

O efeito da temperatura do ar na mortalidade por doenças cerebrovasculares no Brasil entre 1996-2017

The effect of air temperature on mortality from cerebrovascular diseases in Brazil between 1996 and 2017

Mikaela Santos Mascarenhas (<https://orcid.org/0000-0003-0474-5512>)¹

Diego Duque da Silva (<https://orcid.org/0000-0002-3978-5859>)¹

Mário Círio Nogueira (<https://orcid.org/0000-0001-9688-4557>)¹

William Cossich Marcial de Farias (<http://orcid.org/0000-0002-0349-1488>)²

Cássia de Castro Martins Ferreira (<https://orcid.org/0000-0002-6070-7257>)³

Letícia de Castro Martins Ferreira (<https://orcid.org/0000-0002-2916-4477>)¹

Abstract Cerebrovascular diseases (CVD) are one of the leading causes of mortality globally. Air temperature is one of the risk factors for CVD; however, few studies have investigated the relationship between air temperature and mortality from these diseases in Brazil. This time series study investigated the relationship between air temperature and CVD mortality in 10 microregions located across Brazil's five regions during the period 1996 to 2017 using mortality data from the national health information system, DATASUS and daily mean temperature data. The association between mean air temperature and mortality from CVD was measured using generalized additive models with Poisson distribution and relative and attributable risks were estimated together with 95% confidence intervals using distributed lag non-linear models and a 14-day lag. There were 531,733 deaths from CVD during the study period, 21,220 of which (11,138-30,546) were attributable to air temperature. Minimum mortality temperatures ranged from 20.1°C in Curitiba to 29.6°C in Belém. Associations between suboptimal air temperatures and increased risk of death from CVD were observed in all of Brazil's five regions. Relative risk from the cold was highest in Manaus (RR 1.53; 1.22-1.91) and Campo Grande (RR 1.52; 1.18-1.94), while relative risk from heat was highest in Manaus (RR 1.75; 1.35-2.26) and Brasília (RR 1.36; 1.15-1.60).

Key words Stroke, Mortality, Temperature, Climate

Resumo As doenças cerebrovasculares (DCV) estão entre as principais causas de mortalidade no mundo e a temperatura do ar é um dos seus fatores de risco, embora sua relação seja pouco estudada no Brasil. Este artigo objetiva investigar a relação entre temperatura do ar e mortalidade por DCV em 10 microrregiões nas cinco grandes regiões brasileiras. Foi realizado estudo de séries temporais com os óbitos diários por DCV e a média diária de temperatura do ar no período de 1996 a 2017. Foram utilizados dados do Departamento de Informática do SUS (DATASUS) e modelos aditivos generalizados com distribuição de Poisson e os riscos relativos e atribuíveis foram estimados (com intervalo de confiança de 95%) até uma defasagem de 14 dias com modelos DLNM (distributed lag non-linear models). No período ocorreram 531.733 óbitos por DCV nestas microrregiões, dos quais 21.220 (11.138-30.546) atribuíveis à temperatura do ar. As temperaturas de mortalidade mínima variaram entre 20,1°C em Curitiba a 29,6°C em Belém. Foram observadas associações entre temperaturas não ótimas do ar e aumento no risco de óbito em todas as cinco regiões brasileiras, destacando Manaus com risco relativo (RR) 1,53 (1,22-1,91) e Campo Grande com RR 1,52 (1,18-1,94) no frio, e Manaus com RR 1,75 (1,35-2,26) e Brasília com RR 1,36 (1,15-1,60) no calor.

Palavras-chave Acidente Vascular Cerebral, Mortalidade, Temperatura, Clima

¹ Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Av. Eugênio do Nascimento s/n, Dom Bosco. 36038-330 Juiz de Fora MG Brasil. mikaelamascarenhas@gmail.com

² University of Bologna. Bologna BO Italia.

³ Departamento de Geociências, Instituto de Ciências Humanas, UFJF. Juiz de Fora MG Brasil.

Introdução

As doenças cerebrovasculares, representadas principalmente pelo Acidente Vascular Cerebral (AVC), são uma das principais causas de mortalidade no mundo¹. É essencial uma boa compreensão sobre seus fatores de risco, a fim de reduzir a morbimortalidade populacional. Estudos recentes têm demonstrado associações entre a temperatura do ar e a mortalidade por doenças cerebrovasculares²⁻⁷. Tal discussão a respeito do comprometimento do clima na saúde humana tem se tornado tão relevante que, na última edição do *Global Burden of Disease*, relativo ao ano de 2019⁸, a temperatura do ar extrema foi adicionada aos principais fatores de risco para a morbimortalidade mundial.

A fisiopatologia responsável pela relação entre a temperatura do ar e as doenças cerebrovasculares é multifatorial. As baixas temperaturas do ar estimulam receptores periféricos da pele, o que resulta em vasoconstrição e sobrecarga do sistema circulatório através da liberação de catecolaminas. Além disso, a exposição ao frio pode gerar estados de hipercoagulabilidade sanguínea e contribuir para a gênese dessas doenças⁹. Já em relação às altas temperaturas, a exposição ao calor provoca inflamação local e sistêmica, com liberação de interleucinas pró-inflamatórias, o que favorece a instabilidade de placas ateroscleróticas e a disfunção endotelial. A desidratação devido ao calor gera hemoconcentração, inibição do sistema fibrinolítico e ativação das vias de coagulação, fatores que são determinantes para o evento vascular agudo⁹.

Sob essa perspectiva, entender que a temperatura do ar é um importante fator de risco para as doenças cerebrovasculares é crucial para que medidas de assistência à saúde e de políticas públicas sejam tomadas. Sistemas de alerta de frio ou calor intensos podem ser eficazes para o incentivo à proteção individual aos eventos extremos de temperatura do ar, principalmente em grupos vulneráveis^{10,11}.

O objetivo desse estudo foi trazer novas evidências sobre a relação da temperatura do ar com a mortalidade por doenças cerebrovasculares no Brasil em dez microrregiões brasileiras, de maneira a alertar a população, os profissionais e gestores de saúde quanto a necessidade de desenvolvimento de medidas para reduzir tais repercussões.

Embora existam dados epidemiológicos em vários países sobre o papel da temperatura do ar na mortalidade por doenças cerebrovasculares,

no Brasil eles são muito limitados, geralmente analisando apenas uma região ou um curto intervalo de tempo. Este estudo apresenta o diferencial de ampliar o conhecimento na área e discute como a temperatura do ar impacta nas mortes por doenças cerebrovasculares em todas as cinco regiões geográficas do país ao longo de 21 anos (1996-2017).

