

Incidência de doenças respiratórias pela exposição ao material particulado atmosférico em três municípios de médio porte

Incidence of respiratory diseases due to exposure to atmospheric particulate matter in three medium-sized cities

Priscila Boleta Gonçalves^{1*} , Jéssica Cristina Dores Eulálio¹ ,
Rúbia Cristina Rufino¹ , Danilo Covaes Nogarotto¹ , Simone Andréa Pozza¹ 

RESUMO

Um dos problemas ambientais que vêm ganhando destaque nos últimos anos, em escala global, é a poluição do ar, pelo seu potencial de causar danos ao meio ambiente e à saúde da população. Entre os principais poluentes presentes na atmosfera, está o material particulado (MP). O MP apresenta potencial de causar efeitos deletérios à saúde humana, e o dano é associado ao tamanho da partícula, ou seja, quanto menor for o tamanho da partícula, maior será o seu potencial nocivo. O presente trabalho avaliou a mortalidade causada por doenças respiratórias pela exposição a $MP_{2,5}$ (MP com diâmetro aerodinâmico $< 2,5 \mu m$) e MP_{10} (MP com diâmetro aerodinâmico $< 10 \mu m$) nos municípios de Limeira (SP), Ribeirão Preto (SP) e São José do Rio Preto (SP), localizados no sudeste do Brasil, em três diferentes faixas etárias (< 5 anos, > 30 anos e todas as idades), entre 2017 e 2021. Os efeitos da poluição por partículas poluentes na saúde foram quantificados por meio do *software* AirQ+. Os resultados mostraram que o aumento da concentração de MP e a incidência estão relacionados com o aumento do número de mortes prematuras.

Palavras-chave: poluição atmosférica; $MP_{2,5}$; MP_{10} ; AirQ+.

ABSTRACT

One of the environmental problems that has gained prominence in recent years, on a global scale, is air pollution, due to its potential to cause harm to the environment and the health of the population. Among the main pollutants present in the atmosphere is particulate matter (PM). PM has the potential to cause harmful effects to human health, and the damage is associated with the size of the particle, that is, the smaller its size, the greater its harmful potential. This study evaluated the impact on mortality from respiratory diseases of exposure to $PM_{2,5}$ (PM with aerodynamic diameter $< 2.5 \mu m$) and PM_{10} (PM with aerodynamic diameter $< 10 \mu m$) in the cities of Limeira/SP, Ribeirão Preto/SP and São José do Rio Preto/SP, located in southeastern Brazil, in three different age groups (< 5 years, > 30 years and all ages), between 2017 and 2021. The effects of PM pollution on health were quantified using the AirQ+ software. The results showed that the increase in PM concentration and incidence is related to the increase in the number of premature deaths.

Keywords: air pollution; $PM_{2,5}$; PM_{10} ; AirQ+.

INTRODUÇÃO

A poluição do ar é um problema global que afeta tanto o meio ambiente quanto a saúde da população e está diretamente relacionada às atividades humanas, como a globalização e a industrialização. Um dos principais poluentes atmosféricos é o material particulado (MP), que pode ser subdividido de acordo com seu tamanho, sendo as frações mais conhecidas o $MP_{2,5}$ e o MP_{10} , cujos diâmetros

aerodinâmicos são de até 2,5 e 10 μm , respectivamente (BRASIL, 2024).

Existem estações de monitoramento da qualidade do ar automáticas e manuais administradas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb). As automáticas realizam amostragens de 5 em 5 segundos e, por meio de uma central de telemetria, disponibilizam *online* a média horária da concentração dos poluentes, incluindo

¹Universidade Estadual de Campinas - Limeira (SP), Brasil.

*Endereço para correspondência: Rua Paschoal Marmo, 1888 - Jardim Nova Itália - CEP: 13484-332 - Limeira (SP), Brasil. e-mail: p148922@dac.unicamp.br

o MP_{10} e o $MP_{2,5}$. Os dados do monitoramento são disponibilizados no Sistema de Informações da Qualidade do Ar (QUALAR) (CETESB, 2024).

O MP pode ser proveniente de atividades de combustão, ressuspensão de poeira do solo, queima de biomassa, atividades industriais, emissões de veículos automotores, entre outras fontes. Essas partículas podem causar problemas de saúde, como tosse, cansaço, doenças cardiovasculares e pulmonares. Ressalta-se que o dano é inversamente proporcional ao tamanho da partícula, ou seja, quanto menor a partícula, maior o dano que pode ocorrer à saúde humana (SEINFELD; PANDIS, 2016). De acordo com a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, do inglês Organisation for Economic Co-operation and Development (2012), se a poluição atmosférica não for controlada até 2050, será a principal causa de morte no mundo. Algumas localidades apresentam maior incidência de doenças por causa da intensa atividade humana (PARVEEN, *et al.*, 2021; GOU *et al.*, 2024).

