



# Efeitos da temperatura do ar no risco de morte por DPOC nas principais microrregiões do Brasil: um estudo de séries temporais

Igor Magaton Ribas<sup>1</sup>, João Pedro Medeiros Gomes<sup>1</sup>,  
Pedro Augusto Rosa Valadares<sup>1</sup>, Lucas Santos Jardim<sup>1</sup>,  
Mário Círio Nogueira<sup>1</sup>, Cássia de Castro Martins Ferreira<sup>2</sup>,  
William Cossich Marcial de Farias<sup>3</sup>, Letícia de Castro Martins Ferreira<sup>1</sup>

1. Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora (MG) Brasil.
2. Curso de Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora (MG) Brasil.
3. Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS – Brasília (DF) Brasil.

Recebido: 25 novembro 2022.  
Aprovado: 28 agosto 2023.

Trabalho realizado na Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora (MG) Brasil.

## RESUMO

**Objetivo:** Avaliar a associação entre o risco de morte por DPOC e eventos de temperatura do ar em dez grandes microrregiões brasileiras. **Métodos:** Esta foi uma análise de série temporal de mortes diárias por DPOC e temperaturas médias diárias do ar entre 1996 e 2017. Utilizando modelos de defasagem não linear distribuídos, estimamos os riscos relativos cumulativos de mortalidade por DPOC para quatro percentis de temperatura (representando eventos moderados e extremos de frio e calor) em relação a uma temperatura mínima de mortalidade, com defasagem de 21 dias, em cada microrregião. **Resultados:** Foram encontradas associações significativas entre eventos extremos de temperatura do ar e o risco de morte por DPOC nas microrregiões Sul e Sudeste do Brasil. Houve associação de frio extremo e aumento do risco de mortalidade nas seguintes microrregiões: 36% (IC 95%, 1,12-1,65), em Porto Alegre; 27% (IC 95%, 1,03-1,58), em Curitiba; e 34% (IC 95%, 1,19-1,52), em São Paulo; enquanto o frio moderado foi associado a um risco aumentado de 20% (IC 95%, 1,01-1,41), 33% (IC 95%, 1,09-1,62) e 24% (IC 95%, 1,12-1,38) nas mesmas microrregiões, respectivamente. Houve aumento do risco de mortalidade por DPOC nas microrregiões de São Paulo e Rio de Janeiro: 17% (IC 95%, 1,05-1,31) e 12% (IC 95%, 1,02-1,23), respectivamente, devido ao calor moderado e 23% (IC 95%, 1,09-1,38) e 32% (IC 95%, 1,15-1,50) devido ao calor extremo. **Conclusões:** Eventos de temperatura do ar não ideal foram associados a um risco aumentado de morte por DPOC em áreas tropicais e subtropicais do Brasil.

**Descritores:** Doença pulmonar obstrutiva crônica/mortalidade; Temperatura; Clima.

## INTRODUÇÃO

Em 2019, a DPOC foi a quarta principal causa de morte no Brasil segundo o *Global Burden of Disease*.<sup>(1)</sup> Além disso, a prevalência de DPOC nas Américas é a maior entre as regiões da OMS.<sup>(2)</sup> Ao mesmo tempo, as mudanças climáticas já são uma realidade, inclusive no Brasil,<sup>(3)</sup> e o novo desafio é estudar a relação entre as doenças crônicas e as variáveis ambientais. Além disso, as temperaturas extremas do ar são um fator de risco para a ocorrência, mortalidade e exacerbação de doenças pulmonares e, de acordo com o Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas, esta exposição será cada vez mais frequente e intensa com a progressão da transição climática.<sup>(4,5)</sup>

No entanto, ainda não é claro se o efeito da temperatura do ar na DPOC está mais associado a temperaturas frias ou quentes. Um estudo chinês a nível nacional, com uma metodologia semelhante à do estudo aqui apresentado, concluiu que as temperaturas do ar mais frias estavam mais associadas à ocorrência de morte por DPOC,<sup>(6)</sup> enquanto que, com uma metodologia diferente, um estudo com 12

idades dos EUA estimou que o efeito do calor durante o verão era responsável por um aumento de até 25% dos óbitos por DPOC.<sup>(7)</sup> Além desses estudos,<sup>(6,7)</sup> existem outros estudos em todo o mundo que estimam a relação entre a temperatura e diferentes resultados da DPOC.<sup>(8)</sup>

Considerando a relativa falta de pesquisas sobre esse tema no Brasil, o objetivo deste estudo foi investigar a relação entre a temperatura do ar e a mortalidade por DPOC em diversas microrregiões geográficas do Brasil, representativas de todas as regiões.

## MÉTODOS

Neste estudo de séries temporais foi avaliada a relação entre a temperatura média diária do ar e o número de óbitos diários por DPOC em dez microrregiões brasileiras. Foram selecionadas as duas maiores microrregiões de cada uma das cinco grandes regiões do país, com exceção da região Centro-Oeste, na qual foram escolhidas a primeira e a terceira maiores devido à proximidade geográfica da segunda maior (Goiânia) com a primeira (Brasília). Assim,

### Endereço para correspondência:

Igor Ribas. Rua José Lourenço, 393, CEP 36036-230, Juiz de Fora, MG, Brasil.  
Tel.: 55 32 98464-2727. E-mail: igormribas@icloud.com  
Apoio financeiro: Nenhum.

as microrregiões escolhidas foram as seguintes: Belém e Manaus (Norte), Salvador e Fortaleza (Nordeste), Campo Grande e Brasília (Centro-Oeste), São Paulo e Rio de Janeiro (Sudeste) e Porto Alegre e Curitiba (Sul). O estudo compreendeu um total de 105 municípios brasileiros, representando diferentes regiões climáticas do país, em um período de 22 anos, de 1º de janeiro de 1996 a 31 de dezembro de 2017.

