BioSCIENCE
Artigo de Revisão
DOI: https://doi.org/10.55684/2025.83.S2.e00001

Efeitos das mudanças climáticas na saúde cardiovascular: um enfoque nos extremos de temperatura

Effects of climate change on cardiovascular health: a focus on temperature extremes

Evelyn Kloster Mazur[1], Homero Grein Neto[1], Sofia Sant' Anna Pofahl Bíscaro[1], Bruno Henrique Strapasson Moraes[1], Isabela Bonk Palma[1], Luiz Eduardo Latorre Guimarães[1], Amanda Carvalho Garcia[1]

RESUMO

Introdução: A temperatura ambiental impacta a saúde cardiovascular por mecanismos biológicos multifacetados, causando desequilíbrios na homeostase térmica, o que prejudica o sistema cardiovascular. Os extremos de temperatura geram alterações vasculares, respostas do sistema nervoso autônomo, arritmias, inflamação e estresse oxidativo.

Objetivo: Analisar as principais publicações sobre a influência das mudanças climáticas nos eventos cardiovasculares.

Método: Busca nas bases de dados PubMed, ScienceDirect, Web of Science e Scielo. Foram utilizados os descritores: "cardiovascular diseases, climate change e body temperature regulation". Os critérios de inclusão compreenderam artigos de revisão publicados a partir de 2005, em português e inglês. Foram selecionados 24 artigos.

Resultado: O frio provoca vasoconstrição, taquicardia e aumento da pressão arterial, resultando em isquemia miocárdica, especialmente em pacientes com placas coronárias. Exposição a ele aumenta angiotensina-II, levando à vasoconstrição e hipertensão arterial. Esse mecanismo sobrecarrega o miocárdio e aumenta a demanda de oxigênio. O calor induz vasodilatação e sudorese, o que aumenta a demanda cardiovascular pela elevação da frequência cardíaca. A desidratação decorrente altera a hemoconcentração e o balanço eletrolítico, desencadeando eventos cardiovasculares agudos.

Conclusão: Frio e calor extremos geram estresse térmico, que induzem inflamação sistêmica, contribuindo para progressão de doenças cardiovasculares. A compreensão dos mecanismos biológicos que mediam os efeitos adversos do frio e do calor sobre o sistema cardiovascular é essencial para o desenvolvimento de estratégias de intervenção eficazes.

PALAVRAS-CHAVE: Doenças cardiovasculares. Mudança climática. Regulação da temperatura corporal.

Mensagem central

As mudanças climáticas têm impactos significativos na saúde cardiovascular, especialmente durante extremos de temperatura, impactando especialmente populações vulneráveis, como idosos e pessoas com comorbidades. Esse estudo esclarece de que forma as ondas de calor e frio interferem no funcionamento adequado do sistema cardiovascular e quais são as consequências dessas alterações.

Perspectiva

Estudos sobre mudanças climáticas e doenças cardiovasculares indicam que a exposição a extremos de temperatura está correlacionada com um aumento significativo de eventos cardiovasculares como AVC, insuficiência cardíaca, arritmias e formação de trombos. Compreender essas mudanças é de suma necessidade para prever e mitigar possíveis efeitos adversos desencadeados

ABSTRACT

Introduction: Ambient temperature impacts cardiovascular health through multifaceted biological mechanisms, causing imbalances in thermal homeostasis, which impair the cardiovascular system. Temperature extremes lead to vascular changes, autonomic nervous system responses, arrhythmias, inflammation, and oxidative stress.

Objective: Analyze the existing scientific literature in order to synthesize the main information about the influence of climate change on cardiovascular events.

Method: Searches were conducted in the PubMed, ScienceDirect, Web of Science, and Scielo databases. The descriptors used were: "cardiovascular diseases, climate change, and body temperature regulation". The inclusion criteria comprised review articles published from 2005 onwards, in Portuguese and English. A total of 24 articles were selected.

Result: Cold causes vasoconstriction, tachycardia, and increased blood pressure, resulting in myocardial ischemia, especially in patients with coronary plaques. Cold exposure increases angiotensin-II, leading to vasoconstriction and hypertension. This mechanism overloads the myocardium and increases oxygen demand. Heat induces vasodilation and sweating, which increases cardiovascular demand due to elevated heart rate. Resulting dehydration alters hemoconcentration and electrolyte balance, triggering acute cardiovascular events.

