

A RELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DO AR E A MORTALIDADE POR CAUSAS EXTERNAS: OS EFEITOS SOBRE DIFERENTES POPULAÇÕES E MUNICÍPIOS BRASILEIROS (2010-2019)

Cássia de Castro Martins Ferreira¹
João Pedro Medeiros Gomes²
Letícia de Castro Martins Ferreira³
Mario Círio Nogueira⁴

INTRODUÇÃO

A mortalidade por causas externas é geralmente definida como óbitos decorrente de acidentes e violências, incluindo homicídios e suicídios, resultados, respectivamente, de agravos não naturais acidentais e intencionais. (Brasil, 2023). Esse tipo de mortalidade é uma importante causa no Brasil e afeta principalmente populações jovens, atingindo a população preta/parda em maior intensidade (Malta *et al.*, 2021).

Recentemente diversos estudos demonstraram que temperaturas do ar extremamente frias e quentes possuem efeito sobre a mortalidade cardiovascular e pulmonar (Burkart *et al.*, 2021; Ribas *et al.*, 2023). O efeito desse fator de exposição influencia, por exemplo, na pressão arterial, frequência cardíaca, balanço hidroeletrólítico (Ferreira, L. De C. M. *et al.*, 2019) e em comportamentos, como piora da condução veicular e maior realização de atividades externas e esportes (Pan *et al.*, 2022).

O objetivo do estudo foi analisar a relação entre a temperatura média do ar e a mortalidade por causas externas no período de 2010-2019 em 4 capitais estaduais. Secundariamente, objetivou-se estimar essa mesma relação dentro do contexto racial e por sexo. A realização desse estudo derivou da necessidade de caracterizar o efeito da temperatura do ar como um fator de impacto na saúde em um país continental, com grande variedade climática e socioeconômica, tendo em vista que até o momento, os presentes autores somente encontraram uma análise no país como um todo em um estudo global (Burkart *et al.*, 2021).

Para a realização dessa proposta, dados relativos a mortalidade e clima foram processados e modelados tendo em vista sua complexa relação. Assim foi estimado o Risco

¹ Professora do Curso de Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, cassia.castro@ufjf.br

² Graduando do Curso de Medicina da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, jpmedeiros@gmail.com

³ Professora do Curso de Medicina da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, leticiacmferreira@gmail.com

⁴ Professor do Curso de Medicina da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, mariocirionogueira@gmail.com

Relativo (RR) acumulado dentro do intervalo de tempo de 4 dias conforme a intensidade da temperatura do ar (Gasparrini; Armstrong; Kenward, 2010).

Em geral, foi observado que o aumento da temperatura do ar, em comparação à média do período, eleva o RR de causas externas. Entretanto, esse resultado teve variações entre as cidades analisadas e seus subgrupos específicos, especialmente quando se compara a população masculina e feminina e a branca e preta/parda.

Portanto, é essencial aprofundar a investigação sobre as variáveis que influenciam essas relações, considerando as especificidades de cada localidade e a diversidade das causas externas, para obter uma compreensão mais precisa e desenvolver políticas públicas eficazes que possam mitigar os impactos negativos das variações de temperatura na mortalidade por causas externas.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado a partir da coleta de dados de mortalidade e climáticos dos municípios de Manaus-AM, Rio de Janeiro-RJ, São Paulo-SP e Salvador-BA, que foram processados e modelados para cálculo da estimativa do RR relacionando a mortalidade por causas externas e a temperatura média do ar diária. Toda análise foi realizada por meio do Software R (versão 4.2.1).

Os dados referentes à mortalidade por causas externas foram extraídos do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM), via uso do pacote do programa R *microdatasus* (Saldanha; Bastos; Barcellos, 2019). Dados referentes à temperatura do ar tiveram como origem dados horários do ERA5 (Hersbach *et al.*, 2023), um modelo de reanálise com $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ de resolução. Foi realizado o cálculo da temperatura média diária da área de cada município. A seguir, foi feito um tratamento e uma análise exploratória para eliminar pontos de dados incoerentes e exame de suas tendências temporais.

Assim, foi conduzido um estudo ecológico em que utilizou-se um Modelo Aditivo Generalizado combinado com um Modelo de Defasagem Distribuída Não-Linear com defasagem de 0-4 dias para estimar a relação entre a temperatura média do ar e mortalidade por causas externas (Gasparrini; Armstrong; Kenward, 2010; Pan *et al.*, 2022). Foram introduzidos no modelo variáveis para ajuste de tendência e sazonalidade (Burkart *et al.*, 2021). A temperatura do ar de referência utilizada foi a média do período analisado para cada município. Foram estimados os RR de temperaturas de frio e calor extremos, que se relacionam com os percentis 5% e 95% da temperatura média do ar local.