Os dados de mortalidade por DPOC foram coletados por meio do Departamento de Informática do Ministério da Saúde, especificamente a partir da causa básica de morte no Sistema de Informação sobre Mortalidade.<sup>(9)</sup> A DPOC foi definida de acordo com a Décima Edição da Classificação Internacional de Doenças (CID-10): J41-J44.<sup>(6)</sup>

Os dados de temperatura média diária foram estimados a partir da reanálise ERA-Interim, desenvolvida pelo *European Center for Medium-Term Weather Forecasting*, que fornece quatro valores diários de temperatura do ar em pontos de uma grade horizontal uniforme com aproximadamente 13 km de espaço entre eles.<sup>(10,11)</sup> Esse modelo de reanálise é concebido a partir de um sistema de previsão combinado com a assimilação de informações meteorológicas de navios, satélites, aviões, radares, radiossondas e estações meteorológicas de superfície.<sup>(12)</sup> Ao calcular a média dos quatro valores de temperatura do ar, obtivemos a temperatura média diária para esses pontos e, em seguida, para obter a temperatura média diária para as microrregiões, calculamos a média de todos os pontos identificados no território de cada microrregião.

Apesar dos dados das estações meteorológicas serem mais confiáveis, a distribuição irregular com séries temporais incompletas e grandes lacunas territoriais dessas estações inviabilizam qualquer análise como essa.<sup>(13)</sup> Assim, os dados do ERA-Interim resolvem essas dificuldades, devido a uma correlação igual ou superior a 96% quando comparados aos dados das estações meteorológicas de superfície existentes. Ademais, as médias de temperatura do ar são os dados mais usados como parâmetros para análise em estudos sobre clima e saúde. Embora haja variação na temperatura do ar dentro de cada microrregião, a temperatura média diária do ar é representativa do comportamento da temperatura em cada microrregião.<sup>(13)</sup>

A fim de estudar a associação entre óbitos diários por DPOC e a temperatura média diária do ar, os modelos aditivos generalizados foram ajustados com uma distribuição binomial negativa juntamente com uma spline cúbica natural do tempo com oito graus de liberdade por ano para ajustar a tendência de longo prazo e a sazonalidade, e os dias da semana para ajustar a sazonalidade de curto prazo.

Quanto à análise inferencial e à modelagem, foram usados modelos de defasagem distribuída não linear para a análise inferencial e a modelagem, que caracterizam o foco do presente estudo.<sup>(14)</sup> Depois de selecionar uma spline natural com cinco graus de liberdade para a função de exposição-resposta, uma função polinomial

com um intercepto e quatro graus de liberdade para a função de defasagem-resposta e 21 dias de defasagem, estimamos para cada microrregião os riscos relativos cumulativos (RR) de morte por DPOC em percentis da distribuição da temperatura do ar com a temperatura de mortalidade mínima (TMM), ou seja, a temperatura de referência na qual há risco mínimo de mortalidade na defasagem acumulada,<sup>(15)</sup> correspondente ao risco total acumulado. Os percentis 2,5 e 10 foram escolhidos para representar, respectivamente, o frio extremo e o frio moderado, e os percentis 90 e 97,5 para avaliar o calor moderado e o calor extremo.

Estimamos as frações e os números de eventos atribuíveis a temperaturas não-ótimas, acumulados até o 21º dia, com o método *forward*<sup>(16)</sup> de exposição atual a riscos futuros. Calculamos os seguintes componentes:

- Risco atribuível (RA) ao frio extremo (entre a temperatura mais baixa e o percentil 2,5);
- RA para frio moderado (entre os percentis 2,5 e 10);
- RA para frio leve (entre o percentil 10 e a TMM);
- RA para calor leve (entre a TMM e o percentil 90);
- RA ao calor moderado (entre o percentil 90 e o percentil 97,5);
- RA para calor extremo (entre o percentil 97,5 e a temperatura mais alta).

Analizamos os resíduos dos modelos para detectar possível autocorrelação serial e realizamos uma análise de sensibilidade para avaliar a robustez do modelo principal em relação aos modelos gerados com diferentes alterações de parâmetros (Tabela S1, Figura S1, material suplementar). Foi usado o software R, versão 3.4.0 (*The R Project for Statistical Computing*, Viena, Áustria), principalmente o pacote *dlnm*.<sup>(17)</sup> Os scripts relacionados estão disponíveis no Github (<https://github.com/joao-med/COPD-Temperature>).

Devido à natureza pública dos dados, a pesquisa foi isenta de aprovação pelo comitê de ética em pesquisa, de acordo com a resolução nº 510 do Conselho Nacional de Saúde.

## RESULTADOS

Analizamos um total de 208.169 óbitos por DPOC em 10 microrregiões brasileiras, variando de 3812 óbitos na microrregião de Campo Grande, com 0 a 5 casos diários e 67806 na microrregião de São Paulo, com 0 a 26 casos diários (Tabela 1 e Figura 1).

Em todas as microrregiões analisadas, as temperaturas médias do ar mais baixas são identificadas no meio do ano (meses de junho e julho), exceto nas microrregiões de Manaus, Belém e Fortaleza. Enquanto isso, as temperaturas médias do ar mais altas ocorrem no final e no início do ano (entre outubro e março). Essas variações correspondem às estações de inverno, com temperaturas mais baixas, e ao final do verão, com temperaturas mais altas no hemisfério sul. A microrregião com a menor temperatura média do ar no período foi Curitiba com 18,7°C e a maior foi Fortaleza com 27,3°C. Quanto às maiores e menores

