# *Ondas de Calor no Rio de Janeiro e Mortalidade: Impactos Desiguais e Políticas de Mitigação*

**Vinícius Peçanha[1], Rudi Rocha[2], Dimitri Szerman[3]**

[1]**Laboratório para Redução da Violência (Leme)**
[2]**FGV EAESP & Instituto de Estudos para Políticas de Saúde (IEPS)**
[3]**Amazon**

**Resumo**

- Um dia adicional de calor extremo por mês (acima de 43°C de temperatura de superfície, ou ≈ 36°C mensurados convencionalmente em termômetros e estações terrestres) aumenta a mortalidade em 1 óbito por 100 mil idosos, cerca de 10 mortes extras por dia de calor extremo em toda a cidade.
- Aproximadamente dois terços deste efeito decorrem de diferenças na exposição ao calor entre bairros do Rio de Janeiro, e apenas um terço de choques térmicos que afetam toda a cidade.
- A cobertura de Clínicas da Família reduz em 45% os impactos do calor sob condições moderadas, mas perde efeito durante ondas de calor generalizadas; a menor distância a pronto-socorros mitiga os efeitos sobre mortalidade quando ocorrem choques térmicos que afetam toda a cidade.
- Recomenda-se combinar intervenções localizadas (atenção primária, áreas verdes, habitação) com preparo sistêmico (alertas, centros de resfriamento, serviços de emergência), pois estratégias isoladas são insuficientes para mitigar o efeito de eventos extremos de temperatura.
- O estudo completo está disponível no site do IEPS.

## Introdução

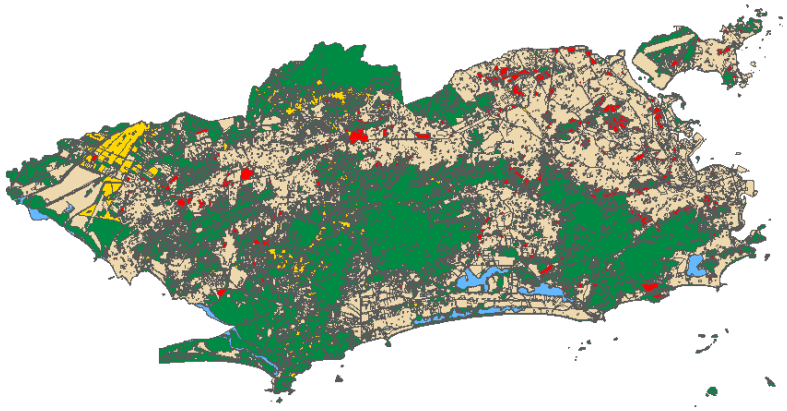
Eventos de calor extremo representam uma crescente ameaça à saúde pública, especialmente em contextos urbanos. A literatura internacional tem documentado extensivamente a relação entre temperaturas elevadas e mortalidade, mas a maior parte dos estudos utiliza variação entre cidades ou regiões, assumindo implicitamente que a exposição ao calor é uniforme dentro de áreas urbanas (Burke et al., 2025).

Essa abordagem pode mascarar heterogeneidades importantes. Estudos recentes indicam que a exposição ao calor pode variar substancialmente dentro de uma mesma cidade, devido a fatores como características geográficas, densidade de vegetação, proximidade ao mar e padrões de urbanização. No caso do Rio de Janeiro, em particular, as diferenças de temperatura são bastante marcantes. A Figura 1 mostra como a temperatura varia dentro da cidade e como isso está relacionado com dinâmicas locais de microclimas gerados pela presença de maciços rochosos na espalhados pela cidade (Neiva, Da Silva e Cardoso, 2017). Essas diferenças localizadas na exposição levantam uma questão fundamental: em que medida os impactos do calor na saúde são também localizados em partes específicas dentro das cidades, e não apenas por choques climáticos que afetam toda a área urbana?

