

Impacto da Poluição do Ar por $MP_{2,5}$ na Mortalidade por Doenças do Aparelho Circulatório nos Bairros do Município do Rio de Janeiro (2000-2019)

Impact of $PM_{2,5}$ Air Pollution on Mortality from Circulatory System Diseases in the Neighborhoods of the City of Rio de Janeiro (2000-2019)

Paulo Henrique de Moura,¹ Leandro Dias Gomes de Carvalho,¹ Paulo Henrique Godoy,² Lucia Helena Alvares Salis,¹ Marina Silva Paez,¹ Mariane Branco Alves,¹ Luiz Francisco Pires Guimarães Maia,¹ Renata Libonati dos Santos,¹ Nelson Albuquerque de Souza e Silva¹

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ),¹ Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO),² Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Resumo

Fundamento: A poluição do ar por material particulado fino com diâmetro aerodinâmico $\leq 2,5 \mu m$ ($MP_{2,5}$) é o principal fator de risco ambiental associado às doenças do aparelho circulatório (DAC), às doenças isquêmicas do coração (DIC) e às doenças cerebrovasculares (DCBV).

Objetivo: Estimar as taxas de mortalidade por DAC, DIC e DCBV (2000-2019) entre residentes dos 164 bairros do município do Rio de Janeiro, conforme os níveis de $MP_{2,5}$.

Métodos: Estudo ecológico retrospectivo com dados georreferenciados de satélite, classificados em três níveis de $MP_{2,5}$, e registros de óbitos do Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde por DAC, DIC e DCBV em indivíduos de ambos os sexos, com idade ≥ 20 anos, no período de 2000 a 2019. Calcularam-se taxas de mortalidade por 1.000 habitantes, ajustadas por idade, e realizaram-se análises estatísticas comparativas entre os sexos, níveis de $MP_{2,5}$ e faixas etárias (significância de 5%).

Resultados: Cerca de 91% dos 4,7 milhões de residentes (≥ 20 anos) vivem em áreas de alta ou extrema poluição por $MP_{2,5}$. Os óbitos ocorreram até 3,4 anos mais precocemente entre homens, em comparação a áreas de poluição moderada. As maiores taxas de mortalidade por DAC foram observadas em bairros com poluição alta e extrema (feminino = $3,9 \pm 1,7$; intervalo de confiança de 95% [IC 95%] = 3,5-4,2); masculino = $4,6 \pm 2,1$; IC 95% = 4,1-4,9), especialmente na faixa etária ≥ 70 anos. Houve associações significativas entre as taxas de mortalidade e os níveis de poluição para DAC ($p = 0,019$), DIC ($p = 0,025$) e DCBV ($p = 0,002$) na faixa etária de 50-69 anos, comparando áreas moderadamente e extremamente poluídas. Verificou-se vulnerabilidade social intermediária/alta em 71% dos bairros, com gradiente socioambiental crescente que associa maior vulnerabilidade a concentrações mais elevadas de $MP_{2,5}$ ($R = 0,354$; $p = 0,001$).

Conclusão: As concentrações médias de $MP_{2,5}$ nos bairros do Rio de Janeiro excederam em quatro vezes o padrão recomendado pela Organização Mundial de Saúde. A mortalidade por DAC é significativamente mais elevada e precoce em áreas de poluição alta ou extrema.

Palavras-chave: Mortalidade; Doenças Cardiovasculares; Poluição do Ar; Mapeamento Geográfico.

Abstract

Background: Air pollution by fine particulate matter with an aerodynamic diameter $\leq 2.5 \mu m$ ($PM_{2,5}$) is the main environmental risk factor associated with diseases of the circulatory system (DCS), ischemic heart disease (IHD), and cerebrovascular diseases (CBVD).

Objective: To estimate mortality rates from DCS, IHD, and CBVD (2000-2019) among residents of the 164 neighborhoods of Rio de Janeiro, according to $PM_{2,5}$ levels.

Methods: This retrospective ecological study used georeferenced satellite data classified into three $PM_{2,5}$ levels and mortality records from the Department of Information and Informatics of the Unified Health System for DCS, IHD, and CBVD among individuals of both sexes aged

Correspondência: Paulo Henrique de Moura •

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto do Coração Edson Saad - R. Prof. Rodolpho Paulo Rocco, 255. CEP 21941-913, Prédio do HU, 8º andar, sala 6, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ - Brasil

E-mail: paulohdemoura@gmail.com

Artigo recebido em 12/07/2025, revisado em 25/09/2025, aceito em 23/10/2025

Editor responsável pela revisão: Marcio Bittencourt

DOI: <https://doi.org/10.36660/abc.20250459>

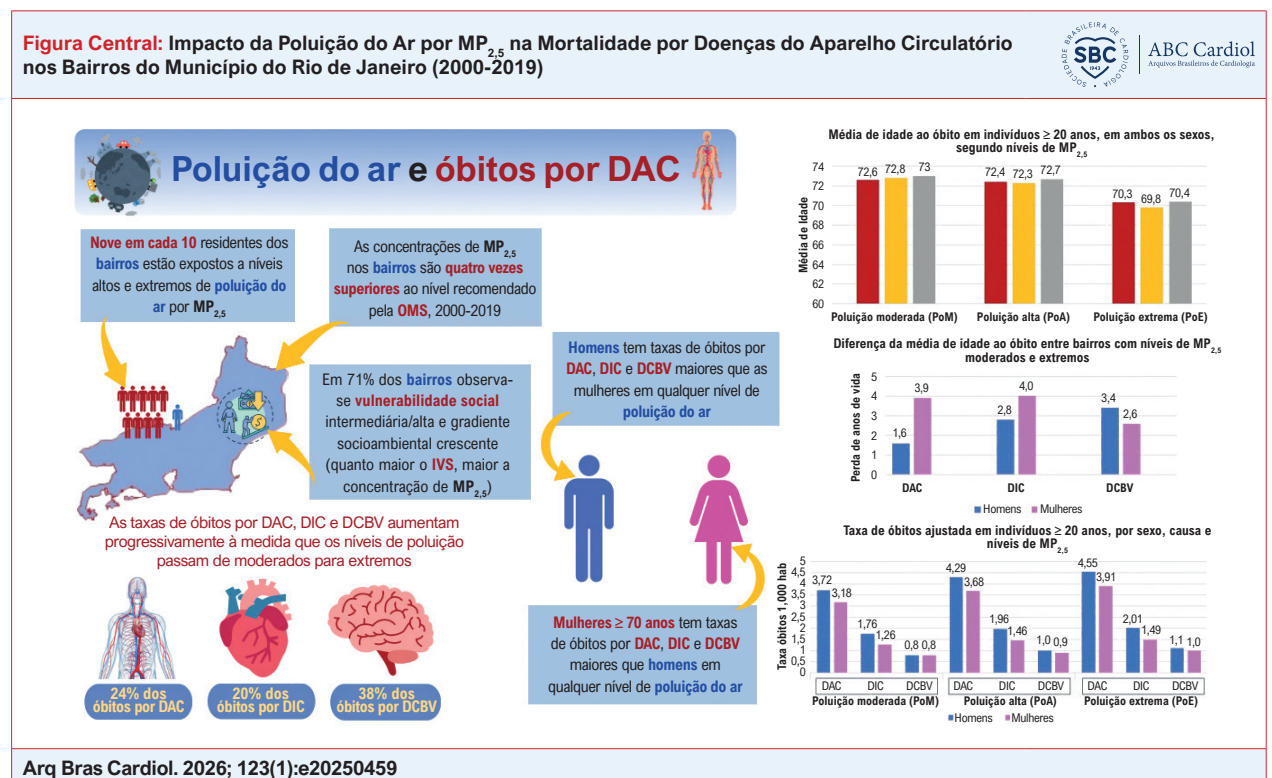
≥ 20 years from 2000 to 2019. Age-adjusted mortality rates per 1,000 inhabitants were calculated, and comparative statistical analyses were performed by sex, $PM_{2.5}$ level, and age group (5% significance).