**Tabela 1.** Distribuição da mortalidade diária por DPOC nas microrregiões brasileiras estudadas, 1996-2017.

| Variável                       | Microrregião |              |              |           |            |                |          |           |           |           |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------|------------|----------------|----------|-----------|-----------|-----------|
|                                | Brasília     | Campo Grande | Porto Alegre | Curitiba  | São Paulo  | Rio de Janeiro | Salvador | Fortaleza | Belém     | Manaus    |
| População <sup>a</sup>         | 2.411.628    | 820.088      | 3.598.717    | 2.977.488 | 13.468.309 | 11.210.768     | 336.7109 | 318.1579  | 2.047.843 | 1.874.407 |
| <b>Mortes por DPOC</b>         |              |              |              |           |            |                |          |           |           |           |
| Total                          | 6.906        | 3.812        | 30.232       | 17.616    | 67.806     | 54.916         | 7.070    | 7.224     | 8.130     | 4.457     |
| Média anual                    | 314          | 173          | 1374         | 801       | 3.082      | 2.496          | 321      | 328       | 370       | 203       |
| Taxa média anual <sup>b</sup>  | 13,02        | 21,13        | 38,19        | 26,89     | 22,88      | 22,27          | 9,54     | 10,32     | 18,05     | 10,81     |
| <b>Distribuição diária</b>     |              |              |              |           |            |                |          |           |           |           |
| Valor mínimo                   | 0            | 0            | 0            | 0         | 0          | 0              | 0        | 0         | 0         | 0         |
| Percentil 25                   | 0            | 0            | 2            | 1         | 6          | 5              | 0        | 0         | 0         | 0         |
| Mediana                        | 1            | 0            | 3            | 2         | 8          | 7              | 1        | 1         | 1         | 0         |
| Média                          | 1            | 0            | 4            | 2         | 8          | 7              | 1        | 1         | 1         | 1         |
| Percentil 75                   | 1            | 1            | 5            | 3         | 10         | 8              | 1        | 1         | 2         | 1         |
| Valor máximo                   | 6            | 5            | 17           | 12        | 26         | 20             | 6        | 7         | 8         | 6         |
| Taxa média diária <sup>b</sup> | 0,04         | 0,06         | 0,10         | 0,07      | 0,06       | 0,06           | 0,03     | 0,03      | 0,05      | 0,03      |

<sup>a</sup>População média para o período. <sup>b</sup>Taxas por 100.000 habitantes.

temperaturas médias do ar, Campo Grande (32,7°C) e Curitiba (4,5°C) apresentaram, respectivamente, a maior e a menor. Simultaneamente, a TMM varia de 17,9°C em Curitiba a 28,5°C em Belém (Tabela 2 e Figura 1).

Houve uma associação entre os óbitos por DPOC e a temperatura do ar, especialmente nas microrregiões mais populosas, como São Paulo, Rio de Janeiro e Porto Alegre - regiões sul e sudeste. Essas três microrregiões tiveram as maiores taxas médias diárias de mortalidade (Tabela 1), o que contribuiu para uma estimativa mais confiável do RR (Tabela 3 e Figura 2).

O percentil atribuível ao frio extremo mostrou um aumento no risco de morte por DPOC de 36% em Porto Alegre, 27% em Curitiba e 34% em São Paulo, enquanto o frio moderado mostrou um aumento significativo de 20%, 33% e 24% nas mesmas microrregiões. Além disso, o aumento do risco de calor moderado foi estimado em 17% em São Paulo e 12% no Rio de Janeiro. Com relação ao calor extremo, as microrregiões que apresentaram resultados significativos foram Campo Grande, São Paulo e Rio de Janeiro, com um aumento no risco de 55%, 23% e 32%, respectivamente (Tabela 3).

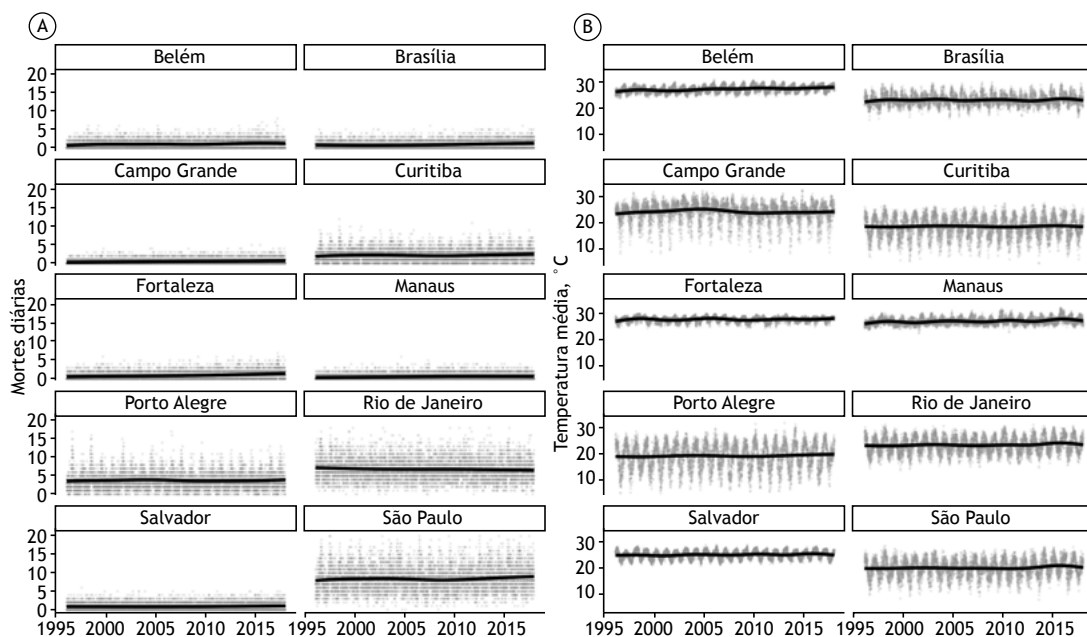
A fração atribuível de óbitos por DPOC à temperatura do ar durante todo o período de 1996 a 2017 em São Paulo no frio foi de 8,83%. Em Porto Alegre, somando o frio extremo ao moderado, o valor foi de 3,35%. Para o calor, a fração atribuível foi de 3,21% em São Paulo. Em Campo Grande, para o calor extremo, o valor encontrado foi de 1,40%, enquanto no Rio de Janeiro, ao adicionar o calor moderado, foi de 1,86% (Tabela 4).

Com relação aos óbitos atribuíveis durante o período analisado para diferentes temperaturas do ar, São Paulo foi a microrregião mais significativa: a faixa correspondente ao frio moderado e ao frio leve pode ter sido responsável, respectivamente, por 1.267 (IC95%: 770-1.727) e 4.108 óbitos (IC95%: 1.631-6.525). Enquanto isso, o número de óbitos atribuíveis às faixas de calor leve e moderado foi, nessa ordem, 1.097 (IC95%: 50-2.032) e 771 (IC95%: 361-1.169). Por outro lado, a faixa de calor extremo pode ter sido responsável por 412 óbitos (IC95%: 226-562) no Rio de Janeiro, a microrregião com o resultado mais significativo para esse intervalo entre 1996 e 2017.