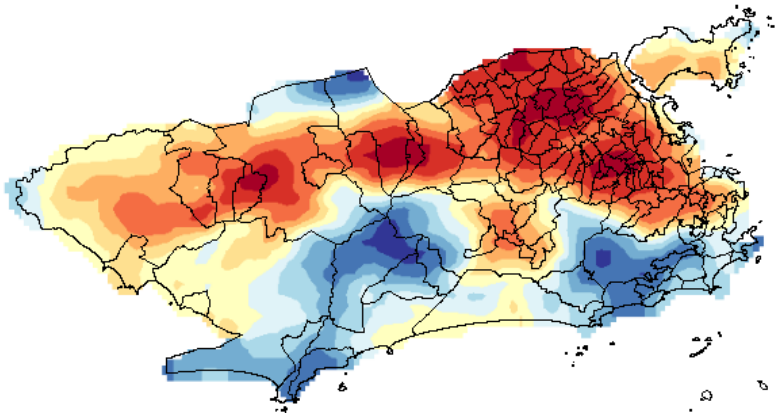
Esta questão tem implicações diretas para o desenho de políticas públicas. Se uma parcela significativa dos efeitos do calor decorre de diferenças localizadas de exposição, então intervenções direcionadas a bairros específicos, como ampliação de áreas verdes, implementação de centros de resfriamento ou expansão de serviços de saúde preventiva, podem ser estratégias eficazes de adaptação climática.

Esta nota técnica examina a relação entre calor extremo e mortalidade dentro da cidade do Rio de Janeiro, utilizando dados de temperatura por satélite de alta resolução espacial combinados com registros administrativos de óbitos. Nossos resultados indicam que aproximadamente dois terços do efeito do calor sobre a mortalidade decorrem de diferenças localizadas de exposição entre bairros, e que o acesso a serviços de saúde preventiva pode mitigar esses impactos, especialmente sob condições moderadas de estresse térmico.

**Figura 1.** **Rio de Janeiro: Uso da Terra e Mapa de Calor**



**(a)** **Uso da Terra**



**(b)** **Temperatura Média da Superfície Terrestre (LST)**

Notas: Os dados de uso do solo estão disponíveis publicamente no *data lake* do Instituto Pereira Passos (data.rio). Construímos a temperatura de superfície terrestre (LST) média em nível de pixel para todo o período de análise. Na subfigura (a), as áreas sob maciços florestados são representadas em verde; as áreas urbanas, em amarelo claro; as lagoas, em azul claro; e as favelas, em vermelho. Na subfigura (b), tons de azul mais escuros indicam pixels mais frios, enquanto tons de vermelho mais escuros indicam pixels mais quentes.

## Dados

### Temperatura

Utilizamos dados de Temperatura da Superfície Terrestre (*Land Surface Temperature* - LST) derivados de imagens de satélite MODIS (sensor a bordo do satélite Aqua da NASA). Esses dados fornecem temperatura diária em resolução espacial de 1 km$^2$, permitindo capturar variações térmicas dentro da cidade que seriam impossíveis de mensurar com as poucas estações meteorológicas convencionais disponíveis no Rio de Janeiro.

A cidade possui 1.524 pixels de 1 km$^2$ cada. Construímos temperaturas médias ponderadas pela população para cada um dos 137 bairros analisados, utilizando informações dos setores censitários. Como aproximadamente metade das observações de satélite apresentam valores ausentes devido à cobertura de nuvens, implementamos métodos de imputação baseados em variáveis meteorológicas de estações terrestres (temperatura do ar, umidade, precipitação e velocidade do vento).

Nossa principal medida de estresse térmico é o número de dias por mês em que a LST excede 43°C, o que corresponde aproximadamente a 36°C de temperatura do ar, e representa o percentil 95 da distribuição de temperatura na cidade.

### Mortalidade

Os dados de mortalidade provêm do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM/Datasus) e incluem o universo de óbitos registrados no Rio de Janeiro entre 2003 e 2016, com informações sobre bairro de residência, data e causa do óbito codificada segundo a CID-10.

Focamos em mortes por doenças crônicas em idosos

(60+ anos), incluindo doenças cardiovasculares, respiratórias e endócrino-metabólicas. Essas causas estão diretamente relacionadas ao estresse fisiológico induzido pelo calor, que compromete a capacidade do organismo de regular sua temperatura e pode levar a complicações fatais, especialmente em populações vulneráveis.