Results: Approximately 91% of the 4.7 million residents (≥ 20 years) live in areas with high or extreme $PM_{2.5}$ pollution. Deaths occurred up to 3.4 years earlier among men living in highly polluted areas compared with those in moderately polluted areas. The highest DCS mortality rates were observed in neighborhoods with high and extreme pollution (female = 3.9 ± 1.7 ; 95% CI = 3.5-4.2; male = 4.6 ± 2.1 ; 95% CI = 4.1-4.9), particularly in individuals aged ≥ 70 years. Significant associations were found between mortality rates and pollution levels for DCS ($p = 0.019$), IHD ($p = 0.025$), and CBVD ($p = 0.002$) in the 50-69-year age group when comparing moderately and extremely polluted areas. Intermediate/high social vulnerability was identified in 71% of neighborhoods, with an increasing socioenvironmental gradient linking higher vulnerability to higher $PM_{2.5}$ concentrations ($R = 0.354$; $p = 0.001$).

Conclusion: Mean $PM_{2.5}$ concentrations in the neighborhoods of Rio de Janeiro exceeded the World Health Organization's recommended standard by a factor of four. Mortality from DCS is significantly higher and occurs earlier in areas with high or extreme levels of pollution.

Keywords: Mortality; Cardiovascular Diseases; Air Pollution; Geographic Mapping.

Full texts in English - <https://abccardiol.org/en/>



Níveis de poluição do ar nos bairros do município do Rio de Janeiro, taxas de mortalidade por DAC, DIC e DCBV (por 1.000 habitantes) em indivíduos ≥ 20 anos, precocidade dos óbitos e IVS, 2000-2019. DAC: doenças do aparelho circulatório; DCBV: doenças cerebrovasculares; DIC: doenças isquêmicas do coração; IVS: índice de vulnerabilidade social; $PM_{2.5}$: material particulado fino com diâmetro aerodinâmico $\leq 2,5 \mu m$; OMS: Organização Mundial de Saúde; PoA: poluição alta; PoE: poluição extrema; PoM: poluição moderada.

Introdução

As doenças do aparelho circulatório (DAC), que incluem as doenças isquêmicas do coração (DIC) e as doenças cerebrovasculares (DCBV), são a principal causa de mortalidade global, respondendo por 34% dos óbitos em 2019. Juntas, DIC e DCBV corresponderam a 85% das mortes por DAC, com três quartos desses óbitos ocorrendo em países de baixa e média renda.¹

A incidência de DAC aumenta com a idade, sendo influenciada por fatores de risco clássicos, como hipertensão,

tabagismo, alimentação e sedentarismo, e por fatores emergentes, como a poluição atmosférica e as desigualdades sociais, que antecipam a idade dos óbitos.²

A poluição atmosférica é um problema de saúde pública global e urgente; em 2021, o *Global Burden of Disease* atribuiu a ela 8,1 milhões de óbitos, classificando-a como o segundo maior fator de risco para mortalidade e o primeiro para anos de vida perdidos ajustados por incapacidade (235,9 milhões), superada apenas pela hipertensão arterial.³⁻⁵

No Brasil, a concentração média anual de material particulado fino com diâmetro aerodinâmico $\leq 2,5 \mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2,5}$) atinge $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, excedendo em 140% o limite recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) ($5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), que alerta para a inexistência de níveis seguros de exposição. DIC e DCBV lideram o percentual de óbitos atribuíveis ao $\text{MP}_{2,5}$.^{4,6}

O monitoramento remoto por satélite tem sido utilizado para a vigilância da poluição atmosférica, oferecendo ampla cobertura geográfica e longas séries temporais, o que o torna particularmente útil em estudos de agravos à saúde.⁷

Apesar das evidências sobre poluição e saúde cardiovascular, persistem lacunas na literatura, especialmente em recortes locais, como o nível de bairros. Não há relatos que especifiquem as taxas de óbitos por DAC, DIC e DCBV em diferentes níveis de $\text{MP}_{2,5}$ nos 164 bairros do município do Rio de Janeiro. Assim, este estudo investiga a associação entre as taxas de mortalidade por DAC, DIC e DCBV na população com idade ≥ 20 anos, segundo níveis de $\text{MP}_{2,5}$ estimados por satélite nos 164 bairros do município do Rio de Janeiro, de 2000 a 2019.

Métodos

Delineamento do estudo

Estudo ecológico de séries espaço-temporais, com desenho de coorte retrospectiva, utilizando bancos de dados de óbitos e de poluição atmosférica dos bairros do município do Rio de Janeiro, com abordagem analítica, abrangendo o período de 2000 a 2019.

Fontes de dados: poluição atmosférica e mortalidade

O poluente atmosférico analisado foi o $\text{MP}_{2,5}$, mensurado em $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Os dados foram extraídos das bases do *Atmospheric Composition Group*, obtidos por sensoriamento remoto via satélite. Foram utilizadas as médias das concentrações anuais de $\text{MP}_{2,5}$ para os 164 bairros no período de 2000 a 2019.

Os 164 bairros foram categorizados em três estratos, de acordo com os níveis de concentração de $\text{MP}_{2,5}$ ao longo dos 20 anos. A categorização utilizou como referência o padrão final proposto pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, que considera concentrações anuais de $\text{MP}_{2,5}$ até $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como "seguras". Para a análise da exposição, os estratos foram definidos da seguinte forma: poluição moderada (PoM), com concentrações anuais $\leq 12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; poluição alta (PoA), com concentrações anuais de $12,6$ - $15,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$; e poluição extrema (PoE), com concentrações anuais $> 15,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Após essa classificação, 107 bairros foram classificados como PoE, 43 como PoA e 14 como PoM.

Para as análises socioeconômicas, utilizou-se o índice de vulnerabilidade social (IVS) referente ao ano de 2010 para os 164 bairros, disponibilizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

Os dados de óbitos por DAC, DIC e DCBV (linhas A, B, C e D e causa básica de óbito) foram obtidos no Sistema de Informação sobre Mortalidade, vinculado ao Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde, incluindo indivíduos de ambos os sexos, com idade ≥ 20

anos, residentes nos 164 bairros monitorados por satélite para $\text{MP}_{2,5}$, no período de 2000 a 2019. Foram excluídos bairros com dados ausentes e óbitos com códigos de causa de morte inexistentes.

A codificação diagnóstica seguiu a Classificação Internacional de Doenças, 10ª Revisão: DAC (I00-I99), DIC (I20-I25, I50) e DCBV (I60-I69). A análise dos óbitos foi realizada em três etapas de filtragem: por código do município do Rio de Janeiro, por código de bairro e por causa de óbito (DAC, DIC, DCBV).

A pesquisa foi aprovada por um comitê de ética em pesquisa (CAAE 72977223.1.0000.8044).

Análise estatística

Os três estratos de concentração de $\text{MP}_{2,5}$ nos 164 bairros foram descritos quanto às concentrações médias anuais, máximas, mínimas e dispersão ao longo dos 20 anos. Foram calculadas as médias anuais e a média geral de $\text{MP}_{2,5}$ para todos os bairros. Utilizou-se a correlação de Pearson entre as médias de $\text{MP}_{2,5}$ e o IVS, bem como a estratificação do IVS segundo os estratos de $\text{MP}_{2,5}$.

As taxas de mortalidade por 1.000 habitantes/bairro para óbitos por DAC, DIC e DCBV, em indivíduos ≥ 20 anos (2000-2019), foram ajustadas por idade. Esse ajuste foi obtido ponderando-se as taxas brutas em cada faixa etária (20-49, 50-69 e ≥ 70 anos) pelo respectivo percentual populacional e somando-se os resultados.

As taxas anuais de óbitos por DAC, DIC e DCBV, ajustadas por faixa etária (≥ 20 anos), foram analisadas ao longo de 20 anos, segundo níveis de $\text{MP}_{2,5}$, sexo e faixas etárias. A população por bairro, para o período de 2010 a 2019, foi estimada por interpolação linear com base nos censos de 2000 e 2010.

A normalidade das variáveis contínuas foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk. Para a comparação das médias de idade e das taxas de óbitos ajustadas entre os sexos (dados paramétricos), utilizou-se o teste *t* de Student para amostras independentes. O nível de significância adotado foi de 5%. A análise dos tipos e das taxas de óbitos ajustadas por faixa etária e estratos de $\text{MP}_{2,5}$ empregou ANOVA de uma via com pós-teste de Tukey.

As análises estatísticas, figuras e mapas foram produzidos nos softwares RStudio (versão 4.3.2) e Sistema de Informação Geográfica QGIS (versão 3.44.0).