Métodos

População de estudo

Trata-se de um estudo de série temporal, onde avaliamos o efeito da variação da média diária de temperatura do ar na mortalidade por doenças cerebrovasculares. Em cada uma das cinco regiões geográficas do Brasil, foram escolhidas as duas maiores cidades, que correspondem às microrregiões definidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com exceção da região Centro-Oeste, na qual foi descartada a segunda maior (Goiânia-GO) devido à proximidade com a primeira (Brasília-DF). Assim, foram selecionadas as dez seguintes microrregiões que representam diferentes realidades sociais e climáticas brasileiras: Porto Alegre-RS (Sul), Curitiba-PR (Sul), São Paulo-SP (Sudeste), Rio de Janeiro-RJ (Sudeste), Brasília-DF (Centro-Oeste), Campo Grande-MS (Centro-Oeste), Salvador-BA (Nordeste), Recife-PE (Nordeste), Manaus-AM (Norte) e Belém-PA (Norte). O período de análise foi de 21 anos, referente a janeiro de 1996 a dezembro de 2017.

Dados

Os dados sobre mortalidade por doenças cerebrovasculares (Código I60 a I69, CID 10) foram coletados através do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS)¹². A temperatura média diária foi calculada a partir dos dados da reanálise ERA-Interim¹³ do Centro Europeu de Previsão do Tempo de Médio Prazo (ECMWF). Um sistema de reanálise consiste da combinação de um modelo de previsão do tempo e um sistema de assimilação de dados meteorológicos observados em diferentes plataformas, como embarcações, aviões, radiossondas e satélites. Tais observações possuem uma distribuição irregular no espaço e no tempo, assim, a assimilação combina todas as informações disponíveis com um modelo de previsão do tempo para gerar uma nova análise da atmosfera em cada instante

determinado¹⁴. Foram calculadas médias diárias de temperaturas do ar, sobre pontos de uma grade horizontal uniforme, com aproximadamente 13 km de espaço entre si. Os pontos identificados dentro de cada microrregião foram usados para se obter a temperatura média diária das microrregiões. Apesar de haver variações de temperatura dentro de cada microrregião, a temperatura média diária é capaz de representar bem o comportamento das temperaturas em cada microrregião⁴, além de ser geralmente utilizada nos artigos que abordam a relação entre a saúde e clima¹⁵. Os modelos de equação utilizados pela reanálise ERA-Interim apresentam um satisfatório desempenho comparando-os com dados meteorológicos, com correlação igual ou superior a 96% no estado do Rio Grande do Sul¹⁶. Todos esses dados estão disponíveis publicamente e, portanto, o estudo não necessita de aprovação por um comitê de ética em pesquisa de acordo com a resolução nº 510 do Conselho Nacional de Saúde.

Análise estatística

Foram descritas em tabelas as distribuições estatísticas de média diária da temperatura do ar e óbitos diários por doenças cerebrovasculares por microrregião. Gráficos *boxplot* com a distribuição mensal da frequência de óbitos e da temperatura média foram usados para visualizar a variabilidade destas variáveis em cada região.

Com o intuito de analisar a associação entre temperatura média do ar com a mortalidade por doenças cerebrovasculares, foram utilizados modelos aditivos generalizados com distribuição binomial negativa, sendo que o tempo foi modelado através de um *spline* cúbico natural com oito graus de liberdade por ano, a fim de ajustar para tendência de longo prazo e sazonalidade. O dia da semana foi incluído nos modelos para ajustar os dias em que a mortalidade devida às doenças cerebrovasculares foi maior, como, por exemplo, finais de semana. Os efeitos não lineares e de intervalo de tempo foram estimados a partir de modelos não lineares de defasagem distribuída (DLNM - *distributed lag non-linear model*)¹⁷. O DLNM, já consolidado em estudos que associam variáveis climáticas observadas na forma de séries temporais a desfechos em saúde¹⁸, permite analisar a associação entre as variáveis de forma não linear e na dimensão de defasagem no tempo (*lag*), por meio da função *cross-basis*. Nesta, selecionamos um *spline* natural com cinco graus de liberdade para a função exposição-resposta e uma função polinomial com um intercepto e

quatro graus de liberdade para a função *lag*-resposta, para dar aos modelos uma maior flexibilidade. Este modelo incluiu estimativas de até 14 dias de defasagem. Para tal, foi usado o programa estatístico R versão 4.1.0 e os pacotes usados nas análises foram *dlnm*, *mgcv*, *splines* e *ggplot2*.

O modelo está representado na equação abaixo:

$$Y_t \sim \text{Binomial negativa}(\mu_t) \\ \log(\mu_t) = \alpha + \beta \text{Temperatura}_{t,\text{lag}} + \text{NS}(\text{tempo}, \text{gl}) + \gamma \text{Dia}_t$$

Em que Y_t são os óbitos diários observados no dia t ; α é o intercepto; $\text{Temperatura}_{t,\text{lag}}$ é uma matriz de variáveis obtida pela transformação da temperatura em um objeto *cross-basis*, sendo β seu vetor de coeficientes e *lag* a defasagem em dias; $\text{NS}(\text{tempo}, \text{gl})$ é o *spline* natural do tempo em dias, com *gl* indicando os graus de liberdade por ano, para controle de tendência de longo prazo e sazonalidade.

Foram estimados riscos relativos acumulados (RR) de mortalidade por doenças cerebrovasculares para cada microrregião brasileira para alguns percentis (P) da distribuição de temperatura em relação à temperatura de mortalidade mínima - TMM (referência), com defasagem de 14 dias. Dessa forma, os percentis 2,5 e 10 representam respectivamente frio extremo e frio moderado, enquanto 90 e 97,5, calor moderado e calor extremo. Por fim, estimamos riscos atribuíveis a intervalos de temperatura entre estes percentis: (a) risco atribuível (RA) ao frio extremo (entre a temperatura mais baixa e o percentil 2,5); (b) RA ao frio moderado (entre os percentis 2,5 e 10); (c) RA ao frio ameno (entre o percentil 10 e a TMM); (d) RA de calor ameno (entre a TMM e o percentil 90); (e) RA de calor moderado (entre os percentis 90 e 97,5); (f) RA de calor extremo (entre o percentil 97,5 e a temperatura mais alta).

Resultados

A maioria das microrregiões apresentou médias de temperaturas do ar mais elevadas nos meses de verão e menores no inverno, com exceção de Manaus e Belém. Nestas, o predomínio de altas temperaturas do ar ocorreu durante a primavera, entre os meses de setembro a novembro (Figura 1).

A maior média diária de temperatura do ar foi observada em Fortaleza na região Nordeste e a menor em Curitiba, no Sul do país. A região Norte, em média, foi a que apresentou as maiores temperaturas e a região Sul, em contrapartida, teve os menores registros (Tabela 1).

Em relação às variações nas temperaturas médias entre os dias, nota-se que Porto Alegre apresentou os maiores valores, com desvio padrão de 4,6°C. Por outro lado, Fortaleza foi a microrregião com menor variação, com desvio padrão de 0,9°C (Tabela 1).

Um total de 531.733 mortes por doenças cerebrovasculares foi analisado neste estudo. Os valores ficaram entre 0 e 60 óbitos diários nas regiões analisadas. O Rio de Janeiro obteve o maior registro de óbitos. Campo Grande foi a microrregião com o menor número (Tabela 1).