Tendo em vista que esses dados utilizados são secundários e disponíveis livremente para o público a partir de fontes oficiais, foi dispensada a avaliação por comitê de ética.

REFERENCIAL TEÓRICO

Com a formulação de um *framework* composto pela junção de modelos generalizados e um tipo de modelagem recentemente criada, chamada de Modelo de Defasagem Distribuída Não-Linear, foi possível estimar o efeito de temperaturas extremas sobre diversos desfechos de saúde, mundialmente e localmente, em escala temporal e sobre relações complexas (Burkart *et al.*, 2021; Gasparrini; Armstrong; Kenward, 2010; Mascarenhas *et al.*, 2022). Nesse âmbito, um estudo recente apontou essa relação para causas de mortalidade externas, com um interessante padrão: alguns países latino-americanos possuíam um padrão de risco aumentado para causas externas de mortalidade em altas temperaturas (Burkart *et al.*, 2021). Entre eles estava o Brasil, que até o momento carece de análises mais detalhadas geograficamente dessa relação, juntamente com a falta de sub-análises que trazem consigo questões de cor/raça e sexo.

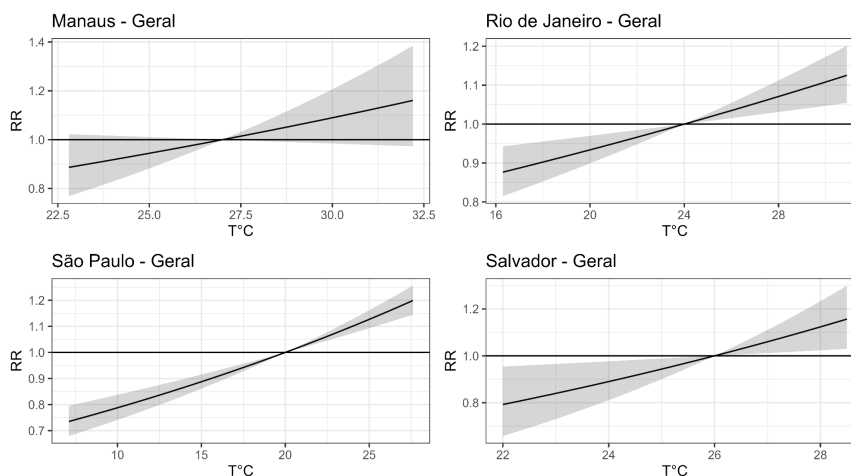
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultado Geral

Em geral, no período e nos municípios analisados percebe-se que o aumento da temperatura do ar média comumente leva a um maior risco de mortes por causas externas, tanto na análise geral, quanto na de subgrupo.

Quanto analisados os municípios, o RR em comparação com a temperatura média no período se comporta da seguinte forma: na cidade de Manaus, o RR foi de 1,06 [IC95% 0,99–1,14] para calor extremo e 0,94 [IC95% 0,88–1,01] para frio extremo. No Rio de Janeiro, o RR foi de 1,08 [IC95% 1,04–1,13] para calor extremo e 0,93 [IC95% 0,89–0,97] para frio extremo. Em Salvador, o RR foi de 1,09 [IC95% 1,02–1,17] para calor extremo e 0,87 [IC95% 0,79–0,97] para frio extremo. Em São Paulo, o RR foi de 1,13 [IC95% 1,09–1,17] para calor extremo e 0,87 [IC95% 0,85–0,91] para frio extremo (Figura 1).

Figura 1 - Relação da Temperatura Média do Ar ($T^{\circ}\text{C}$) e o Risco Relativo (lag 0-4) para a mortalidade por causas externas em toda população no período de 2010-2019.