O *software* AirQ+ permite relacionar dados de doenças respiratórias, características dos municípios e qualidade do ar, calculando o número de mortes e internações atribuíveis à poluição atmosférica com base em coeficientes de regressão, concentrações de MP_{10} e $MP_{2,5}$,

taxas de incidência de doenças para cada faixa etária e população (BAHRAMI ASL *et al.*, 2018; ROVIRA; DOMINGO; SCHUHMACHER, 2020; WHO, 2023). Ansari e Ehrampoush (2019) utilizaram o AirQ+ em seu estudo e concluíram que aproximadamente 6.710 mortes prematuras foram atribuídas à exposição à $MP_{2,5}$, a longo prazo, pelo fato de a concentração ultrapassar o valor de corte — $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, conforme recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021). Outros estudos também têm utilizado essa ferramenta para relacionar poluição atmosférica e risco à saúde (NTOUROU *et al.*, 2023; NAIMI *et al.*, 2024).

Dessa forma, este estudo focou em três municípios paulistas, de médio porte: Limeira, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto. Com o intuito de relacionar a saúde da população com a poluição por partículas atmosféricas desses três locais, foi utilizado o *software* AirQ+ para o cálculo do número de mortes prematuras entre os anos de 2017 e 2021.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado em três municípios paulistas (Figura 1). Limeira, com 581 km^2 , 291.869 habitantes e produto interno bruto (PIB) *per capita* de R\$ 51.678,31, destaca-se como polo industrial nos setores de metalurgia,



Figura 1 – Localização dos municípios estudados

autopeças, cerâmica, papel e celulose, máquinas, joias, implementos, alimentos, vestuário e embalagens, além de ser um importante produtor de cana-de-açúcar e laranja. Ribeirão Preto, com 651 km², 698.642 habitantes e PIB *per capita* de R\$ 55.484,91, atualmente possui investimentos em bioenergia, saúde, tecnologia e informação e biotecnologia, sendo considerado um polo tecnológico e em industrialização, além de ser um grande produtor de cana-de-açúcar. São José do Rio Preto, com 432 km², 480.393 habitantes e PIB *per capita* de R\$ 44.679,93, é um grande polo industrial e agropecuário, com destaque para a produção de cana-de-açúcar, carne bovina e laranja e alimentos, biocombustíveis, móveis, produtos de metal, material cirúrgico, artigos de borracha, produção de látex, material de transporte e têxtil (IBGE, 2022).

Os dados de saúde dessas localidades, de 2017 a 2021, foram obtidos do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) (BRASIL, 2021) e estão apresentados na Tabela 1. Utilizando o mesmo portal, encontrou-se a população específica referente a cada faixa etária (entre 30 e 59 anos, menor de 5 anos e todas as idades) e número de internações. Ressalta-se que o número de internações considerado contabiliza todas as causas de internação.

A taxa de incidência foi calculada com base no número geral de internações (todas as causas de internação) por faixa etária e população específica por idade de cada município para cada ano. O fator (*n*) adotado foi de 100 mil habitantes, conforme mostrado na Equação 1.

$$Incidência = \frac{Internações}{População\ específica} \cdot n \quad (1)$$

Pelo estudo de Ostro (2004), determinou-se o coeficiente β , que é o coeficiente de regressão para cada mortalidade relacionada ao poluente, como apresentado na Tabela 2. O valor de corte padrão definido foi de 10 µg/m³ para o MP_{2,5} e 25 µg/m³ para o MP₁₀, que são os valores orientadores estabelecidos pela OMS (HADEI *et al.*, 2020; OMS, 2021).

Os dados diários das concentrações dos poluentes MP_{2,5} e MP₁₀ (em µg/m³) foram obtidos pelo QUALAR, da Cetesb (2021), que é uma base de dados que auxilia em consultas relacionadas à qualidade do ar no estado de São Paulo. Com base nesses dados, calcularam-se as médias anuais para MP₁₀ (Tabela 3) e MP_{2,5} (Tabela 4).

Todos os dados apresentados foram inseridos no *software* AirQ+ para calcular os efeitos da poluição do ar, por partículas, na saúde. Para exposição a curto prazo ao MP₁₀, adotou-se o período de um ano para todos os

Tabela 1 – População específica (pop.), número de internações (inter.) e incidência (inc.) para os municípios de Limeira (SP), Ribeirão Preto (SP) e São José do Rio Preto (SP)

Ano	Faixa etária (anos)	Limeira			Ribeirão Preto			S. José do Rio Preto		
		Pop.	Inter.	Inc.	Pop.	Inter.	Inc.	Pop.	Inter.	Inc.
2017	Todas as idades	308.482	824	267	711.825	2.386	335	408.258	1.759	431
	1-4	19.021	91	478	42.493	202	475	25.579	73	285
	30-59	135.451	183	135	311.944	643	206	209.028	437	209
2018	Todas as idades	303.682	1.177	388	694.534	3.873	558	456.245	2.533	555
	1-4	19.236	228	1.185	42.379	362	854	25.862	282	1.090
	30-59	132.729	185	139	302.059	790	262	204.546	499	244
2019	Todas as idades	306.114	1.300	425	703.293	3.684	524	460.671	2.239	486
	1-4	19.185	222	1.157	42.563	355	834	25.797	236	915
	30-59	134.162	216	161	307.200	750	244	206.906	446	216
2020	Todas as idades	308.482	824	267	711.825	2.386	335	408.258	1.759	431
	1-4	19.021	91	478	42.493	202	475	25.579	73	285
	30-59	135.451	183	135	311.944	643	206	209.028	437	209