Foi observado um maior risco de mortalidade por doenças cerebrovasculares nos dias com valores extremos de temperatura do ar, tanto em extremos de frio quanto de calor, em todas as cinco regiões geográficas do Brasil (Tabela 2 e Figura 2). Enquanto sete das dez microrregiões apresentaram associação do aumento do risco de mortalidade ao frio extremo, seis delas indicam um aumento do risco associado ao calor extremo. Em cinco microrregiões o aumento de mortalidade também foi associado aos períodos de temperatura moderada.

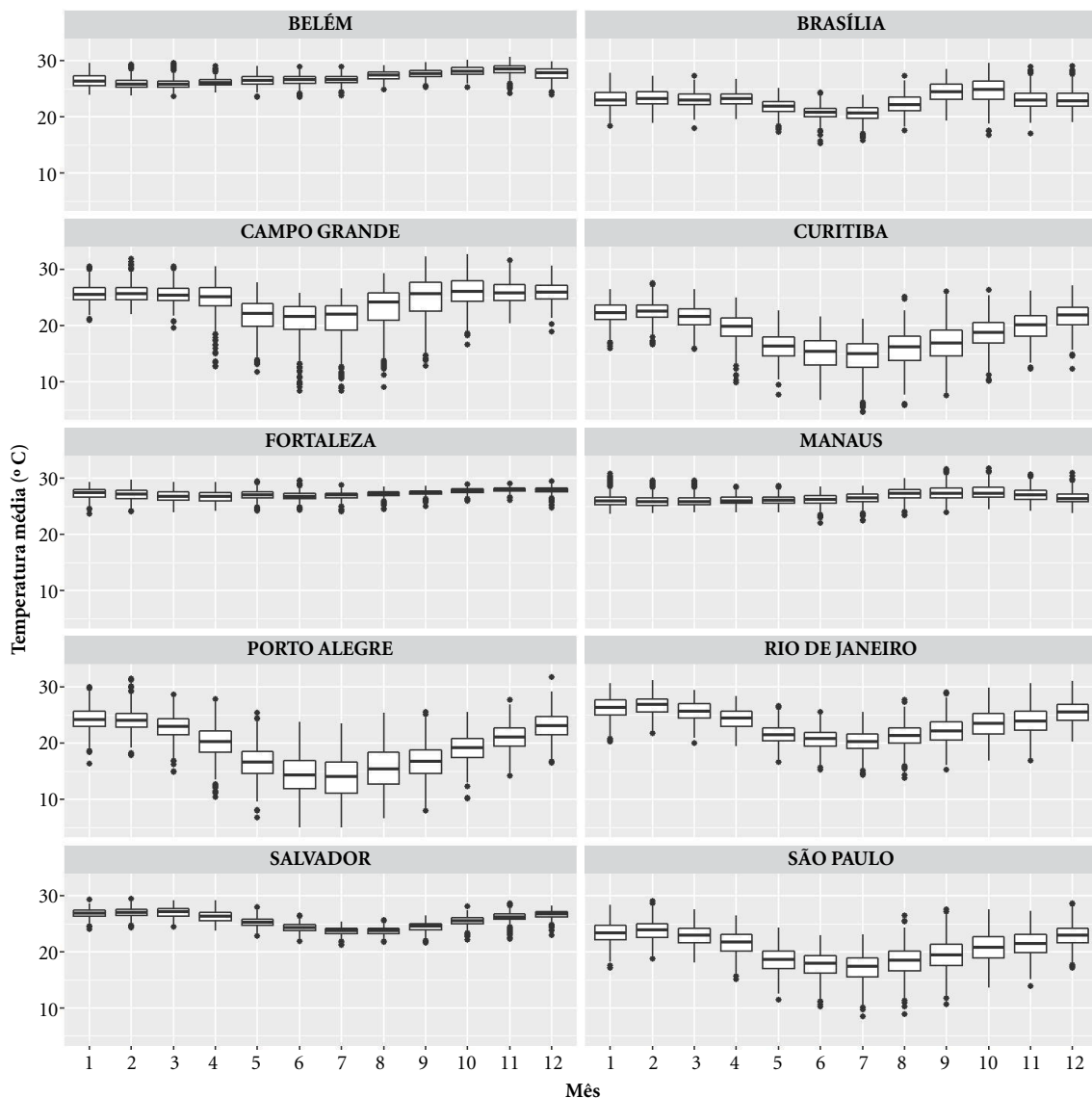


Figura 1. Gráficos *boxplot* da variação da temperatura média das microrregiões, por mês, entre 1996-2017.

Constatou-se que o maior risco relativo (RR) para morte por doença cerebrovascular nos quatro percentis analisados ocorreu na microrregião de Manaus. Em relação ao frio extremo, Curitiba, no Sul, e Campo Grande, no Centro-Oeste, também obtiveram maior destaque. Por outro lado, o calor extremo apresentou maiores associações

em Manaus, seguido por Porto Alegre, no Sul, e Brasília, no Centro-Oeste. Belém foi a única microrregião que não apresentou aumento de RR para nenhuma das temperaturas estudadas.

Em geral, Manaus e as microrregiões do Sul e do Centro-Oeste obtiveram as maiores frações atribuíveis de mortalidade nas diferentes faixas

Tabela 1. Distribuições da temperatura média diária e de óbitos diários por doenças cerebrovasculares para as 10 microrregiões brasileiras no período de 1996-2017.

Microrregião	Min	Q1	Q2	Q3	Max	Média	DP	Soma
Temperatura média								
Belém	23,5	26,1	26,9	27,9	30,7	27,0	1,2	-
Manaus	22,0	25,7	26,5	27,3	31,8	26,6	1,2	-
Fortaleza	23,7	26,7	27,4	27,9	29,7	27,3	0,9	-
Salvador	21,3	24,4	25,7	26,8	29,5	25,6	1,5	-
Rio de Janeiro	13,8	21,2	23,4	25,7	31,3	23,4	3,0	-
São Paulo	8,4	18,4	20,8	23,1	29,0	20,6	3,2	-
Brasília	15,3	21,5	22,7	24,1	29,7	22,8	2,0	-
Campo Grande	8,3	22,8	24,8	26,5	32,7	24,3	3,4	-
Curitiba	4,5	16,1	19,0	21,7	27,6	18,7	3,8	-
Porto Alegre	4,9	16,0	19,8	23,0	31,9	19,3	4,6	-
Óbitos								
Belém	0	1	3	4	11	2,7	1,7	21.629
Manaus	0	1	1	2	9	1,6	1,3	13.036
Fortaleza	0	2	4	5	14	3,8	2,1	30.733
Salvador	0	3	4	5	13	4,1	2,0	32.799
Brasília	0	1	2	3	11	2,4	1,6	18.894
Campo Grande	0	0	1	2	7	1,1	1,1	9.210
Rio de Janeiro	5	17	21	24	60	21,0	5,3	168.480
São Paulo	5	16	19	22	38	19,0	4,8	152.919
Curitiba	0	2	4	5	13	3,9	2,0	31.481
Porto Alegre	0	5	6	8	24	6,5	2,8	52.552

Min.: temperatura mínima. Q1: primeiro quartil. Q2: segundo quartil. Q3: terceiro quartil. Max.: temperatura máxima. DP: desvio padrão. Soma: total de óbitos registrados na microrregião durante o período de 1996-2018.