Conclusion: Extreme cold and heat generate thermal stress, which induces systemic inflammation, contributing to the progression of cardiovascular diseases. Understanding the biological mechanisms that mediate the adverse effects of cold and heat on the cardiovascular system is essential for developing effective intervention strategies.

KEYWORDS: Cardiovascular diseases. Climate change. Body temperature regulation.

[1]*Evangelical Mackenzie Faculty of Parana, Curitiba, PR, Brazil.*

Conflito de interesse: Nenhum | Financiamento: Nenhum | Recebido em: 10/08/2025 | Aceito em: 27/10/2025 | Data de publicação: 28/11/2025 | Correspondência: evelyn_klos@hotmail.com | Editor Associado: Jurandir Marcondes Ribas Filho

Como citar:
Mazur EK, Grein Neto H, Bíscaro SSP, Moraes BHS, Palma IB, Guimarães LEL, Garcia AC. Efeitos das mudanças climáticas na saúde cardiovascular: um enfoque nos extremos de temperatura.. BioSCIENCE. 2025;83(S2):e00001

CC BY

INTRODUÇÃO

As doenças cardiovasculares são a primeira causa de morte em todo mundo1 e tornaram-se grandes males deste século no Brasil e na maioria dos países desenvolvidos. Ademais, a doença coronariana é a maior causa de mortalidade no mundo, conforme a Organização Mundial de Saúde (OMS)[1], sendo a segunda no Brasil (12,4%), seguida pelo acidente vascular cerebral (9,1%).[2] Além disso, no Brasil, segundo dados do Ministério da Saúde, o aparelho circulatório foi responsável por 31,46% dos óbitos, sendo a maior das causas superior à soma das 2 seguintes (neoplasias e causas externas).[3] Ainda, evidências apontam que para cada aumento de 1°C na temperatura ambiente, há aumento de 2,1% na mortalidade cardiovascular e de 0,5% na morbidade cardiovascular. Essas associações são especialmente preocupantes em regiões tropicais, onde os riscos são mais elevados.[4]

As doenças cardiovasculares costumam ser silenciosas, de evolução lenta, possuindo longo período assintomático, mas que podem ser identificadas, tratadas e controladas antes de qualquer complicação ou da eclosão de evento grave.[5]

A relação entre mudanças climáticas e a saúde cardiovascular é complexa e multifacetada, impactando o corpo humano de diversas maneiras, podendo ocorrer por inúmeros mecanismos biológicos.[6] Sabe-se que, normalmente, estão associados aos esforços termorregulatórios causados pela exposição ao frio e ao calor extremos e envolvem alterações vasculares, respostas do sistema nervoso autônomo, arritmias, inflamação e estresse oxidativo.[7]

O objetivo desta revisão foi analisar a produção científica existente sobre a influência das mudanças climáticas nos eventos cardiovasculares.

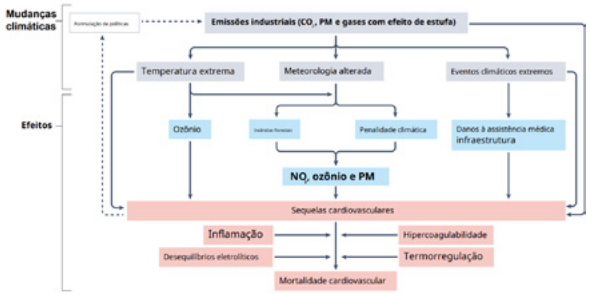
MÉTODO

Trata-se de revisão narrativa realizada nas bases de dados PubMed, ScienceDirect, Web of Science e Scielo. A busca utilizou as seguintes palavras-chave: "cardiovascular diseases, climate change, body temperature regulation". Os critérios de inclusão compreenderam artigos de revisão a partir do ano de 2005, publicados em português e inglês, disponíveis em texto completo. Foram excluídos os que fugiam da temática. Ao total, foram selecionados 24 artigos.

