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

INTERPRETAÇÕES SOBRE CONFORTO TÉRMICO NA ZONA NORTE DE NATAL-RN

Dayvid Carlos de Medeiros (1); Antônio Campos Neto (2); Francisco Jablinski Castelhano (3)
(1) Mestrando, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, dayvid.medeiros.123@ufrn.edu.br
(2) Graduado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, antoniocamposneto9@gmail.com
(3) Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, francisco.castelhano@ufrn.br

RESUMO
O objetivo da pesquisa é quantificar os níveis de conforto térmico na Zona Norte de Natal-RN no verão (fevereiro de 2026). A metodologia consistiu no processamento de dados em *Rstudio*, focando em 2 pacotes (*'weathermetrics'* e *'heatindex'*), para comparar os Índices de Calor (clássico e ajustado), associando as classificações de conforto térmico da NOAA e de Petalas (2015). Logo, foi possível verificar o comportamento do IC relacionado aos padrões de morfologia urbana.

Palavras-chave: Conforto térmico, índice de calor, morfologia urbana.

1. INTRODUÇÃO
A vulnerabilidade das populações aos impactos do calor é heterogênea e amplificada por variáveis sociodemográficas (idade, renda, raça, gênero), saúde (física e mental), habitação, trabalho e localização (Ferreira *et al*., 2025; Requia *et al*., 2025). Nas cidades, essa realidade é agravada por uma morfologia dominada por materiais impermeáveis e geometrias que prejudicam a dissipação térmica e a circulação dos ventos (Monteiro, 2008). A exposição ao calor sobrecarrega a termorregulação humana, o que evidencia o risco térmico à saúde (Gobo, 2018; Petalas, 2015).

Para quantificar essa dinâmica e emitir alertas à população, o Índice de Calor (IC) destaca-se como uma ferramenta essencial, integrando temperatura e umidade para estimar a sensação térmica (Freitas e Grigorieva, 2014; Steadman, 1979). Contudo, Lu e Romps (2022) demonstraram que o modelo clássico apresenta limitações matemáticas em condições de alta saturação e altas temperaturas, adequando as equações originais e elaborando o IC ajustado.

Diante do contexto, repensar a aplicação de índices térmicos também envolve contextos locais e a morfologia urbana, o que torna essencial discutir sobre a quantificação do conforto térmico em cidades tropicais (e do sul global), dando origem a possibilidades de entrada nas agendas governamentais de adaptação climática.

2. OBJETIVO
Quantificar os níveis de conforto térmico na Zona Norte de Natal-RN no verão (fevereiro de 2026) através da comparação entre os Índices de Calor (clássico e ajustado), empregando as classificações da NOAA e Petalas (2015) para associar as disparidades termais à morfologia urbana.

3. MÉTODO
3.1. Área de estudo, pontos de coleta e processamento de dados
A Zona Norte (ZN), situa-se em Natal-RN (figura 1), na margem esquerda do Rio Potengi, em altitudes que não superam 75 m, com uma área de 59,53 km², equivalente a 37,63% do território natalense. Com 275 mil habitantes, concentra 36,67% da população da cidade e 7 bairros a compõem, sendo eles: Igapó; Lagoa Azul; Nossa Senhora da Apresentação; Pajuçara; Potengi; Redinha e Salinas, nos quais foi instalada a rede de termo-higrômetros da pesquisa (IBGE, 2024). A ZN que está sob condições do clima *As* (conforme a classificação de Köppen-Geiger), também denominado de tropical com verão seco e inverno chuvoso (Kottek *et al.*, 2006).

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram coletados durante fevereiro de 2026 a partir de 6 termohigrômetros (Elitech GSP-6) distribuídos na Zona Norte de Natal-RN, abrangendo os bairros de Lagoa Azul, Nossa Senhora da Apresentação, Igapó e Redinha (Figura 1).