### Acesso a Serviços de Saúde

Exploramos a expansão do Programa de Saúde da Família (PSF) no Rio de Janeiro, que passou de 3,7% de cobertura populacional em 2008 para mais de 50% em 2015. Geocodificamos as áreas de abrangência das Clínicas da Família e calculamos a proporção da população de cada bairro coberta pelo programa.

Adicionalmente, medimos a distância média ao pronto-socorro mais próximo, incluindo as Unidades de Pronto Atendimento (UPAs) implementadas entre 2007 e 2016.

## Metodologia

Nossa estratégia empírica baseia-se em modelos de efeitos fixos amplamente utilizados na literatura de economia climática (Deschenes, 2014; Deryugina e Hsiang, 2014; Barreca et al., 2016; Cohen e Dechezleprêtre, 2022). A especificação principal é:

$$h_{iym} = \sum_{j=1}^{J} \lambda_j B_{iym}^{j} + \alpha_{iy} + \delta_{im} + \beta_i t + \gamma' Z_{iym} + \epsilon_{iym} \tag{1}$$

onde $h_{iym}$ denota o desfecho de saúde no bairro $i$, ano $y$ e mês $m$. O termo $B_{iym}^{j}$ captura o número de dias, em um determinado bairro-ano-mês, em que a temperatura de superfície terrestre diária (LST) se enquadra na faixa $B^j$. Construímos faixas de 6°C, começando com LST igual ou inferior a 24°C e terminando com LST igual ou superior a 43°C. A categoria omitida é a faixa com LST entre 31°C e 37°C. Na maioria das tabelas, concentramos a análise nas temperaturas mais altas e relatamos apenas os coeficientes relacionados ao número de dias com LST acima de 43°C, deixando o conjunto completo de estimativas para as figuras auxiliares. Em exercícios adicionais, utilizamos medidas alternativas de ondas de calor, limiares alternativos para a faixa de temperatura mais alta e diferentes amplitudes para as faixas.

Os efeitos fixos de bairro-ano controlam choques anuais específicos de cada localidade, enquanto os efeitos fixos de bairro-mês do calendário capturam a sazonalidade típica de cada bairro. Tendências lineares específicas absorvem mudanças graduais na mortalidade e temperatura de cada bairro.

**Decomposição dos Efeitos**: Para distinguir entre efeitos localizados e efeitos comuns a toda a cidade, comparamos duas especificações:

- *Modelo benchmark:* identifica efeitos usando tanto variação entre bairros quanto variação temporal comum.
- *Modelo saturado:* adiciona efeitos fixos de tempo (ano-mês), absorvendo choques comuns à cidade inteira (como ondas de calor generalizadas).

A diferença entre os coeficientes estimados nessas especificações nos permite quantificar quanto do efeito do calor decorre de diferenças localizadas de exposição versus choques que afetam toda a cidade simultaneamente.

## Resultados

### Efeitos do Calor sobre a Mortalidade

A Tabela 1 apresenta os efeitos de diferentes medidas de estresse térmico sobre a mortalidade por doenças crônicas em idosos. Os resultados da coluna 2 (modelo *benchmark*) indicam um efeito significativo do calor sobre a mortalidade: um dia adicional com temperatura acima de 43°C aumenta a mortalidade em 1,016 óbitos por 100.000 idosos (aproximadamente 0,56% da taxa média mensal), o que corresponde a cerca de 10 mortes adicionais em toda a cidade do Rio para cada dia de calor extremo. Esta estimativa captura tanto os efeitos de variações localizadas entre bairros quanto os efeitos de choques térmicos que afetam toda a cidade simultaneamente.

Para entender a importância relativa dessas duas fontes de variação, comparamos esta estimativa com a da coluna 3, que adiciona efeitos fixos de tempo (ano-mês). Esses efeitos fixos funcionam como controles para tudo que acontece simultaneamente em toda a cidade em um determinado mês, incluindo ondas de calor generalizadas, campanhas de saúde pública, ou quaisquer outros choques temporais comuns. Ao incluí-los, a estimativa passa a identificar o efeito do calor exclusivamente a partir de diferenças de exposição entre bairros dentro do mesmo mês. Em outras palavras: o modelo agora compara bairros mais quentes com bairros mais frios no mesmo período de tempo, isolando o componente espacial do efeito.

