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

IMPACTO DO ESTRESSE TÉRMICO NA SAÚDE CARDIOVASCULAR EM PORTO VELHO E MANAUS: UMA ANÁLISE BIOMETEOROLÓGICA (2010-2024).

Daniel Alberto Brandão Barros (1); Fabiana Patrícia Silva (2); Raysa Sena de Melo (3); Adriana Cristina da Silva Nunes (4); Dorisvalder Dias Nunes (5); João Paulo Assis Gobo (6);
(1) Mestrando, Universidade Federal de Rondônia, dalbertobbarros@gmail.com
(2) Mestranda, Universidade Federal de Rondônia, fabypaty72@gmail.com
(3) Mestranda, Universidade Federal de Rondônia, raysasena17@gmail.com
(4) Doutora, Universidade Federal de Rondônia, adriananunes@unir.br
(5) Doutor, Universidade Federal de Rondônia, dorisval@unir.br
(5) Doutor, Universidade Federal de Rondônia, joao.gobo@unir.br

RESUMO
Este estudo analisou a associação entre extremos biometeorológicos e mortalidade cardiovascular em idosos em Porto Velho–RO e Manaus–AM (2010–2024). Com dados meteorológicos (INMET) e epidemiológicos (SIM/DATASUS) processados no ambiente R, avaliou-se o estresse térmico pelo Heat Index (HI) diurno e noturno. A relação entre exposição térmica e mortalidade foi investigada por Distributed Lag Non-linear Models (DLNM) e regressão quasi-Poisson multivariável. Apesar dos valores médios de HI diurno semelhantes, Manaus registrou maior persistência de eventos coexistentes de calor (até 10 dias consecutivos), enquanto Porto Velho apresentou mais ocorrências isoladas. Os eventos mais severos concentraram-se nos episódios de El Niño (2015–2016 e 2023–2024). Os modelos DLNM revelaram tendência de aumento do risco relativo em Porto Velho nos percentis mais elevados de HI, enquanto a coexistência de calor diurno e noturno associou-se positivamente à mortalidade em ambas as capitais, com efeito mais acentuado em Manaus. Conclui-se que a persistência do calor é um fator de risco crítico para a população idosa na Amazônia, ressaltando a importância do monitoramento biometeorológico.

Palavras-chave: Heat Index; Mortalidade cardiovascular; Biometeorologia; El Niño-Oscilação Sul; Amazônia.

1. INTRODUÇÃO

A compreensão das dinâmicas climáticas e de seus efeitos sobre a saúde humana constitui uma preocupação histórica da humanidade, motivada pelo interesse em compreender de que forma as condições atmosféricas influenciam o bem-estar da população (CARVALHO, 2018). Nos últimos anos, esse campo de investigação tem ganhado maior destaque no contexto do clima urbano, em razão das transformações decorrentes dos processos de urbanização. A modificação de superfícies naturais tem contribuído para alterações nos elementos climáticos, resultando em condições de desconforto térmico e em potenciais impactos negativos à saúde dos habitantes.

O conforto térmico corresponde à condição em que o indivíduo expressa satisfação em relação ao ambiente térmico, tratando-se de um fenômeno influenciado por fatores fisiológicos, psicológicos e físicos (CALLEJAS et al., 2022). Em contrapartida, o desconforto térmico ocorre quando esse equilíbrio psicofisiológico é alterado, comprometendo o bem-estar e impactando negativamente a qualidade de vida da população. De acordo com a classificação climática de Köppen, Porto Velho e Manaus apresentam clima do tipo Am, marcado por temperaturas elevadas e altos valores de umidade relativa do ar (ALVARES et al., 2013).

Eventos extremos termo-higrométricos intensificam debilitações no organismo (AYOADE, 1996), tendo em vista que ocasionam imposição fisiológica significativa ao sistema cardiovascular, exacerbando sua função e aumentando o risco de doenças (CHEN et al., 2026). Na Região Norte do Brasil, o ENOS exerce forte influência sobre a variabilidade climática, sendo frequentemente associado à ocorrência de eventos extremos (OGASSAWARA et al., 2021). Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a associação entre eventos extremos de temperatura e mortalidade cardiovascular na população idosa de Porto Velho (RO) e Manaus (AM), utilizando séries temporais climáticas e epidemiológicas no período de 2010 a 2024.

