

Hermano Albuquerque de Castro^I

Márcia Faria da Cunha^{II}

Gulnar Azevedo e Silva Mendonça^{III,IV}

Washington Leite Junger^{III}

Joana Cunha-Cruz^V

Antonio Ponce de Leon^{III}

Efeitos da poluição do ar na função respiratória de escolares, Rio de Janeiro, RJ

Effect of air pollution on lung function in schoolchildren in Rio de Janeiro, Brazil

RESUMO

OBJETIVO: Analisar a associação entre exposição diária à poluição do ar e função respiratória de escolares.

MÉTODOS: Estudo de painel com uma amostra aleatória de 118 escolares (seis a 15 anos de idade) da rede pública do Rio de Janeiro (RJ), residentes até 2 km do local do estudo. Dados sobre características das crianças foram obtidos por questionário, incluindo o *International Study of Asthma and Allergies in Childhood*. Exames diários de pico de fluxo foram realizados para medir a função respiratória. Dados diários dos níveis de PM₁₀, SO₂, O₃, NO₂ e CO, temperatura e umidade foram fornecidos por um monitor móvel. As medidas repetidas de função respiratória foram associadas aos níveis dos poluentes por meio de modelo multinível ajustado por tendência temporal, temperatura, umidade do ar, exposição domiciliar ao fumo, ser asmático, altura, sexo, peso e idade das crianças.

RESULTADOS: O pico de fluxo expiratório médio foi 243,5 l/m (dp=58,9). A menor média do pico de fluxo expiratório foi 124 l/m e a maior 450 l/m. Para o aumento de 10 µg/m³ de PM₁₀ houve uma diminuição de 0,34 l/min na média do pico de fluxo no terceiro dia. Para o aumento de 10 µg/m³ de NO₂ houve uma diminuição entre 0,23 l/min a 0,28 l/min na média do pico de fluxo após a exposição. Os efeitos do CO e do SO₂ no pico de fluxo dos escolares não foram estatisticamente significativos. O O₃ apresentou um resultado protetor: o aumento de 10 µg/m³ de O₃ estaria associado, um dia depois da exposição, a aumento de 0,2 l/min na média da função respiratória.

CONCLUSÕES: Mesmo dentro de níveis aceitáveis na maior parte do período, a poluição atmosférica, principalmente o PM₁₀ e o NO₂, esteve associada à diminuição da função respiratória de crianças residentes no Rio de Janeiro.

DESCRITORES: Poluição do Ar, efeitos adversos. Criança. Testes de Função Respiratória. Exposição por Inalação. Doenças Respiratórias, prevenção & controle.

^I Centro de Estudos de Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana. Escola Nacional de Saúde Pública. Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, RJ, Brasil

^{II} Centro Municipal Necker Pinto. Secretaria Municipal de Saúde do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil

^{III} Instituto de Medicina Social. Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil

^{IV} Coordenação de Prevenção e Vigilância. Instituto Nacional de Câncer. Ministério da Saúde. Rio de Janeiro, RJ, Brasil

^V Dental Public Health Sciences. University of Washington. Seattle, WA, USA

Correspondência | Correspondence:
Hermano Albuquerque de Castro
Centro de Estudos de Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana
Escola Nacional de Saúde Pública
R. Leopoldo Bulhões, 1480 – Manguinhos
21041-210 Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: castro@ensp.fiocruz.br

ABSTRACT

OBJECTIVE: To assess the association between daily exposure to air pollution and lung function in school children.

METHODS: Panel study with a random sample of 118 students (between 6 and 15 years of age), enrolled in a public school of the city of Rio de Janeiro, state of Rio de Janeiro, and living within 2 km of the study site. Data on students' characteristics were obtained with a questionnaire, including the International Study of Asthma and Allergies in Childhood – ISAAC. Daily peak expiratory flow measurements were taken to measure lung function. Daily data on PM₁₀, SO₂, O₃, NO₂ and CO levels, temperature and humidity were provided by a portable monitor. Repeated measurements of lung function were associated with pollutant levels with a multilevel model adjusted for time trend, temperature, air humidity, exposure to smoking at home, presence of asthma, height, sex, weight and age of children.

RESULTS: Mean peak expiratory flow was 243.5 l/m (sd=58.9). The lowest mean peak expiratory flow was 124 l/m, and the highest, 450 l/m. For the 10 µg/m³ increase in PM₁₀, there was a 0.34 l/min decrease in mean peak flow on the third day. For the 10 µg/m³ increase in NO₂, there was a decrease between 0.23 l/min and 0.28 l/min in mean peak flow after exposure. CO and SO₂ effects on students' peak flow were not statistically significant. O₃ showed a protective result: an increase in 10 µg/m³ of O₃ would be associated, after a day of exposure, with a 0.2 l/min increase in mean lung function.

CONCLUSIONS: Even within acceptable levels most of the time, air pollution, especially PM₁₀ and NO₂, was associated with a decrease in lung function in children living in the city of Rio de Janeiro.

DESCRIPTORS: Air Pollution, adverse effects. Child. Respiratory Function Tests. Inhalation Exposure. Respiratory Tract Diseases, prevention & control.