Tais dados foram tratados previamente em ambiente *Excel* e processados em *Rstudio*. Para o cálculo do IC clássico utilizou-se a função *heat.index()* do pacote *'weathermetrics'* (Anderson; Bell e Peng, 2013) e

para o IC ajustado selecionou-se a função *heatindex()* do pacote *'heatindex'* (Lu e Romps, 2022) permitindo gerar os valores de IC. Na sequência, com base no IC ajustado, recorreu-se à classificação dos níveis de calor da NOAA e à classificação de conforto térmico de Petalas (2015) comparando e diferenciando suas noções.



Figura 1: Localização dos pontos de coleta na Zona Norte de Natal-RN (Autoral, 2026).

4. RESULTADOS

A análise da série temporal (figura 2) apontou um cenário habitual de temperatura do ar e umidade relativa, típico dos meses de verão na área de estudo. A temperatura apresentou máxima de 41,6 °C, mínima de 21,8 °C e média mensal de 28,7 °C, enquanto a umidade oscilou entre a máxima de 98,4% e a mínima de 43,3%, com média de 76,1%. Contudo, sob a perspectiva da termorregulação humana, a avaliação isolada desses parâmetros mostra-se insuficiente, pois eles não refletem os processos de troca de calor entre o corpo e o ambiente. Ao examinar a variação do IC (clássico e ajustado), atestou-se o papel de controle que a umidade exerce sobre o conforto térmico humano. Isso fica evidente ao observar que, nos horários de pico de temperatura, a atmosfera saturada atuou como um fator limitante à dissipação do calor, dificultando a evaporação do suor e resultando em episódios de estresse térmico.

A comparação entre as curvas do IC clássico (linha amarela) e do IC ajustado (linha laranja) na série temporal revelou que, na maior parte do período, os índices se sobrepõem, indicando uma boa concordância entre os modelos sob condições menos extremas. Contudo, durante os picos diurnos de calor, nota-se um distanciamento entre as curvas, o que expõe as limitações do modelo clássico perante temperaturas superiores a 31 °C associadas a uma umidade relativa acima de 80%. Conforme apontam Lu e Romps (2022), sob tais condições, a saturação da atmosfera inibe a evaporação do suor. Uma vez que a equação clássica não foi calibrada para calcular o estresse térmico além desse limiar fisiológico, ela acaba por subestimar o risco. Em contrapartida, o modelo ajustado capta os valores sob condições mais críticas, aproximando-se da sensação térmica real.

Ainda sobre a figura 2, notou-se a diferença na magnitude dos níveis de calor entre os pontos de coleta, evidenciando-se como a morfologia urbana é fundamental para o conforto térmico. As localidades IGA, NSA1, NSA2 e RED configuram áreas abertas, de uso habitacional e comercial, com arborização dispersa e baixa verticalização, nas quais predominam materiais construtivos variados. Nessas estações, o fluxo dos ventos facilitou as trocas de calor e atenuou as temperaturas, embora o desconforto tenha se mantido elevado ao longo do tempo.

Em contrapartida, as áreas que mais se destacaram com picos de estresse térmico (principalmente diurno) corresponderam aos pontos LAZ1 e LAZ2. O primeiro, reflete a realidade de uma área urbana de alta densidade construtiva (ruas estreitas, edificações aglomeradas, escassez de vegetação, predomínio de concreto e asfalto e maiores fluxos antropogênicos). Nesse ponto, o calor sensível e a geometria urbana

configuraram barreiras para as trocas térmicas, culminando em episódios extremos de desconforto. Já o segundo manifesta um padrão de paisagem natural e agrícola, com vegetação abundante, ainda assim, o IC revelou um comportamento similar ao de LAZ1, que se explica pelo aquecimento natural diurno pela radiação solar direta e pelos processos de evapotranspiração, que transfere umidade ao ar e aumentam os níveis de desconforto térmico.