Resultados

Dados demográficos e de concentração de $\text{MP}_{2,5}$

Dos 164 bairros do município do Rio de Janeiro analisados, 14 foram classificados como PoM, com concentração média de $11,6 \pm 0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$; 43 como PoA, com $14,2 \pm 0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$; e 107 como PoE, com $16,7 \pm 0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nenhum bairro apresentou concentração média anual de $\text{MP}_{2,5}$ inferior a $10,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A população média anual foi de 4,7 milhões de habitantes, sendo que residentes em áreas de PoE foram 7 vezes mais

numerosos do que aqueles em áreas de PoM. A distribuição populacional por estrato de poluição foi a seguinte: PoM (14 bairros, 8,6% dos bairros e 8,6% da população), PoA (43 bairros, 26,2% dos bairros e 31,1% da população) e PoE (107 bairros, 65,2% dos bairros e 60,3% da população). A densidade populacional média anual por bairro apresentou variação entre os estratos.

Ao longo dos 20 anos de acompanhamento, as concentrações de $MP_{2,5}$ aumentaram em todos os estratos: 10,5% em PoM, 5% em PoA e 9% em PoE, com médias anuais variando de $9,6 \mu g/m^3$ (2001) a $23,0 \mu g/m^3$ (2009).

As médias do IVS evidenciaram um gradiente crescente: bairros classificados como PoM apresentaram IVS de 0,16, enquanto PoA e PoE exibiram valores mais elevados (0,21 e 0,28, respectivamente). Observou-se um gradiente socioambiental, em que maior vulnerabilidade social se associou a maiores concentrações de $MP_{2,5}$ ($R = 0,354$; $p = 0,001$).

Distribuição geográfica dos estratos de poluição ($MP_{2,5}$) nos bairros do município do Rio de Janeiro

A Figura 1 apresenta a distribuição espacial dos 164 bairros do município do Rio de Janeiro segundo os estratos

de concentração média anual de $MP_{2,5}$. A maioria dos bairros (65%) foi classificada como PoE, 26% como PoA e 9% como PoM.

Ao longo dos 20 anos analisados, toda a população média anual estimada (4.699.224 habitantes) esteve exposta a níveis não saudáveis de $MP_{2,5}$. Desse total, 60,3% (2.831.761 habitantes) residiram em áreas classificadas como PoE; ao incluir os bairros PoA, esse percentual atinge 91% da população exposta a níveis críticos de poluição atmosférica (Figura Central).

A Figura 1 evidencia que os bairros classificados como PoM encontram-se geograficamente circundados por áreas de PoA e PoE. As menores concentrações de $MP_{2,5}$ foram observadas na zona central (Alto da Boa Vista, Grajaú, Tijuca, Cosme Velho e Laranjeiras) e em parte da zona sul (São Conrado, Gávea e Jardim Botânico). Em contraste, bairros como Urca, Ipanema, Lagoa e Leblon apresentaram classificações correspondentes à PoA.

Óbitos por doenças cardiovasculares

No período de 20 anos, as DAC foram responsáveis por 37,1% dos óbitos, totalizando 983.692 indivíduos com idade ≥ 20 anos. Entre essas causas, as DIC representaram 15,9%

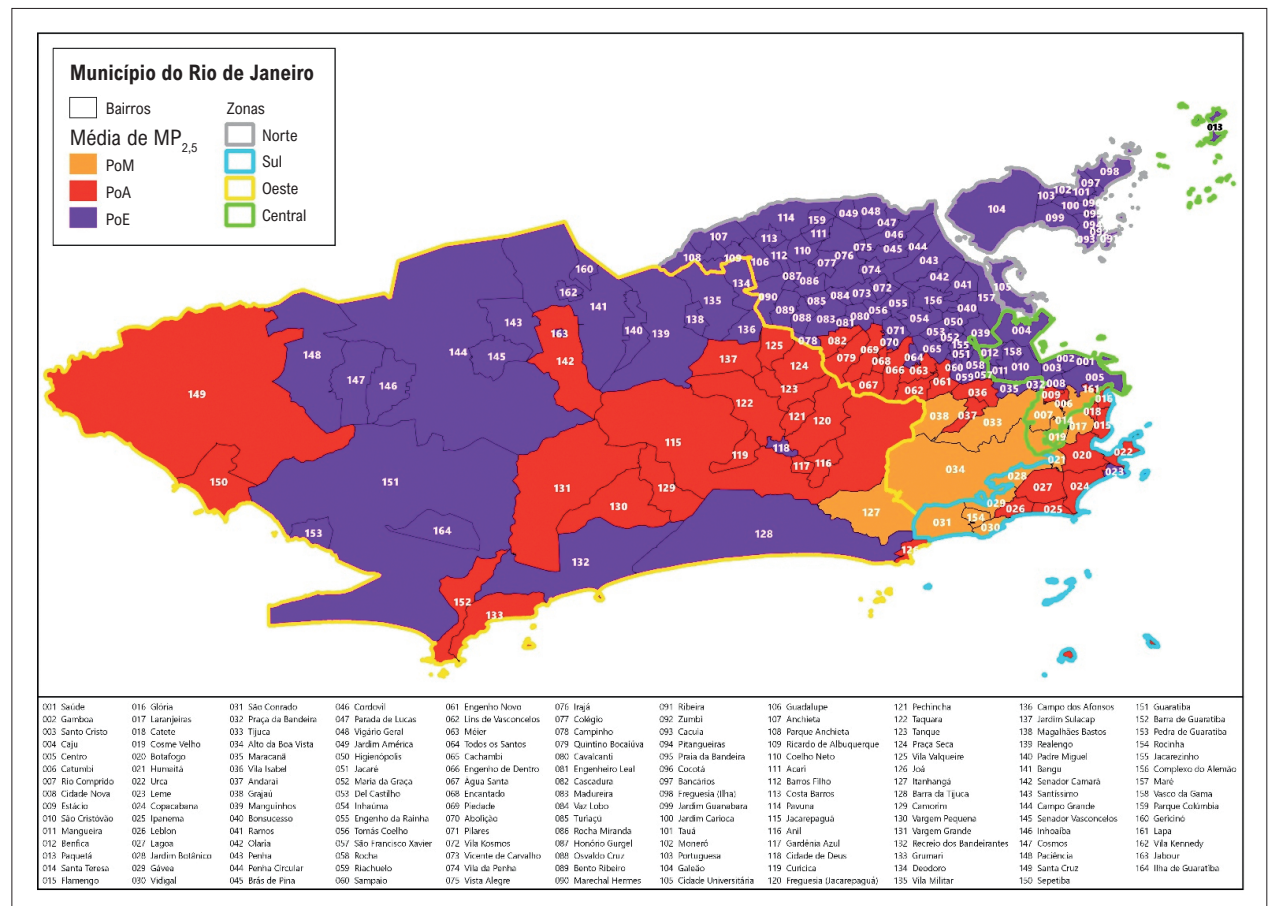


Figura 1 – Distribuição espacial dos estratos de concentração média anual de $MP_{2,5}$ nos bairros do município do Rio de Janeiro, 2000-2019. Disponível em: <https://sites.wustl.edu/acag/datasets/surface-pm2-5/#V4.GL.03>.

da mortalidade proporcional, superando as DCBV, que corresponderam a 9,7% (Tabela 2).

Nos bairros classificados como PoE, a média de idade ao óbito por causas cardiovasculares foi mais precoce em ambos os sexos, quando comparada à observada em bairros PoM. Para o sexo masculino, as diferenças (PoE – PoM) foram de – 1,6 anos para DAC, – 2,8 anos para DIC e – 3,4 anos para DCBV. Para o sexo feminino, as diferenças foram de – 3,9 anos para DAC, – 4,0 anos para DIC e – 2,6 anos para DCBV, sugerindo impacto diferenciado da poluição na idade dos óbitos segundo o sexo (Figura Central). Os óbitos por DIC foram mais precoces do que aqueles por DCBV dentro de um mesmo estrato de $MP_{2,5}$ (Tabela 2).

A análise da idade ao óbito, segundo sexo, causa e estrato de $MP_{2,5}$, evidenciou diferença estatisticamente significativa entre homens e mulheres para todas as DAC e níveis de poluição, com exceção das DCBV em bairros PoM. Óbitos masculinos foram sistematicamente mais precoces que os femininos, com maiores diferenças em DIC (6,5 anos) e menores em DCBV (3,1 anos).

As taxas de óbitos ajustadas por 1.000 habitantes (≥ 20 anos, ambos os sexos) por DAC, DIC e DCBV foram consistentemente menores em bairros com PoM de $MP_{2,5}$, quando comparadas às áreas classificadas como PoA e PoE (Tabela 3). Observou-se aumento relativo das taxas de óbitos de PoM para PoE de 24% para DAC, 20% para DIC e 38% para DCBV (Figura Central).