INTRODUÇÃO

Efeitos deletérios da poluição do ar sobre a saúde humana têm sido observados tanto na mortalidade geral e por doenças respiratórias e cardiovasculares como na morbidade incluindo aumentos em sintomas respiratórios e diminuições nas funções pulmonares.⁵

No Brasil, estudos de séries temporais avaliaram os impactos dos poluentes sobre a saúde da população.^{8,17,18} Estudo realizado nas duas maiores cidades brasileiras, Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP),⁸ identificou que a poluição atmosférica estava associada tanto à saúde respiratória como à cardiovascular. O número de internações devido a doenças respiratórias em crianças aumentou em consequência de aumentos na poluição; de 1,8% na cidade do Rio de Janeiro e de 6,7% em São Paulo para incrementos de 10µg/m³ de PM₁₀ (material particulado com diâmetro até 10 micrômetros); ainda em São Paulo, 6,7% para incrementos de 10µg/m³ de SO₂ (dióxido de enxofre) e 1,7% para incrementos de 1 ppm (partícula por milhão) de CO (monóxido de carbono). A poluição do ar também se mostrou associada à pre-

valência de asma em crianças em estudo realizado nos municípios de Duque de Caxias e Seropédica (RJ).¹⁵

Entre os estudos internacionais, uma investigação em área rural da Holanda verificou queda da função pulmonar durante duas semanas após um episódio de poluição com aumento de SO₂ e material particulado envolvendo 1000 crianças entre seis e 12 anos.² Na Áustria, o acompanhamento de 975 crianças por três anos também observou redução da função pulmonar associada a aumento nos níveis dos poluentes PM₁₀, SO₂, NO₂ (dióxido de nitrogênio) e O₃ (ozônio).¹¹ Ainda, esses estudos indicam que, entre crianças asmáticas, o impacto da poluição do ar expresso em absenteísmo na escola e aumento de internações hospitalares parece ser mais grave naquelas com menor nível socioeconômico.⁹

Os estudos de séries temporais têm sido utilizados para subsidiar os argumentos para redução dos limites de exposição ou para mostrar impactos na saúde com níveis

de poluição bem abaixo dos limites preconizados pela Resolução N° 3/90 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente).^a

Os participantes de estudos de painéis têm sua função respiratória avaliada por meio da mensuração diária do pico de fluxo, episódios de asma ou número de nebulizações. Estes estudos são realizados com frequência para estimar efeitos agudos da poluição atmosférica em populações suscetíveis, como crianças¹ e adultos asmáticos.²⁵

A exposição à poluição atmosférica pode ser medida individualmente por meio de monitores pessoais portáteis ou por uma estação próxima ao local do estudo. No último caso, assume-se que os indivíduos convivem no mesmo local do monitoramento do ar e, portanto, aproveitam-se situações nas quais amostras de populações suscetíveis que permanecem por períodos relativamente longos no mesmo local. Desse modo, tanto a exposição à poluição atmosférica quanto sintomas respiratórios ou cardíacos, ou ainda indicadores da função respiratória podem ser avaliados de forma mais acurada.³

O objetivo do presente estudo foi investigar a associação entre exposição diária à poluição do ar e a função respiratória de escolares.

MÉTODOS

O estudo foi realizado no Complexo de Manguinhos, no município do Rio de Janeiro, em 2004. A região foi identificada por algumas fontes fixas e móveis com potencial de poluição do ar elevado, entre elas uma avenida de intenso fluxo de veículos pesados, como a Avenida Brasil, a refinaria de Manguinhos, a estação de transferência de lixo do Caju, além de várias outras pequenas indústrias. Foi selecionada amostra de 120 crianças em uma escola pública, sendo sorteados dez alunos do total de 12 turmas. As crianças, entre seis e 15 anos de idade, eram consideradas como sendo de baixa renda familiar e residentes a uma distância de até 2 km do local do estudo. Foi realizado um estudo de painel, cuja principal característica é a dimensão longitudinal, com medidas diárias da exposição aos poluentes e do pico de fluxo expiratório das crianças com duração de três meses. As crianças se submeteram ao exame diariamente por seis semanas consecutivas, nos meses de maio, junho, setembro e outubro de 2004. Os exames foram realizados no período da manhã, entre 09:00 e 12:00, de segunda-feira à sexta-feira.

As informações sobre os escolares foram obtidas por meio da aplicação de questionário, da medição do peso e altura e da realização de exame de pico de fluxo expiratório. O questionário foi respondido pelos responsáveis das crianças e continha perguntas relacionadas

à idade, sexo, asma e exposição domiciliar ao fumo. O questionário incluiu oito perguntas do protocolo internacional *International Study of Asthma and Allergies in Childhood* (ISAAC), utilizado para avaliar a gravidade e diagnóstico de asma.²⁴ A partir da padronização dos seus instrumentos de pesquisa (questionário escrito), eles foram validados por estudo piloto em vários países e por Solé et al,²¹ no Brasil, confirmando a sua aplicabilidade e reprodutibilidade. Após essa fase, o ISAAC passou a ser realizado em várias partes do mundo e validado até o momento para as faixas etárias entre seis e sete anos e entre 13 e 14 anos.

O exame foi realizado sob supervisão técnica e acompanhado por médica pediatra e pneumologista. Foi utilizado o medidor portátil Mini-Write Peak Flow Meter® (Clement Clare, London, UK). As crianças foram orientadas para inspirar profundamente, colocar o medidor na boca e em seguida soprar rapidamente e com força. Eram realizadas três sopros, anotavam-se os valores, selecionando o maior valor para análise.

A função respiratória dos escolares foi avaliada por meio do exame de pico de fluxo. Este exame tem como finalidade medir o fluxo máximo expiratório que representa a maior medida do pico de fluxo encontrado após a expiração forçada e pode ser medido em litros por minuto.