**Tabela 1. Efeitos de Choques Térmicos sobre Mortalidade**

| Medida de Choque Térmico | (1) Ano FE | (2) Benchmark | (3) Com Tempo FE |
|---|---|---|---|
| 1. Número de Dias com Alta Temperatura | 1,051 | 1,016 | 0,590 |
| | (0,200)*** | (0,198)*** | (0,277)** |
| 2. Número de Ondas de Calor de 3 dias | 6,490 | 6,470 | 4,057 |
| | (1,140)*** | (1,119)*** | (1,268)*** |
| 3. Número de Ondas de Calor de 5 dias | 8,045*** | 8,102*** | 2,618 |
| | (2,084) | (2,074) | (2,371) |
| 4. Número de Ondas de Calor de 7 dias | 12,418*** | 12,079*** | 3,823 |
| | (3,620) | (3,627) | (4,013) |
| Observações | 23.016 | 23.016 | 23.016 |
| Média da variável dependente | 181,0 | 181,0 | 181,0 |

*Notas:* Os dados formam um painel mensal de bairros. Cada linha mostra o efeito de uma medida alternativa de choque de temperatura. Na linha 1, a variável de choque é o número de dias com LST superior a 43°C para um bairro $i$, no ano $y$ e mês $m$. Nessa especificação, também controlamos por outras faixas de temperatura, sendo a categoria omitida aquela com temperaturas entre 31°C e 37°C. Nas linhas 2-4, o choque é o número de eventos com mais de 3 dias consecutivos de temperaturas acima de 43°C. A variável dependente é a taxa de mortalidade por doenças crônicas por 100.000 para indivíduos acima de 60 anos de idade. Doenças crônicas são definidas como aquelas decorrentes de doenças do sistema circulatório (Capítulo I), do sistema respiratório (Capítulo J) e de doenças endócrinas, nutricionais e metabólicas (Capítulo E). A coluna 'Ano FE' controla por efeito fixo de bairro x ano, a coluna 'Benchmark' controla por bairro x ano e bairro x mês (calendário) e a coluna 'Com Tempo FE' adiciona efeito fixo de tempo. Erros-padrão agrupados no nível do bairro (entre parênteses). Todas as regressões são ponderadas pela população com 60 anos ou mais em cada bairro. A tendência linear refere-se a uma tendência linear específica de cada bairro. Os controles incluem a proporção da população coberta por Clínicas da Família, a distância média do bairro até a sala de emergência mais próxima e o número de Unidades de Polícia Pacificadora, estações de BRT e estações de metrô em cada bairro-mês. * significativo a 10%; ** significativo a 5%; *** significativo a 1%.

A redução do coeficiente de 1,016 para 0,590 (uma queda de aproximadamente 40%) revela que cerca de dois terços do efeito total decorrem de diferenças localizadas de exposição entre bairros, enquanto um terço reflete choques comuns à cidade inteira. Este resultado tem uma implicação importante: mesmo quando toda a cidade experimenta calor intenso, a variação espacial na intensidade dessa exposição continua sendo o principal determinante dos impactos sobre a mortalidade. Bairros que, em um dado mês, experimentam temperaturas relativamente mais altas do que outros sofrem aumentos substanciais de mortalidade. Observamos também que as ondas de calor intensificam os impactos: os efeitos aumentam com a duração da onda de calor, com uma onda de 3 dias elevando a mortalidade em 6,5 óbitos por 100.000, e uma onda de 7 dias em 12,1 óbitos. Contudo, esses efeitos atenuam-se mais rapidamente quando controlamos por choques comuns (coluna 3). Por exemplo, o efeito de uma onda de 7 dias cai de 12,1 para 3,8 óbitos. Este padrão é consistente com a ideia de que ondas de calor prolongadas tendem a afetar toda a cidade de forma mais uniforme, comprimindo a variação espacial entre bairros. Quando o calor persiste por muitos dias consecutivos, mesmo áreas normalmente mais frescas (como a Zona Sul, próxima ao mar) acabam aquecendo, reduzindo as diferenças de exposição, que são a principal fonte de identificação na especificação com efeitos fixos de tempo.