2. OBJETIVO

Analisar a associação entre eventos extremos de temperatura e mortalidade por doenças cardiovasculares em idosos nas cidades de Porto Velho e Manaus, entre 2010 e 2024.

3.MÉTODO

O estudo abrange as áreas urbanas de Porto Velho–RO (8°45′43″ S, 63°54′14″ O; 34.091,15 km²; 122,57 km² urbanos em 69 bairros) (MARQUES, 2021) e Manaus–AM (3º06′26″ S, 60º01′34″ W; 11.401,00 km², dividida em seis zonas) (IBGE, 2024). Porto Velho possui densidade demográfica de 13,51 hab/km² e população estimada de 517.709 habitantes para 2025 (460.434 no Censo de 2022), enquanto Manaus apresenta 181,01 hab/km² e estimativa de 2.303.732 habitantes para 2025 (IBGE, 2022).

A região Norte caracteriza-se por elevadas temperaturas médias anuais (25 °C a 28 °C) e baixos gradientes térmicos (Marengo et al., 2001). Ambas as cidades possuem clima tropical de monções (Am, segundo Köppen-Geiger), marcado por altas temperaturas e elevada umidade relativa ao longo do ano (ALVARES et al., 2013). O regime pluviométrico divide-se entre o período chuvoso (outubro a abril) e de menor pluviosidade (junho a agosto), com transições em maio e setembro (FRANÇA, 2015). Em Manaus, os maiores índices térmicos ocorrem de julho a novembro, enquanto os menores coincidem com o período chuvoso (VIDAL et al., 2023).

Dados diários (2010–2024) de temperatura (máxima, mínima e média) e umidade relativa (máxima e mínima) foram obtidos das estações automáticas de Manaus (A101/INMET) e Porto Velho (UHE Santo Antônio do Rio Madeira), preenchendo-se falhas pontuais por imputação linear no pacote imputeTS. Os registros de mortalidade cardiovascular em idosos (≥ 65 anos) foram extraídos do DATASUS (SIM) e processados no software R via pacote climasus4r para padronização e limpeza das séries temporais.

O Heat Index (HI) integra temperatura e umidade relativa para estimar o desconforto térmico percebido, sendo amplamente aplicado no contexto amazônico (ESPINOZA et al., 2023; MOREIRA, 2023). Para avaliar o estresse térmico no ciclo nictemeral, calcularam-se o HI diurno e o HI noturno segundo a Equação 1:

Equação 1

$$HI = -42{,}379 + (2{,}04901523T) + (10{,}14333127RH) - (0{,}22475541TRH) - (0{,}00683783T^2) - (0{,}05481717RH^2) + (0{,}00122874T^2RH) + (0{,}00085282TRH^2) - (0{,}00000199T^2RH^2)$$

Onde: HI é o Heat Index [°F], T é a temperatura do ar [°F] e RH é a umidade relativa do ar [%].

Para caracterizar os extremos, calcularam-se os percentis P95 e P98 da distribuição do HI via janela móvel de 15 dias no pacote HeatWaveR (R), garantindo sensibilidade à variabilidade sazonal e aos períodos de transição climática.

A associação entre o HI e a mortalidade cardiovascular foi estimada por Modelos Não Lineares com Defasagem Distribuída (Distributed Lag Non-linear Models — DLNM) via pacote dlnm em R. Utilizou-se regressão quasi-Poisson — adequada para contagens com superdispersão —, aplicando-se natural splines (7 graus de liberdade por ano) para controlar sazonalidade e tendências de longo prazo, além de defasagens de até sete dias (lag 0–7).