As informações sobre a qualidade do ar foram obtidas por meio de uma unidade móvel de monitoramento dos poluentes da Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Rio de Janeiro, no local do estudo. Os dados dos poluentes PM₁₀, SO₂, O₃, NO₂ e CO foram utilizados como indicadores diários da poluição atmosférica das crianças sob a mesma condição de exposição. As condições meteorológicas foram obtidas por meio de medidores localizados no Aeroporto do Galeão. Foram utilizadas as temperaturas mínima, média e máxima e a umidade relativa do ar.

Considerando-se a estrutura de um estudo de painel ou de medidas repetidas, para cada criança foi associada uma série temporal em torno de 120 observações do pico de fluxo expiratório.

A abordagem de análise estatística utilizada consistiu em explorar a hierarquia natural dos dados. As medidas repetidas de função respiratória foram analisadas por meio de um modelo multinível gaussiano, no qual as unidades de primeiro e segundo níveis foram respectivamente os dias de avaliação pulmonar e as crianças. As variáveis de exposição principais foram os níveis diários dos poluentes PM₁₀, SO₂, O₃, NO₂ e CO. As condições meteorológicas diárias e as características individuais das crianças, como peso, altura, sexo, idade, ser asmático e estar exposta ao fumo em casa foram

^a CONAMA. Resolução N° 003/1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Diário Oficial da União. 22 ago 1990;Seção 1:15937-9 [internet]. [citado 2008 mar 10]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>

consideradas como variáveis de confusão. A variável de exposição à poluição atmosférica e os fatores meteorológicos foram designados às unidades de primeiro nível, enquanto características individuais das crianças foram consideradas como variáveis de segundo nível.

A trajetória temporal média das medidas dos picos de fluxo foi ajustada por meio de uma curva polinomial do terceiro grau (*spline* paramétrica), admitindo que cada criança tenha sua própria trajetória individual ajustada (efeitos aleatórios nos parâmetros da curva polinomial). Essa estratégia foi usada para que a modelagem dos níveis observados das funções pulmonares das crianças levasse em conta o crescimento das crianças durante o período do estudo, bem como o aprendizado no uso do aparelho de aferição.

Assumiu-se que tanto a exposição à poluição quanto às condições meteorológicas poderiam ter efeitos defasados nas trajetórias da função respiratória. Portanto, indicadores foram criados a partir de defasagens simples e índices cumulativos (médias móveis) do mesmo dia e dias anteriores dos poluentes e fatores meteorológicos. Parte da análise foi dedicada à determinação dos indicadores dos fatores meteorológicos, dentre os vários disponíveis, que melhor se ajustassem aos dados. Utilizando a série temporal de medianas, aferidas diariamente, dos resíduos do modelo que considerava o ajuste pela tendência (*spline* paramétrica), foram utilizados para seleção de indicadores de temperatura e umidade métodos gráficos de dose-resposta (série diária de resíduos como descrito acima *versus* série de indicador meteorológico) e testes de significância e/ou de qualidade do ajuste de modelos baseados na inclusão de indicadores. Quando ainda havia alguma dúvida sobre o indicador mais adequado, a escolha final recaía no critério de informação de Akaike (AIC).

O padrão observado de dose-resposta entre cada indicador escolhido no passo anterior para os fatores meteorológicos e a função respiratória foi ajustado de forma similar à descrita acima para a trajetória temporal (paramétrica), admitindo, se necessário, que as crianças pudessem ter suas próprias curvas de dose-resposta ajustadas (efeitos aleatórios).

Nessa abordagem, a ausência de observações em determinados dias (eventual ausência da criança na escola) não compromete o processo de estimação dos parâmetros do modelo. Contudo, devido à natureza temporal dos dados, padrões de autocorrelação foram ajustados adequadamente. Há diferentes procedimentos para estimar o padrão de autocorrelação bem como diagnosticar os modelos ajustados quanto à presença de autocorrelação dos resíduos. Alguns destes procedimentos foram aplicados a fim de garantir a correta identificação e modelagem da autocorrelação e examinou-se o padrão da função de autocorrelação parcial

das séries de medianas e de médias dos resíduos, tomados por dia, do modelo que considerava o ajuste pela tendência, temperatura e umidade.

O efeito da poluição nas variações diárias da trajetória do pico expiratório de fluxo dos escolares foi estimado após controlar por fatores associados tanto à função respiratória dos escolares como aos níveis de poluição. Esses fatores compuseram o modelo básico da análise, que incluiu a tendência temporal, a temperatura e umidade relativa do ar e as seguintes características dos escolares: idade, altura, fumo na família e asma. Esse modelo básico foi diagnosticado com respeito à presença de *outliers*, normalidade, correta especificação e, quando considerado adequado, foi utilizado nas etapas seguintes de estimação dos efeitos de interesse.

Após determinar o modelo básico, o efeito da poluição do ar na função respiratória pôde ser estimado para cada poluente e cada uma das defasagens foi incorporada ao modelo básico, uma de cada vez. Os efeitos dos poluentes nos níveis de função respiratória foram estimados tanto em média quanto para cada indivíduo (efeitos aleatórios).

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Foi obtido consentimento dos responsáveis e dos professores com vistas a adequar o projeto dentro das normas de orientação pedagógica da escola.

RESULTADOS

Foram avaliadas 118 crianças, pois duas crianças foram excluídas do estudo porque mudaram de escola. Possuíam idade média de 9,14 anos (desvio-padrão: $dp=1,84$), altura média de 1,36 m ($dp=0,12$) e peso médio de 32 kg ($dp=10,7$). Metade dos escolares era do sexo feminino. Das 118 crianças incluídas no estudo, 18,4% eram asmáticas, 49,1% conviviam no domicílio com fumantes.