Fonte: Autores.

Tabela 2. Risco relativo de mortalidade por doenças cerebrovasculares para as 10 microrregiões brasileiras no período de 1996-2017.

Microrregião	Pop. Média	TMM (°C)	Frio extremo	Frio moderado	Calor moderado	Calor extremo
Belém	2.047.823	29,6	1,14 (0,82-1,58)	1,12 (0,83-1,5)	1,08 (0,84-1,39)	1,03 (0,93-1,15)
Manaus	1.874.377	26,9	1,53 (1,22-1,91)	1,34 (1,11-1,63)	1,40 (1,14-1,72)	1,75 (1,35-2,26)
Fortaleza	3.181.555	26,6	1,21 (1,04-1,41)	1,04 (0,96-1,12)	1,08 (0,96-1,22)	1,10 (0,96-1,26)
Salvador	3.367.078	24,7	1,04 (0,89-1,21)	1,02 (0,91-1,14)	1,14 (0,99-1,3)	1,19 (1,01-1,4)
Brasília	2.411.607	23,3	1,13 (0,95-1,33)	1,07 (0,92-1,23)	1,24 (1,05-1,46)	1,36 (1,15-1,60)
Campo Grande	820.080	23,6	1,52 (1,18-1,94)	1,19 (0,96-1,47)	1,11 (0,92-1,34)	1,14 (0,91-1,43)
Rio de Janeiro	11.210.710	25,1	1,22 (1,15-1,3)	1,13 (1,08-1,19)	1,11 (1,07-1,16)	1,29 (1,22-1,37)
São Paulo	13.468.222	23,4	1,25 (1,17-1,34)	1,15 (1,09-1,22)	1,04 (1,01-1,06)	1,17 (1,11-1,24)
Curitiba	2.977.460	20,1	1,52 (1,32-1,74)	1,31 (1,16-1,47)	1,07 (0,94-1,22)	1,07 (0,93-1,22)
Porto Alegre	3.598.691	21,6	1,28 (1,14-1,43)	1,16 (1,05-1,28)	1,15 (1,05-1,27)	1,38 (1,24-1,54)

TMM: temperatura de mortalidade mínima por doenças cerebrovasculares (°C). Pop. Média: população média da microrregião entre 1996-2017.

Fonte: Autores.

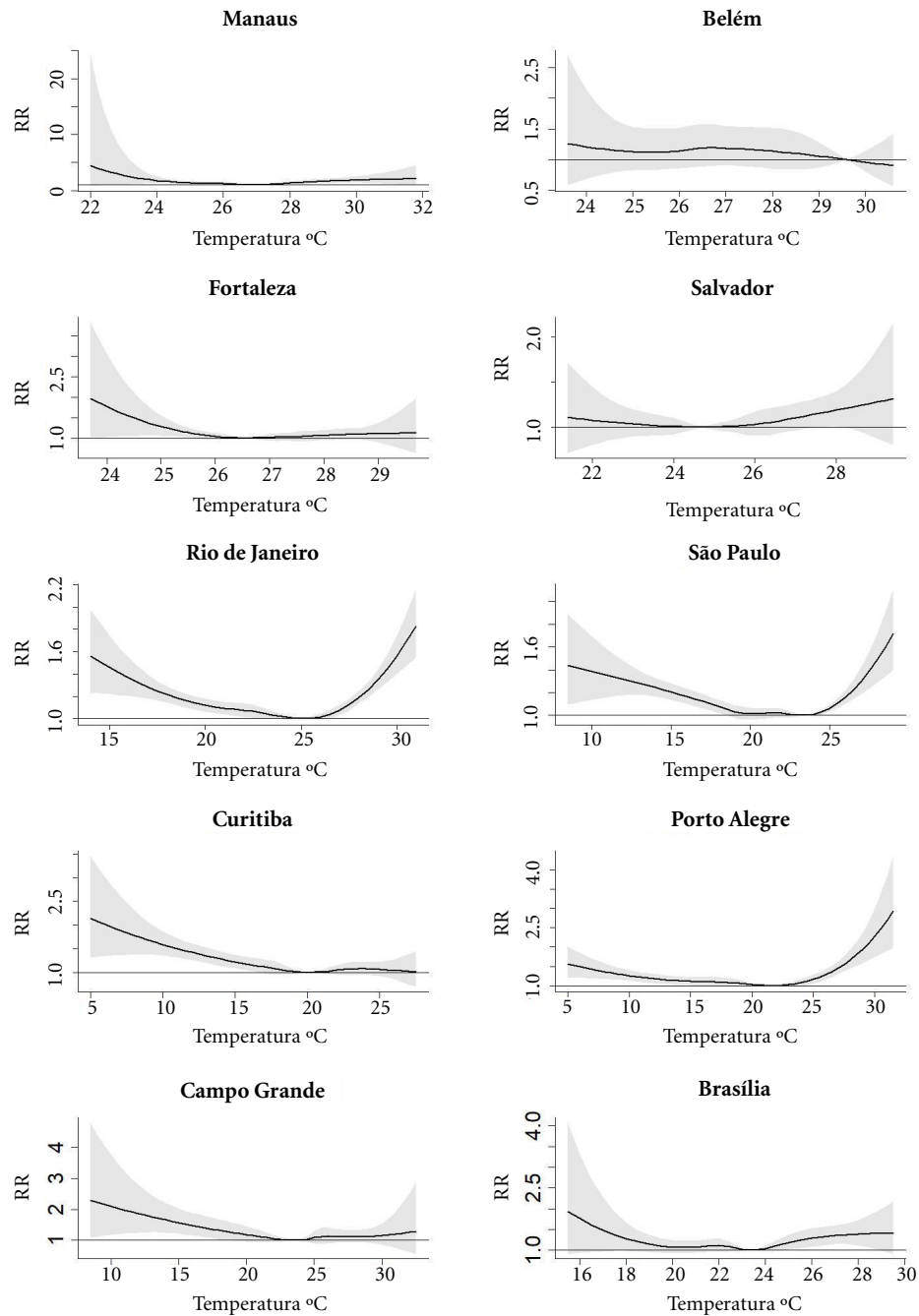


Figura 2. Riscos relativos de mortalidade por doença cerebrovascular nas dez microrregiões brasileiras, entre 1996-2017.

Nota: RR = risco relativo. O sombreado indica o IC95%.

Fonte: Autores.

de temperatura. O frio ameno e calor ameno foram responsáveis por uma fração importante das mortalidades nas microrregiões de Manaus e

Curitiba, sendo essa ainda maior que a das temperaturas extremas, uma vez que a proporção de dias sob temperaturas do ar mais amenas é su-

perior. Embora São Paulo e Rio de Janeiro não tenham sido responsáveis pelas maiores frações atribuíveis em nenhuma das faixas de temperatura, eles obtiveram o maior número de mortes atribuíveis devido a sua maior população.