As maiores diferenças absolutas entre os sexos nas taxas de óbitos por DAC foram registradas em bairros com PoE (0,7 óbito por 1.000 habitantes). O sexo masculino apresentou taxas de óbitos mais elevadas para DAC e DIC. Para DCBV, entretanto, as taxas foram semelhantes entre os sexos, sobretudo em bairros com PoM. A análise estatística confirmou diferenças significativas nas taxas de óbitos entre os sexos para DAC e DIC, mas não para DCBV (Tabela 3).

A análise por ANOVA, seguida de teste *post-hoc*, não identificou efeito estatisticamente significativo dos estratos

de $MP_{2,5}$ nas taxas de óbitos por DAC ($p = 0,072$) e por DIC ($p = 0,144$). Contudo, observou-se efeito significativo para DCBV ($p = 0,027$), especificamente entre bairros classificados como PoM e PoE (*post-hoc* $p = 0,039$), conforme apresentado na Tabela 3.

A Tabela 4 detalha as taxas de óbitos por 1.000 habitantes (ajustadas por idade ≥ 20 anos), estratificadas por faixa etária e sexo, evidenciando aumento progressivo das taxas com o avanço da idade, em todas as causas, estratos de $MP_{2,5}$ e em ambos os sexos, com transição de valores menores no feminino para maiores no masculino.

Identificaram-se diferenças significativas entre os sexos, principalmente nas faixas etárias de 20-49 e 50-69 anos, com taxas consistentemente superiores no sexo masculino. Essa disparidade foi mais acentuada em PoM para a faixa de 50-69 anos, na qual a taxa masculina representou aumento de 165% em relação à feminina (taxa feminina = 0,68). Em contraste, para a faixa ≥ 70 anos, as taxas femininas foram maiores ou semelhantes às masculinas em todas as causas e estratos de $MP_{2,5}$.

As taxas de óbitos por DIC foram menores entre as mulheres, mas a diferença entre os sexos aumentou com a elevação dos níveis de $MP_{2,5}$. Para DCBV, embora as taxas masculinas na faixa de 50-69 anos fossem inferiores às femininas, essa relação se inverteu nas demais faixas etárias, com maior magnitude no sexo masculino.

A inferência estatística pelo teste de ANOVA, seguida de *post-hoc*, não demonstrou efeito significativo dos níveis de $MP_{2,5}$ nas taxas de óbitos das faixas etárias 20-49 e ≥ 70 anos. Entretanto, observou-se significância estatística para DAC ($p = 0,019$), DIC ($p = 0,025$) e DCBV ($p = 0,002$) na faixa de 50-69 anos, comparando bairros classificados como PoM e PoE.

A Figura 2 demonstra que as taxas ajustadas de óbitos por DAC, DIC e DCBV em indivíduos com idade ≥ 20 anos apresentaram tendência de declínio contínuo entre 2000 e 2019, independentemente do estrato de $MP_{2,5}$. Os bairros

Tabela 1 – População residente (≥ 20 anos) segundo os estratos de concentração de $MP_{2,5}$ nos bairros do município do Rio de Janeiro, 2000-2019

Estrato por nível de $MP_{2,5}$	Nº de bairros*	IVS médio	Média anual da população (IC 95%)**	População mínima***	População máxima***	População total****
PoM ($\leq 12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	14	0,16	28.858 (10.093-47.623)	532	132.537	404.009
PoA (12,6-15,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	43	0,21	34.034 (24.237-43.830)	96	140.714	1.463.454
PoE ($\geq 15,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	107	0,28	26.465 (20.217-32.713)	863	231.797	2.831.761

IC: intervalo de confiança; IVS: índice de vulnerabilidade social; $MP_{2,5}$: material particulado fino com diâmetro aerodinâmico $\leq 2,5 \mu\text{m}$; PoA: poluição alta; PoE: poluição extrema; PoM: poluição moderada. *Número de bairros do município do Rio de Janeiro. **Média anual da população residente ≥ 20 anos em cada estrato de $MP_{2,5}$, com IC 95%. ***População mínima e máxima: menor e maior média anual de habitantes ≥ 20 anos residentes por bairro em cada estrato. ****População total: soma das médias anuais de população dos bairros que compõem cada estrato de $MP_{2,5}$. Fonte: Sistema de Informação sobre Mortalidade/Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde.

Tabela 2 – Óbitos por DAC, DIC e DCBV (idade ≥ 20 anos) segundo estratos de concentração de MP_{2,5}, sexo, mortalidade proporcional e médias de idade ao óbito nos bairros do município do Rio de Janeiro, 2000-2019

Causa de óbito	Nível de MP _{2,5}	Bairros por estrato de MP _{2,5} (n°)	N° de óbitos (total M + F)	Mortalidade proporcional (total M + F)**	Média idade óbitos (total M + F) ± DP***	Média idade óbitos (F) ± DP (IC 95%)****	Média idade óbitos (M) ± DP (IC 95%)†	Diferença de idade dos óbitos (F – M)‡	Valor-p§
DAC	PoM	14	32.540	0,364	72,6 ± 5,4	75,9 ± 5,5 (72,8-79,1)	69,8 ± 4,7 (67,1-72,6)	6,1	0,002
	PoA	43	115.708	0,373	72,4 ± 4,0	75,6 ± 4,2 (74,3-76,9)	69,9 ± 3,5 (68,8-71,0)	5,7	< 0,001
	PoE	107	216.946	0,370	70,3 ± 3,2	72,0 ± 10,4 (70,0-74,0)	68,2 ± 2,7 (67,6-68,7)	3,8	< 0,001
DIC	PoM	14	14.676	0,161	72,8 ± 5,1	76,5 ± 5,2 (73,5-79,5)	70,0 ± 4,4 (67,4-72,5)	6,5	0,002
	PoA	43	51.057	0,163	72,3 ± 4,1	74,1 ± 12,2 (70,3-77,8)	69,7 ± 3,7 (68,6-70,9)	4,4	< 0,001
	PoE	107	91.025	0,157	69,8 ± 7,5	72,5 ± 10,5 (70,5-74,5)	67,2 ± 7,1 (65,9-68,6)	5,3	< 0,001
DCBV	PoM	14	7.473	0,086	73,0 ± 5,0	74,4 ± 5,5 (71,3-77,5)	71,3 ± 4,4 (68,7-73,8)	3,1	0,125
	PoA	43	28.944	0,092	72,7 ± 4,0	75,2 ± 4,0 (74,0-76,5)	70,8 ± 4,0 (69,5-72,0)	4,4	< 0,001
	PoE	107	59.210	0,100	70,4 ± 7,5	71,8 ± 10,5 (69,8-73,8)	67,9 ± 9,7 (66,0-69,8)	3,9	< 0,001

DAC: doenças do aparelho circulatório; DCBV: doenças cerebrovasculares; DIC: doenças isquêmicas do coração; DP: desvio padrão; F: feminino; IC: intervalo de confiança; M: masculino; MP_{2,5}: material particulado fino com diâmetro aerodinâmico ≤ 2,5 µm; PoA: poluição alta; PoE: poluição extrema; PoM: poluição moderada. N° de óbitos: número total de óbitos por DAC, DIC e DCBV em 20 anos. *Número de bairros do município do Rio de Janeiro em cada estrato de MP_{2,5}. **Mortalidade proporcional: proporção de óbitos por DAC, DIC e DCBV em relação ao número total de óbitos por todas as causas em 20 anos (n° de óbitos por causa / n° total de óbitos por todas as causas no período). ***Média da idade ao óbito por causa específica e estrato de poluição, considerando ambos os sexos, com DP. ****Média da idade ao óbito para mulheres (F) por causa específica e estrato de MP_{2,5}, com DP e IC 95%. †Média da idade ao óbito para homens (M) por causa específica e estrato de MP_{2,5}, com DP e IC 95%. ‡Diferença entre as médias de idade ao óbito entre mulheres e homens (F – M). §Valor-p referente ao teste de comparação das idades ao óbito entre os sexos (significância estatística considerada para p ≤ 0,05).

classificados como PoM registraram, de forma consistente, as menores taxas anuais de mortalidade para as três causas ao longo dos 20 anos analisados. Já os estratos PoA e PoE alternaram-se quanto às maiores taxas anuais, indicando variação temporal na magnitude da mortalidade associada aos maiores níveis de poluição.