Em Fortaleza e Salvador, não houve associação em nenhuma defasagem. Por outro lado, nas demais microrregiões, a associação com frio extremo ou calor extremo esteve presente em quase todas as defasagens (Figuras S2 e S3, material suplementar).

## DISCUSSÃO

O presente estudo realizou uma análise abrangente do território e da população brasileira, avaliando o impacto da temperatura do ar na mortalidade por DPOC em áreas tropicais e subtropicais. Além disso, devido à escassez de material disponível com análises



**Figura 1.** Distribuição diária dos óbitos por DPOC (J41-44) e temperaturas médias (°C) entre 1996 e 2017 nas microrregiões estudadas. Cada dia é representado por um ponto cinza, e a linha em cada gráfico representa a tendência temporal.

semelhantes, ampliamos o conhecimento sobre saúde e clima, trazendo informações importantes para uma melhor tomada de decisão e consequente melhoria da saúde pública. Investigamos dez microrregiões brasileiras, localizadas em todas as regiões e com os principais tipos de clima do país, com uma estimativa de 27.090.704 pessoas e 208.169 óbitos por DPOC no período de 1996 a 2017). Além disso, identificamos uma associação significativa entre eventos extremos de temperatura do ar e o risco de morte por DPOC nas microrregiões do sul e do sudeste do país, com destaque para a microrregião de São Paulo, onde houve o maior número de óbitos registrados. Nessa microrregião, foram detectados 1.836 óbitos atribuíveis à exposição a condições não-ótimas de temperatura do ar no período analisado e o risco de morte por DPOC aumentou significativamente tanto em eventos de temperatura fria ou quente, moderada e extrema, seja abaixo ou acima da TMM.

Outra característica importante que fortalece nossa análise é o uso de modelos DLNM que capturam relações complexas entre a relação da temperatura do ar e os óbitos por DPOC,<sup>(14,18)</sup> por meio do cálculo de relações não lineares e implicações de exposição a partir de uma perspectiva defasada. Essa metodologia também fornece estimativa de risco relativo e atribuível para diferentes temperaturas e defasagens.<sup>(14,19)</sup>

A fim de comparar nossa pesquisa com os vários resultados apresentados em todo o mundo, vale a pena observar que um estudo chinês semelhante, realizado por Chen et al., encontrou uma fração atribuível de 12,6% (IC95%: 10,31-12,57) de óbitos por DPOC à temperatura do ar, apresentando uma curva em que a maioria dos óbitos foi causada por temperaturas mais

frias.<sup>(6)</sup> Da mesma forma, para as mesmas condições de temperatura do ar, encontramos uma fração atribuível de 12,04% (IC95%: 4,8-18,98) em São Paulo e uma curva análoga modelada.

Em relação ao risco de óbito por DPOC, um estudo americano encontrou, por meio de modelos de regressão logística, uma chance 19% maior entre idosos com DPOC de morrer no mesmo dia em que a temperatura máxima do ar fosse menor ou igual ao percentil 1, em comparação com pacientes sem DPOC.<sup>(20)</sup> Esse achado é compatível com nossos resultados de risco aumentado de morte por DPOC no percentil de temperatura extremamente fria em Porto Alegre, Curitiba e São Paulo. Por sua vez, um estudo da Nova Zelândia com dados de 1980 a 2000 relatou que a taxa de mortalidade é 18% maior no inverno do que o esperado em comparação com outros meses, com 31% de excesso de óbitos atribuíveis a doenças respiratórias.<sup>(21)</sup> Por fim, um grande estudo realizado em Taiwan constatou que uma redução de 5°C na temperatura média diária está correlacionada a um aumento significativo nas admissões hospitalares por DPOC no mesmo dia e em 28 dias consecutivos.<sup>(22)</sup>

Considerando que os prováveis mecanismos que influenciam a mortalidade por DPOC teriam que levar primeiro a uma exacerbação da doença, a exposição a baixas temperaturas do ar poderia facilitar esse evento de várias maneiras. Como já é esperado um aumento da morbidade e da mortalidade no inverno,<sup>(18,23)</sup> algumas explicações costumam ser apontadas, como as que indicam a relação entre o frio e a diminuição da função pulmonar,<sup>(18)</sup> a infecção por agentes virais,<sup>(21)</sup> o efeito direto do frio na broncoconstrição e a diminuição da