Estimamos que, somente nessas dez microrregiões, cerca de 1.218 mortes por doenças cerebrovasculares por ano foram causadas por temperaturas diferentes da TMM (Tabela 3).

Discussão

Até o momento, este é o primeiro artigo brasileiro a analisar, de forma abrangente no território nacional, a relação entre a mortalidade por doenças cerebrovasculares e a temperatura do ar. Após o estudo de 531.733 óbitos por essa causa ocorridos ao longo de 21 anos, observamos associação em todas as cinco regiões brasileiras, tanto para

Tabela 3. Fração atribuível (em %) e número atribuível de mortalidade por doenças cerebrovasculares para as dez microrregiões brasileiras no período de 1996-2017.

Microrregião	Frio extremo	Frio moderado	Frio ameno	Calor ameno	Calor moderado	Calor extremo	Soma
Fração atribuível (em %)							
Belém	-	-	-	-	-	-	-
Manaus	0,9 (0,4-1,3)	2,0 (1,0-2,8)	8,4 (1,9-14,3)	3,1 (0,9-4,9)	2,9 (1,6-4,0)	1,3 (0,8-1,8)	-
Fortaleza	0,6 (0,1-1,0)	-	-	-	-	-	-
Salvador	-	-	-	-	-	-	-
Brasília	-	-	-	2,1 (0,2-3,9)	1,8 (0,8-2,8)	0,7 (0,3-1,0)	-
Campo Grande	1,2 (0,7-1,7)	1,9 (0,3-3,2)	-	-	-	-	-
Rio de Janeiro	0,7 (0,5-0,9)	1,1 (0,8-1,5)	3,3 (1,2-5,2)	0,6 (0,1-1,1)	1,1 (0,8-1,4)	0,8 (0,6-0,9)	-
São Paulo	0,7 (0,4-0,9)	1,3 (0,9-1,7)	-	-	0,6 (0,4-0,8)	0,5 (0,4-0,7)	-
Curitiba	1,2 (0,8-1,5)	2,4 (1,7-3,1)	5,1 (0,6-9,4)	-	-	-	-
Porto Alegre	0,8 (0,5-1,1)	1,5 (0,8-2,2)	3,7 (0,0-7,0)	-	1,3 (0,88-1,9)	1,0 (0,8-1,2)	-
Número atribuível							
Belém	-	-	-	-	-	-	-
Manaus	123 (62-167)	256 (124-373)	1.098 (167-1861)	398 (135-630)	376 (212-508)	174 (98-227)	2.425
Fortaleza	186 (31-296)	-	-	-	-	-	186
Salvador	-	-	-	-	-	-	-
Brasília	-	-	-	392 (12-714)	342 (120-515)	130 (56-189)	864
Campo Grande	114 (59-155)	179 (34-294)	-	-	-	-	293
Rio de Janeiro	1.108 (792-1411)	1.922 (1291-2477)	5.491 (2166-8747)	1.079 (178-1968)	1.852 (1353-2325)	1.286 (1034-1518)	12.738
São Paulo	1.005 (664-1293)	1978 (1393-2588)	-	-	891 (572-1211)	840 (585-1079)	4.714
Curitiba	374 (244-472)	766 (523-982)	374 (248-465)	1.615 (186-2906)	-	-	3.129
Porto Alegre	426 (239-584)	794 (410-1156)	-	-	708 (406-1002)	528 (406-637)	2.456

Os espaços em branco indicam as microrregiões onde não houve associação para aquele intervalo de temperatura do ar.

Fonte: Autores.

as baixas temperaturas quanto para as temperaturas elevadas. Nove das dez microrregiões foram associadas a risco elevado de mortalidade sob temperaturas que se distanciam da TMM. Identificamos que 1.218 mortes por ano poderiam ter sido evitadas nas dez microrregiões caso medidas preventivas fossem adotadas para minimizar a exposição aos extremos de temperatura. Vale ressaltar que esse número se torna ainda mais alarmante ao ser projetado nacionalmente. Diante disso, esses achados reforçam a hipótese de que a temperatura do ar é um importante fator de risco para as doenças cerebrovasculares.

Sabe-se que temperaturas do ar baixas ou altas estão associadas ao acréscimo na mortalidade nas diferentes regiões do mundo^{6,19-21}. Uma revisão sistemática de abrangência internacional da relação entre clima e a morbimortalidade por AVC, publicada em 2015, está de acordo com os principais resultados deste artigo. Lian *et al.*², através da análise de vinte artigos sobre o tema, concluíram que, sob altas temperaturas, o aumento de 1°C aumentou cerca de 1,5% as mortes por AVC, enquanto sob baixas temperaturas o aumento foi de 1,2%².

Gasparrini *et al.*²⁰ coletaram dados de 1985 a 2012 em 384 localidades em todos os continentes, exceto África, e encontraram que mais mortes foram atribuídas ao frio que ao calor, sendo que o frio extremo e o calor extremo foram responsáveis por 0,86% das mortes totais por AVC. Estudos em outras localidades, como na China, Irlanda, Irã e EUA obtiveram desfechos semelhantes, com aumento de mortalidade por AVC mais expressivo no frio^{4,7,22-24}. Em Porto Rico²⁵, o AVC e as doenças cardíacas foram as principais causas de morte associadas às elevadas temperaturas no verão e, na Espanha, os maiores riscos de mortalidade por AVC também foram associados à altas temperaturas²⁶.

Na China, muitos foram os estudos encontrados que discutem o assunto^{4-7,27-29}. O risco relativo elevado em temperaturas não ótimas demonstrou que as temperaturas quentes e frias são fatores de risco para mortalidade por AVC no país^{4,5,7}. Assim como neste estudo, as temperaturas extremas obtiveram maiores riscos relativos^{6,7}. No entanto, as temperaturas moderadas foram as principais responsáveis pelas mortes, seguidas pelas temperaturas extremas⁴. Esse achado também foi condizente com este estudo e sua explicação pode estar relacionada ao maior número de dias em que os locais estiveram sob temperaturas moderadas em detrimento das extremas. Resultados de uma pesquisa na Índia re-

forçam a necessidade de se atribuir importância aos dias de temperatura moderada como alvos de intervenções de saúde, e não somente aos dias de temperaturas extremas, uma vez que os maiores riscos atribuíveis para mortalidade por AVC e por todas as demais causas médicas foram encontrados na temperatura moderadamente fria³⁰.