Eventos concomitantes de calor diurno e noturno foram avaliados como variável binária (0 = ausência; 1 = presença) em modelo multivariável quasi-Poisson. Todos os modelos foram ajustados para umidade relativa média diária, dia da semana e período pandêmico da COVID-19 (2020–2021). Adicionalmente, incluiu-se a fase do ENOS (El Niño, La Niña e neutro) como variável categórica exploratória.

4. RESULTADOS

Ao analisar os índices de HI diurno e noturno, observa-se que Porto Velho e Manaus possuem valores de HI diurno aproximados (PVH: 35,4 °C e MAO: 35,2 °C). Conforme apresentado na Tabela 1, Manaus apresenta um diferencial biometeorológico no período noturno, caracterizado pela menor amplitude térmica diária.

Tabela 1- Caracterização do perfil térmico nictemeral e limiares críticos de estresse do Índice de Calor (HI) nas capitais Manaus (AM) e Porto Velho (RO).

Cidade	HI Diurno (médio)	HI Noturno (médio)	HI Médio	HI Diurno (P95)	HI Diurno (P98)	HI Noturno (P95)	HI Noturno (P98)
Manaus	35,2	25,8	30,5	39,0	40,1	29,7	30,7
Porto Velho	35,4	23,3	29,4	39,6	40,4	25,1	25,5

Além disso, Porto Velho apresentou maior número de episódios isolados de calor coexistente entre os períodos diurno e noturno (83 eventos). Em contrapartida, Manaus, embora tenha registrado menor número de ocorrências (64 eventos), apresentou maior persistência dos episódios, atingindo até 10 dias consecutivos de HI elevado coexistente, enquanto em Porto Velho os eventos alcançaram no máximo cinco dias consecutivos, demonstrando que, embora Porto Velho experimente maior frequência de episódios de calor coexistentes,

Manaus apresenta condições mais favoráveis à persistência do estresse térmico, especialmente durante o período noturno.

A persistência do calor ao longo do ciclo nictemeral constitui um fator crítico para a saúde humana, pois a manutenção de temperaturas elevadas durante a noite reduz a capacidade de resfriamento fisiológico do organismo. Conforme Gomes et al. (2025), essas condições comprometem os mecanismos de termorregulação e estão associadas ao aumento da frequência cardíaca, da coagulabilidade sanguínea e dos desequilíbrios hidroeletrolíticos, contribuindo para o agravamento de doenças cardiovasculares.

Destaca-se que os eventos de maior persistência em Manaus ocorreram entre o final de 2023 e meados de 2024. Nesse período, 14 dos 20 eventos mais intensos (P98) da série histórica concentraram-se entre 2023 e 2024, coincidindo com um forte evento de El Niño, que contribuiu para o aumento da temperatura do ar e da persistência de calor na região amazônica, conforme observado na Figura 1.

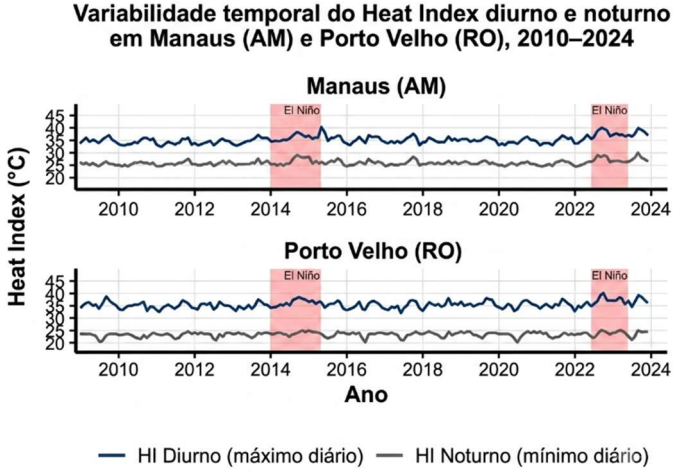


Figura 1 – Variabilidade temporal nictemeral do Heat Index (HI) em Manaus e Porto Velho entre 2010 e 2024.