## Políticas de Mitigação: O Papel dos Serviços de Saúde

A Tabela 2 examina se o acesso a serviços de saúde pode mitigar os impactos do calor, testando interações com duas variáveis-chave: (i) cuidados preventivos, medidos pela proporção da população coberta por Clínicas da Família (PSF); e (ii) acesso a emergências, capturado pela distância média do bairro até o pronto-socorro (PS) mais próximo.

**Tabela 2. Efeitos de Choques Térmicos sobre Mortalidade**

| Variável | (1) Benchmark | (2) Com Tempo FE |
|---|---|---|
| Número de Dias com Alta Temperatura | 0,818 | 0,217 |
| | (0,332)** | (0,382) |
| Dias Quentes × Cuidados Preventivos | -1,756 | -0,383 |
| | (0,658)*** | (0,700) |
| Dias Quentes × Distância a PS | 0,243 | 0,248 |
| | (0,134)* | (0,147)* |
| Observações | 23.016 | 23.016 |
| Média da variável dependente | 181,0 | 181,0 |

*Notas:* Os dados formam um painel mensal de bairros. Cada linha mostra o efeito de uma medida alternativa de choque de temperatura. Na linha 1, a variável de choque é o número de dias com LST superior a 43°C para um bairro $i$, no ano $y$ e mês $m$. Nessa especificação, também controlamos por outras faixas de temperatura, sendo a categoria omitida aquela com temperaturas entre 31°C e 37°C. Na outras linhas, interagimos a variável número de dias com alta temperatura com as variáveis associados a cuidados preventivos (percentual de população coberta por Clínicas da Família no bairro naquele período de tempo) e à distância média uma emergência. A variável dependente é a taxa de mortalidade por doenças crônicas por 100.000 para indivíduos acima de 60 anos de idade. Doenças crônicas são definidas como aquelas decorrentes de doenças do sistema circulatório (Capítulo I), do sistema respiratório (Capítulo J) e de doenças endócrinas, nutricionais e metabólicas (Capítulo E). A coluna 'Benchmark' controla por bairro x ano e bairro x mês (calendário) e a coluna 'Com Tempo FE' adiciona efeito fixo de tempo. Erros-padrão agrupados no nível do bairro (entre parênteses). Todas as regressões são ponderadas pela população com 60 anos ou mais em cada bairro. A tendência linear refere-se a uma tendência linear específica de cada bairro. Os controles incluem a proporção da população coberta por Clínicas da Família, a distância média do bairro até a sala de emergência mais próxima e o número de Unidades de Polícia Pacificadora, estações de BRT e estações de metrô em cada bairro-mês. * significativo a 10%; ** significativo a 5%; *** significativo a 1%.

Os principais achados são os seguintes: primeiramente, cuidados preventivos mitigam os impactos do calor moderado. Na especificação sem efeitos fixos de tempo (coluna 1), o coeficiente de interação é negativo e significativo (-1,756). Um aumento de um desvio-padrão na cobertura de Clínicas da Família (21 pontos percentuais) reduz o impacto do calor em aproximadamente 45%.

Em segundo lugar, o efeito da prevenção enfraquece sob calor extremo generalizado: quando adicionamos efeitos fixos de tempo (coluna 2), que absorvem ondas de calor que afetam toda a cidade, o efeito mitigador da atenção primária torna-se estatisticamente insignificante. Isso sugere que a atenção preventiva é mais eficaz quando a exposição varia entre bairros, mas perde efetividade quando toda a cidade sofre estresse térmico simultâneo.

Por fim, o acesso a emergências permanece importante: o coeficiente de interação com a distância ao pronto-socorro é positivo e significativo em ambas as especificações, com magnitude estável. Maior distância aos serviços de emergência amplifica os impactos do calor. Crucialmente, o acesso a pronto-socorros continua sendo protetor mesmo durante ondas de calor generalizadas (coluna 2), indicando que serviços de emergência são fundamentais quando choques térmicos afetam toda a cidade.

As implicações a seguir referem-se a políticas de mitigação dos impactos do calor sobre a saúde, com base nos resultados apresentados.