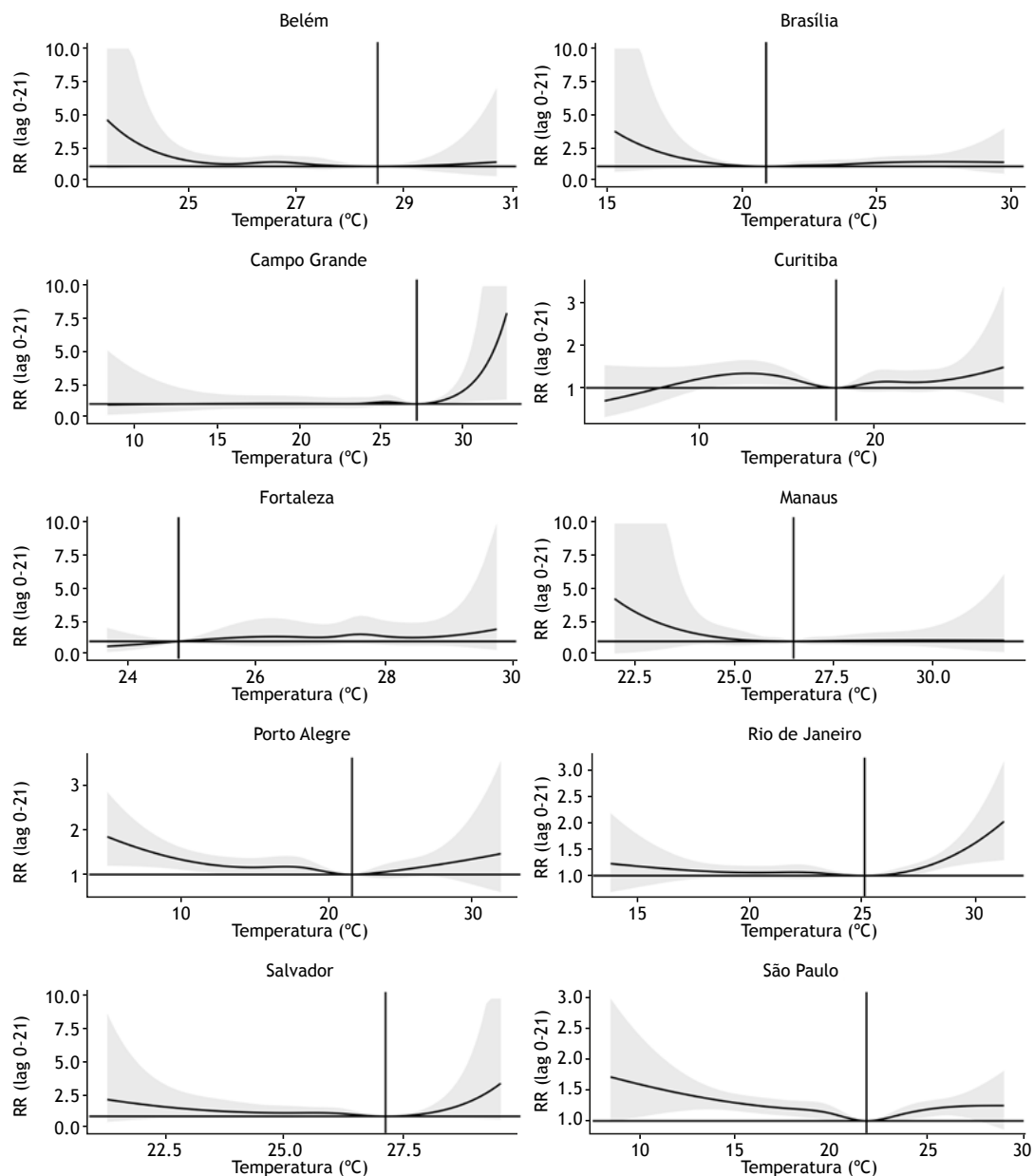
**Tabela 2.** Distribuição da temperatura média diária (em °C) e das temperaturas relacionadas aos riscos mínimos acumulados até 21 dias nas microrregiões brasileiras estudadas, 1996-2017.

|                                   | Microrregião |              |              |          |           |                |          |           |       |        |  |
|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|----------|-----------|----------------|----------|-----------|-------|--------|--|
|                                   | Brasília     | Campo Grande | Porto Alegre | Curitiba | São Paulo | Rio de Janeiro | Salvador | Fortaleza | Belém | Manaus |  |
| Valor mínimo                      | 15,3         | 8,3          | 4,9          | 4,5      | 8,4       | 13,8           | 21,3     | 23,7      | 23,5  | 22,0   |  |
| Percentil 1                       | 18,5         | 13,4         | 8,0          | 9,3      | 12,7      | 16,9           | 22,5     | 24,8      | 24,5  | 24,2   |  |
| Percentil 2,5                     | 19,2         | 15,6         | 9,6          | 10,8     | 13,9      | 17,9           | 22,9     | 25,2      | 24,8  | 24,5   |  |
| Percentil 10                      | 20,4         | 19,9         | 12,7         | 13,6     | 16,3      | 19,6           | 23,6     | 26,0      | 25,4  | 25,1   |  |
| Percentil 25                      | 21,5         | 22,8         | 16,0         | 16,1     | 18,4      | 21,2           | 24,4     | 26,7      | 26,1  | 25,7   |  |
| Mediana                           | 22,7         | 24,8         | 19,8         | 19,0     | 20,8      | 23,4           | 25,7     | 27,4      | 26,9  | 26,5   |  |
| Média                             | 22,8         | 24,3         | 19,3         | 18,7     | 20,6      | 23,4           | 25,6     | 27,3      | 27,0  | 26,6   |  |
| Percentil 75                      | 24,1         | 26,5         | 23,0         | 21,7     | 23,1      | 25,7           | 26,8     | 27,9      | 27,9  | 27,3   |  |
| Percentil 90                      | 25,5         | 27,9         | 24,9         | 23,4     | 24,6      | 27,4           | 27,4     | 28,3      | 28,7  | 28,2   |  |
| Percentil 97,5                    | 27,1         | 29,4         | 26,6         | 24,8     | 26,1      | 28,7           | 28,0     | 28,7      | 29,3  | 29,4   |  |
| Percentil 99                      | 27,9         | 30,2         | 27,5         | 25,5     | 26,8      | 29,4           | 28,3     | 29,0      | 29,6  | 30,0   |  |
| Valor máximo                      | 29,7         | 32,7         | 31,9         | 27,6     | 29,0      | 31,3           | 29,5     | 29,7      | 30,7  | 31,8   |  |
| Temperatura de mortalidade mínima | 20,9         | 27,2         | 21,7         | 17,9     | 21,8      | 25,1           | 27,1     | 24,8      | 28,5  | 26,5   |  |

**Tabela 3.** Riscos relativos e respectivos IC95% (acumulados em até 21 dias) de morte por DPOC por exposição às temperaturas médias nas microrregiões estudadas, tomando como referência a temperatura de risco mínimo, 1996-2017.