DISCUSSÃO

Os mecanismos pelos quais as mudanças climáticas afetam o sistema cardiovascular incluem o aumento do estresse oxidativo, inflamação e mudanças hemodinâmicas (Figura). A exposição a temperaturas extremas pode desregular a homeostase térmica, levando à desidratação e ao aumento da viscosidade do sangue, o que promove a formação de trombos.[8]

Os mecanismos fundamentais que contribuem para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares em condições de temperaturas extremas estão associados a diversos caminhos regulatórios. Isso inclui a reação simpática à temperatura, a ativação do sistema renina-angiotensina (RAS) em resposta ao frio, a desidratação causada tanto pelo frio quanto pelo calor, alterações provocadas por temperaturas extremas e a resposta inflamatória sistêmica resultante de insolação.[10]



Fonte: Romanello et al.[9]

FIGURA — O efeito das mudanças climáticas no desenvolvimento de doenças cardiovasculares

Em termos de impacto direto, a inflamação sistêmica causada por estresse térmico pode aumentar os níveis de diversos marcadores inflamatórios, contribuindo para a progressão da aterosclerose. Os marcadores mais comumente elevados incluem a proteína C-reativa (PCR), interleucina-6 (IL-6), fator de necrose tumoral alfa (TNF-α) e moléculas de adesão celular, como a molécula de adesão intercelular-1 (ICAM-1) e a molécula de adesão vascular-1 (VCAM-1). A proteína C-reativa (PCR) é um marcador de inflamação amplamente utilizado na prática clínica. Níveis elevados dela são associados ao maior risco de eventos cardiovasculares, como infarto do miocárdio e AVC. A IL-6 - citocina pró-inflamatória - também é frequentemente elevada em resposta à exposição a poluentes atmosféricos e ao estresse térmico, promovendo inflamação vascular e disfunção endotelial. O TNF-α é outra citocina chave na inflamação sistêmica, contribuindo para a apoptose de células endoteliais e a formação de placas ateroscleróticas. Além disso, as moléculas de adesão celular como ICAM-1 e VCAM-1 facilitam a aderência de leucócitos às paredes dos vasos sanguíneos, promovendo a inflamação e a progressão da aterosclerose.[11]

A exposição ao frio acarreta vasoconstrição, taquicardia e o aumento da pressão arterial. Esses efeitos podem levar a isquemia miocárdica, especialmente em pacientes portadores de placas coronárias, que podem engrossar e sofrer ruptura. Contribui para esse processo as alterações da hemoconcentração (concentração sanguínea de fatores de coagulação, plaquetas, colesterol, fibrinogênio e eritrócitos) devido à poliúria. Além disso, durante as estações mais frias, o nível de colesterol no sangue costuma estar mais alto. Esses mecanismos podem levar ao aumento da resistência vascular e da pressão arterial, espasmos coronários, a formação e ruptura de placas e até trombose, que podem causar eventos cardiovasculares.[12]

Outros mecanismos relacionados às ativações do sistema simpático e do sistema renina-angiostesina têm sido associados à elevação da pressão arterial e aos eventos cardiovasculares, como infarto do miocárdio. Investigações têm mostrado o aumento da ativação simpática e de níveis de angiotensina-II após a exposição

ao frio. Mecanismos relacionados ao crescimento da placa aterosclerótica, além do aumento da instabilidade e a possibilidade de ruptura da placa, durante o frio, têm sido apontados.[13]

O organismo, visando à geração de calor nos períodos mais frios, intensifica a atividade muscular, ocasionando assim sobrecarga no coração.[14] Além da vasoconstrição que as temperaturas do ar mais baixas ocasionam, existem ainda fatores fisiológicos que se alteram com temperaturas baixas. O segundo seria a maior ativação dos fatores formadores de coágulos, ocasionando maior ocorrência de doenças isquêmicas, tais como o infarto.

Estudos indicam que a exposição ao ar frio pode aumentar significativamente os níveis de angiotensina-II no plasma.[15,16] Em temperaturas baixas, a liberação de norepinefrina e a ativação do sistema renina-angiotensina podem causar vasoconstrição sistêmica e hipertensão arterial. Isso aumenta o trabalho do miocárdio e a demanda de oxigênio, elevando o risco de eventos cardiovasculares e cerebrovasculares. Curiosamente, os níveis de epinefrina não parecem ser afetados por temperaturas mais baixas, sugerindo que o aumento da norepinefrina pode ser devido à liberação de terminações nervosas simpáticas, e não à secreção da medula adrenal.[17]