Sendo assim, de forma complementar à análise, os eventos coexistentes de calor diurno e noturno foram avaliados por meio de um modelo de regressão quase-Poisson multivariável. Os resultados evidenciaram associação positiva entre os episódios de calor coexistente e a mortalidade cardiovascular em idosos nas capitais analisadas, porém com magnitudes distintas (Figura 2). Na capital amazonense, observou-se risco relativo (RR) de 1,27 (IC95%: 1,16–1,40), indicando aumento aproximado de 27% no risco de mortalidade cardiovascular em idosos durante episódios de calor coexistente. Em contrapartida, Porto Velho apresentou risco relativo (RR) de 1,20 (IC95%: 1,00–1,43), correspondente a um aumento aproximado de 20%. Contudo, o intervalo de confiança mais amplo indica maior incerteza na estimativa.

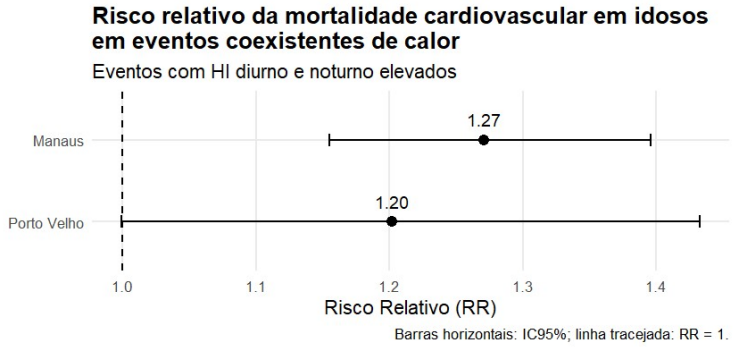


Figura 2 – Risco relativo da mortalidade cardiovascular em idosos durante episódios de calor coexistente (HI diurno e noturno elevados) em Manaus (AM) e Porto Velho (RO), 2010–2024.

Essa diferença pode estar relacionada às características térmicas de Manaus, especialmente à menor redução das temperaturas noturnas, que favorece a persistência do estresse térmico e limita a recuperação fisiológica durante o repouso. Esses resultados sugerem maior risco para a população idosa, corroborando Monteiro dos Santos (2024), que identificou indivíduos com 65 anos ou mais como o grupo mais afetado pela mortalidade associada ao calor no Brasil. Embora a Região Norte apresente menores proporções em relação às demais regiões, Manaus permanece entre as capitais com maior vulnerabilidade. Além disso, Silveira et al. (2023) demonstram que a intensidade e, principalmente, a duração dos eventos extremos são determinantes para o aumento da mortalidade, reforçando a importância da persistência do calor ao longo do ciclo nictemeral para a saúde cardiovascular dos idosos.

5. CONCLUSÕES

Os resultados evidenciaram que os extremos biometeorológicos relacionados ao calor constituem um fator de risco para a mortalidade cardiovascular na população idosa das duas capitais amazônicas analisadas. Observou-se associação positiva entre eventos coexistentes de calor diurno e noturno e o aumento da mortalidade cardiovascular, com maior magnitude em Manaus (RR = 1,27; aproximadamente 27%) do que em Porto Velho (RR = 1,20; aproximadamente 20%). Essas diferenças podem estar relacionadas ao comportamento dos eventos em cada cidade: Porto Velho apresentou maior frequência de episódios, porém predominantemente isolados, enquanto Manaus registrou menor frequência, mas maior persistência, com sequências de até 10 dias consecutivos. Parte significativa desses eventos ocorreu durante episódios de El Niño, sendo que 14 dos 20 eventos mais intensos, identificados pelo percentil 98 (P98) do Heat Index, concentraram-se entre 2023 e 2024. Esses resultados reforçam a necessidade de monitoramento contínuo dos extremos biometeorológicos para subsidiar estratégias de mitigação e adaptação, especialmente voltadas às populações mais vulneráveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n.6 p.711-728, 2013.DOI:10.1127/0941-2948/2013/0507 Disponível em:https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppens_climate_classification_map_for_Brazil. Acesso em: 16 Mar. 2026

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p.