|                | Microrregião         |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |  |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|
|                | Brasília             | Campo Grande         | Porto Alegre         | Curitiba             | São Paulo            | Rio de Janeiro       | Salvador             | Fortaleza            | Belém                | Manaus               |  |
| Frio extremo   | 1,18<br>(0,94; 1,48) | 1,03<br>(0,62; 1,71) | 1,36<br>(1,12; 1,65) | 1,27<br>(1,03; 1,58) | 1,34<br>(1,19; 1,52) | 1,09<br>(0,95; 1,25) | 1,59<br>(0,89; 2,85) | 1,15<br>(0,82; 1,59) | 1,61<br>(0,97; 2,68) | 1,36<br>(0,78; 2,37) |  |
| Frio moderado  | 1,02<br>(0,94; 1,10) | 1,04<br>(0,67; 1,60) | 1,20<br>(1,01; 1,41) | 1,33<br>(1,09; 1,62) | 1,24<br>(1,12; 1,38) | 1,06<br>(0,94; 1,19) | 1,41<br>(0,85; 2,34) | 1,35<br>(0,68; 2,70) | 1,24<br>(0,82; 1,87) | 1,15<br>(0,70; 1,88) |  |
| Calor moderado | 1,31<br>(0,96; 1,78) | 1,05<br>(0,94; 1,18) | 1,10<br>(0,92; 1,30) | 1,15<br>(0,92; 1,43) | 1,17<br>(1,05; 1,31) | 1,12<br>(1,02; 1,23) | 1,03<br>(0,95; 1,10) | 1,30<br>(0,69; 2,43) | 1,00<br>(0,94; 1,07) | 1,07<br>(0,71; 1,60) |  |
| Calor extremo  | 1,36<br>(0,97; 1,91) | 1,55<br>(1,07; 2,25) | 1,17<br>(0,96; 1,43) | 1,22<br>(0,93; 1,59) | 1,23<br>(1,09; 1,38) | 1,32<br>(1,15; 1,50) | 1,25<br>(0,92; 1,71) | 1,33<br>(0,69; 2,56) | 1,05<br>(0,73; 1,53) | 1,09<br>(0,66; 1,82) |  |

Frio extremo: percentil 2,5 da temperatura média. Frio moderado: percentil 10 da temperatura média. Calor moderado: percentil 90 da temperatura média. Calor extremo: percentil 97,5 da temperatura média.



**Figura 2.** Curvas de risco relativo (RR) acumulado por temperatura. As margens cinzas indicam o intervalo de confiança da medição, a linha vertical indica a temperatura de mortalidade mínima e as linhas abaixo do eixo x indicam medições únicas de temperatura.

depurção mucociliar que pode resultar na exacerbação progressiva da DPOC.<sup>(20)</sup>

Com relação às temperaturas mais quentes do ar, o percentil de calor moderado em São Paulo foi considerado um fator de risco para o óbito por DPOC, assim como no Rio de Janeiro. Pelo possível efeito do calor, o estudo americano mencionado anteriormente estimou que o efeito do aumento da temperatura do ar durante o verão foi responsável por um aumento de até 25% nas causas de morte por DPOC.<sup>(7)</sup> Da mesma forma, especificamente em Nova York, outra pesquisa constatou, por meio de um modelo aditivo

generalizado (GAM), que cada 1°C acima da temperatura de 29°C (percentil 75) significa um aumento de 7,6% no risco de internação hospitalar por DPOC com uma defasagem de 3 dias.<sup>(24)</sup> Finalmente, outro estudo americano estimou um aumento de 4,7% no risco de hospitalização por DPOC no mesmo dia entre os idosos para cada aumento de 5,6°C na temperatura ambiente média durante o verão.<sup>(25)</sup>

Com relação a essa questão, a exposição ao calor está relacionada a eventos que podem levar à broncoconstrição mediada por fatores colinérgicos,<sup>(8)</sup> hiperventilação em eventos de temperatura extrema<sup>(26)</sup>



**Tabela 4.** Frações e números (IC95%) de mortes por DPOC atribuíveis à exposição às temperaturas médias nas microrregiões estudadas, 1996-2017.

| Variável              | Temperatura média | Microrregião |                      |                       |                       |                         |                       |          |           |                      |        |   |
|-----------------------|-------------------|--------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|----------|-----------|----------------------|--------|---|
|                       |                   | Brasília     | Campo Grande         | Porto Alegre          | Curitiba              | São Paulo               | Rio de Janeiro        | Salvador | Fortaleza | Belém                | Manaus |   |
| Fração atribuível, %  | Frio extremo      | -            | -                    | 1,22<br>(0,55; 1,74)  | -                     | 0,90<br>(0,44; 1,24)    | -                     | -        | -         | 1,13<br>(0,02; 1,69) | -      | - |
|                       | Frio moderado     | -            | -                    | 2,13<br>(0,58; 3,36)  | 2,43<br>(0,78; 3,93)  | 1,87<br>(1,16; 2,52)    | -                     | -        | -         | -                    | -      | - |
|                       | Frio leve         | -            | -                    | -                     | 4,12<br>(1,32; 6,80)  | 6,06<br>(2,34; 9,75)    | -                     | -        | -         | -                    | -      | - |
|                       | Calor leve        | -            | -                    | -                     | -                     | 1,62<br>(0,20; 3,03)    | -                     | -        | -         | -                    | -      | - |
|                       | Calor moderado    | -            | -                    | -                     | -                     | 1,14<br>(0,50; 1,73)    | 1,11<br>(0,44; 1,69)  | -        | -         | -                    | -      | - |
| Mortes atribuíveis, n | Calor extremo     | -            | 1,40<br>(0,30; 1,94) | -                     | -                     | 0,45<br>(0,16; 0,71)    | -                     | -        | -         | -                    | -      | - |
|                       | Total             | -            | 1,4<br>(0,30; 1,94)  | 3,35<br>(1,13; 5,10)  | 6,55<br>(2,10; 0,73)  | 12,04<br>(4,80; 18,98)  | 1,86<br>(0,83; 2,71)  | -        | -         | 1,13<br>(0,02; 1,69) | -      | - |
|                       | Frio extremo      | -            | -                    | 368<br>(144; 524)     | -                     | 607<br>(312; 848)       | -                     | -        | -         | 92<br>(6; 137)       | -      | - |
| Mortes atribuíveis, n | Frio moderado     | -            | -                    | 644<br>(144; 1.015)   | 428<br>(125; 663)     | 1.267<br>(770; 1.727)   | -                     | -        | -         | -                    | -      | - |
|                       | Frio leve         | -            | -                    | -                     | 726<br>(199; 1.155)   | 4.108<br>(1.631; 6.525) | -                     | -        | -         | -                    | -      | - |
|                       | Calor leve        | -            | -                    | -                     | -                     | 1.097<br>(50; 2.032)    | -                     | -        | -         | -                    | -      | - |
|                       | Calor moderado    | -            | -                    | -                     | -                     | 771<br>(361; 1.169)     | 612<br>(254; 940)     | -        | -         | -                    | -      | - |
|                       | Total             | -            | 53<br>(13; 73)       | 1.012<br>(288; 1.539) | 1.154<br>(324; 1.818) | 8.155<br>(3.210; 2.779) | 1.024<br>(480; 1.502) | -        | -         | 92<br>(6; 137)       | -      | - |