Tabela 2 - Coeficiente β estabelecido para cada causa de mortalidade e seus respectivos valores de corte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de material particulado (MP)

Doenças	β	Valor de corte
Mortalidade por todas as causas e exposição a MP_{10}	0,0008 (0,0006-0,0010)	25
Mortalidade respiratória e exposição a MP_{10} (mortalidade por todas as causas)	0,00166 (0,00034-0,0030)	25
Mortalidade cardiopulmonar e exposição a $\text{MP}_{2,5}$ (log-linear)	0,15515 (0,0562-0,2541)	10

Tabela 3 - Dados de concentração média, mínima e máxima de MP_{10} nas cidades de Limeira (SP), Ribeirão Preto (SP) e São José do Rio Preto (SP) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Curto Prazo									
Ano	Limeira			Ribeirão Preto			São José do Rio Preto		
	Média	Mín.-Máx.	DP	Média	Mín.-Máx.	DP	Média	Mín.-Máx.	DP
2017	30,33	6,08-114,37	$\pm 17,31$	34,06	6,33-152,58	$\pm 22,74$	36,14	7,79-103,95	$\pm 21,53$
2018	30,28	4,37-97,83	$\pm 18,69$	36,25	5,25-103,62	$\pm 20,61$	32,03	7,00-83,54	$\pm 18,91$
2019	32,11	8,08-120,37	$\pm 19,34$	33,99	7,12-173,86	$\pm 23,11$	30,12	6,37-101,62	$\pm 16,56$
2020	33,40	7,37-144,17	$\pm 20,14$	32,51	6,21-228,45	$\pm 36,11$	33,20	6,25-111,37	$\pm 21,04$
2021	35,38	8,58-156,41	$\pm 21,97$	38,97	0,00-182,20	$\pm 36,22$	34,17	5,37-139,29	$\pm 23,49$
Longo Prazo									
2017-2020	32,30			35,16			33,13		

DP: Desvio padrão.

Tabela 4 - Dados de concentração média, mínima e máxima de $\text{MP}_{2,5}$ nas cidades de Limeira (SP), Ribeirão Preto (SP) e São José do Rio Preto (SP) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Curto Prazo									
Anos	Limeira			Ribeirão Preto			São José do Rio Preto		
	Média	Mín.-Máx.	DP	Média	Mín.-Máx.	DP	Média	Mín.-Máx.	DP
2017	*	*	*	13,55	3,67-72,78	$\pm 8,84$	15,95	3,05-49,17	$\pm 9,95$
2018	*	*	*	14,32	2,58-48,62	$\pm 6,94$	14,76	3,33-57,20	$\pm 8,66$
2019	15,93	5,45-51,91	$\pm 7,72$	14,44	3,41-67,04	$\pm 8,08$	14,76	4,04-69,78	$\pm 8,76$
2020	11,75	3,37-69,08	$\pm 9,33$	15,17	3,79-112,70	$\pm 15,90$	16,80	2,54-85,00	$\pm 12,32$
2021	11,49	4,22-43,04	$\pm 5,55$	20,75	4,67-121,64	$\pm 19,05$	15,77	3,25-91,91	$\pm 10,49$
Longo Prazo									
2017-2020	13,06			15,65			15,61		

DP: Desvio padrão; *dados não disponíveis.

municípios. Foram consideradas a mortalidade por todas as causas com exposição a curto prazo a MP_{10} , a mortalidade por causas respiratórias e exposição a curto prazo a MP_{10} (mortalidade por todas as causas) e a mortalidade cardiopulmonar e exposição a longo prazo a $\text{MP}_{2,5}$ (log-linear), com o intervalo de confiança de 95%.

São apresentados pelo AirQ+ resultados de fração atribuível à população (FAP), número estimado de mortes

prematuras evitáveis (MOP) caso as concentrações de poluentes respeitassem os limites da OMS (2021) e mortes prematuras a cada 100 mil habitantes. Para o cálculo do FAP, é necessário primeiramente encontrar o valor do risco relativo (RR), conforme Equação 2. O valor da FAP, de acordo com a Equação 3, é a parcela da taxa de incidência que poderia ser reduzida caso a exposição causadora fosse eliminada.

$$RR = e^{\beta (X-X_0)} \quad (2)$$

Em que:

β = coeficiente de regressão para cada mortalidade relacionada ao poluente;

X = concentração média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

X_0 = concentração base ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

$$FAP = \frac{RR-1}{RR} \quad (3)$$

Para o cálculo de MOP, primeiramente, calculou-se a população em risco (PR) (Equação 4), levando-se em consideração a incidência e a população específica. Ao multiplicar a PR pela FAP, obtém-se as MOP (Equação 5).

$$PR = \frac{\text{Incidência} \cdot \text{População específica}}{100000} \quad (4)$$

$$MOP = PR \cdot FAP \quad (5)$$

Por fim, para obter as mortes prematuras por 100 mil habitantes (Equação 6), dividem-se as MOP pela PR multiplicada por 100.000.

$$\text{MOP por 100.000 habitantes} = \frac{MOP}{PR \cdot 100.000} \quad (6)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foi calculado o número de mortes prematuras que poderiam ser evitadas em indivíduos acima de 30 anos, caso a concentração do poluente não estivesse acima do limite máximo recomendado pela OMS (2021), que foi adotado como o valor de corte.

