

Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP

Effects of air pollution on children's health in a city in Southeastern Brazil

Luiz Fernando C Nascimento^a, Luiz Alberto A Pereira^b, Alfésio L F Braga^c, Maria Carolina C Módolo^a e João Andrade Carvalho Jr^d

^aDepartamento de Medicina. Universidade de Taubaté. Taubaté, SP, Brasil. ^bLaboratório de Poluição Atmosférica Experimental. Faculdade de Medicina. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil. ^cPrograma de Pediatria Ambiental. Faculdade de Medicina. Universidade de Santo Amaro. São Paulo, SP, Brasil. ^dDepartamento de Energia. Universidade Estadual de São Paulo. Guaratinguetá, SP, Brasil

Descritores

Poluição do ar, efeitos na saúde.
Doenças respiratórias. Pneumonia.
Saúde da criança. Estudo ecológico.
Séries temporais.

Resumo

Objetivo

Dentre os efeitos da poluição ambiental na saúde da criança, destaca-se o aumento de internações por pneumonias. O objetivo do estudo foi estimar a associação dessas internações com o aumento dos poluentes atmosféricos.

Métodos

Trata-se de estudo ecológico de séries temporais, realizado na cidade de São José dos Campos, SP, nos anos de 2000 e 2001. Foram utilizados dados diários sobre o número de internações por pneumonia, dados diários de poluentes (SO₂, O₃ e PM₁₀) e de temperatura e umidade do clima. Foram estimadas as correlações entre as variáveis de interesse pelo coeficiente de Pearson. Para estimar a associação entre as internações por pneumonia e a poluição atmosférica, utilizaram-se modelos aditivos generalizados de regressão de Poisson. Foram estimados os acréscimos das internações por pneumonia para o intervalo interquartil para cada um dos poluentes estudados, com um intervalo de confiança de 95%.

Resultados

Os três poluentes apresentaram efeitos defasados nas internações por pneumonia, iniciada três a quatro dias após a exposição e decaindo rapidamente. Na estimativa de efeito acumulado de oito dias observou-se ao longo desse período que para aumentos de 24,7 µg/m³ na concentração média de PM₁₀ houve um acréscimo de 9,8% nas internações.

Conclusões

O estudo confirma que o potencial deletério dos poluentes do ar sobre a saúde pode ser detectado, também, em cidades de médio porte. A magnitude do efeito foi semelhante ao observado na cidade de São Paulo. Além disso, mostra a elevada susceptibilidade das crianças aos efeitos adversos advindos da exposição aos contaminantes atmosféricos.

Keywords

Air pollution, health effects.
Respiratory diseases. Pneumonia.
Children health. Ecological study.
Time series.

Abstract

Objective

Of the effects of air pollution on children's health, increased pneumonia admission rate is one of the most important. The study aimed at estimating the association between pneumonia admissions and increased air pollutants.

Correspondência/ Correspondence:
Luiz Fernando C Nascimento
Rua Durval Rocha, 500
12515-710 Guaratinguetá, SP, Brasil
E-mail: lfcn@unitau.br

Recebido em 26/11/2004. Reapresentado em 29/6/2005. Aprovado em 8/8/2005.

Methods

An ecological time-series study was carried out in the municipality of São José dos Campos, Southeastern Brazil, in the years 2000 and 2001. Daily records of pneumonia admissions, air pollutants (SO_2 , O_3 , and PM_{10}) and weather conditions (temperature and humidity) were analyzed. The correlations between the study variables were estimated using Pearson's correlation. The associations between pneumonia and air pollutants were estimated using generalized additive Poisson regression models. The percentage increase (and their respective 95% CI) in pneumonia admission rate was estimated for the interquartile range of each air pollutant studied.

Results

The three pollutants analyzed presented lagged effects on pneumonia admission rate, beginning at lag 3 or 4 and lasting for no more than two days. The 8-day cumulative effect estimate showed that an increase of 24.7 mg/m³ in PM_{10} concentration increased pneumonia admission rate in 9.8%.

Conclusions

The study corroborates that adverse health effects of air pollutants can be observed even in medium-sized cities. The magnitude of the effect was similar to that found in the city of São Paulo. Moreover, children are highly susceptible to air pollution exposure.