A nível nacional, poucos estudos analisaram a relação da temperatura do ar e os desfechos na morbimortalidade por doenças cerebrovasculares. Em São Paulo, um estudo de série temporal averiguou entre os anos de 2002 e 2011 a associação entre a mortalidade por AVC e a temperatura do ar na cidade, mostrando aumento do risco, em especial para o subtipo hemorrágico e para temperaturas abaixo de 10°C³¹, o que está em consonância com os achados deste estudo para a mesma microrregião. Outro estudo realizado com pacientes admitidos com diagnóstico de AVC ou infarto agudo do miocárdio (IAM) durante dois anos em dois hospitais de São Paulo mostrou que 2,8% e 4,9% das internações, respectivamente, foram devidas às altas temperaturas na cidade, além de mostrar associações adicionais com a poluição do ar³². De forma semelhante ao presente estudo, uma análise de série temporal avaliou seis microrregiões distribuídas em todas as grandes regiões do Brasil e mostrou a relação entre a temperatura do ar com a mortalidade por IAM entre 1996 e 2013, revelando um risco aumentado para exposições às baixas temperaturas e para as altas temperaturas, principalmente nas microrregiões da região Sul e Sudeste do país. Apesar desse estudo não analisar a mortalidade por doenças cerebrovasculares, mas sim por IAM, podemos utilizá-lo comparativamente ao presente estudo, vista as grandes semelhanças na patogênese entre as doenças³³.

Considerando-se a diversidade do extenso território brasileiro, várias são as justificativas plausíveis para os resultados encontrados neste estudo, incluindo as diferenças climáticas. Para a análise do clima foi utilizado a classificação de Köppen-Geiger em todas as dez microrregiões³⁴.

Na região Norte, observa-se associação em Manaus, mas em Belém não foi encontrada associação em nenhum parâmetro. As duas microrregiões compõem um grupo homogêneo em termos de localização e clima, pois ambas estão situadas no bioma Amazônia e sob Clima Equatorial Úmido³⁵. Para os resultados divergentes que foram encontrados vale destacar o baixo número médio diário de óbitos por doenças cerebrovasculares e os poucos dias de exposição a temperaturas extremas. Outro importante ponto a se

analisar nessa região é a assistência à saúde. Um levantamento sobre o número de leitos em Unidades de Terapia Intensiva (UTI) realizado pelo Conselho Federal de Medicina em 2018 mostrou que no estado do Amazonas o número de leitos por 10.000 habitantes era de 2,40 e, no Pará, 4,51. Essa discrepância no número de leitos de UTI pode ser outra possível causa para a associação identificada em Manaus, visto que os pacientes com doenças cerebrovasculares agudas são críticos e necessitam de assistência intensiva³⁶.

No Nordeste do país, Fortaleza e Salvador tiveram associações. Em Fortaleza, o frio extremo foi associado a um risco relativo de 1,21. Entender o clima dessa microrregião brasileira pode ajudar a compreender melhor os resultados encontrados. Fortaleza é de Clima Tropical com Inverno Seco (Aw)³⁷. A temperatura média diária foi a maior entre as dez microrregiões analisadas por este estudo, além de apresentar a menor variação de temperatura, com DP de 0,9. Devido a isso, é possível que a exposição ao frio extremo tenha sido o fator que mais influenciou no desfecho de mortalidade por doença cerebrovascular, já que a população local pode apresentar uma adaptação fisiológica às temperaturas mais elevadas e uma maior susceptibilidade às baixas temperaturas. Salvador, por outro lado, teve associação ao calor extremo. Apesar de ambas as microrregiões estarem situadas no Nordeste do país, elas apresentam significativas diferenças no clima. Salvador é classificada como Clima de Floresta Tropical (Am)³⁸ e, embora seja de clima quente, apresenta valor médio de temperatura do ar menor quando comparada à Fortaleza. É mais frequente episódios de temperaturas amenas associadas às frentes frias em Salvador, o que poderia justificar os achados.

No Centro-Oeste brasileiro, Brasília revelou associação para o calor extremo e calor moderado. O clima da capital do país é classificado como Tropical de Savanas (Aw)³⁷ e, devido a sua continentalidade e posição geográfica, apresenta temperaturas mais elevadas, que podem ter sido fator de risco mais acentuado para essa população. Outra questão importante, e presente em diversas capitais brasileiras, são as Ilhas de Calor. Um estudo demonstrou que os seus efeitos estão fortemente presentes em Brasília, vista a presença de um intenso processo de urbanização em sua região satélite, dos numerosos locais com solo exposto e do desmatamento³⁹. Campo Grande, por sua vez, está situada mais ao sul da região Centro-Oeste e apresentou associação para o frio extremo. Apesar de ter a mesma classificação climática

que Brasília³⁸, a capital do Mato Grosso do Sul apresenta particularidades que podem explicar o resultado observado. Ainda que Campo Grande tenha uma temperatura média bastante elevada, no período do inverno as temperaturas mínimas atingem valores muito baixos, semelhante ao observado em cidades do Sul do país.

Rio de Janeiro e São Paulo, capitais do Sudeste brasileiro com as maiores populações, tiveram maior risco de óbito por doenças cerebrovasculares tanto no frio quanto no calor. Tanto São Paulo, classificada como Clima Subtropical Úmido (Cfa)³⁹, quanto Rio de Janeiro, de Clima Tropical Semiúmido (Aw)³⁹, são marcados pela presença de frequentes massas de ar e sistemas frontais que impõem características distintas de temperatura do ar ao longo do ano, trazendo maior variabilidade de temperatura, o que pode ser observado através dos valores elevados de desvio padrão na distribuição da temperatura do ar. Apesar disso, os climas das duas microrregiões apresentam significativas diferenças. São Paulo, em função de sua continentalidade, possui maior amplitude térmica diária e anual. A massa polar chega mais intensa, provocando ondas de frio mais expressivas. Rio de Janeiro, por outro lado, por ser litorânea, tem amplitude térmica diária e anual menor, ficando sua população mais susceptível também ao frio.

No Sul do Brasil, encontram-se as microrregiões com menores temperaturas médias, com Clima Subtropicais úmidos (Cfa)⁴⁰. Porto Alegre teve associação tanto com frio quanto com calor, enquanto Curitiba, por sua vez, teve associação com o frio extremo e o frio moderado. Uma possível justificativa para explicar as diferenças encontradas entre as duas microrregiões no calor advém do fato de que Porto Alegre tem uma média de temperatura máxima muito superior aos valores registrados em Curitiba. Essa diferença mantém relação, em parte, com a altitude das duas cidades. Curitiba encontra-se a mais de 900 metros em relação ao nível do mar, já Porto Alegre está a cerca de 47 metros de altitude³⁹; ondas de calor são registradas com maior frequência e intensidade em Porto Alegre do que em Curitiba³⁹.

Embora nosso estudo não faça discriminação das microrregiões em grupos populacionais, há evidências em outros estudos que os grupos mais vulneráveis à morte por doenças cerebrovasculares nas temperaturas não ótimas são os idosos, mulheres e pessoas com baixa escolaridade^{5,27,28}. Na China, outro artigo aponta homens e idosos como os principais grupos acometidos e observou que a proporção de mortes relacionadas à

temperatura teve uma tendência decrescente por latitude⁴. Residentes em áreas rurais também foram considerados mais vulneráveis aos efeitos das ondas de calor na mortalidade por AVC no país²⁹.