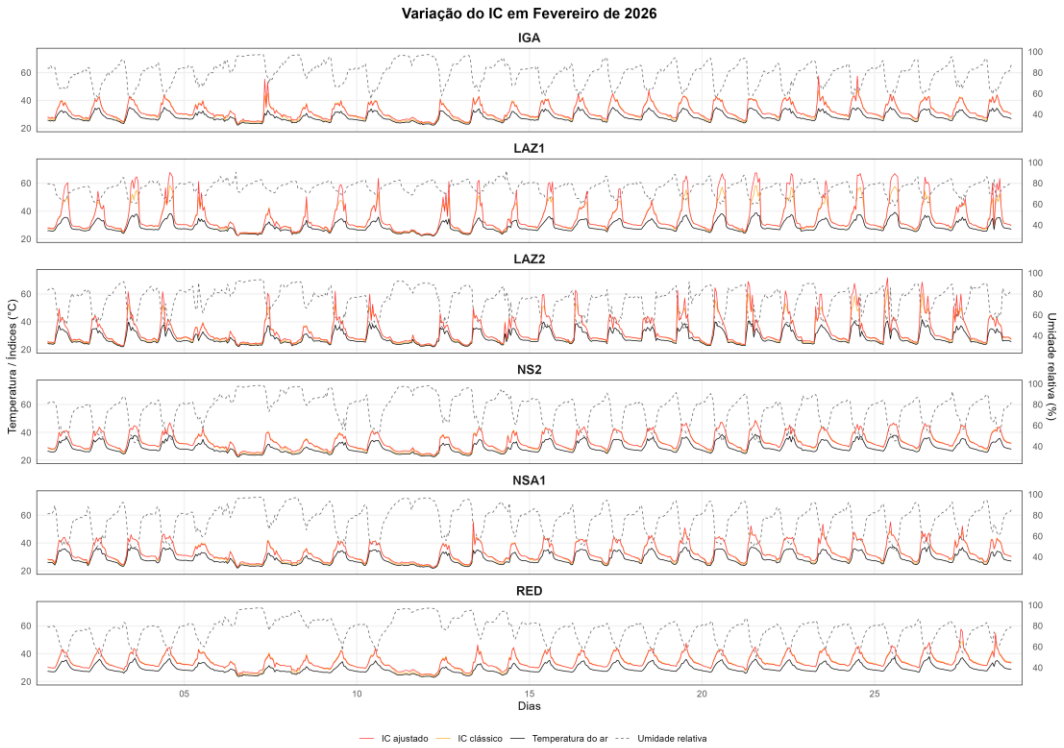


Figura 2: Série temporal das variáveis em fevereiro de 2026 em cada ponto de coleta (Autoral, 2026).

O debate anterior conecta-se com as classificações de conforto térmico da NOAA e de Petalas (2015), que permitem interpretar os limiares de conforto térmico relacionados à morfologia urbana (Figura 3). Ao analisar a classificação da NOAA (Figura 3A), percebeu-se que justamente os pontos LAZ1 e LAZ2 foram os que atingiram o nível de perigo extremo, concordando com o discutido anteriormente.