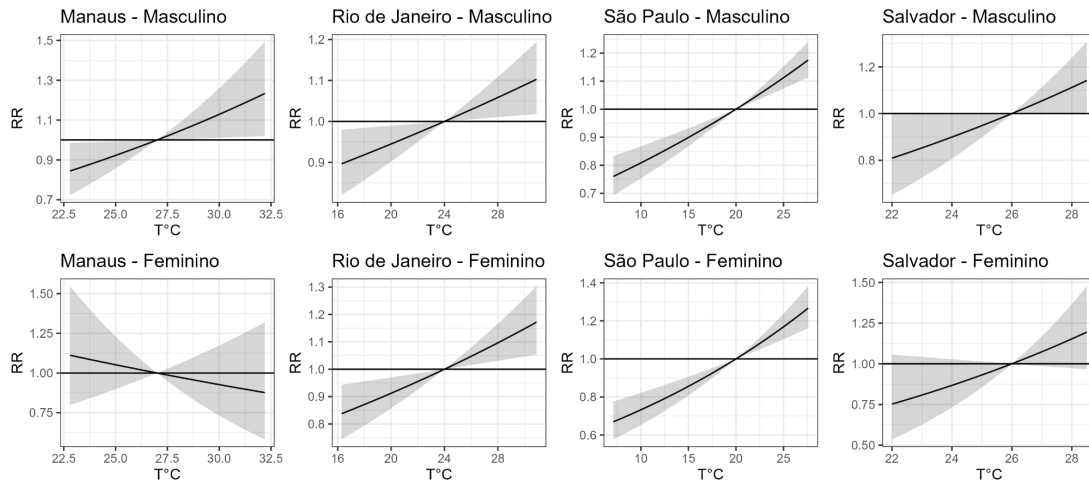


Resultado por Sexo

Ao se analisar as estimativas no subgrupo sexo os municípios, para o sexo feminino na cidade de Manaus, o RR foi de 0,95 [IC95% 0,80–1,12] para calor extremo e 1,05 [IC95% 0,89–1,24] para frio extremo. No Rio de Janeiro, o RR foi de 1,11 [IC95% 1,04–1,19] para calor extremo e 0,90 [IC95% 0,84–0,97] para frio extremo. Em Salvador, o RR foi de 1,11 [IC95% 0,98–1,26] para calor extremo e 0,85 [IC95% 0,70–1,03] para frio extremo. Em São Paulo, o RR foi de 1,17 [IC95% 1,11–1,24] para calor extremo e 0,84 [IC95% 0,79–0,90] para frio extremo (Figura 2).

Enquanto isso para o sexo masculino na cidade de Manaus, o RR foi de 1,09 [IC95% 1,01–1,18] para calor extremo e 0,92 [IC95% 0,85–0,99] para frio extremo. No Rio de Janeiro, o RR foi de 1,07 [IC95% 1,01–1,13] para calor extremo e 0,94 [IC95% 0,89–0,99] para frio extremo. Em Salvador, o RR foi de 1,08 [IC95% 1,00–1,17] para calor extremo e 0,89 [IC95% 0,78–1,00] para frio extremo. Em São Paulo, o RR foi de 1,11 [IC95% 1,07–1,16] para calor extremo e 0,89 [IC95% 0,85–0,92] para frio extremo (Figura 2).

Figura 2 - Relação da Temperatura Média do Ar ($T^{\circ}\text{C}$) e o Risco Relativo (lag 0-4) para a mortalidade por causas externas por sexo no período de 2010-2019.