O pico de fluxo expiratório médio foi 243,5 l/m ($dp=58,9$). A menor média do pico de fluxo expiratório foi 124 l/m e a maior 450 l/m. Em média, os escolares tiveram o pico de fluxo medido em 78 dias, variando de nove a 122 dias com medidas. Valores faltantes foram assumidos nos dias que os escolares faltaram à escola e descartados da análise. Esse procedimento assumiu os dias de falta de escolares como perdas aleatórias de dados, supondo-se que as faltas não foram ocasionadas pela associação entre a poluição do ar e a saúde. No caso de escolares que mudaram de escola durante o estudo, também se considerou que a mudança de escola não ocorreu devido aos níveis da poluição atmosférica.

As médias diárias dos níveis de poluição no Complexo de Mangueiras durante o período de estudo ultrapassaram os limites máximos estabelecidos pela resolução CONAMA nº 003/1990 (linha horizontal nos gráficos)

para os poluentes PM10 e O₃ e não ultrapassaram para CO, NO₂ e SO₂, como pode ser observado na Tabela 1 e Figura 1.

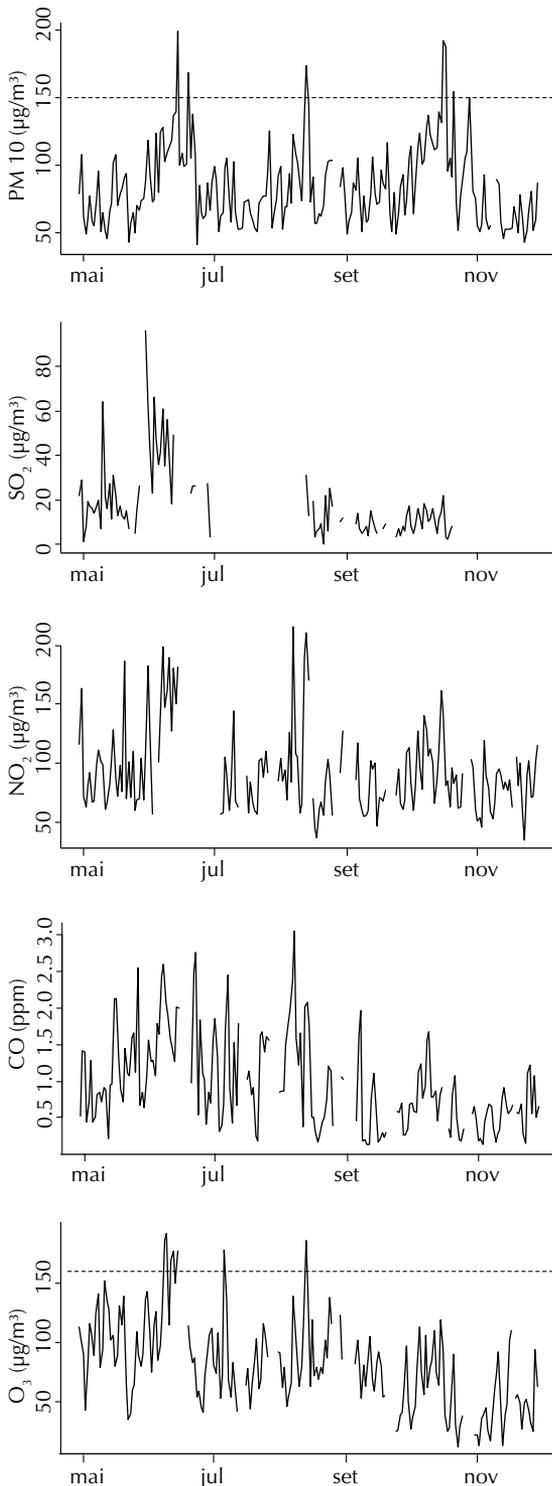


Figura 1. Distribuição da poluição por PM10, CO, SO₂, O₃ e NO₂. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

Os dados dos poluentes estavam faltando em alguns dias, principalmente para SO₂. Para PM10 a média no período foi igual a 84,7 µg/m³ (dp=29,5) e a maior concentração média em um dia foi 199 µg/m³. O CO variou de 0,1 a 3 ppm, enquanto o NO₂ variou de 35 a 216 µg/m³.

A temperatura média no período foi 26°C (dp=3,1) e a umidade relativa do ar variou de 50% a 96% com uma média de 73,6% (dp=9,2).

O PM10 esteve associado à diminuição do pico de fluxo expiratório dos escolares. Aumentos de 10 µg/m³ de PM10 em um determinado dia provocaram diminuição no pico de fluxo, variando de 0,32 l/min a 0,52 l/min dependendo do número de dias de defasagem. Por exemplo, um aumento de 10 µg/m³ de PM10 provocou uma diminuição de 0,34 l/min na média de dois dias da função respiratória das crianças (Tabela 2 e Figura 2).

Em relação ao aumento relativo nos níveis de PM10, observou-se que um acréscimo nos níveis locais de PM10 correspondente à diferença entre o grupo de 10% dos dias mais poluídos (90º percentil da distribuição de PM10) e o grupo de 10% dos dias menos poluídos (10º percentil da distribuição de PM10) esteve associado a um decréscimo de 2,42 l/min na média do pico expiratório de fluxo. Este valor representou cerca de 1% de decréscimo na média da função respiratória das crianças em um dado instante (Tabela 2).