Frio extremo: temperatura entre o percentil 0 e o percentil 2,5. Frio moderado: temperatura entre o percentil 2,5 e o percentil 10. Frio leve: temperatura entre o percentil 10 e TMM. Calor leve: temperatura entre TMM e o percentil 90. Calor moderado: temperatura entre o percentil 90 e o percentil 97,5. Calor extremo: temperatura entre o percentil 97,5 e o percentil 100. Fração atribuível: proporção de mortes atribuíveis ao frio e ao calor de 1996 a 2017. Mortes atribuíveis: número de mortes atribuíveis ao frio e ao calor.

e liberação de citocinas como IL-1 e IL-6.<sup>(3)</sup> Além das relações diretas, as altas temperaturas do ar podem aumentar o risco de exacerbações ao interagir com variáveis como poluição do ar, nível de ozônio na atmosfera e histórico clínico de doença cardiovascular.<sup>(23,26)</sup>

Ademais, estudos epidemiológicos desde a década de 1940 mostraram uma associação entre temperaturas frias e efeitos cardiovasculares adversos.<sup>(27)</sup> Um estudo chinês publicado em 2023 demonstrou que os extremos de temperatura, frio e calor, aumentam o risco de mortalidade por doença cardíaca isquêmica em diferentes regiões do país.<sup>(28)</sup> Quanto ao Brasil, um estudo investigou a relação entre a temperatura do ar e a mortalidade por doenças cerebrovasculares, em que temperaturas não ideais (frias ou quentes) foram associadas a um aumento do risco de morte em todas as regiões brasileiras.<sup>(29)</sup> Entretanto, deve-se observar que um efeito claro da exposição nem sempre é encontrado em todas as localidades.<sup>(8)</sup> Isso pode ser explicado principalmente por fatores como aclimação da população local, variações intrínsecas do clima, como temperatura média do ar, amplitude térmica e umidade relativa, e acesso a serviços de saúde, infraestrutura de qualidade, ar condicionado e outros fatores socioeconômicos.<sup>(3,30)</sup> Nesse contexto, o acesso a um serviço de saúde de qualidade e o estabelecimento de terapia broncodilatadora e mudanças de hábitos, como tabagismo e início de atividade física, alteram a qualidade e a expectativa de vida e podem estar associados à resposta da doença a diferentes temperaturas.<sup>(22)</sup> Por fim, apesar do nosso estudo não pormenorizar os grupos populacionais das microrregiões, há evidência na literatura que idosos, mulheres e pessoas com baixa escolaridade são mais vulneráveis a eventos de saúde, como nos casos de morte por acidente vascular cerebral, em temperaturas não ótimas.<sup>(29)</sup> Outras variáveis como estágios da DPOC e número de exacerbações foram importantes limitações do estudo por representarem dados significativos do prognóstico da doença.

Da mesma forma, um estudo recente sobre hospitalizações por DPOC sugeriu que a falta de associação entre calor e hospitalizações poderia estar relacionada a um maior desenvolvimento socioeconômico e consequente melhor acesso ao sistema de saúde na região sul do Brasil.<sup>(3)</sup> Por sua vez, o presente estudo não encontrou relação significativa entre calor e mortalidade por DPOC nas duas microrregiões do sul

analisadas (Porto Alegre e Curitiba); entretanto, o frio foi associado como fator de risco para mortalidade. O achado acima não exclui a possibilidade de que o desenvolvimento socioeconômico de uma região esteja relacionado ao desfecho, mas aponta que novos estudos devem introduzir as variáveis juntamente com a temperatura do ar.

Ao considerar as limitações do estudo, embora muitos fatores de confusão e tendências tenham sido controlados pela escala de tempo e pelos modelos usados, a adição de dados referentes à poluição do ar com materiais particulados e gases como dióxido de nitrogênio, ozônio e dióxido de enxofre poderia ter aumentado o poder preditivo dos modelos.<sup>(8,18,23,24,30)</sup> Entretanto, esses dados são extremamente limitados em todas as regiões e períodos estudados. A baixa frequência diária de óbitos em algumas das regiões estudadas também não permitiu estimar os efeitos da temperatura em grupos demográficos específicos por sexo e idade; considerando a importância desse conhecimento para a saúde pública, essa análise mais detalhada poderia ser realizada em estudos futuros, utilizando dados apenas das regiões mais populosas, como São Paulo.

Em conclusão, este estudo amplia o conhecimento entre a temperatura do ar e a mortalidade por DPOC e contribui para estudos que mostram efeitos significativos do aquecimento global tanto no risco à saúde quanto na carga sobre os sistemas de saúde após eventos extremos. Dessa forma, é necessário instituir medidas preventivas desde o reconhecimento desse fenômeno até a criação de diretrizes locais de enfrentamento. Dessa forma, é importante orientar a população mais vulnerável sobre medidas para mitigar possíveis efeitos deletérios à saúde, além de preparar e adaptar os serviços públicos e os profissionais para o aumento da demanda por atendimento médico nesses períodos.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram na concepção e desenho do estudo. JPMG, MCN e WCMF: preparação de material; e coleta e análise de dados. IMR: preparação de material; Coleta e análise de dados; e redação do manuscrito. Todos os autores revisaram o manuscrito e aprovaram o manuscrito final.

## CONFLITO DE INTERESSES

Nenhum declarado.