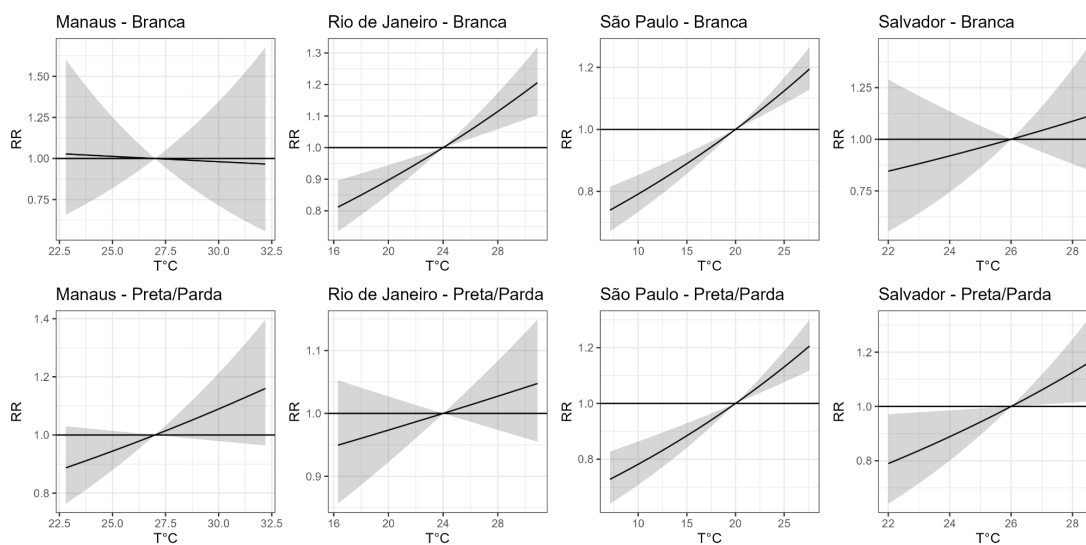


Resultado por Raça/Cor

A respeito de raça/cor, as estimativas encontradas são as seguintes para raça/cor branca na cidade de Manaus, o RR foi de 0,99 [IC95% 0,79–1,23] para calor extremo e 1,01 [IC95% 0,81–1,27] para frio extremo. No Rio de Janeiro, o RR foi de 1,13 [IC95% 1,07–1,20] para calor extremo e 0,89 [IC95% 0,84–0,94] para frio extremo. Em Salvador, o RR foi de 1,06 [IC95% 0,91–1,25] para calor extremo e 0,91 [IC95% 0,71–1,16] para frio extremo. Em São Paulo, o RR foi de 1,13 [IC95% 1,08–1,17] para calor extremo e 0,88 [IC95% 0,84–0,91] para frio extremo (Figura 3).

Enquanto isso para raça/cor preta/parda na cidade de Manaus, o RR foi de 1,06 [IC95% 0,99–1,14] para calor extremo e 0,94 [IC95% 0,87–1,02] para frio extremo. No Rio de Janeiro, o RR foi de 1,03 [IC95% 0,97–1,10] para calor extremo e 0,97 [IC95% 0,92–1,03] para frio extremo. Em Salvador, o RR foi de 1,09 [IC95% 1,01–1,18] para calor extremo e 0,87 [IC95% 0,77–0,98] para frio extremo. Em São Paulo, o RR foi de 1,13 [IC95% 1,08–1,19] para calor extremo e 0,87 [IC95% 0,82–0,92] para frio extremo (Figura 3).

Figura 2 - Relação da Temperatura Média do Ar ($T^{\circ}\text{C}$) e o Risco Relativo (lag 0-4) para a mortalidade por causas externas nas raças/cores branca e preta/parda no período de 2010-



Discussão

Em geral os resultados demonstram que populações diferentes em locais e climas diferentes sofrem efeitos distintos, sendo que a única cidade que não teve alterações importantes entre os subgrupos populacionais foi a cidade de São Paulo.

Em Manaus, a análise geral não mostrou um aumento significativo no risco com a elevação da temperatura. Este é um dos primeiros estudos a investigar uma cidade em latitudes tropicais, onde a menor amplitude térmica e as temperaturas médias mais altas podem estar associadas a uma melhor adaptação fisiológica e estrutural (Dubreuil *et al.*, 2018; Ribas *et al.*, 2023; Yin *et al.*, 2018). No entanto, essa ideia pode ser contestada pela análise por sexo, que revelou um efeito significativo na população masculina, sugerindo diferenças entre os sexos que, quando combinadas, não mostraram significância.

O município de Salvador, demonstra um efeito claro na análise global e também na população preta/parda, mas na análise por sexo perde uma medida significativa. Tecnicamente, esse fenômeno pode ser atribuído a uma maior imprecisão da estimativa decorrente de uma menor frequência de mortes quando os subgrupos estão separados (Ribas *et al.*, 2023).

Um resultado bastante diferente é encontrado no Rio de Janeiro. Nessa cidade, a população preta/parda não demonstrou sofrer com um aumento de risco derivado da temperatura do ar. Este resultado intrigante pode estar relacionado com uma baixa variação da mortalidade no decorrer do ano ou ainda a uma diferença na mortalidade em subclassificações das causas externas. Entre elas, homicídios e acidentes de trânsito são as causas mais comuns,

e dado que indivíduos da raça negra/parda frequentemente enfrentam um risco aumentado de homicídios, (Malta *et al.*, 2021) acredita-se que este possa ser um fator contribuinte para o comportamento divergente da estimativa observado neste subgrupo.

Pontos Positivos, Limitações e Considerações Práticas

O estudo realizado faz uso de técnicas estatísticas que capturam relações complexas entre exposição e desfecho, tendo em vista as tendências de longo prazo, curto prazo e o efeito da exposição após diversos dias no desfecho final, caracterizando um conjunto de técnicas de larga utilização e ideais para estudos que relacionam elementos climáticos com a saúde (Gomes *et al.*, 2024; Mascarenhas *et al.*, 2022; Ribas *et al.*, 2023).

É importante destacar algumas limitações do presente estudo. Foi analisado um número limitado de municípios e não foram abrangidas subclassificações específicas para causas externas. Ambas limitações estão relacionadas com um escopo reduzido no presente estudo, que visou explorar cidades de regiões ainda não estudadas em contextos internacionais e introduzir resultados adequados para uma comunicação breve.