Os efeitos do CO e do SO₂ no pico de fluxo dos escolares não foram estatisticamente significativos. Houve também uma tendência de diminuição no pico de fluxo expiratório dos escolares quando os níveis de CO e SO₂ aumentaram. Os efeitos relativos ao SO₂ devem ser interpretados com cautela devido a grande quantidade de dados faltando para este poluente no período do estudo (Tabela 2 e Figura 2).

O O₃ apresentou um resultado protetor significativo, ou seja, um aumento de 10 µg/m³ de O₃ estaria associado a um aumento de 0,2 l/min na média da função respiratória, um dia depois. Por outro lado, considerando o indicador de três dias de defasagem houve uma redução da média da função respiratória, embora não significativa (Tabela 2 e Figura 3).

O NO₂ esteve significativamente associado à diminuição do pico de fluxo expiratório dos escolares. Aumentos de 10 µg/m³ de NO₂ em um determinado dia provocaram diminuição na função respiratória média de 0,23 l/min a 0,28 l/min, dois e três dias depois, respectivamente. Observou-se também um acréscimo nos níveis locais de NO₂ correspondente à diferença entre o dia menos poluído dos 10% mais poluídos (90º percentil da distribuição de NO₂) e o dia mais poluído dos 10% menos poluídos (10º percentil da distribuição de NO₂) provocou um decréscimo de 3,66 l/min na

Tabela 1. Distribuição dos poluentes e das variáveis meteorológicas. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

Variável	n	%nd	média	dp	min	p10	p50	p90	max
Poluente atmosférico									
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	210	2,33	84,68	29,47	41,0	53,0	78,5	123,1	199,0
CO (ppm)	186	13,49	0,97	0,63	0,1	0,3	0,8	1,8	3,0
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	104	51,63	18,59	17,89	0,0	5,0	13,5	40,7	96,0
O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	187	13,02	81,08	37,67	12,0	35,6	79,4	129,3	192,0
NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	171	20,47	92,50	35,30	35,0	58,0	86,0	140,0	216,0
Característica meteorológica									
Temperatura mínima (°C)	215	0,00	21,68	2,39	14,4	18,7	21,6	25,1	27,1
Temperatura média (°C)	215	0,00	25,96	3,11	19,5	21,7	25,9	30,1	33,6
Temperatura máxima (°C)	215	0,00	31,59	4,65	21,4	25,0	31,6	37,8	43,0
Umidade relativa (%)	215	0,00	73,57	9,18	50,0	61,0	74,0	84,0	96,0

n = nº de observações; %nd = percentual de dados faltando; dp = desvio-padrão; min. = valor mínimo; máx. = valor máximo

média do pico de fluxo expiratório. Este valor representou cerca de 1,5% de decréscimo na média da função respiratória dos escolares. Nesse caso, a média do pico

de fluxo expiratório diminuiria cerca de 0,22 l/min para um acréscimo de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis da média móvel de três dias de NO₂ (Tabela 2 e Figura 2).