O monitoramento da Cetesb em Limeira para a fração $MP_{2,5}$ teve início em 2019. Por esse motivo, os dados de 2017 e 2018 não estão disponíveis. Como pode ser observado na Figura 2, São José do Rio Preto teve aumento de 40% e Ribeirão Preto 39% nas mortes prematuras do período em indivíduos acima de 30 anos, de 2017 a 2021. Em Limeira, entre 2019 e 2020, perceberam-se diminuição de 67% e aumento de 16% nessas mortes, em 2021. São José do Rio Preto teve o maior número de mortes prematuras para longa exposição a $MP_{2,5}$. Caso a concentração do poluente estivesse conforme os limites estabelecidos

pela OMS (2021), seriam evitadas 167 mortes em Limeira, 663 em Ribeirão Preto e 807 em São José do Rio Preto no período de 2017 a 2021.

De acordo com o estudo de Arregocés, Rojano e Restrepo (2023), que também realizaram a análise de exposição a $MP_{2,5}$ com a ferramenta AiQ+, na região do norte do Caribe da Colômbia, 738 mortes por ano são causadas prematuramente por exposição a concentrações médias de $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $MP_{2,5}$. O número de mortes é aproximadamente quatro vezes maior do que o de São José do Rio Preto, o que pode ser justificado pelo fato de a concentração média de MP ser superior ao dobro de São José do Rio Preto.

Ainda na Figura 2, observa-se que Limeira possui menores concentrações de MP, bem como menor número de mortes prematuras. Em Ribeirão Preto, tanto o número de mortes prematuras quanto a concentração de MP aumentaram ao longo dos anos. São José do Rio Preto teve diminuição no número de mortes e na concentração do poluente até 2020. Já em 2021 houve incremento do número de mortes e diminuição na concentração de $MP_{2,5}$. Isso ocorreu por a incidência também ter aumentado no município.

Considerando todas as faixas etárias para a fração MP_{10} , Limeira apresentou aumento de 67% no número de mortes (Figura 3). Em São José do Rio Preto, nos três primeiros anos, houve diminuição de 60% e em 2020 aumento de 40%. Ribeirão Preto aumentou 20% o número de mortes entre 2017 e 2018, diminuiu 20% em 2018 e 2019 e entre 2019 e 2021 aumentou 60%. Limeira teve menos mortes prematuras a longo prazo. Caso a concentração de poluentes não tivesse ultrapassado o limite estabelecido pela OMS (2021), seriam evitadas 10 mortes no município de Limeira, 20 em Ribeirão Preto e 18 em São José do Rio Preto entre 2017 e 2021. Logo, pode-se dizer que a concentração de MP_{10} é diretamente proporcional ao número de mortes prematuras por todas as causas.

Na pesquisa de Cornejo Pinto e Estrada Zacarias (2020) realizada em oito cidades da Bolívia, foi mostrado que a exposição de adultos a MP_{10} causou 22 mortes prematuras em El Alto, 64 em La Paz, 11 em Oruro, 17 em Potosi, 105 em Cochabamba, 30 em Sucre, 48 em Tarija e 54 em Trinidad entre 2015 e 2017. Percebe-se que a variação dos