Já a exposição ao calor, acarreta vasodilatação e sudorese. Esses mecanismos visam diminuir o aumento da temperatura central, porém impondo demanda aguda ao sistema cardiovascular. Nessa cadeia de eventos o sangue se acumula na região cutânea, reduzindo o volume sanguíneo central, na região do tórax e do abdome. Devido a essa redução, o débito cardíaco é melhorado por meio do aumento da frequência cardíaca. Esta pode ser uma das razões pelas quais pacientes com insuficiência cardíaca respondem mal ao estresse térmico. O calor induz a sudorese e o aumento do volume de sangue nas regiões cutâneas, que causam desidratação, o aumento da viscosidade sanguínea, a hipotensão e aumentam a sobrecarga cardíaca, também estando relacionados aos problemas cardiovasculares. A exposição ao calor ainda acarreta alterações na hemoconcentração, relacionada à desidratação causada pela sudorese. Ainda em relação à hidratação, mudanças no balanço eletrolítico e ácido-base podem ser consideradas como gatilho para eventos cardiovasculares agudos.[18]

Além disso, a exposição ao calor extremo pode levar à desidratação e ao aumento da viscosidade sanguínea, promovendo a formação de trombos e, consequentemente, eventos cardiovasculares agudos. Por outro lado, as ondas de frio intenso também contribuem para a mortalidade cardiovascular, uma vez que podem provocar constrição dos vasos sanguíneos e aumento da pressão arterial, exacerbando o risco de infartos e derrames.[19] Portanto, a desidratação contribui para o risco cardiovascular não apenas através da depleção de volume, mas também através da hemoconcentração e do aumento da viscosidade do sangue.[10] A hipertermia pode causar anormalidades eletrolíticas, aumentando o risco de arritmias cardíacas.[20,21] A hipotermia, por outro lado, pode induzir bradicardia e desencadear arritmias potencialmente fatais. Alterações no eletrocardiograma são observadas em indivíduos com baixas temperaturas corporais.[22] O calor pode causar mudanças em proteínas sensíveis ao calor, ativando uma cascata inflamatória que contribui para a falência de múltiplos órgãos.[22,23] A insolação é situação grave relacionada ao calor que leva à disfunção de múltiplos órgãos e encefalopatia, afetando principalmente idosos, pacientes cronicamente doentes ou com doença cardiovascular.[22,24]

CONCLUSÃO

As variações de temperatura exercem impacto significativo sobre a saúde cardiovascular, especialmente entre populações vulneráveis, como idosos e pessoas com comorbidades preexistentes. Observados os mecanismos fisiopatológicos do frio e calor sobre o metabolismo definiu-se que frio extremo está associada ao aumento na incidência de infarto do miocárdio, arritmias e acidente vascular cerebral (AVC) e por outro lado, o calor extremo pode ocasionar distúrbios eletrolíticos e sobrecarga térmica, levando à maior incidência de insuficiência cardíaca, arritmias e também AVC. Nesse sentido é essencial compreender esses mecanismos biológicos para o desenvolvimento de estratégias de intervenção eficazes, sendo crucial a implementação de medidas preventivas, como o monitoramento da saúde cardiovascular durante ondas de calor e frio, especialmente em grupos de risco. Priorizando essas ações, será possível mitigar os efeitos adversos das mudanças climáticas na saúde cardiovascular da população.

Contribuição dos autores
Evelyn Kloster Mazur: Conceituação
Homero Grein Neto: Análise formal
Sofia Sant' Anna Pofahl Bíscaro: Investigação
Bruno Henrique Strapasson Moraes: Metodologia
Isabela Bonk Palma: Administração do projeto
Luiz Eduardo Latorre Guimarães: Redação (esboço original):
Todos os autores: Redação (revisão e edição)