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial das taxas médias de óbitos por DAC, DIC e DCBV (2000-2019) nos 164 bairros do município do Rio de Janeiro. As menores taxas concentram-se predominantemente na Zona Sul e em parte da Zona Oeste (Botafogo, Copacabana, Ipanema, Lagoa, Leblon, Barra da Tijuca). Em contraste, bairros como Vidigal e Rocinha, situados na mesma região, exibiram valores intermediários. As maiores taxas foram observadas na Zona Oeste (Santa Cruz, Campo Grande) e na Zona Norte (Bonsucesso, Ramos, Penha, Manguinhos, Benfica e São Cristóvão), revelando um padrão espacial heterogêneo e marcado por forte desigualdade intraurbana.

Discussão

Embora a poluição do ar seja um fenômeno amplamente distribuído, sua toxicidade varia conforme o local, o que torna essencial a análise em microáreas dos bairros do município do Rio de Janeiro. Neste estudo, investigou-se a relação entre poluição atmosférica e mortalidade por DAC em uma população adulta de 4.699.224 indivíduos ao longo de 20 anos.⁸⁻¹⁰

As concentrações médias de MP_{2,5} nos 164 bairros analisados excedem amplamente o limite recomendado pela OMS (5 µg/m³). Cerca de 91% da população reside em áreas classificadas como PoA ou PoE, exposta a níveis até quatro vezes superiores ao padrão internacional. Mesmo nos bairros classificados como PoM, as concentrações ultrapassam o dobro do limite considerado seguro, evidenciando violações significativas e demandando intervenções urgentes. As maiores concentrações ocorreram em áreas urbanas densas (Vigário Geral e Caju: 17,3-21,2 µg/m³), enquanto as menores foram

Tabela 3 – Taxas de mortalidade ajustadas por idade (DAC, DIC e DCBV) segundo estratos de concentração de MP_{2,5} e sexo nos bairros do município do Rio de Janeiro, 2000-2019

Causa do óbito	Nível de MP _{2,5}	Bairros por estrato de MP _{2,5} (n°) [†]	Taxa média total (F + M) de óbitos 1.000/habitantes ± DP ^{**}	Taxas médias de óbitos 1.000/habitantes – sexo F ^{***}	Taxas médias de óbitos 1.000/habitantes – sexo M ^{****}	Diferenças absolutas entre sexos (F – M) [†]	Diferença percentual relativa (M – F)/F [‡]	Valor-p [§]
DAC	PoM	14	3,4 ± 0,6	3,2 ± 0,6 (2,8-3,5)	3,7 ± 0,6 (3,3-4,1)	0,5	15,6	0,044
	PoA	43	4,0 ± 1,8	3,7 ± 1,6 (3,1-4,2)	4,3 ± 1,9 (3,6-4,8)	0,6	16,2	0,033
	PoE	107	4,2 ± 1,8	3,9 ± 1,7 (3,5-4,2)	4,6 ± 2,1 (4,1-4,9)	0,7	17,9	0,004
DIC	PoM	14	1,5 ± 0,2	1,3 ± 0,2 (1,1-1,4)	1,8 ± 0,3 (1,5-1,9)	0,5	38,5	< 0,001
	PoA	43	1,7 ± 0,9	1,5 ± 0,8 (1,2-1,7)	2,0 ± 0,8 (1,6-2,2)	0,5	33,3	< 0,001
	PoE	107	1,8 ± 0,8	1,5 ± 0,6 (1,3-1,6)	2,0 ± 0,9 (1,8-2,1)	0,5	33,3	< 0,001
DCBV	PoM	14	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,2 (0,6-0,9)	0,8 ± 0,2 (0,6-0,9)	0,0	0,0	0,874
	PoA	43	1,0 ± 0,5	0,9 ± 0,5 (0,8-1,1)	1,0 ± 0,6 (0,8-1,1)	0,1	11,1	0,694
	PoE	107	1,1 ± 0,5	1,0 ± 0,5 (0,9-1,1)	1,1 ± 0,5 (1,0-1,2)	0,1	10,0	0,215

DAC: doenças do aparelho circulatório; DCBV: doenças cerebrovasculares; DIC: doenças isquêmicas do coração; DP: desvio padrão; F: feminino; IC: intervalo de confiança; M: masculino; MP_{2,5}: material particulado fino com diâmetro aerodinâmico ≤ 2,5 µm; PoA: poluição alta; PoE: poluição extrema; PoM: poluição moderada. [†]Número de bairros do município do Rio de Janeiro em cada estrato de MP_{2,5}. ^{**}Taxa média anual de óbitos por 1.000 habitantes, ajustada por idade, considerando ambos os sexos (F + M) ao longo de 20 anos. A taxa ajustada é calculada a partir da taxa bruta (nº total de óbitos ≥ 20 anos por causa específica no bairro / população ≥ 20 anos) × 1.000, ponderada pela distribuição etária, com bairros agrupados por estrato de MP_{2,5}. ^{***}Taxa média anual de óbitos ajustada por idade para o sexo F, calculada para o período de 20 anos. ^{****}Taxa média anual de óbitos ajustada por idade para o sexo M, calculada para o período de 20 anos. [†]Diferença absoluta entre as taxas de óbitos ajustadas dos sexos F e M (F – M). [‡]Diferença percentual relativa entre as taxas de óbitos dos sexos (M – F)/F, expressa em %. [§]Valor-p referente ao teste de comparação das taxas de óbitos ajustadas entre os sexos; adotou-se significância estatística para p ≤ 0,05.

observadas em regiões mais afastadas, como Guaratiba, e em bairros da Zona Sul, revelando inequidades socioespaciais na distribuição do poluente.^{8,11}

A disposição espacial da poluição atmosférica segue um gradiente progressivo (PoM–PoA–PoE), que se intensifica do litoral em direção ao interior, influenciado por características topográficas e climáticas locais. Áreas com maior cobertura vegetal e menor fluxo veicular, como Floresta da Tijuca e Jardim Botânico, apresentaram menores concentrações,^{8,9} enquanto regiões litorâneas densamente povoadas (Copacabana, Ipanema-Leblon, Urca, Flamengo-Botafogo e Barra da Tijuca), apesar de ventiladas, foram classificadas majoritariamente como PoA. A Figura 1 evidencia que bairros PoM estão circundados por áreas PoA, mantendo distância relativa das zonas PoE.

A idade média dos óbitos por DAC, DIC e DCBV foi mais precoce em bairros de PoE em comparação aos de PoM, em ambos os sexos. Essa antecipação foi mais acentuada nos óbitos masculinos por DCBV (– 3,4 anos) e femininos por DIC (– 4,0 anos), sugerindo impacto diferencial da poluição conforme o sexo e a causa de morte. De modo geral, homens apresentaram óbitos mais precoces que mulheres para DAC nos diferentes estratos de MP_{2,5} (exceto DCBV em PoM), com maior diferença registrada para DIC (6,5 anos) e menor para DCBV (3,1 anos).

A poluição por MP_{2,5} está associada à mortalidade cardiovascular e pode reduzir a expectativa de vida saudável. Os achados indicam aumento dos óbitos por DAC, especialmente por DIC predominantemente no sexo masculino, à medida que se elevam as concentrações de MP_{2,5}. As taxas de óbitos ajustadas (≥ 20 anos) aumentam com a idade, mas permanecem consistentemente menores em bairros com PoM em relação aos de PoE.¹²⁻¹⁴

As taxas de mortalidade foram maiores no sexo masculino, sobretudo nas faixas de 50-69 anos e em áreas de PoE. No entanto, entre indivíduos ≥ 70 anos, a influência da poluição sobre a mortalidade mostrou-se menos linear, possivelmente devido à maior presença de múltiplos diagnósticos.¹⁵ A diferença entre os sexos foi mais evidente para DIC (taxas femininas < masculinas), com amplificação dessa discrepância conforme o aumento do MP_{2,5} na faixa de 50-69 anos.^{16,17}

Embora as taxas de mortalidade sejam menores em bairros PoM, observou-se redução percentual importante dos óbitos por DAC (43%), DIC (32%) e DCBV (110%) no período estudado. Entretanto, os níveis elevados de poluição podem limitar ganhos adicionais em expectativa de vida saudável.¹⁸

A Figura 3 ilustra que as menores taxas de mortalidade por DAC, DIC e DCBV concentram-se em bairros com