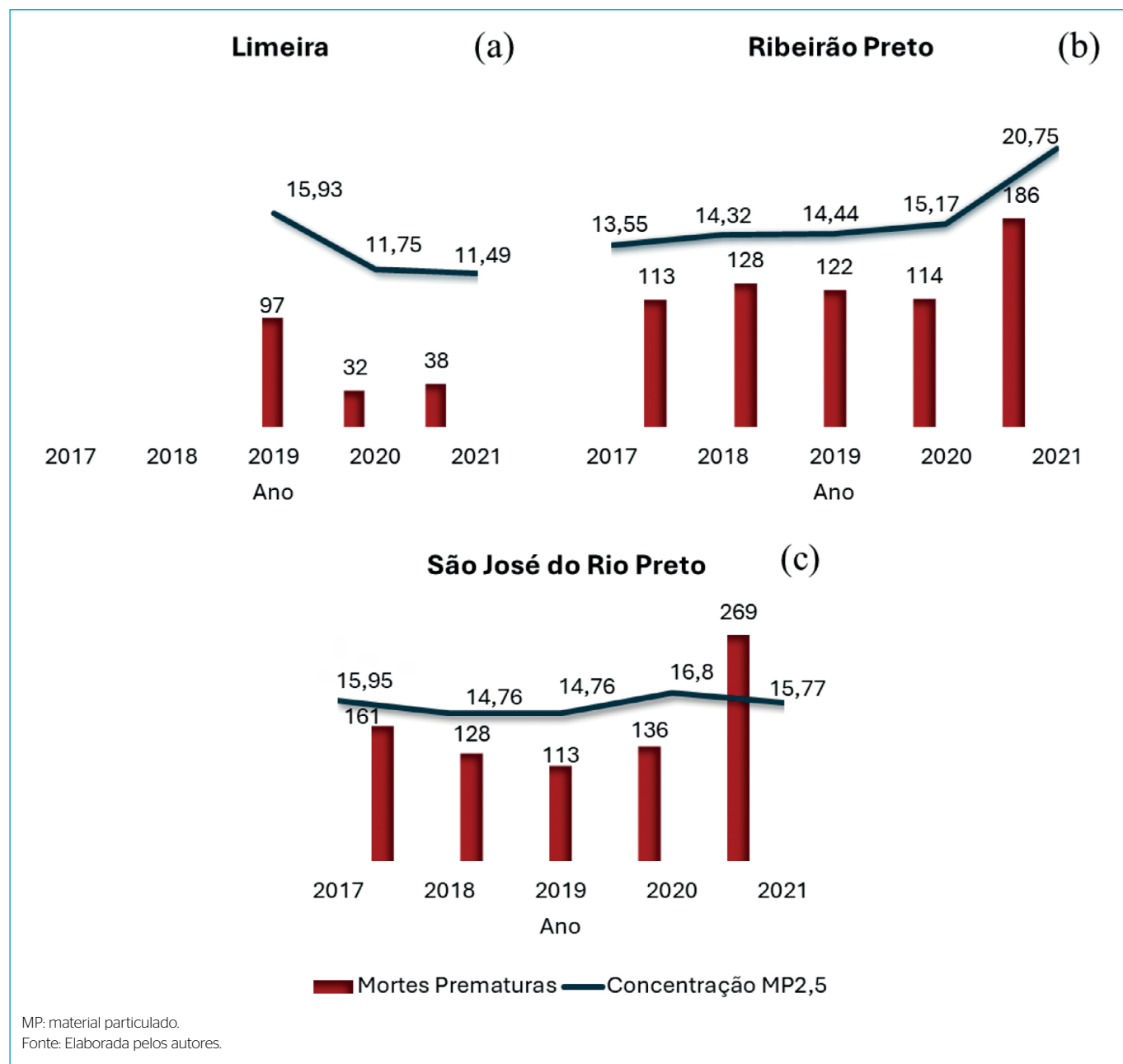


Figura 2 - Número de mortes prematuras acima dos 30 anos e a concentração de MP_{2,5} nos municípios de (a) Limeira, (b) Ribeirão Preto e (c) São José do Rio Preto entre 2017 e 2021

efeitos pode ser grande em um mesmo país, dependendo da concentração de MP da região.

São José do Rio Preto apresentou diminuição no número de mortes prematuras de 81% entre 2017 e 2020 e aumento em 2021 de 64% para menores de 5 anos (Figura 4). Ribeirão Preto mostrou aumento de 19% em 2017 e 2018, diminuição de 25% em 2019 e novo aumento de 68% em 2020 e 2021. Limeira nos três primeiros anos apresentou aumento de 23%, em 2020

redução de 46% e aumento de 45% em 2021. Em relação ao MP₁₀ para idade inferior a 5 anos, não houve diferenças significativas entre os municípios para longa exposição. Caso a concentração de poluentes não tivesse ultrapassado o limite estabelecido, seriam evitadas 53 mortes em Limeira, 66 em Ribeirão Preto e 57 em São José do Rio Preto.

Nota-se que, considerando um cenário geral, tanto a concentração quanto o número de mortes aumentaram