As políticas localizadas são eficazes sob condições moderadas. A expansão de serviços de atenção primária, como as Clínicas da Família, reduz significativamente os impactos do calor quando a exposição varia entre bairros. Além disso, investimentos em infraestrutura verde, sombreamento e melhorias habitacionais em bairros mais vulneráveis podem gerar alto retorno em termos de proteção à saúde.

A preparação sistêmica é essencial para eventos extremos. Durante ondas de calor que afetam toda a cidade, a efetividade de intervenções preventivas localizadas diminui, tornando o acesso a serviços de emergência relativamente mais importante. Sistemas de alerta precoce e planos de resposta coordenados em nível municipal são necessários para redu-

zir riscos e proteger populações vulneráveis.

Estratégias complementares, e não substitutas, são fundamentais. A adaptação eficaz requer uma combinação de intervenções localizadas e preparação sistêmica, já que políticas que atuem apenas em um nível, local ou municipal, podem deixar segmentos da população desprotegidos em determinados cenários.

Para cidades tropicais que enfrentam crescentes riscos climáticos, recomenda-se mapear microvariações térmicas para identificar bairros prioritários para intervenções, expandir a cobertura de atenção primária em áreas mais quentes e socioeconomicamente vulneráveis, garantir acesso equitativo a serviços de emergência, especialmente em áreas periféricas, desenvolver planos de resposta a ondas de calor que incluam alertas públicos, abertura de centros de resfriamento e mobilização coordenada de serviços de saúde, e investir em infraestrutura de adaptação, como áreas verdes urbanas e melhorias habitacionais.

## Considerações Finais

Esta nota técnica apresenta evidências de que os impactos do calor extremo sobre a mortalidade no Rio de Janeiro são substancialmente determinados por diferenças localizadas de exposição dentro da cidade. Aproximadamente dois terços do efeito estimado decorrem de variação entre bairros, enquanto um terço reflete choques comuns a toda a área urbana.

À medida que as temperaturas continuam a subir devido às mudanças climáticas, compreender e preparar-se para as dimensões localizadas e sistêmicas dos riscos climáticos será essencial para proteger populações urbanas vulneráveis.

O estudo completo está disponível como Texto para Discussão n. 22 do IEPS.

### Agradecimentos

Agradecemos a Bruna Borges, Lucas Falcão e Helena Ciorra pelos comentários.

## Referências

Barreca, Alan, Karen Clay, Olivier Deschenes, Michael Greenstone e Joseph S. Shapiro. 2016. “Adapting to Climate Change: The Remarkable Decline in the US Temperature-Mortality Relationship over the Twentieth Century” [em en]. *Journal of Political Economy* 124, n. 1 (fevereiro): 105–159. Acesso em 11 de julho de 2019. https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/684582.

Burke, Marshall, Andrew J Wilson, Tumenkhusel Avirmed, Jonas Wallstein, Mariana CM Martins, Patrick Behrer, Christopher W Callahan, Marissa Childs, June Choi, Karina French et al. 2025. *Understanding and addressing temperature impacts on mortality.* Relatório técnico. National Bureau of Economic Research.

Cohen, François e Antoine Dechezleprêtre. 2022. “Mortality, temperature, and public health provision: evidence from Mexico”. *American Economic Journal: Economic Policy* 14 (2): 161–92.

Deryugina, Tatyana e Solomon Hsiang. 2014. *Does the Environment Still Matter? Daily Temperature and Income in the United States* [em en]. Relatório técnico w20750. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, dezembro. Acesso em 11 de julho de 2019. http://www.nber.org/papers/w20750.pdf.

Deschenes, Olivier. 2014. “Temperature, human health, and adaptation: A review of the empirical literature”. *Energy Economics* 46:606–619.

Neiva, Henderson Da Silva, Michele Souza Da Silva e Cristiane Cardoso. 2017. “Analysis of Climate Behavior and Land Use in the City of Rio de Janeiro, RJ, Brazil”. *Climate* 5 (3): 52.

**Instituto de Estudos para Políticas de Saúde**

Peçanha, V., Rocha, R., Szerman, D. (2026). *Ondas de Calor no Rio de Janeiro e Mortalidade: Impactos Desiguais e Políticas de Mitigacão*. Nota Técnica n. 43. São Paulo: Instituto de Estudos para Políticas de Saúde.

www.ieps.org.br
contato@ieps.org.br