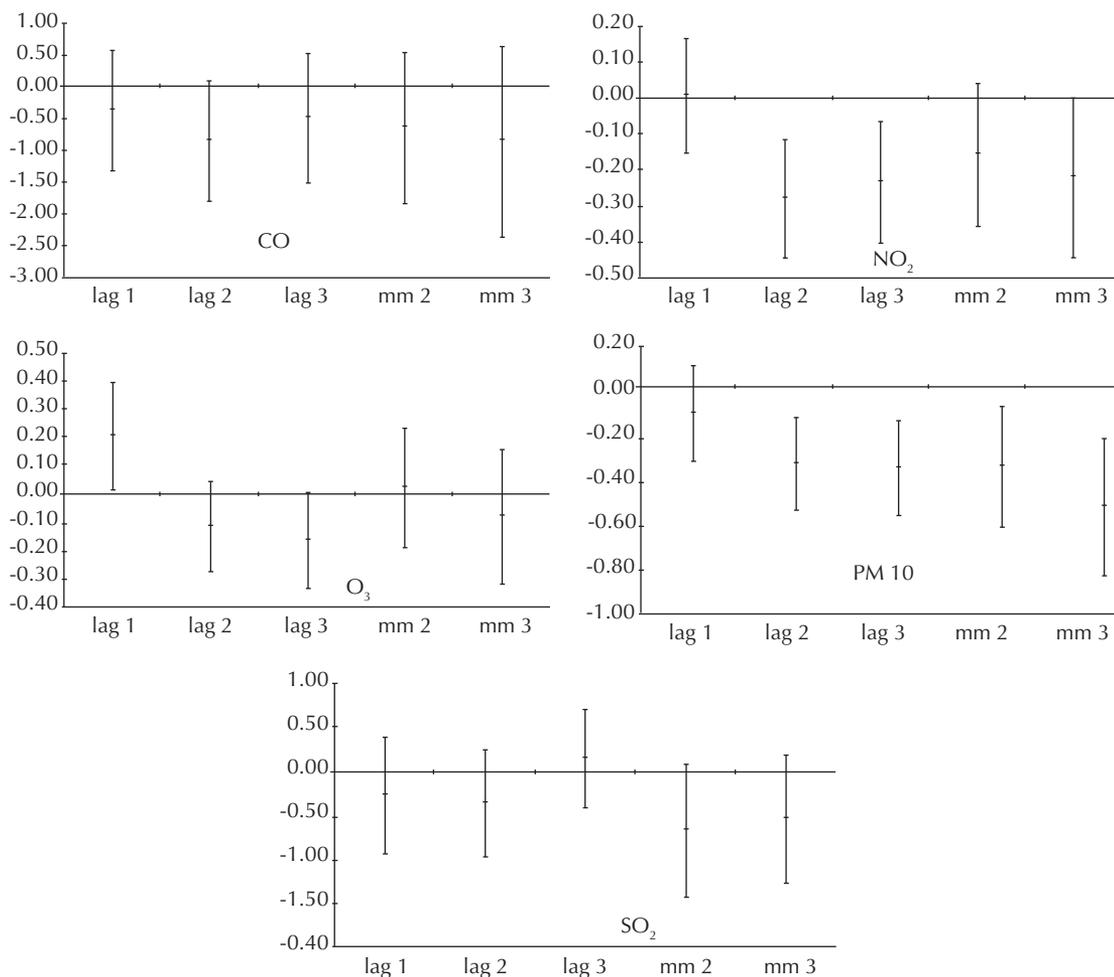


Figura 2. Decréscimos estimados no pico expiratório de fluxo de crianças (em l/min) e intervalos de confiança para aumentos de 10 unidades dos poluentes (exceto CO: 1 unidade). Rio de Janeiro, RJ, 2004.

Tabela 2. Decréscimos estimados no pico expiratório de fluxo de crianças (em l/min) para aumentos de poluentes* e aumentos segundo dias mais ou menos poluídos**. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

Poluente	coef	IC 95%	coef(10-90)	IC 95%	valor-p
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
defasagem de 1 dia	-0,11	-0,319;0,106	-0,74	-2,234;0,745	0,327
defasagem de 2 dias	-0,32	-0,526;-0,120	-2,26	-3,685;-0,838	0,002
defasagem de 3 dias	-0,35	-0,555;-0,136	-2,42	-3,889;-0,954	0,001
média de 2 dias	-0,34	-0,605;-0,078	-2,40	-4,242;-0,549	0,011
média de 3 dias	-0,52	-0,824;-0,211	-3,63	-5,776;-1,478	0,001
CO (ppm)					
defasagem de 1 dia	-0,37	-1,316;0,585	-0,58	-2,085;0,927	0,451
defasagem de 2 dias	-0,82	-1,702;0,070	-1,29	-2,698;0,110	0,071
defasagem de 3 dias	-0,48	-1,483;0,515	-0,77	-2,351;0,816	0,342
média de 2 dias	-0,65	-1,838;0,545	-1,02	-2,913;0,863	0,287
média de 3 dias	-0,87	-2,383;0,640	-1,38	-3,777;1,015	0,259
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
defasagem de 1 dia	-0,28	-0,942;0,380	-1,00	-3,362;1,355	0,404
defasagem de 2 dias	-0,38	-0,986;0,235	-1,34	-3,519;0,841	0,229
defasagem de 3 dias	0,13	-0,427;0,688	0,47	-1,523;2,456	0,646
média de 2 dias	-0,69	-1,439;0,066	-2,45	-5,138;0,236	0,074
média de 3 dias	-0,56	-1,293;0,175	-2,00	-4,616;0,625	0,136
O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
defasagem de 1 dia	0,21	0,016;0,395	1,92	0,145;3,695	0,034
defasagem de 2 dias	-0,11	-0,273;0,049	-1,05	-2,554;0,460	0,173
defasagem de 3 dias	-0,16	-0,330;0,006	-1,51	-3,088;0,059	0,059
média de 2 dias	0,02	-0,186;0,233	0,22	-1,738;2,183	0,824
média de 3 dias	-0,08	-0,314;0,159	-0,73	-2,941;1,487	0,520
NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
defasagem de 1 dia	0,01	-0,153;0,165	0,05	-1,251;1,353	0,939
defasagem de 2 dias	-0,28	-0,447;-0,118	-2,31	-3,663;-0,966	0,001
defasagem de 3 dias	-0,23	-0,400;-0,065	-1,91	-3,282;-0,531	0,007
média de 2 dias	-0,16	-0,357;0,037	-1,31	-2,926;0,305	0,112
média de 3 dias	-0,22	-0,444;0,001	-1,82	-3,641;0,007	0,051

* Aumento de 10 unidades para todos os poluentes, exceto CO: 1 unidade.

** Correspondentes à diferença entre o dia menos poluído dos 10% mais poluídos e o dia mais poluído dos 10% menos poluídos

DISCUSSÃO

Neste estudo de painel, a poluição atmosférica esteve associada à diminuição da função respiratória de escolares em curto prazo. Especificamente, aumentos nos níveis de dois poluentes PM10 e o NO₂ associaram-se a diminuições na função respiratória. Por outro lado, os níveis dos poluentes CO, SO₂ e O₃ não estiveram associados a diminuições da função respiratória dos escolares.

Efeitos semelhantes ao observado no presente estudo foram obtidos em estudos de painéis em outras regiões.²² Uma revisão sistemática de estudos com crianças para investigar efeitos da poluição atmosférica concluiu segundo um modelo clássico de meta-análise que, para um aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de PM10, os níveis de

pico de fluxo das crianças diminuíram em média 0,012 l/min (IC95% -0,017; -0,008).²² Ao considerar um modelo de coeficientes aleatórios, o efeito médio foi de -0,033 l/min (IC95% -0,047; -0,019), um efeito muito semelhante ao observado no presente estudo de painel de -0,32 l/min (IC 95% -0,52; -0,12) para o mesmo aumento de PM10 e uma defasagem de dois dias.