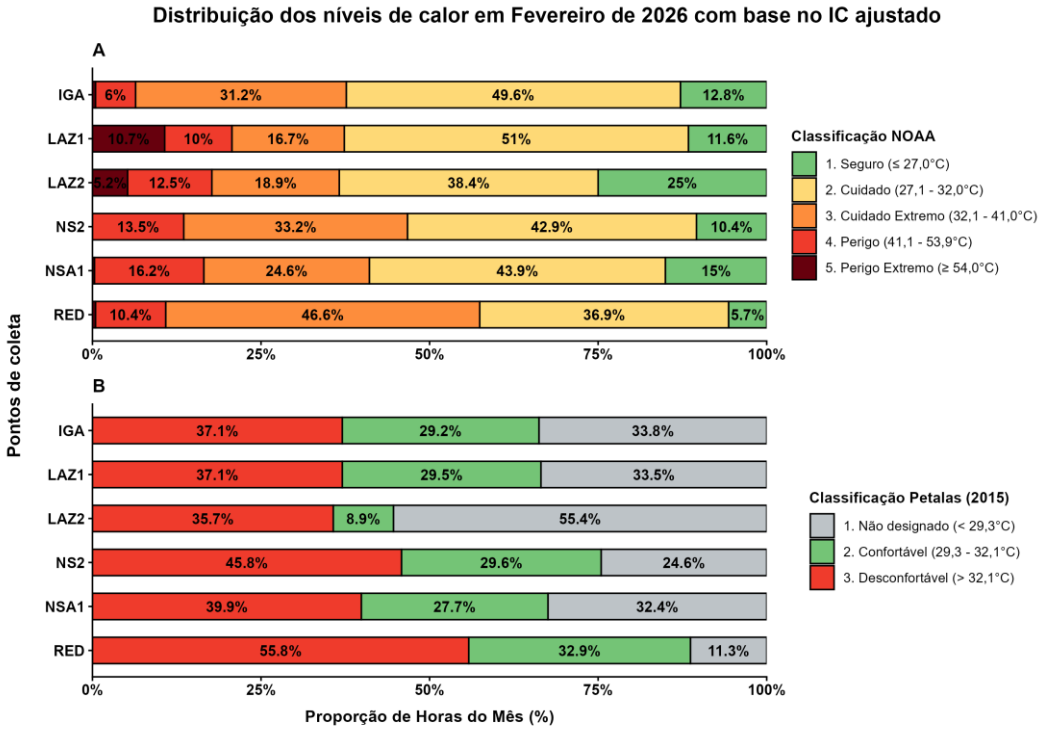


Figura 3: Série temporal das variáveis em fevereiro de 2026 em cada ponto de coleta (Autoral, 2026).

Todavia, todas as estações apresentaram, em sua maioria, níveis preocupantes de alerta variando nas demais faixas (perigo, cuidado extremo e cuidado), com percentuais menos significativos de situações de conforto.

Já na classificação de Petalas (2015), que considerou condições de aclimatação (Figura 3B) para propor faixas de interpretação do IC regionalizadas, notou-se uma relativa proporcionalidade em quase todas as localidades. Em contrapartida, RED foi a localidade com a maior proporção de tempo em situação de desconforto. Isso permite dialogar sobre a necessidade de entender o IC para além dos picos extremos, percebendo a importância dos ajustes regionais, que, nesse caso, revelaram exposições significativamente prolongadas a temperaturas elevadas, mas não obrigatoriamente extremas.

5. CONCLUSÕES

Ao alcançar o objetivo da pesquisa, os resultados demonstraram a importância da análise integrada entre temperatura e umidade para a termorregulação humana, bem como sua influência direta nas variações do Índice de Calor (clássico e ajustado). Além disso, identificou-se que as configurações da morfologia urbana alteram o balanço de energia local e, consequentemente, o conforto térmico, atuando como facilitadoras ou barreiras para as trocas de calor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, G. BROOKE; BELL, MICHELLE L; PENG, ROGER D. Methods to calculate the heat index as an exposure metric in environmental health research. **Environmental health perspectives**, v. 121, n. 10, p. 1111, 2013.

FERREIRA, Luciana Schwandner *et al*. **Ondas de calor e soluções baseadas na natureza**. Nota-Técnico-Científica 6 (Série Biota Síntese). Universidade de São Paulo. Instituto de Estudos Avançados, 2025.

FREITAS, C. R.; GRIGORIEVA, E. A. A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, p. 109–120, 2014.

GOBO, João Paulo Assis. **Bioclimatologia subtropical e modelização do conforto humano: da escala local à regional**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

KOTTEK, Markus *et al*. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LU, Yi-Chuan; ROMPS, David M. Extending the heat index. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 61, n. 10, p. 1367-1383, 2022.

MONTEIRO, Leonardo Marques. **Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NOAA. **What is the heat index?**. Amarillo, [s.d.]. Disponível em: https://www.weather.gov/ama/heatindex.

PETALAS, K. V. **Estudo da sensação térmica e definição de limites de conforto para espaços abertos na cidade de Fortaleza, CE**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará.

REQUIA, Weeberb J. *et al*. Socioeconomic and racial disparities in thermal comfort conditions in Brazil. **City and Environment Interactions**, p. 100249, 2025.

STEADMAN, R. G. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. Journal of Applied Meteorology and Climatology, v. 18, p. 861-873, 1979.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento realizado através do projeto 407600/2.