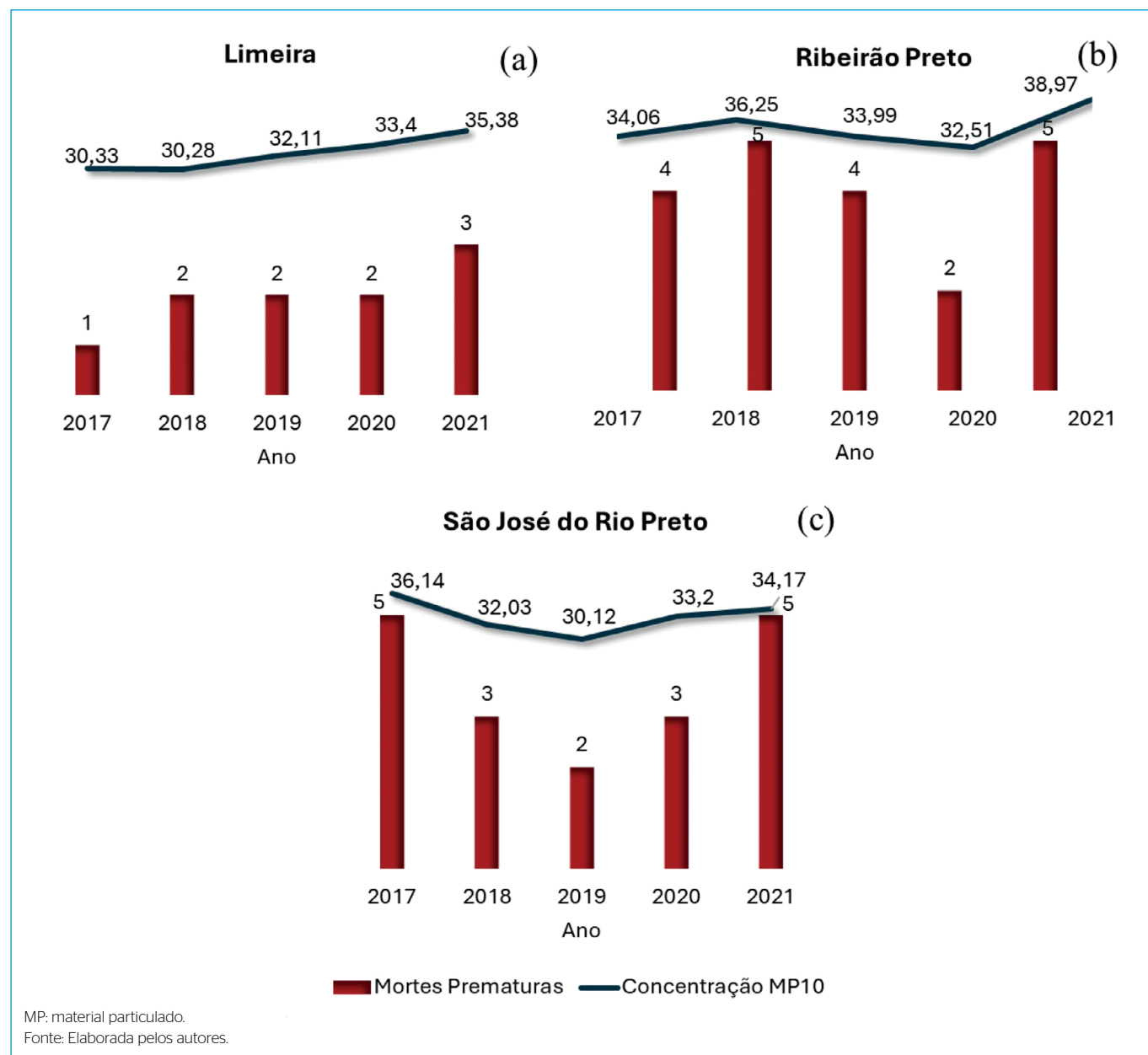


Figura 3 - Número de mortes prematuras para todas as idades e concentração de MP_{10} nos municípios de (a) Limeira, (b) Ribeirão Preto e (c) São José do Rio Preto entre 2017 e 2021

ao longo dos cinco anos. Ao observar somente as concentrações, constata-se que os valores não aumentaram significativamente, porém a incidência teve aumento significativo, indicando que o número de mortes pode estar diretamente relacionado com a incidência.

Em relação à faixa etária, notou-se que acima de 30 anos para $MP_{2,5}$, considerando um período de cinco anos, houve 1.637 mortes prematuras. Já entre todas as idades para o MP_{10} no mesmo período, ocorreram 48 mortes prematuras,

e, por fim, analisando as idades até 5 anos, foram 176 as mortes prematuras. Com isso, constata-se que o $MP_{2,5}$ é de fato mais nocivo à saúde humana quando comparado ao MP_{10} , uma vez que o primeiro consiste em partículas inaláveis finas que atingem camadas mais profundas do sistema respiratório.

Entre os três municípios, observou-se que a exposição ao $MP_{2,5}$ resultou em maior número de mortes prematuras em São José do Rio Preto. Já a exposição ao MP_{10} foi