Entre as limitações do estudo, vale mencionar que, ao usar dados secundários de temperatura do ar, ignora-se a presença de microclimas que podem interferir na temperatura aparente em cada microrregião. Além disso, a temperatura do ar externa não necessariamente corresponde a temperatura do ar sentida pelos indivíduos, que é influenciada por ar-condicionado e outros fatores que podem interferir na temperatura interna dos ambientes. Também não fizemos distinção entre o AVC hemorrágico e isquêmico, como feito por outros estudos^{5,31,41}.

Por fim, diante do impacto significativo das temperaturas extremas e moderadas do ar à saúde cerebrovascular da população brasileira, cabe destacar a importância de se estabelecer medidas de prevenção de mortes por AVC. É sabido que a instalação de sistemas de alerta precoce de ondas de calor ou frio é um método adotado em vários locais do mundo com o objetivo de reduzir a morbimortalidade causada pelas variações no tempo, principalmente na população vulnerável^{10,11,42-47}. Diante do alerta, os indivíduos podem adaptar seus ambientes e atividades diárias

a fim de minimizar a exposição às temperaturas extremas. Embora acessível a apenas 9% das residências brasileiras⁴⁸, o uso de ar-condicionado parece ser uma estratégia efetiva na redução de mortes relacionadas ao calor⁴⁹ ao regular a temperatura interna do ambiente e reduzir o estresse gerado pela termorregulação do corpo humano⁵⁰. Além da implantação dos sistemas de alerta, ressalta-se a necessidade de estabelecimento de comunicação clara e efetiva com a população, a fim de notificá-la, aliada a educação sobre o clima e seus impactos na saúde^{43-45,47}.

Conclusão

A partir da análise de dez microrregiões em todas as cinco regiões geográficas do território brasileiro, este artigo mostrou que temperaturas do ar não ótimas, tanto baixas quanto altas, estão relacionadas a um aumento no risco de morte por doenças cerebrovasculares no país. Nesse sentido, medidas preventivas e de educação em saúde, como sistemas de alerta à população, informação aos profissionais de saúde acerca do problema e uso de ar-condicionado, devem ser adotadas pelas regiões, conforme suas características locais e climáticas, a fim de garantir a redução das taxas de mortalidade por essa causa no Brasil.

Colaboradores

MS Mascarenhas, DD Silva, MC Nogueira, CCM Ferreira e LCM Ferreira contribuíram na concepção do estudo; análise e interpretação dos dados; redação do artigo e aprovação final da versão a ser publicada. WCM Farias contribuiu na concepção do estudo; análise e interpretação dos dados; revisão crítica relevante do conteúdo intelectual e aprovação final da versão a ser publicada.

Referências

- World Health Organization (WHO). *Global Health Estimates 2016: Deaths by Cause, Age, Sex, by Country and by Region, 2000-2016*. Geneva: WHO; 2018.
- Lian H, Ruan Y, Liang R, Liu X, Fan Z. Short-Term Effect of Ambient Temperature and the Risk of Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health* 2015; 12(8):9068-9088.
- Gasparrini A, Armstrong B. The impact of heat waves on mortality. *Epidemiology* 2011; 22(1):68-73.
- Yang J, Yin P, Zhou M, Ou CQ, Li M, Li J, Liu X, Gao J, Liu Y, Qin R, Xu L, Huang C, Liu Q. The burden of stroke mortality attributable to cold and hot ambient temperatures: Epidemiological evidence from China. *Environ Int* 2016; 92-93:232-238.
- Zhou L, Chen K, Chen X, Jing Y, Ma Z, Bi J, Kinney PL. Heat and mortality for ischemic and hemorrhagic stroke in 12 cities of Jiangsu Province, China. *Sci Total Environ* 2017; 601-602:271-277.
- Ban J, Xu D, He MZ, Sun Q, Chen C, Wang W, Zhu P, Li T. The effect of high temperature on cause-specific mortality: A multi-county analysis in China. *Environ Int* 2017; 106:19-26.
- Chen R, Wang C, Meng X, Chen H, Thach TQ, Wong CM, Kan H. Both low and high temperature may increase the risk of stroke mortality. *Neurology* 2013; 81(12):1064-1070.
- GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet* 2020; 396(10258):1223-1249.
- Chen K, Breitner S, Wolf K, Rai M, Meisinger C, Heier M, Kuch B, Peters A, Schneider A. Projection of Temperature-Related Myocardial Infarction in Augsburg, Germany: Moving on From the Paris Agreement on Climate Change. *Dtsch Arztebl Int* 2019; 116(31-32):521-527.
- Toloo G, FitzGerald G, Aitken P, Verrall K, Tong S. Evaluating the effectiveness of heat warning systems: systematic review of epidemiological evidence. *Int J Public Health* 2013; 58(5):667-681.
- Chau PH, Chan KC, Woo J. Hot weather warning might help to reduce elderly mortality in Hong Kong. *Int J Biometeorol* 2009; 53(5):461-468.
- Brasil. Ministério da Saúde (MS). Banco de dados do Sistema Único de Saúde - DATASUS, Sistema de Informações sobre Mortalidade [Internet]. [acessado 2021 jun 20]. Disponível em <https://datasus.saude.gov.br/>.
- Dee DP, Uppala SM, Simmons AJ, Berrisford P, Poli P, Kobayashi S, Andrae U, Balmaseda MA, Balsamo G, Bauer P, Bechtold P, Beljaars ACM, van de Berg L, Bidlot J, Bormann N, Delsol C, Dragani R, Fuentes M, Geer AJ, Haimberger L, Healy SB, Hersbach H, Hólm EV, Isaksen I, Kållberg P, Köhler M, Matricardi M, McNally AP, Monge-Sanz BM, Morcrette J-J, Park B-K, Peubey C, Rosnay P, Tavolato C, Thépaut J-N, Vitart F. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quart J Roy Meteor Soc* 2011; 137(656):553-597.
- Quadro MFL, Dias MAFS, Herdies DL, Gonçalves LGG. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. *Rev Bras Meteorol* 2012; 27:152-162.
- Moreira A, Fontana DC, Kuplich TM, Cardoso MA. Dados meteorológicos estimados em condições de clima subtropical e a relação com índices de Vegetação. *Rev Bras Cartogr* 2018; 70(4):1409-1436.
- Sun Z, Chen C, Xu D, Li T. Effects of ambient temperature on myocardial infarction: A systematic review and meta-analysis. *Environ Pollut* 2018; 241:1106-1114.
- Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Distributed lag non-linear models. *Stat Med* 2010; 29:2224-2234.
- Jung J, Lee JY, Lee H, Kim H. Predicted Future Mortality Attributed to Increases in Temperature and PM10 Concentration under Representative Concentration Pathway Scenarios. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17:2600.
- Guo Y, Gasparrini A, Armstrong B, Li S, Tawatsupa B, Tobias A, Lavigne E, de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho M, Leone M, Pan X, Tong S, Tian L, Kim H, Hashizume M, Honda Y, Guo YL, Wu CF, Punnasiri K, Yi SM, Michelozzi P, Saldiva PH, Williams G. Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation. *Epidemiology* 2014; 25(6):781-789.
- Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E, Zanobetti A, Schwartz J, Tobias A, Tong S, Rocklöv J, Forsberg B, Leone M, De Sario M, Bell ML, Guo YL, Wu CF, Kan H, Yi SM, de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho M, Saldiva PH, Honda Y, Kim H, Armstrong B. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet* 2015; 386(9991):369-375.
- Yang Z, Wang Q, Liu P. Extreme temperature and mortality: evidence from China. *Int J Biometeorol* 2019; 63:29-50.
- Zeka A, Browne S, McAvoy H, Goodman P. The association of cold weather and all-cause and cause-specific mortality in the island of Ireland between 1984 and 2007. *Environ Health* 2014; 13:104.
- Gholampour R, Darand M, Halabian AH. Impacts of cold and hot temperatures on mortality rate in Isfahan, Iran. *J Thermal Biol* 2019; 86:102453.
- Chu SY, Cox M, Fonarow GC, Smith EE, Schwamm L, Bhatt DL, Matsouka RA, Xian Y, Sheth KN. Temperature and Precipitation Associate With Ischemic Stroke Outcomes in the United States. *J Am Heart Assoc* 2018; 7(22):e010020.
- Méndez-Lázaro PA, Pérez-Cardona CM, Rodríguez E, Martínez O, Taboas M, Bocanegra A, Méndez-Tejeda R. Climate change, heat, and mortality in the tropical urban area of San Juan, Puerto Rico. *Int J Biometeorol* 2018; 62:699-707.
- Royé D, Zarrabeitia MT, Riancho J, Santurtún A. A time series analysis of the relationship between apparent temperature, air pollutants and ischemic stroke in Madrid, Spain. *Environ Res* 2019; 173:349-358.