REFERÊNCIAS

1. World Health Organization (WHO). Cardiovascular diseases (CVDs). Disponível em: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/en/.
2. Brasil. Ministério da Saúde. DATASUS. Mortalidade geral. Disponível em: http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/.
3. Basu R. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. Environ Health. 2009;8:40. https://doi.org/10.1186/1476-069x-8-40
4. Phung D, Thai PK, Guo Y, Morawska L, Rutherford S, Chu C. Ambient temperature and risk of cardiovascular hospitalization: an updated systematic review and meta-analysis. Sci Total Environ. 2016;572:391-400. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.154
5. Lessa I. Epidemiologia das Doenças Cardiovasculares. In: Filho NDA, Barreto ML, editores. Epidemiologia & Saúde: fundamentos, métodos e aplicações. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2011.
6. Baccini M, Kosatsky T, Analitis A, Anderson HR, D'Ovidio M, Menne B, et al. Impact of summer heat on urban population mortality in different age groups: a time series study in European cities. Environ Health. 2008;7:38.
7. Liu C, Yavar Z, Sun Q. Cardiovascular response to thermoregulatory challenges. Am J Physiol Heart Circ Physiol. 2015;309(11):H1793-812. https://doi.org/10.1152/ajpheart.00199.2015
8. Schwartz J. Who is sensitive to extremes of temperature?: A case-only analysis. Epidemiology. 2005;16(1):67-72. https://doi.org/10.1097/01.ede.0000147114.25957.71

9. Khraishah H, Alahmad B, Ostergard-Jr RL, AlAshqar A, Albaghdadi M, Vellanki N, et al. Climate change and cardiovascular disease: implications for global health. Nat Rev Cardiol. 2022 ;19(12):798-812. https://doi.org/10.1038/s41569-022-00720-x

10. De Vita A, Belmusto A, Di Perna F, Tremamunno S, De Matteis G, Franceschi F, et al. The impact of climate change and extreme weather conditions on cardiovascular health and acute cardiovascular diseases. J Clin Med. 2024;13:759. https://doi.org/10.3390/jcm13030759

11. Vanos JK, Baldwin JW, Jay O, Ebi KL. Simplicity lacks robustness when projecting heat-health outcomes in a changing climate. Nat Commun. 2020;11(1):6079. https://doi.org/10.1038/s41467-020-19994-1

12. Bhatnagar A. Environmental determinants of cardiovascular disease. Circ Res. 2017;121(2):162-80.

13. Giorgini P, et al. Climate changes and human health: a review of the effect of environmental stressors on cardiovascular diseases across epidemiology and biological mechanisms. Curr Pharm Des. 2017;23(22):3247-61.

14. Genaro V. Relações entre o tempo atmosférico e doenças cardiorespiratórias na cidade de Cordeirópolis-SP. Rio Claro (SP): Universidade Estadual Paulista; 2011.

15. Sun Z. Cardiovascular responses to cold exposure. Front Biosci (Elite Ed). 2010;2:495-503. https://doi.org/10.2741/e108

16. Zhang X, Zhang S, Wang C, Wang B, Guo P. Effects of moderate strength cold air exposure on blood pressure and biochemical indicators among cardiovascular and cerebrovascular patients. Int J Environ Res Public Health. 2014;11:2472-87. https://doi.org/10.3390/ijerph110302472

17. Luo B, Zhang S, Ma S, Zhou J, Wang B. Effects of cold air on cardiovascular disease risk factors in rat. Int J Environ Res Public Health. 2012;9:2312-25. https://doi.org/10.3390/ijerph9072312

18. Lin YK, Chang CK, Wang YC, Ho TJ. Acute and prolonged adverse effects of temperature on mortality from cardiovascular diseases. PLoS One. 2013;8(12):e82678.

19. Schwartz J. Who is sensitive to extremes of temperature?: A case-only analysis. Epidemiology. 2005;16(1):67-72. https://doi.org/10.1097/01.ede.0000147114.25957.71

20. Heidari L, Winquist A, Klein M, O'Lenick C, Grundstein A, Ebelt Sarnat S. Susceptibility to heat-related fluid and electrolyte imbalance emergency department visits in Atlanta, Georgia, USA. Int J Environ Res Public Health. 2016;13:982. https://doi.org/10.3390/ijerph13100982

21. Covino BG, D'Amato HE. Mechanism of ventricular fibrillation in hypothermia. Circ Res. 1962;10:148-55. https://doi.org/10.1161/01.res.10.2.148

22. Epstein Y, Yanovich R. Heatstroke. N Engl J Med. 2019;380:2449-59. https://doi.org/10.1056/nejmra1810762

23. Gaudio FG, Grissom CK. Cooling methods in heat stroke. J Emerg Med. 2016;50:607-16. https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2015.09.014

24. Cheng J, Xu Z, Bambrick H, Prescott V, Wang N, Zhang Y, et al. Cardiorespiratory effects of heatwaves: a systematic review and meta-analysis of global epidemiological evidence. Environ Res. 2019;177:108610. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108610