAL, 2007.

BARBOSA, Naiara Passos. **Estimativa do conforto térmico humano a partir do transecto móvel no município de Humaitá-AM**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Humaitá (AM).

EL NIÑO–SOUTHERN OSCILLATION (ENSO). **Impactos climáticos globais**. Disponível em: https://www.climate.gov/enso. Acesso em: 26 mar. 2026.

EMBRAPA**. Análise de tendências temporais em séries históricas de variáveis meteorológicas no Brasil utilizando o método Contextual Mann-Kendall (CMK)**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2020.

IBGE.INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 31 mar. 2026.

INMET. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br/. Acesso em: 13 abr. 2026.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

LUCENA, Rebecca Luna; CABRAL JÚNIOR, Jório Bezerra; STEINKE, Ercília Torres. Índices de (des)conforto humano em um município de clima semiárido. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 7, 2020.

MALLICK, F.H. Thermal comfort and building design in the tropical climates. **Energy and Buildings**, v. 23, n. 3, p.1996.

MARENGO, J. A., & SOUZA JR, C. **Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia**. 2018. Disponível em: https://www.oamanhaehoje.com.br/assets/pdf/Relatorio_Mudancas_Climaticas-Amazonia.pdf Acesso em: 31 mar. 2026.

MARTINS, E. A. I.; GOMES, A. C. S.; LEITÃO, E. S.; et al. Análise do conforto térmico para os meses de abril e outubro da Vila de Alter do Chão, Santarém/PA. **Engineering and Science**, v. 13, n. 4, 2024. ISSN 28-5390. DOI: 10.18607/ES20241318404.

MURARA, Pedro Germano; COELHO, Micheline de S. Zanotti Stagliório; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Análise da influência meteorológica nas internações por doenças cardiovasculares. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 32,2010.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. El Niño–Southern Oscillation (ENSO): impactos climáticos globais. Disponível em: https://www.climate.gov/enso. Acesso em: 26 mar. 2026.

PBMC.PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Relatório de Avaliação Nacional Mudanças Climáticas**, 2024. Disponível em: https://obsinterclima.eco.br/lista-glossario/painel-brasileiro-de-mudancas-climaticas-pbmc/. Acesso em: 31 mar. 2026.

REQUIA, W. J.; DAMASCENO DA SILVA, R. M.; HOINASKI, L.; AMINI, H. Thermal Comfort Conditions and Mortality in Brazil. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 21, n. 9, 2024. DOI: 10.3390/ijerph21091248.

SALES, D. M.; ASSIS, W. L.; FONSECA, B. M. Clima urbano e saúde: elementos climáticos e doenças respiratórias observadas no município de Belo Horizonte (MG) entre 2013 e 2014. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, 2018.

SANTOS, A. F.; MOURA, F. R. T.; SERUFFO, M. C. da ROCHA; SANTOS, W. P.; COSTA, G. B.; COSTA, F. A. R. Quality of Life, Amazon, Thermal Comfort, Meteorologic, Climatic Factors. **Frontiers in Climate**, 2023. DOI: 10.3389/fclim.2023.1126042.

SEN, PRANAB KUMAR. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, n. 324, 1968.

STEADMAN, R. G. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. **Journal of Applied Meteorology**, v. 18, n. 7, 1979.

TEIXEIRA, E.F. **Análises da temperatura do ar e dos índices de conforto térmico humano em Campina Grande, PB, no período de 1977 a 2021**. 2023. Dissertação (Mestrado em Geografia Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, n. 2, 1959.

WHO.WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Heat and health guidelines**. Geneva, 2021.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFOPA pelo auxílio financeiro durante a realização dessa pesquisa.