INTRODUÇÃO

Como é sabido que os componentes da contaminação atmosférica antropogênica atingem o organismo predominantemente por via inalatória, é de se esperar que seus principais efeitos se manifestem no trato respiratório.¹

A exposição aos poluentes ambientais é reconhecida como um importante fator de risco para a ocorrência das internações hospitalares em crianças,^{4,5,9} absenteísmo escolar,¹¹ mortalidade intrauterina¹² e também para defeitos congênitos.¹³ Há fortes evidências de que a poluição atmosférica está associada com aumentos importantes no risco de morte e doenças crônicas em crianças, resultados desastrosos na gravidez e agravamento de doenças.^{4,12,15} Dentre os poluentes atmosféricos associados a esses desfechos, destacam-se dióxido de enxofre (SO_2), ozônio (O_3) e material particulado com diâmetro aerodinâmico menor que 10 µm (PM_{10}).

O dióxido de enxofre é reconhecidamente irritante respiratório, absorvido nas vias aéreas superiores e se deposita nas porções mais inferiores destas e no parênquima pulmonar. Ele causa decréscimo da função pulmonar⁶ e até mesmo necrose pulmonar em animais. As fontes principais são indústrias que utilizam carvão mineral e derivados de petróleo, além de veículos automotivos que utilizam combustíveis fósseis.

O ozônio, próximo à superfície da Terra, resulta de reações fotoquímicas de poluentes com a radiação solar. Pode atingir as porções mais profundas dos pulmões podendo causar inflamação e diminuição da

função pulmonar.⁶ É um poderoso oxidante, participando de reações intra e extracelulares com envolvimento de enzimas importantes para o metabolismo.

O material particulado, originário principalmente da queima de combustíveis fósseis, pode ter meia-vida de alguns dias até anos. Ele está associado ao aumento de sintomas e de doenças respiratórias em crianças, aumento e piora de quadro de asma^{6,9} e, mais recentemente, ao baixo peso ao nascer³ e à mortalidade infantil.¹⁰ O material particulado inalado pode atingir até os alvéolos.

A grande maioria dos estudos conduzidos no Brasil avaliando poluição atmosférica e doenças respiratórias foram desenvolvidos em grandes centros urbanos, tais como São Paulo, Rio de Janeiro e Curitiba.^{2,4,5,8,12} Entretanto, pouco tem sido estudado sobre os efeitos da poluição do ar, predominantemente gerada pela atividade industrial e pela frota de veículos fora da abrangência geográfica de grandes centros metropolitanos.

Assim, o objetivo do presente trabalho é investigar a associação entre exposição aos contaminantes atmosféricos e à morbidade respiratória infantil, representada pelas internações hospitalares por pneumonias.

MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de São José dos Campos, considerado de médio porte, com intensa atividade industrial e expressivo fluxo de veículos. Esse município localiza-se no Alto Vale do Paraíba paulista, a cerca de 80 km de São Paulo, com popula-

Tabela 1 - Análise descritiva das variáveis atmosféricas. São José dos Campos, SP, 2000-2001.

Variáveis	Análise descritiva						
	Mínimo	1º quartil	Média	DP	Mediana	3º quartil	Máximo
Internações	0,0	1,0	2,1	1,8	2,0	3,0	9,0
PM ₁₀ (µg/m ³)	3,4	23,9	40,2	26,9	33,1	48,6	196,6
SO ₂ (µg/m ³)	0,8	3,7	6,2	3,9	5,1	7,5	36,0
O ₃ (µg/m ³)*	16,3	47,9	65,0	24,6	61,9	80,6	143,1
Temperatura (°C)	4,1	16,7	19,0	3,5	19,6	21,7	25,6
Umidade (%)	47,1	76,3	81,6	9,4	81,8	87,7	98,5

DP: Desvio-padrão da média
*Ausência de dados em 42 dias

ção de aproximadamente 550.000 habitantes, distribuídos numa área de 1.142 km².

Trata-se de estudo ecológico de série temporal, onde foram selecionadas as internações diárias por pneumonia (CID-10: J12-J18), em crianças com até 10 anos de idade, ocorridas entre primeiro de maio de 2000 e 31 de dezembro de 2001. Esses dados foram fornecidos pelo Departamento de Informações e Informática do Sistema Único de Saúde (Datasus). Para consolidação dos dados de internação, foram consultados os três meses iniciais do ano de 2002, para obter eventuais informações referentes a internações até 31 de dezembro de 2001.