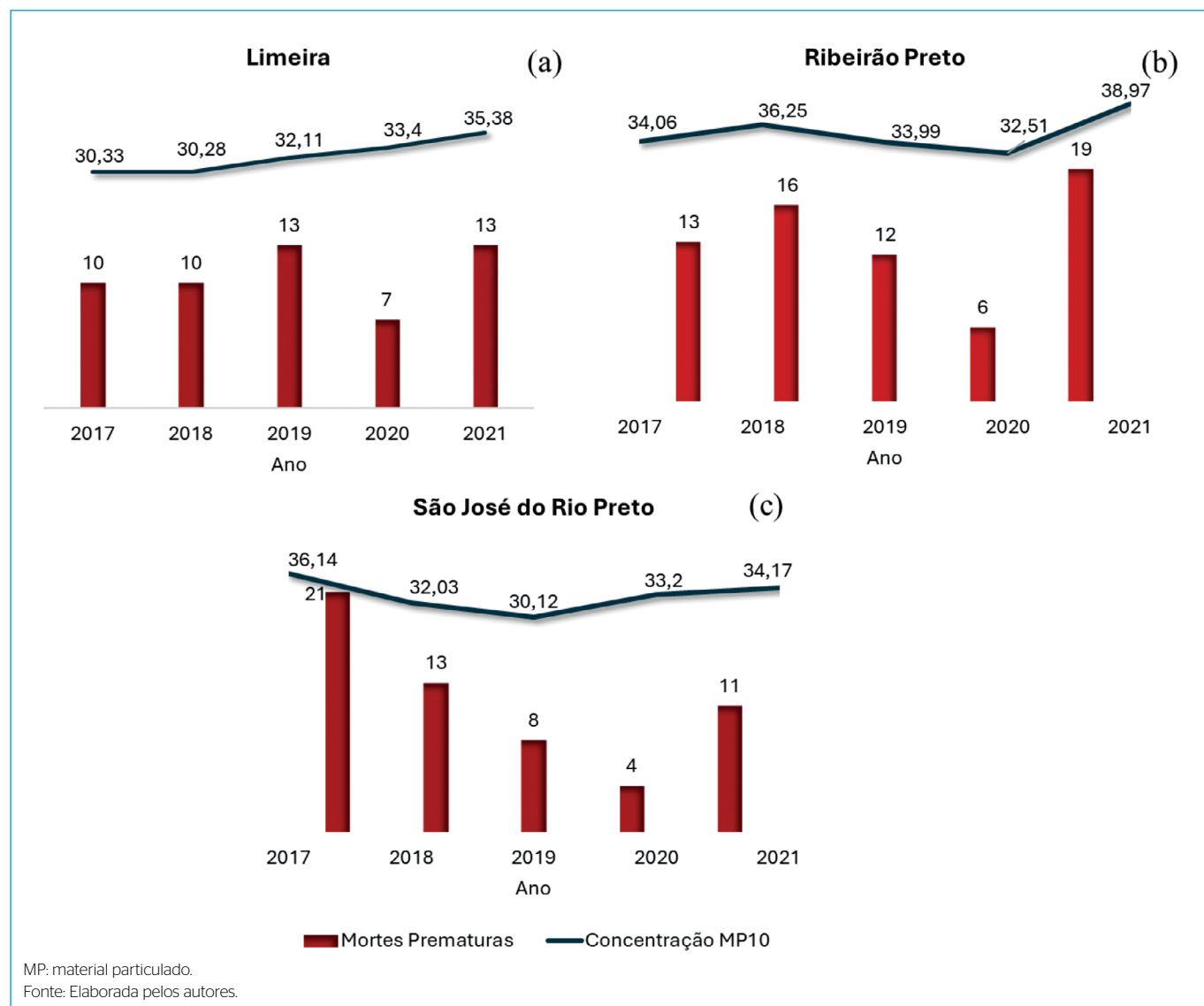


Figura 4 – Número de mortes prematuras abaixo de 5 anos e concentração de MP_{10} nos municípios de (a) Limeira, (b) Ribeirão Preto e (c) São José do Rio Preto entre 2017 e 2021

mais nociva em Ribeirão Preto, especificamente na faixa etária menor do que 5 anos, indicando que as crianças são mais suscetíveis à exposição ao poluente atmosférico, se comparadas aos adultos.

Em suma, considerando os resultados, Limeira apresentou redução no número de mortes prematuras em relação ao $MP_{2,5}$ e aumento em relação ao MP_{10} . Já os municípios de Ribeirão Preto e São José do Rio Preto apresentaram aumento tanto para $MP_{2,5}$ quanto para MP_{10} . O aumento da concentração de $MP_{2,5}$ e MP_{10} em Ribeirão Preto pode ter se dado por um fenômeno atípico conhecido como tempestade de areia, ocorrido no ano de 2021

(REDAÇÃO, 2021). O fenômeno surge em períodos de estiagem, quando há ventos com alta velocidade capazes de levantar uma quantidade relevante de partículas presentes no solo para a atmosfera, podendo deslocar-se por longas distâncias (ANSARI; EHRAMPOUSH, 2019). Pode-se associar o aumento da concentração de $MP_{2,5}$ e MP_{10} também ao grande número de queimadas que ocorrem na região, principalmente porque esta se caracteriza pela plantação de cana-de-açúcar e queima da palha, apesar da política pública de redução da queima pré-colheita de folhas (NOGAROTTO, GIMBERNAU; POZZA, 2024; SCARAMBONI *et al.*, 2024).

CONCLUSÕES

Este estudo empregou o programa AirQ+ para avaliar os efeitos na taxa de mortalidade por doenças respiratórias por exposição às partículas $MP_{2,5}$ e MP_{10} em faixas etárias específicas (menos de 5 anos, acima de 30 anos e todas as idades) entre 2017 e 2021. As localidades abrangidas foram Limeira, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto.

A pesquisa examinou as concentrações dessas partículas e sua correlação com o aumento de casos de doenças respiratórias. Estes, por sua vez, estão associados à incidência, a qual impacta diretamente o número de óbitos. A análise limitou-se a concentrações, incidências e número de mortes, sem considerar outros elementos que poderiam influenciar nos resultados, como condições climáticas, atividades econômicas locais, fatores atípicos (como incêndios e tempestades de areia durante períodos

de seca) e outros aspectos relacionados à qualidade do ar e à saúde da população.

Os resultados indicaram que o aumento na concentração de poluentes está vinculado ao crescimento de mortes prematuras, além da incidência, a qual desempenha papel crucial na análise. O *software* foi importante nesse processo, fornecendo uma estimativa do número de mortes prematuras e auxiliando na avaliação do impacto da exposição a poluentes na saúde.

O programa apresenta vantagens como facilidade de uso e a capacidade de operar *offline*, no entanto algumas dificuldades foram identificadas no uso do *software*, como sua natureza fechada, sem a possibilidade de visualizar as fórmulas internas, e a limitação de entrada de dados apenas em base anual. Adicionalmente, o programa ainda carece de opções abrangentes de doenças.