Compreender como a temperatura do ar influencia a saúde gera conhecimentos que inspiram novas pesquisas e estratégias de adaptação às mudanças climáticas e eventos extremos. Evidenciar esses efeitos fortalece o compromisso científico em reduzir o uso de combustíveis fósseis e promover um desenvolvimento sustentável, economicamente e ecologicamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo revelou que a influência da temperatura do ar nos desfechos de saúde varia entre grupos populacionais e regiões. Observamos padrões distintos em Manaus, Salvador e Rio de Janeiro, especialmente entre diferentes grupos étnico-raciais. Isso sugere que políticas de adaptação devem considerar contextos locais específicos. A partir de entendimentos como esses, políticas públicas de monitoramento, urbanismo e planejamento ambiental podem ser melhor construídas, visando um maior efeito sobre a população. Entretanto, ainda existe um caminho longo a ser seguido: é crucial que futuras pesquisas ampliem o número de municípios estudados e explorem mais profundamente as subclassificações de causas externas, como homicídios e acidentes de trânsito. Esses achados devem ser integrados aos debates globais sobre sustentabilidade e mitigação das

mudanças climáticas para promover um desenvolvimento sustentável que beneficie o meio ambiente e a saúde pública.

Palavras-chave: Efeitos do Clima; Causas Externas; Temperatura Extrema; Grupos Raciais

REFERÊNCIAS

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Mortes por causas externas: qualificação dos registros inespecíficos.** Ministério da Saúde, Ministério da Justiça e Segurança Pública, Brasília: Ministério da Saúde, p.113, 2024.

BURKART, K. G. et al. **Estimating the cause-specific relative risks of non-optimal temperature on daily mortality:** a two-part modelling approach applied to the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, 21 ago. 2021. v. 398, n. 10301, p. 685–697.

DUBREUIL, V. et al. **Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015.** *Confins. Revista franco-brasileira de Geografia*, 24 set. 2018. n. 37. Disponível em:

<http://journals.openedition.org/confins/15738>. Acesso em: 29 jun. 2024.

FERREIRA, L. De C. M. et al. **Ambient temperature and mortality due to acute myocardial infarction in Brazil:** an ecological study of time-series analyses. *Scientific reports*, 24 set. 2019. v. 9, n. 1, p. 13790.

GASPARRINI, A.; ARMSTRONG, B.; KENWARD, M. G. **Distributed lag non-linear models.** *Statistics in medicine*, 20 set. 2010. v. 29, n. 21, p. 2224–2234.

GOMES, J. P. M. et al. **[Relationship between air temperature and dengue incidence: time series study in Minas Gerais, Brazil (2010-2019)].** *Cadernos de saude publica*, 25 mar. 2024. v. 40, n. 3, p. e00076723.

HERSBACH, H. et al. **ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present.** Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). Disponível em: <https://cds.climate.copernicus.eu/doi/10.24381/cds.adbb2d47>. Acesso em: 7 abr. 2024.

MALTA, D. C. et al. **Mortality among Brazilian adolescents and young adults between 1990 to 2019:** an analysis of the Global Burden of Disease study. *Ciencia & saude coletiva*, set. 2021. v. 26, n. 9, p. 4069–4086.

MASCARENHAS, M. S. et al. **The effect of air temperature on mortality from cerebrovascular diseases in Brazil between 1996 and 2017.** *Ciencia & saude coletiva*, ago. 2022. v. 27, n. 8, p. 3295–3306.

PAN, R. et al. **Ambient Temperature and External Causes of Death in Japan from 1979 to 2015: A Time-Stratified Case-Crossover Analysis.** *Environmental health perspectives*, 8 abr. 2022. Disponível em:
<https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/EHP9943>. Acesso em: 29 jun. 2024.

RIBAS, I. M. et al. **Effects of air temperature on the risk of death from COPD in major microregions in Brazil: a time series study.** *Jornal brasileiro de pneumologia: publicacao oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia*, 17 nov. 2023. v. 49, n. 5, p. e20220442.

SALDANHA, R. De F.; BASTOS, R. R.; BARCELLOS, C. [**Microdatasus**: a package for downloading and preprocessing microdata from Brazilian Health Informatics Department (DATASUS)]. *Cadernos de Saúde Pública*, 16 set. 2019. v. 35, n. 9, p. e00032419.

YIN, P. et al. **The added effects of heatwaves on cause-specific mortality: A nationwide analysis in 272 Chinese cities.** *Environment International*, dez. 2018. v. 121, n. Pt 1, p. 898–905.