CALLEJAS, I. J. A.; KRÜGER, E.; BORGES, V. C. A. L. Relação entre estados de humor e a percepção térmica de pedestres. In: **XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 19. 2022, Canela. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-12

CARVALHO, Enyedja Kerlly Martins de Araújo. **INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NA OCORRÊNCIA DE ASMA E PNEUMONIA**. 2018. 108 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018. Disponível em: https://dspace.sti.ufcg.edu.br/bitstream/riufcg/1973/3/ENYEDJA%20KERLLY%20MARTINS%20DE%20ARA%c3%9aJO%20CARVALHO%20-%20TESE%20PPGRN%202018.pdf. Acesso em: 15 mar. 2026.

CHEN, Yifei et al. Projected cardiovascular mortality attributable to extreme temperatures under climate scenarios in Taiyuan, China. **iScience**, v. 29, p. 114970, 20 mar. 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.isci.2026.114970. Acesso em: 09 mai 2026.

ESPINOZA, N. da Silva et al. Assessment of urban heat islands and thermal discomfort in the Amazonia biome in Brazil: A case study of Manaus city. **Building and Environment**, v. 227, 109772, jan. 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132322010022. DOI:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109772. Acesso em: 22 maio 2026.

FRANCA, Rafael Rodrigues. Climatologia das chuvas em Rondônia – período 1981-2011**. Revista Geografias**, v. 11, n. 12, p. 44-58, 2015. DOI: 10.35699/2237-549X.13392. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13392. Acesso em: 18 mar. 2026.

GOMES, Joao Pedro Medeiros et al. The heat of the night: the impact of nocturnal heat excess on mortality in Brazilian state capitals (2000–2019). **Environ. Res.: Health**, v. 3, n. 3, p. 035007, 2025. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2752-5309/adfe85.DOI:https://doi.org/10.1088/2752-5309/adfe85. Acesso em: 22 maio. 2026

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Brasil. / Rondônia / Porto Velho. Rio de Janeiro:, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ro/porto-velho.html. Acesso em: 18 mar. 2026.

MARENGO, José A. et al. Variabilidade e tendências hidrometeorológicas no Brasil. **Climanálise**, n. 5, p. 24–32, 2001.Acesso em: 10 mai 2026.

MARQUES, Renata Duarte et al. Production of Urban Space and the occurrence of malaria in the Brazilian Amazon: the Porto Velho case. **Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro**, v. 26, n. 9, p. 4263-4274, set. 2021. DOI: 10.1590/1413-81232021269.24242020. Disponível em: https://www.scielo.br/j/csc/a/x63NWfWq3JVjnBCk5Hzk99J/abstract/?lang=pt. Acesso em: 18 Mar. 2026

MONTEIRO DOS SANTOS, D. et al. Twenty-first-century demographic and social inequalities of heat-related deaths in Brazilian urban areas. **PLoS ONE**, v. 19, n. 1, e0295766, 2024. DOI: 10.1371/journal.pone.0295766. Disponível em: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0295766 Acesso em: 22 maio. 2026.

MOREIRA, Pedro Hugo Oliveira et al. Variações sazonais do índice de temperatura efetiva (ITE) e índice de calor (IC) com o uso do solo em zona urbana na Amazônia Oriental. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 24, n. 93, p. 01–17, jun. 2023. DOI: 10.14393/RCG249365649. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/65649. Acesso em: 22 maio. 2026.

OGASSAWARA, J. F.; FLORES, B. M.; SILVA, T. S. Variabilidade climática e a ocorrência de extremos termo-higrométricos na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, n. 1, p. 45-63, 2021.

SILVEIRA, I. H. et al. Heat waves and mortality in the Brazilian Amazon: Effect modification by heat wave characteristics, population subgroup, and cause of death. International **Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 248, 114109, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114109. Acesso em: 15 mar. 2026.