Em 2001, estudo com crianças entre sete e nove anos, na cidade de São Paulo (SP) observou associações com diversos poluentes.⁴ Apesar de não ter isolado um único poluente como a causa principal do efeito deletério na saúde das crianças, para uma variação interquartil na concentração do PM10, houve um decréscimo de 1,05% no pico de fluxo expiratório, resultado semelhante ao

encontrado no presente estudo. Outros estudos internacionais têm apresentado correlação entre o aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} e a redução de mais de 10% no pico de fluxo para o mesmo dia.^{14,15,16}

O dióxido de nitrogênio (NO_2) é um potente irritante respiratório produzido por diferentes fontes poluidoras fixas e móveis e, no presente estudo, esteve associado com decréscimos na função respiratória de escolares. Esse resultado é corroborado por outros estudos de painéis em crianças com outros desfechos como tosse e sintomas respiratórios.¹² Por outro lado, em crianças menores de 18 meses, essa associação entre exposição ao NO_2 e problemas respiratórios não foi observada.¹⁹ Resultados diferentes mostram a necessidade de outros estudos para avaliar o impacto do NO_2 na função respiratória das crianças.

O monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO_2) e o ozônio (O_3) não estavam associados a efeitos deletérios na função respiratória das crianças deste estudo. Entretanto, tendências de decréscimo do pico de fluxo expiratório associadas a aumentos dos níveis dos poluentes como o monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre (SO_2) puderam ser identificadas.¹³ Estudos sobre o CO têm mostrado o seu impacto correlacionado com o aumento da pressão arterial em adulto²⁰ e aumento de sintomas em crianças.¹⁰

Efeitos contrários aos esperados foram observados no presente estudo para a associação entre o ozônio e a função respiratória das crianças: o aumento nos níveis de ozônio esteve associado a aumento na função respiratória das crianças. É possível que o absenteísmo possa explicar parte desse resultado, devido à redução na média da função respiratória no segundo e no terceiro dia após a exposição, embora não significativa. Ou seja, a hipótese de que crianças mais sensíveis se ausentem no primeiro dia após a exposição, retornando nos dias consecutivos. Uma posterior análise poderá ser realizada ajustando um modelo de regressão logística para absenteísmo explicado pelos níveis de poluição atmosférica.

Os resultados do presente estudo divergem dos resultados de alguns estudos⁸ e concordam com outros.⁶ O ozônio esteve associado à diminuição da função respiratória de crianças suíças após exercício físico e de crianças que permaneciam por mais tempo ao ar livre.⁷

As informações conflitantes com relação ao O_3 podem estar relacionadas aos métodos utilizados nos diferentes estudos, aos baixos níveis do ozônio ou até mesmo pela correlação negativa do ozônio com outros poluentes como o PM_{10} e NO_2 .

A presença de alguns dados faltantes nas medições dos poluentes está entre as limitações do presente estudo. Entre as vantagens do presente estudo estão: acompanhamento diário das crianças, monitoramento diário

da exposição à poluição próxima ao local de moradia e estudo e uso de uma equipe multidisciplinar com colaboração de entidades municipais, estaduais e federais.

Outra vantagem consistiu no uso de um modelo multinível e ajuste para variáveis de confusão que permitiu estimar os efeitos da poluição na função respiratória. Vários modelos estatísticos podem ser usados na análise de medidas repetidas semelhantes às do presente estudo, que optou pelo uso de um modelo multinível com dois níveis de hierarquia. No primeiro nível estão as medidas repetidas no tempo de cada escolar (desfecho), de exposição (poluição do ar) e de confusão (tempo e indicadores meteorológicos). O crescimento experimentado por uma criança no período do estudo afeta sua função respiratória, porém devido à idade e fatores genéticos é razoável supor que cada criança tem sua própria curva de crescimento. Portanto, o padrão de crescimento foi modelado especificamente para cada criança, utilizando modelos de efeitos aleatórios na trajetória temporal da função respiratória. No segundo nível da hierarquia estão as características dos escolares que podem explicar ou alterar a associação entre desfecho e exposição, por exemplo, idade, altura, peso, presença de doença respiratória como asma, e o fumo passivo.

Os limites de exposição têm sido objeto de discussão em diferentes países. O relatório da Organização Mundial de Saúde (OMS),²³ em 2005, estabeleceu novas diretrizes de qualidade do ar e redução dos atuais limites de exposição humana. Apesar da grande produção científica sobre os efeitos da poluição do ar na saúde da população e dos diferentes métodos utilizados para mensurar os seus efeitos,³ ainda persistem dúvidas sobre o impacto efetivo dos diferentes poluentes. Os estudos de painel podem contribuir para o entendimento mais completo dos riscos e efeitos à saúde humana relacionados com a poluição do ar nas cidades.

Estudos de painel permitem analisar de forma específica o impacto dos poluentes atmosféricos na função respiratória de crianças. A metodologia aplicada pode ser reproduzida em outras regiões e permite controlar de forma apropriada os fatores que podem interferir na função respiratória.

O desenvolvimento de outros estudos sobre o impacto dos poluentes do ar sobre a saúde da população deve ser estimulado no sentido de contribuir com medidas adequadas e locais para controle da poluição do ar.

AGRADECIMENTOS

À Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Rio de Janeiro por fornecer os dados dos poluentes ambientais da unidade móvel e Secretaria de Educação do Município do Rio de Janeiro por autorizar a realização do estudo em uma escola pública municipal.