Tabela 4 – Taxas de óbito/1.000 hab. por DAC, DIC e DCBV, segundo estratos de MP_{2,5}, faixa etária e sexo, com diferenças absoluta e percentual entre os sexos e inferência estatística, bairros do município do Rio de Janeiro, 2000-2019

Causa do óbito	Nível de MP _{2,5}	Bairros (n°)	Faixa etária (anos)	Taxa óbitos/1.000 habitantes (M + F) ± DP*	Taxa óbitos/1.000 habitantes F ± DP (IC 95%)**	Taxa óbitos/1.000 habitantes M ± DP (IC 95%)***	Dif. absoluta (F – M)****	Dif. relativa (%) F†	Dif. relativa (%) M‡	Valor-p para sexos§	Valor-p para estratos MP _{2,5} §	
DAC	PoM	14	20-49	0,26 ± 0,1	0,22 ± 0,1 (0,3-0,4)	0,33 ± 0,1 (0,3-0,4)	-0,11	—	—	0,005	0,121	
		14	50-69	0,95 ± 0,3	0,68 ± 0,2 (0,5-0,8)	1,29 ± 0,3 (1,0-1,5)	-0,61	—	—	< 0,001	0,017	
		14	≥ 70	2,37 ± 1,0	2,53 ± 1,1 (1,9-3,2)	2,20 ± 0,9 (1,6-2,7)	0,33	—	—	0,396	0,392	
	PoA	43	20-49	0,29 ± 0,2	0,22 ± 0,1 (0,2-0,3)	0,37 ± 0,2 (0,3-0,4)	-0,15	0	12,1	0,001	—	
		43	50-69	1,21 ± 0,5	0,88 ± 0,5 (0,7-1,0)	1,53 ± 0,6 (1,3-1,7)	-0,65	29,4	18,6	< 0,001	—	
		43	≥ 70	2,50 ± 0,9	2,68 ± 0,1 (2,3-2,9)	2,35 ± 0,8 (2,1-2,6)	0,33	5,9	6,8	0,053	—	
	PoE	107	20-49	0,34 ± 0,2	0,26 ± 0,2 (0,2-0,3)	0,39 ± 0,2 (0,3-0,4)	-0,13	18,1	18,1	< 0,001	—	
		107	50-69	1,36 ± 0,7	1,03 ± 0,5 (0,9-1,1)	1,80 ± 0,9 (1,6-1,9)	-0,77	51,4	39,5	< 0,001	—	
		107	≥ 70	2,40 ± 1,2	2,55 ± 1,3 (2,3-2,8)	2,22 ± 1,2 (1,9-2,5)	0,33	0,8	0,9	0,028	—	
	DIC	PoM	14	20-49	0,09 ± 0,0	0,04 ± 0,1 (0,0-0,1)	0,14 ± 0,1 (0,1-0,2)	-0,10	—	—	0,002	0,320
			14	50-69	0,43 ± 0,1	0,28 ± 0,1 (0,2-0,3)	0,64 ± 0,2 (0,5-0,7)	-0,36	—	—	< 0,001	0,019
			14	≥ 70	1,04 ± 0,4	1,05 ± 0,4 (0,7-1,3)	1,06 ± 0,4 (0,7-1,3)	-0,01	—	—	0,960	0,278
PoA		43	20-49	0,11 ± 0,1	0,06 ± 0,1 (0,0-0,1)	0,13 ± 0,1 (0,1-0,2)	-0,07	50,0	-7,1	< 0,001	—	
		43	50-69	0,54 ± 0,2	0,38 ± 0,2 (0,3-0,4)	0,77 ± 0,3 (0,6-0,9)	-0,39	35,7	20,3	< 0,001	—	
		43	≥ 70	1,06 ± 0,4	1,07 ± 0,4 (0,9-1,2)	1,06 ± 0,5 (0,9-1,2)	0,01	1,9	0,0	0,843	—	
PoE		107	20-49	0,13 ± 0,1	0,07 ± 0,1 (0,0-0,07)	0,16 ± 0,1 (0,1-0,2)	-0,09	75,0	14,2	< 0,001	—	
		107	50-69	0,61 ± 0,3	0,41 ± 0,2 (0,3-0,4)	0,84 ± 0,4 (0,7-0,9)	-0,43	45,4	32,8	< 0,001	—	
		107	≥ 70	1,00 ± 0,5	1,01 ± 0,5 (0,9-1,1)	1,00 ± 0,6 (0,8-1,0)	0,01	-3,8	-5,6	0,362	—	

		14	20-49	0,06 ± 0,0	0,06 ± 0,1 (0,0-0,1)	0,03 ± 0,0 (0,0-0,1)	0,03	—	—	0,111	0,717
	PoM	14	50-69	0,19 ± 0,1	0,17 ± 0,1 (0,1-0,2)	0,26 ± 0,1 (0,1-0,3)	-0,09	—	—	0,064	< 0,001
		14	≥ 70	0,57 ± 0,2	0,61 ± 0,2 (0,4-0,7)	0,50 ± 0,1 (0,4-0,6)	0,11	—	—	0,210	0,825
		43	20-49	0,07 ± 0,0	0,07 ± 0,1 (0,1-1,0)	0,06 ± 0,1 (0,0-0,1)	0,01	16,6	100	0,986	—
DCBV	PoA	43	50-69	0,27 ± 0,1	0,20 ± 0,1 (0,1-0,2)	0,33 ± 0,2 (0,2-0,3)	-0,13	17,6	26,9	< 0,001	—
		43	≥ 70	0,63 ± 0,2	0,71 ± 0,3 (0,6-0,8)	0,56 ± 0,2 (0,5-0,6)	0,15	16,4	12	0,004	—
		107	20-49	0,07 ± 0,1	0,07 ± 0,1 (0,0-0,1)	0,07 ± 0,1 (0,1-0,1)	0	16,7	133	0,582	—
	PoE	107	50-69	0,35 ± 0,2	0,27 ± 0,2 (0,2-0,3)	0,43 ± 0,3 (0,3-0,4)	-0,16	58,8	65,3	< 0,001	—
		107	≥ 70	0,65 ± 0,3	0,71 ± 0,4 (0,6-0,1)	0,59 ± 0,3 (0,5-0,6)	0,12	16,40	18,00	0,004	—

DAC: doenças do aparelho circulatório; DCBV: doenças cerebrovasculares; DIC: doenças isquêmicas do coração; DP: desvio padrão; F: feminino; IC: intervalo de confiança; M: masculino; $MP_{2,5}$: material particulado fino com diâmetro aerodinâmico $\leq 2,5 \mu\text{m}$; PoA: poluição alta; PoE: poluição extrema; PoM: poluição moderada. *Taxa de óbito ajustada por idade ≥ 20 anos por 1.000 habitantes, considerando ambos os sexos (M + F). **Taxa de óbito ajustada por idade por 1.000 habitantes para o sexo F, com DP e IC 95%. ***Taxa de óbito ajustada por idade por 1.000 habitantes para o sexo M, com DP e IC 95%. ****Diferença absoluta entre as taxas de óbito ajustadas dos sexos F e M (F - M); valores negativos indicam taxa F menor que a M, valores positivos indicam taxa feminina maior. †Diferença relativa percentual das taxas de óbito por 1.000 habitantes no sexo F, para mesma faixa etária e causa, entre estratos de $MP_{2,5}$. ‡Diferença relativa percentual das taxas de óbito por 1.000 habitantes no sexo M, para mesma faixa etária e causa, entre estratos de $MP_{2,5}$. §Valor-p (sexos): significância estatística das diferenças nas taxas de óbito entre os sexos, por faixa etária e estrato de $MP_{2,5}$ (teste t de Student para amostras independentes); valor-p (estratos $MP_{2,5}$): significância estatística das diferenças nas taxas de óbito entre estratos de $MP_{2,5}$ (PoM vs. PoA e PoM vs. PoE), ambos os sexos, por faixa etária e causa de óbito (ANOVA com pós-teste de Tukey).

melhores indicadores socioeconômicos e condições de vida (Flamengo, Ipanema, Jardim Botânico, Lagoa). Em contrapartida, taxas altas ou intermediárias predominam em áreas periféricas com alta densidade populacional e condições habitacionais precárias (Santa Cruz, Padre Miguel, Ramos, Olaria).^{18,19} A vulnerabilidade social intermediária ou alta, identificada em 71% dos bairros, correlaciona-se positivamente com concentrações mais elevadas de $MP_{2,5}$ e com taxas de mortalidade, configurando um gradiente de inequidade socioambiental.