27. Yang J, Zhou M, Li M, Yin P, Wang B, Pilot E, Liu Y, van der Hoek W, van Asten L, Krafft T, Liu Q. Diurnal temperature range in relation to death from stroke in China. *Environ Res* 2018; 164:669-675.
28. Yang J, Liu HZ, Ou CQ, Lin GZ, Zhou Q, Shen GC, Chen PY, Guo Y. Global climate change: impact of diurnal temperature range on mortality in Guangzhou, China. *Environ Pollut* 2013; 175:131-136.
29. Chen K, Huang L, Zhou, L, Ma Z, Bi J, Li T. Spatial analysis of the effect of the 2010 heat wave on stroke mortality in Nanjing, China. *Sci Rep* 2015; 5:10816.
30. Fu SH, Gasparrini A, Rodriguez PS, Jha P. Mortality attributable to hot and cold ambient temperatures in India: a nationally representative case-crossover study. *PLoS Med* 2018; 15(7):e1002619.
31. Ikefuti, P, Barrozo, L, Braga, A. Mean air temperature as a risk factor for stroke mortality in São Paulo, Brazil. *Int J Biometeorol* 2018; 62(8):1535-1542.
32. Rumel D, Riedel L, Latorre M, Duncan B. Infarto do miocárdio e acidente vascular cerebral associados à alta temperatura e monóxido de carbono em área metropolitana do sudeste do Brasil. *Rev Saude Publica* 1993; 27(1):15-22.
33. Ferreira LCM, Nogueira MC, Pereira RVB, de Farias WCM, Rodrigues MMS, Teixeira MTB, Carvalho MS. Ambient temperature and mortality due to acute myocardial infarction in Brazil: an ecological study of time-series analyses. *Sci Rep* 2019; 9(1):13790.
34. Alvares C, Stape J, Sentelhas P, Gonçalves J, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 2013; 22(6):711-728.
35. Conselho Federal de Medicina (CFM). *Medicina Intensiva no Brasil: 2018*. Brasília: CFM; 2018.
36. Muniz L, Pereira J, Ximenes J, Studart T. Classificação climática para o Estado do Ceará utilizando distintos sistemas de caracterização. In: *XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH)*. Florianópolis; 2017.
37. Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 2006; 15:259-263.
38. Santana N. Investigação de Ilhas de Calor em Brasília: Análise Multitemporal com Enfoque na Cobertura do Solo. *Rev Bras Geogr Fis* 2015; 1044-1054.
39. Zavattini J, Fratianni S. Os climas Regionais do Brasil. *Rev Depart Geogr Progr Pos-Grad Geogr UFAM* 2018; 9(32):93-106.
40. Silveira R, Alves M, Barreiro M, Bitencourt D. Ondas de calor nas capitais do Sul do Brasil e Montevideu - Uruguai. *Rev Bras Geogr Fis* 2019; 12(4):1259-1276.
41. Lim YH, Kim H, Hong YC. Variation in mortality of ischemic and hemorrhagic strokes in relation to high temperature. *Int J Biometeorol* 2013; 57:145-153.
42. Bassil KL, Cole DC. Effectiveness of public health interventions in reducing morbidity and mortality during heat episodes: a structured review. *Int J Environ Res Public Health* 2010; 7(3):991-1001.
43. Lowe D, Ebi KL, Forsberg B. Heatwave early warning systems and adaptation advice to reduce human health consequences of heatwaves. *Int J Environ Res Public Health* 2011; 8(12):4623-4648.
44. O'Neill MS, Carter R, Kish JK, Gronlund CJ, White-Newsome JL, Manarolla X, Zanobetti A, Schwartz JD. Preventing heat-related morbidity and mortality: new approaches in a changing climate. *Maturitas* 2009; 64(2):98-103.
45. Casanueva A, Burgstall A, Kotlarski S, Messeri A, Morabito M, Flouris AD, Nybo L, Spirig C, Schwierz C. Overview of Existing Heat-Health Warning Systems in Europe. *Int J Environ Res Public Health* 2019; 16(15):2657.
46. Public Health England. *The Cold Weather Plan for England: Protecting health and reducing harm from cold weather*. London: Public Health England; 2018.
47. World Meteorological Organization (WMO). World Health Organization (WHO). *Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development*. Geneva: WHO; 2015.
48. Empresa de Pesquisa Energética. *Nota Técnica EPE 030/2018 – Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética*. Brasília, EPE; 2018.
49. Sera F, Hashizume M, Honda Y, Lavigne E, Schwartz J, Zanobetti A, Tobias A, Iñiguez C, Vicedo-Cabrera AM, Blangiardo M, Armstrong B, Gasparrini A. Air Conditioning and Heat-related Mortality: A Multi-country Longitudinal Study. *Epidemiology* 2020; 31(6):779-787.
50. Deschenes O. Temperature, human health, and adaptation: a review of the empirical literature. *Energy Econ* 2014; 46:606-619.

Artigo apresentado em 17/11/2021

Aprovado em 25/04/2022

Versão final apresentada em 27/04/2022

Editores-chefes: Romeu Gomes, Antônio Augusto Moura da Silva