## REFERÊNCIAS

1. GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 [published correction appears in *Lancet*. 2020 Nov 14;396(10262):1562]. *Lancet*. 2020;396(10258):1204-1222. 10.1016/S0140-6736(20)30925-9
2. Varmaghani M, Dehghani M, Heidari E, Sharifi F, Moghaddam SS, Farzadfar F. Global prevalence of chronic obstructive pulmonary disease: systematic review and meta-analysis. *East Mediterr Health J*. 2019;25(1):47-57. <https://doi.org/10.26719/emhj.18.014>
3. Zhao Q, Li S, Coelho MSZS, Saldiva PHN, Xu R, Huxley RR, et al. Ambient heat and hospitalisation for COPD in Brazil: a nationwide case-crossover study. *Thorax*. 2019;74(11):1031-1036. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2019-213486>
4. Han J, Liu S, Zhang J, Zhou L, Fang Q, Zhang J, et al. The impact of temperature extremes on mortality: a time-series study in Jinan,



- China. *BMJ Open*. 2017;7(4):e014741. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-014741>
5. Intergovernmental Panel on Climate Change, editor. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Internet]. 1st ed. Cambridge University Press; 2014. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
  6. Chen R, Yin P, Wang L, Liu C, Niu Y, Wang W, et al. Association between ambient temperature and mortality risk and burden: time series study in 272 main Chinese cities. *BMJ*. 2018;363:k4306. <https://doi.org/10.1136/bmj.k4306>
  7. Braga AL, Zanobetti A, Schwartz J. The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U.S. cities. *Environ Health Perspect*. 2002;110(9):859-863. <https://doi.org/10.1289/ehp.02110859>
  8. Hansel NN, McCormack MC, Kim V. The Effects of Air Pollution and Temperature on COPD. *COPD*. 2016;13(3):372-379. <https://doi.org/10.3109/15412555.2015.1089846>
  9. Brasil. Ministério da Saúde. *Tecnologia da Informação a Serviço do SUS (DATASUS)* [homepage on the Internet]. Brasília: Ministério da Saúde; c2022 [cited 2022 Jun 22]. Available from: <https://datasus.saude.gov.br/>
  10. Berrisford P, Dee DP, Poli R, Fielding BM, Fuentes M, Kallberg PW, et al. *The ERA-Interim archive Version 2.0, ERA Report Series*. Reading, UK: Shinfield Park; 2011.
  11. Dee DP, Uppala SM, Simmons AJ, Berrisford P, Poli P, Kobayashi S, et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q J Roy Meteorol Soc*. 2011;137(656):553-97. <https://doi.org/10.1002/qj.828>
  12. 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. [0.14393/rbcv70n4-46510 https://doi.org/10.14393/rbcv70n4-46510](https://doi.org/10.14393/rbcv70n4-46510)
  13. Yang J, Yin P, Zhou M, Ou CQ, Li M, Li J, et al. The burden of stroke mortality attributable to cold and hot ambient temperatures: Epidemiological evidence from China. *Environ Int*. 2016;92-93:232-238. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.04.001>
  14. Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Distributed lag non-linear models. *Stat Med*. 2010;29(21):2224-2234. <https://doi.org/10.1002/sim.3940>
  15. Tobias A, Armstrong B, Gasparrini A. Brief Report: Investigating Uncertainty in the Minimum Mortality Temperature: Methods and Application to 52 Spanish Cities. *Epidemiology*. 2017;28(1):72-76. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000567>
  16. Gasparrini A, Leone M. Attributable risk from distributed lag models. *BMC Med Res Methodol*. 2014;14:55. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-14-55>
  17. Gasparrini A. Distributed Lag Linear and Non-Linear Models in R: The Package dlnm. *J Stat Softw*. 2011;43(8):1-20. <https://doi.org/10.18637/jss.v043.i08>
  18. Zhang Y, Liu X, Kong D, Fu J, Liu Y, Zhao Y, et al. Effects of Ambient Temperature on Acute Exacerbations of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Results from a Time-Series Analysis of 143318 Hospitalizations [published correction appears in *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2021 Jul 19;16:2129-2131]. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2020;15:213-223. <https://doi.org/10.2147/COPD.S224198>
  19. Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E, Zanobetti A, Schwartz J, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet*. 2015;386(9991):369-375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)
  20. 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>
  21. Davie GS, Baker MG, Hales S, Carlin JB. Trends and determinants of excess winter mortality in New Zealand: 1980 to 2000. *BMC Public Health*. 2007;7:263. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-7-263>
  22. Tseng CM, Chen YT, Ou SM, Hsiao YH, Li SY, Wang SJ, et al. The effect of cold temperature on increased exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease: a nationwide study. *PLoS One*. 2013;8(3):e57066. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057066>
  23. Gayle AV, Quint JK, Fuertes EI. Understanding the relationships between environmental factors and exacerbations of COPD. *Expert Rev Respir Med*. 2021;15(1):39-50. <https://doi.org/10.1080/1747634.8.2020.1801426>
  24. Lin S, Luo M, Walker RJ, Liu X, Hwang SA, Chinery R. Extreme high temperatures and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases. *Epidemiology*. 2009;20(5):738-746. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e3181ad5522>
  25. Anderson GB, Dominici F, Wang Y, McCormack MC, Bell ML, Peng RD. Heat-related emergency hospitalizations for respiratory diseases in the Medicare population. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013;187(10):1098-1103. <https://doi.org/10.1164/rccm.201211-1969OC>
  26. Michelozzi P, Accetta G, De Sario M, D'Ippoliti D, Marino C, Baccini M, et al. High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. *Am J Respir Crit Care Med*. 2009;179(5):383-389. <https://doi.org/10.1164/rccm.200802-2170C>
  27. Liu C, Yavar Z, Sun Q. Cardiovascular response to thermoregulatory challenges. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2015;309(11):H1793-H1812. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00199.2015>
  28. Guo Y, Li S, Zhang Y, Armstrong B, Jaakkola JJ, Tong S, et al. Extremely cold and hot temperatures increase the risk of ischaemic heart disease mortality: epidemiological evidence from China. *Heart*. 2013;99(3):195-203. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2012-302518>
  29. Mascarenhas MS, Silva DDD, Nogueira MC, Farias WCM, Ferreira CCM, Ferreira LCM. The effect of air temperature on mortality from cerebrovascular diseases in Brazil between 1996 and 2017. *Cien Saude Colet*. 2022;27(8):3295-3306. <https://doi.org/10.1590/1413-81232022278.05092022en>
  30. Li M, Chen S, Zhao H, Tang C, Lai Y, Ung COL, et al. The short-term associations of chronic obstructive pulmonary disease hospitalizations with meteorological factors and air pollutants in Southwest China: a time-series study. *Sci Rep*. 2021;11(1):12914. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92380-z>