A redução da poluição atmosférica nos bairros do Rio de Janeiro poderia impactar positivamente a mortalidade por DAC, contribuindo para ganhos em expectativa de vida saudável.^{19,20} Estudos ecológicos que integram poluição atmosférica e óbitos georreferenciados enfrentam desafios relacionados à complexa morfologia urbana e topográfica da cidade. Apesar de este estudo não ter incluído variáveis meteorológicas como umidade,

temperatura ou precipitação, esses fatores podem ser incorporados em análises futuras. Reconhece-se que os dados de mortalidade podem apresentar limitações, como subnotificação, causas mal definidas ou *garbage codes*; contudo, tais limitações não invalidam os resultados apresentados.

Embora fundamental, a exposição ao $MP_{2,5}$ não explica de forma isolada as diferenças de mortalidade por DAC, dada a natureza multifatorial dessas doenças, que incluem outros fatores de risco não avaliados (obesidade, tabagismo, sedentarismo e hipertensão arterial). Assim, a interpretação dos achados deve considerar essa multicausalidade.

Conclusão

A poluição por $MP_{2,5}$ nos bairros do município do Rio de Janeiro excede em até quatro vezes os padrões recomendados pela OMS, evidenciando falhas na implementação de políticas públicas e atingindo de forma desproporcional a população

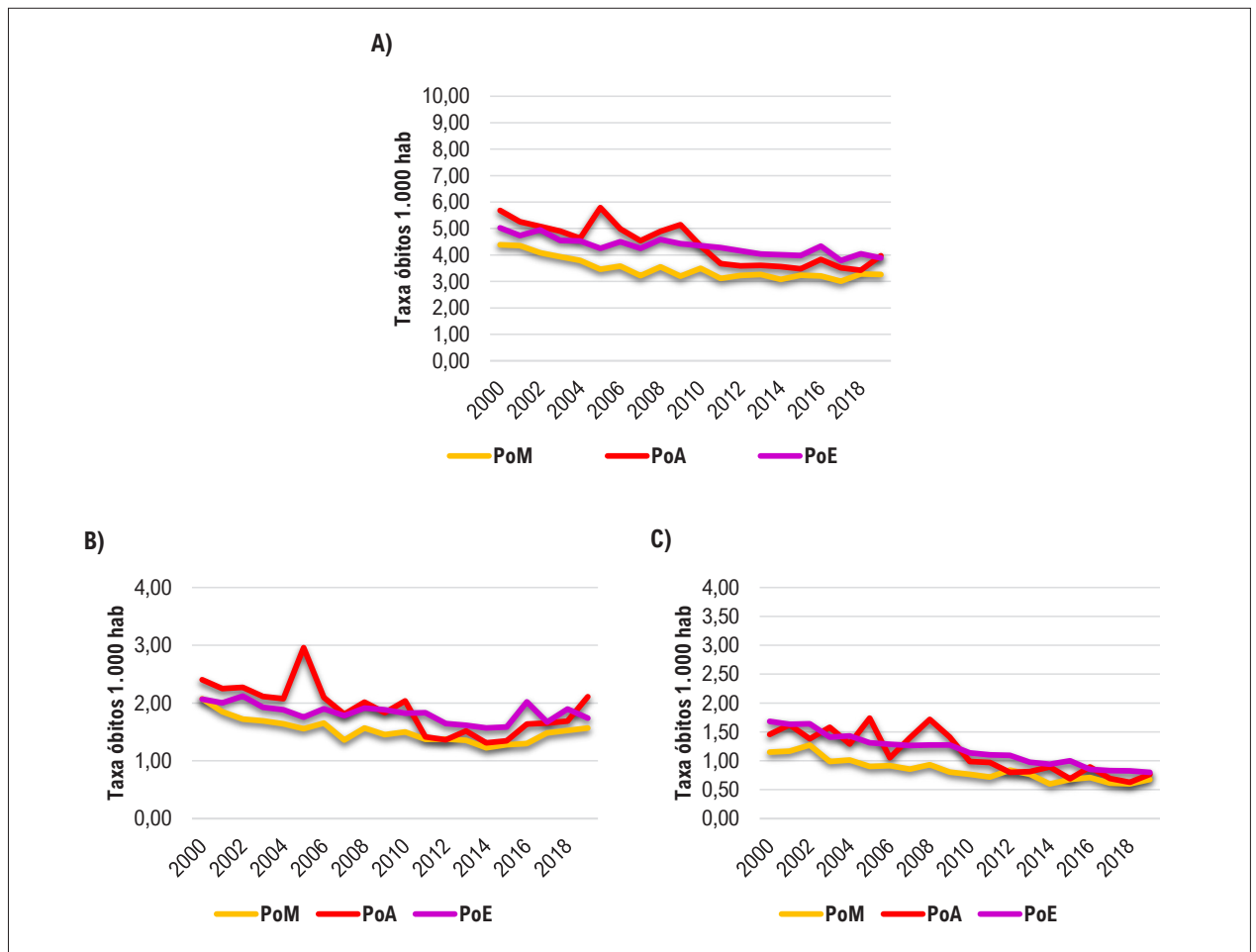


Figura 2 – Taxas ajustadas de óbitos por 1.000 habitantes (≥ 20 anos) segundo estratos de MP_{2,5} nos bairros do município do Rio de Janeiro, 2000-2019. A) Taxas ajustadas por idade de óbitos por doenças do aparelho circulatório. B) Taxas ajustadas por idade de óbitos por doenças isquêmicas do coração. C) Taxas ajustadas por idade de óbitos por doenças cerebrovasculares.

em situação de maior vulnerabilidade. Residentes em áreas de alta e extrema poluição apresentam óbitos mais precoces e maiores taxas de mortalidade por DAC, DIC e DCBV, sobretudo entre os homens.

Apesar da tendência de redução geral da mortalidade por DAC, a poluição atmosférica permanece associada a mortes prematuras, com importantes repercussões sociais e econômicas. O direito a um ambiente saudável tem sido sistematicamente negligenciado para milhões de residentes desses bairros, especialmente aqueles em condições socioeconômicas mais desfavoráveis.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Moura PH, Salis LHA, Maia LFPG, Silva NAS; Obtenção de dados: Godoy PH, Santos RL; Análise e interpretação dos dados: Carvalho LDG, Paez MS, Alves MB, Silva NAS; Análise estatística: Moura PH, Carvalho LDG, Paez MS, Alves MB; Redação do manuscrito: Moura PH, Godoy PH, Salis LHA, Maia LFPG; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo: Santos RL, Silva NAS.

Potencial conflito de interesse

Não há conflito com o presente artigo.

Fontes de financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação acadêmica

Este artigo é parte de tese de doutorado de Paulo Henrique de Moura pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Aprovação ética e consentimento informado

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Associação de Ensino Superior de Nova Iguaçu sob o número de protocolo 6.294.723. Todos os procedimentos envolvidos nesse estudo estão de acordo com a Declaração de Helsinki de 1975, atualizada em 2013.