Os dados diários dos poluentes SO₂, O₃ e PM₁₀ e os da temperatura e umidade foram obtidos da agência ambiental do Estado de São Paulo (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - Cetesb), que conta com duas estações medidoras no município. Para todos os poluentes, a coleta de dados se iniciava na primeira hora do dia, durante 24 horas e foram quantificadas em µg/m³. Foram consideradas as médias diárias de cada poluente. As técnicas para dosar PM₁₀ foi o monitor beta, para SO₂ a técnica de coulometria e para O₃ a quimiluminescência.

Foram feitas análises descritivas de todas as variáveis e estimadas as correlações entre aquelas de interesse por meio dos coeficientes de correlação de Pearson. Para estimar a associação entre o número de internações diárias por pneumonia e poluição atmosférica, utilizaram-se modelos aditivos generalizados (MAG) de regressão de Poisson.

O número de internações por pneumonia é um evento de contagem e, por isso, apresenta distribuição de Poisson. Como a relação entre a variável dependente e sazonalidade de longa duração (tempo) não é, necessariamente, linear, adotou-se o MAG, que permite a inclusão, no modelo de regressão, de funções de alisamento semi-paramétricas e não-paramétricas de alisamento. A finalidade da função de alisamento de tempo é remover os padrões sazonais básicos de longa duração, eliminando a variabilidade devida ao acaso. Para tanto, foi utilizado um alisador de média

móvel não paramétrico (loess) e a escolha do parâmetro de alisamento se baseou na minimização da autocorrelação dos resíduos.

Para minimizar erros nas estimativas de efeito e seus respectivos erros-padrão,⁷ adotou-se apenas uma função de alisamento não paramétrica e parâmetros de convergência mais restritivos do que aqueles definidos como padrão para os modelos MAG no pacote estatístico utilizado (S-PLUS).

Assumiu-se relação linear entre atendimentos e poluentes atmosféricos, temperatura mínima e umidade média.

As manifestações biológicas dos efeitos da poluição sobre a saúde aparentemente apresentam um comportamento que mostra defasagem em relação à exposição do indivíduo aos agentes poluidores. Isso significa que os atendimentos observados em um dia específico podem estar relacionados à poluição do referido dia, como também com a poluição observada em dias anteriores. Para uma definição mais precisa do modelo a ser utilizado, é fundamental a determinação de uma estrutura de defasagem (*lag*) adequada. Optou-se por utilizar os modelos de defasagens distribuídas até sete dias após a exposição.

Os efeitos foram expressos em termos de acréscimos nos números de internações hospitalares (e respectivos intervalos de confiança de 95%) devido ao aumento nos níveis de poluição do ar, utilizando a diferença interquartil do poluente, por meio da fórmula:

$AP_{PN} = (e^{\beta \cdot VIQPOL} - 1) * 100$, onde AP_{PN} é a variação percentual nas internações por pneumonia, $VIQPOL$ é a diferença entre os valores limites do terceiro e do primeiro quartis da concentração de cada poluente.

Em todas as análises, utilizou-se o nível de significância de 5%. As análises foram feitas pelos softwares SPLUS for Windows e SPSS 10.0 for Windows.

RESULTADOS

Houve 1.265 internações de crianças de zero a 10

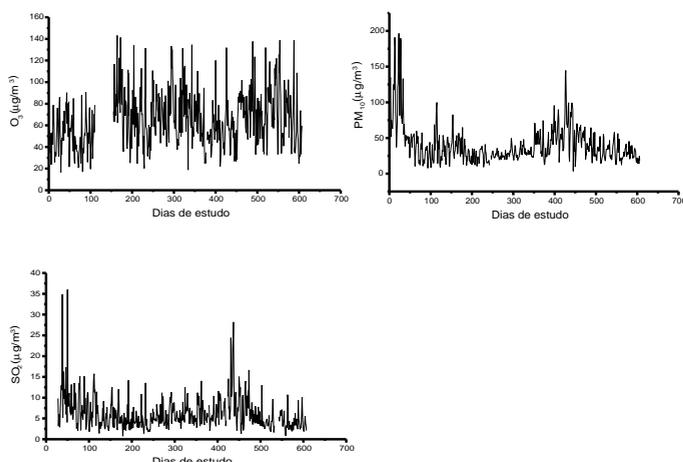


Figura 1 - Valores diários de poluentes durante o período de estudo. São José dos Campos, SP, 2000-2001.