REFERÊNCIAS

1. Bates DV. The effects of air pollution on children. *Environ Health Perspect.* 1995;103 (Suppl 6):49-53. DOI: 10.2307/3432345
2. Brunekreef B, Lumens M, Hoek G, Hofschreuder P, Fischer P, Biersteker K. Pulmonary function changes associated with an air pollution episode in January 1987. *JAPCA.* 1989;39(11):1444-7.
3. Castro HA, Gouveia N, Escamilla-Cejudo, José A. Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. *Rev Bras Epidemiol.* 2003;6(2):135-49. DOI: 10.1590/S1415-790X2003000200007
4. Correia JEM. Poluição atmosférica urbana e fluxo expiratório de pico (peak flow) em crianças de 7 a 9 anos na cidade de São Paulo, SP. Dissertação de mestrado: Faculdade de Saúde Pública-USP. São Paulo; 2001. 215 p.
5. Curtis L, Rea W, Smith-Willis P, Fenyves E, Pan Y. Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environ Int.* 2006;32(6):815-30. DOI: 10.1016/j.envint.2006.03.012
6. Frischer T, Studnicka M, Gartner C, Tauber E, Horak F, Veiter A, et al. Lung function growth and ambient ozone. A three years population study in school-children. *Am J Respir Crit Care Med.* 1999;160(2):390-6.
7. Gauderman WJ, McConnell R, Gilliland F, London S, Thomas D, Avol E, et al. Association between air pollution and lung function growth in Southern California children. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000;162(4 Pt 1):1383-90.
8. Gouveia N, Mendonça GAS, Leon AP, Correia JEM, Junger WL, Freitas CU, et al. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. *Epidemiol Serv Saude.* 2003;12(1):29-40.
9. Halfon N, Newacheck PW. Childhood asthma and poverty: differential impacts and utilization of health services. *Pediatrics.* 1993;91(1):56-61.
10. Hirsch T, Weiland SK, von Mutius E, Safeca AF, Gräfe H, Csaplovics E, et al. Inner city air pollution and respiratory health and atopy in children. *Eur Respir J.* 1999;14(3):669-77. DOI: 10.1034/j.1399-3003.1999.14c29.x
11. Horak F, Studnicka M, Gartner C, Spengler JD, Tauber E, Urbanek R, et al. Particulate matter and lung function growth in children: a 3-yr follow-up study in Austrian school children. *Eur Respir J.* 2002;19(5):838-45. DOI: 10.1183/09031936.02.00512001
12. Mukala K, Pekkanen J, Tittanen P, Alm S, Salonen RO, Tuomisto J. Personally measured weekly exposure to NO₂ and respiratory health among preschool children. *Eur Respir J.* 1999;13(6):1411-7.
13. Medley AJ, Wong CM, Thach TQ, Ma S, Lam TH, Anderson HR. Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulfur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. *Lancet.* 2002;360(9346):1646-52. DOI: 10.1016/S0140-6736(02)11612-6
14. Pope CA III, Dockery DW. Acute health effects of PM₁₀ pollution on symptomatic and asymptomatic children. *Am Rev Respir Dis.* 1992;145(5):1123-8.
15. Rios JLM, Boechat JL, Sant'Anna CC, França AT. Atmospheric pollution and the prevalence of asthma: study among schoolchildren of two areas in Rio de Janeiro, Brazil. *Ann Allergy Asthma Immunol.* 2004;92(6):629-34.
16. Roemer W, Hoek G, Brunekreef B. Effect of ambient winter air pollution on respiratory health of children with chronic respiratory symptoms. *Am Rev Respir Dis.* 1993;147(1):118-24.
17. Rutishauser M, Ackermann U, Braun Ch, Gnehm HP, Wanner HU. Significant association between outdoor NO₂ and respiratory symptoms in preschool children. *Lung.* 1990;168 (Suppl):347-52. DOI: 10.1007/BF02718151
18. Saldiva PH, Lichtenfels AJ, Paiva PS, Barone IA, Martins MA, Massad E, et al. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. *Environ Res.* 1994;65(2):218-25. DOI: 10.1006/enrs.1994.1033
19. Samet JM, Lambert WE, Skipper BJ, Cushing AH, Hunt WC, Young SA, et al. Nitrogen dioxide and respiratory illnesses in infants. *Am Rev Respir Dis.* 1993;148(5):1258-65.
20. Santos UP, Braga AL, Giorgi DM, Pereira LA, Grupi CJ, Lin CA, et al. Effects of air pollution on blood pressure and heart rate variability: a panel study of vehicular traffic controllers in the city of São Paulo, Brazil. *Eur Heart J.* 2005;26(2):193-200. DOI: 10.1093/eurheartj/ehi035
21. Solé D, Vanna AT, Yamada E, Rizzo MC, Naspietz CK. International study of asthma and allergies in childhood (ISAAC) written questionnaire: validation of the asthma component among Brazilian children. *J Invest Allergol Clin Immunol.* 1998;8(6):376-82.
22. Ward DJ, Ayres JG. Particulate air pollution and panel studies in children: a systematic review. *Occup Environ Med.* 2004;61(4):e13. DOI: 10.1136/oem.2003.007088
23. World Health Organization. WHO air quality guidelines global update 2005: Report. Copenhagen; 2005.
24. Worldwide variation in prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and atopic eczema: ISAAC. *Lancet.* 1998;351(9111):1225-32. DOI: 10.1016/S0140-6736(97)07302-9
25. Wichmann HE, Heinrich J. Health effects of high level exposure to traditional pollutants in East Germany--review and ongoing research. *Environ Health Perspect.* 1995;103 (Suppl 2):29-35. DOI: 10.2307/3432446