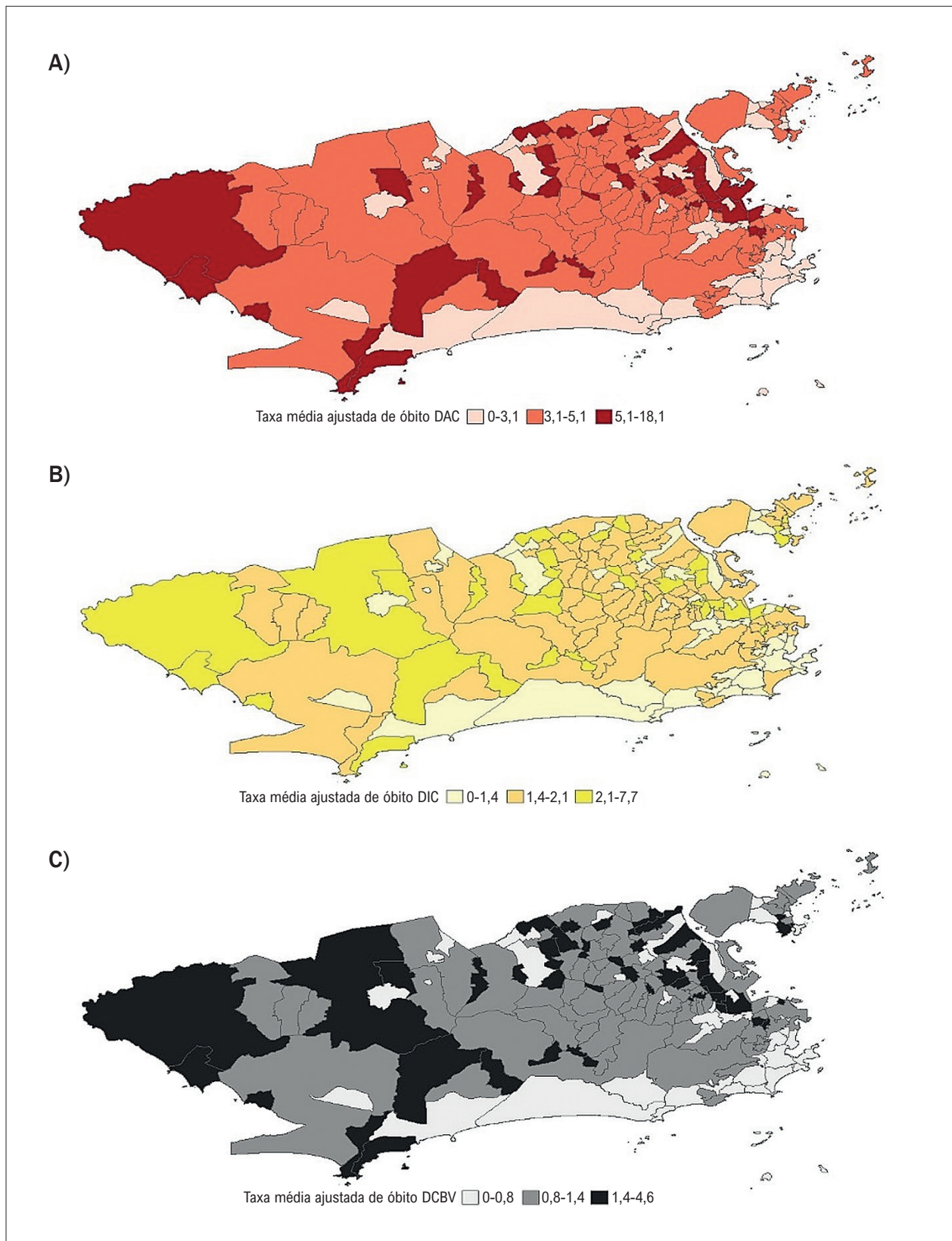


Figura 3 – Georreferenciamento das taxas médias de óbitos por 1.000 habitantes (≥ 20 anos), estratificadas por causa, nos 164 bairros do município do Rio de Janeiro ao longo de 20 anos. A) Taxa média ajustada de doenças do aparelho circulatório (DAC). B) Taxa média ajustada de doenças isquêmicas do coração (DIC). C) Taxa média ajustada de doenças cerebrovasculares (DCBV).

Uso de Inteligência Artificial

Os autores não utilizaram ferramentas de inteligência artificial no desenvolvimento deste trabalho.

Disponibilidade de Dados

Os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos no manuscrito.

Referências

1. Dattani S, Spooner F, Ritchie H, Roser M. Our World in Data. 2023. Global Burden of Disease - Causes of Death [Internet]. Oxford: Global Change Data Lab; 2024 [cited 2025 Nov 11]. Available from: <https://ourworldindata.org/causes-of-death>.
2. Dattani S, Roser M. Our World in Data. 2023. Cardiovascular Diseases Death [Internet]. Oxford: Global Change Data Lab; 2024 [cited 2025 Nov 11]. Available from: <https://ourworldindata.org/cardiovascular-diseases>.
3. Institute for Health Metrics and Evaluation. State of Global Air Report 2024 [Internet]. Seattle: Institute for Health Metrics and Evaluation; 2024 [cited 2025 Nov 11]. Available from: <https://www.stateofglobalair.org/resources/report/state-global-air-report-2024>.
4. Miller MR, Di Cesare M, Rahimzadeh S, Adeoye M, Perel P, Taylor S, et al. Clearing the Air to Address Pollution's Cardiovascular Health Crisis. *Glob Heart*. 2024;19(1):82. doi: 10.5334/gh.1364.
5. 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):1223-49. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30752-2.
6. WHO Global air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2021.
7. Hammer MS, van Donkelaar A, Li C, Lyapustin A, Sayer AM, Hsu NC, et al. Global Estimates and Long-Term Trends of Fine Particulate Matter Concentrations (1998-2018). *Environ Sci Technol*. 2020;54(13):7879-90. doi: 10.1021/acs.est.0c01764.
8. Maia JLM, Netto VM, Costa BLG. Urban Form and Atmospheric Pollution: Assessing Impacts in Rio de Janeiro. *Rev Bras Gest Urbana*. 2019;11:e20180145. doi: 10.1590/2175-3369.011.001.e20180145.
9. Almeida AEM, Stein R. The Environment and the Heart. *Arq Bras Cardiol*. 2023;120(7):e20230119. doi: 10.36660/abc.20230119.
10. Floss M, Zandavalli RB, Leão JRB, Lima CV, Vianna N, Barros EF, et al. Poluição do Ar: Uma Revisão de Escopo para Recomendações Clínicas Para a Medicina de Família e Comunidade. *Rev Bras Med Fam Comunidade*. 2022;17(44):3038. doi:10.5712/rbmf17(44)3038.
11. Oliveira GMM, Brant LCC, Polanczyk CA, Malta DC, Biolo A, Nascimento BR, et al. Cardiovascular Statistics - Brazil 2023. *Arq Bras Cardiol*. 2024;121(2):e20240079. doi: 10.36660/abc.20240079.
12. Global Burden of Disease Collaborative Network. Global Burden of Disease (GBD) Cardiovascular Burden Estimates 1990 and 2021 [Internet]. Seattle: Institute for Health Metrics and Evaluation; 2022 [cited 2025 Nov 11]. Available from: <https://ghdx.healthdata.org/record/ihme-data/cvd-1990-2021>. doi.org/10.6069/R5WE-6Z85.
13. Hayes RB, Lim C, Zhang Y, Cromar K, Shao Y, Reynolds HR, et al. PM2.5 Air Pollution and Cause-Specific Cardiovascular Disease Mortality. *Int J Epidemiol*. 2020;49(1):25-35. doi: 10.1093/ije/dyz114.
14. Souza LG, Siviero PCL. Sex Differentials in Avoidable Mortality and Potential Life Expectancy Gains in São Paulo, SP, Brazil: A Cross-Sectional Study of the Period 2014-2016. *Epidemiol Serv Saude*. 2020;29(3):e2018451. doi: 10.5123/S1679-49742020000300004.
15. Guimarães RM, Andrade SS, Machado EL, Bahia CA, Oliveira MM, Jacques FV. Regional Differences in Cardiovascular Mortality Transition in Brazil, 1980 to 2012. *Rev Panam Salud Publica*. 2015;37(2):83-9.
16. Bichara JL, Bastos LA, Villela PB, Oliveira GMM. Socioeconomic Indicators and Mortality from Ischemic Heart Disease and Cerebrovascular Disease in Brazil from 2000 to 2019. *Arq Bras Cardiol*. 2023;120(8):e20220832. doi: 10.36660/abc.20220832.
17. Santos SC, Villela PB, Oliveira GMM. Mortality Due to Heart Failure and Socioeconomic Development in Brazil between 1980 and 2018. *Arq Bras Cardiol*. 2021;117(5):944-51. doi: 10.36660/abc.20200902.
18. Mansur AP, Favarato D. Mortality due to Cardiovascular Diseases in Women and Men in the Five Brazilian Regions, 1980-2012. *Arq Bras Cardiol*. 2016;107(2):137-46. doi: 10.5935/abc.20160102.
19. Zaluar A, Barcellos C. Premature Deaths and Turf War to Dominate Favelas in Rio de Janeiro. *Rev bras Ci Soc*. 2013;28(81):17-31. doi: 10.1590/S0102-69092013000100002.
20. Salerno PRVO, Motairek I, Dallan LAP, Bourges-Sevenier B, Rajagopalan S, Al-Kindi SG. Excess Systolic Blood Pressure Associated with Fine Particulate Matter Air Pollution Above the WHO Guidelines in Brazil. *Arq Bras Cardiol*. 2023;120(11):e20230347. doi: 10.36660/abc.20230347.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença de atribuição pelo Creative Commons