REFERÊNCIAS

ANSARI, M.; EHRAMPOUSH, M.H. Meteorological correlates and AirQ+ health risk assessment of ambient fine particulate matter in Tehran, Iran. *Environmental Research*, v. 170, p. 141-150, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.046>

ARREGOCÉS, H.A.; ROJANO, R.; RESTREPO, G. Health risk assessment for particulate matter: application of AirQ+ model in the northern Caribbean region of Colombia. *Air Quality Atmosphere and Health*, v. 16, n. 5, p. 897-912, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11869-023-01304-5>

BAHRAMI ASL, F.; LEILI, M.; VAZIRI, Y.; SALAHSHOUR ARIAN, S.; CRISTALDI, A.; OLIVERI CONTI, G.; FERRANTE, M. Health impacts quantification of ambient air pollutants using AirQ model approach in Hamadan, Iran. *Environmental Research*, v. 161, p. 114-121, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.10.050>

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portal do Datasus*. Brasil: Ministério da Saúde. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=01>. Acesso em: 29 set. 2021.

BRASIL. *Resolução CONAMA nº 506, de 5 de julho de 2024*. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação. Brasil, 2024.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Qualar: Qualidade do Ar*. Qualidade do Ar. São Paulo: Cetesb, 2021.

Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/qualar/>. Acesso em: 10 set. 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Qualidade do ar no estado de São Paulo 2023*. São Paulo: Cetesb, 2024.

CORNEJO PINTO, A.J.; ESTRADA ZACARIAS, V.M. *Cuantificación del impacto a la salud atribuida a la exposición a corto plazo de material particulado (PM) en ocho municipios de Bolivia, usando el modelo AirQ+ propuesto por la OMS, periodo 2015-2017*. Tese (Mestrado em Saúde Pública) – Universidad Mayor de San Andrés, San Andrés, 2020.

GOU, A.; ZHU, X.; DING, X.; WANG, J.; GOU, C.; TAN, Q.; LV, X. Spatial association between chronic respiratory disease mortality rates and industrial manufacturing enterprises: A case study of Chongqing, China. *Sustainable Cities and Society*, v. 113, 105720, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105720>

HADEI, M.; SHAHSAVANI, A.; KRZYŻANOWSKI, M.; QUEROL, X.; STAFIOGGIA, M.; NAZARI, S.S.H.; KHOSRAVI, A. Burden of mortality attributed to $PM_{2,5}$ exposure in cities of Iran; contribution of short-term pollution peaks. *Atmospheric Environment*, v. 224, 117365, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117365>

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades e estados*. IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>. Acesso em: 24 set. 2024.
- NAIMI, N.; SARKHOSH, M.; NABAVI, B.F.; NAJAFPOOR, A.; FARKHANI, E.M. Estimating the burden of diseases attributed to PM_{2.5} using the AirQ+ software in Mashhad during 2016–2021. *Scientific Reports*, v. 14, n. 1, 24462, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74328-1>
- NOGAROTTO, D.C.; GIMBERNAU, J.; POZZA, S.A. PSCF method for source identification of particulate matter in an agricultural background region in Brazil. *Environmental Technology*, 2024. <https://doi.org/10.1080/09593330.2024.2334292>
- NTOUROU, K.; MOUSTRIS, K.; SPYROPOULOS, G.; FAMELI, K.-M.; MANOUSAKIS, N. Adverse health effects (bronchitis cases) due to particulate matter exposure: a twenty-year scenario analysis for the greater Athens area (Greece) using the AirQ+ model. *Atmosphere*, v. 14, n. 2, p. 389, 2023. <https://doi.org/10.3390/atmos14020389>
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). *Padrões de qualidade do ar*. OMS, 2021. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 4 out. 2024.
- ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OECD). *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction*. OECD, 2012.
- OSTRO, B. *Outdoor air pollution: assessing the environmental burden of disease at national and local levels*. Genebra: World Health Organization, 2004. (Environmental Burden of Disease Series, n. 5.)
- PARVEEN, N.; SIDDIQUI, L.; SARIF, M.N.; ISLAM, M.S.; KHANAM, N.; MOHIBUL, S. Industries in Delhi: Air pollution versus respiratory morbidities. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 152, p. 495-512 2021. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.027>
- REDAÇÃO. Tempestade de areia assusta moradores do interior de São Paulo. *Veja*, 2021. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/brasil/tempestade-de-areia-assusta-moradores-do-interior-de-sao-paulo/>. Acesso em: 25 out. 2022.
- ROVIRA, J.; DOMINGO, J.L.; SCHUHMACHER, M. Air quality, health impacts and burden of disease due to air pollution (PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ and O₃): Application of AirQ+ model to the Camp de Tarragona County (Catalonia, Spain). *Science of the Total Environment*, v. 703, 135538, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135538>
- SCARAMBONI, C.; URBAN, R.C.; OLIVEIRA, D.P.; DORTA, D.J.; CAMPOS, M.L.A.M. Particulate matter from a tropical city in southeast Brazil: Impact of biomass burning on polycyclic aromatic compounds levels, health risks, and in vitro toxicity. *Chemosphere*, v. 350, 141072, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.141072>
- SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N. *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*. 3. ed. Nova York: Wiley, 2016.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *AirQ+*: software tool for health risk assessment of air pollution. WHO, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/tools/airq>. Acesso em: 16 nov. 2023.