anos por pneumonias no período de estudo. No mesmo período, as médias diárias de PM_{10} e SO_2 estiveram abaixo dos seus padrões de qualidade do ar para médias anuais (50 e $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente). Quanto aos valores máximos diários para esses dois poluentes, em três dias o PM_{10} apresentou picos diários acima do valor máximo permitido ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). O comportamento do ozônio ao longo do período não mostrou sazonalidade evidente, diferentemente do PM_{10} e SO_2 que apresentaram aumentos nos períodos frios, e não houve nenhum dia com ultrapassagem do padrão estabelecido de máxima horária ($235 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Tabela 1 e Figura 1).

Não foram obtidos 42 dados de concentrações diárias de ozônio. Os dados de internações foram obtidos em todos os dias do período de estudo. Para consolidar o último dia do período, foram consultados até três meses iniciais do ano de 2002 para obter eventuais informações referentes a dados de internação relativos a 31 de dezembro de 2001. Para as variáveis temperatura e umidade não houve falha de informações.

A Tabela 2 apresenta a matriz de correlação entre as variáveis do estudo. Observaram-se correlações positivas, porém pequenas, entre os poluentes. As admissões por pneumonia apresentaram correlações positivas com PM_{10} e SO_2 , e negativa com o ozônio. As variáveis meteorológicas apresentaram correlações

negativas com as admissões e os poluentes, exceto para temperatura e ozônio, que apresentaram correlação positiva.

A Tabela 3 apresenta os coeficientes de regressão de Poisson para os três poluentes analisados em cada um dos dias da estrutura de defasagem analisada (dia da exposição até sete dias após) e para a soma dos efeitos diários. Os efeitos nas internações não foram imediatos, ou seja, no dia do aumento da concentração, mas ocorreram três dias após a exposição e se prolongaram por 24 a 48 h como é o caso do PM_{10} . O SO_2 apresentou pequenos efeitos positivos ao longo dos dias analisados que aumentou no sétimo dia após a exposição, porém o efeito não foi estatisticamente significativo. O O_3 apresentou comportamento semelhante ao do PM_{10} , com defasagem de 24h, com efeitos positivos e maiores nos dias 4 e 5 após a exposição.

Ao estimar os efeitos acumulados para o período de oito dias de exposição observaram-se aumentos de aproximadamente 10% nas internações por pneumonias em crianças com até 10 anos de idade (Figura 2). Apesar de não serem estatisticamente significativos, os efeitos acumulados de oito dias para O_3 e SO_2 apresentaram magnitudes semelhantes aos efeitos do PM_{10} .

DISCUSSÃO

Estudos de séries temporais mostram a associação entre níveis de poluentes e número de internação por doença respiratórias na cidade de São Paulo.^{4,5,9} No entanto, no presente estudo, realizado fora de um centro metropolitano, verificou-se que a distribuição dos poluentes atmosféricos apresenta aspectos sazonais e os níveis médios desses poluentes ficaram abaixo dos observados por Braga et al,⁴ referente a dados da cidade de São Paulo da primeira metade da década de 1990.

A magnitude da associação entre os poluentes e as internações por pneumonias foi semelhante às encontrados em estudos realizados em São Paulo.^{4,5,9} Esse comportamento era esperado uma vez que a origem dos poluentes presentes nas duas cidades é praticamente a mesma: de fontes móveis, predominante-

Tabela 2 - Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis atmosféricas. São José dos Campos, SP, 2000-2001.

	Internações	SO_2	O_3	PM_{10}	Temp ^a
Internações	1,00				
SO_2	0,18*	1,00			
O_3	-0,06	0,08*	1,00		
PM_{10}	0,21*	0,30*	0,09*	1,00	
Temp	-0,24*	-0,23*	0,40*	-0,14*	1,00
Umidade	-0,03	-0,18*	-0,23*	-0,38*	-0,12*

*p<0,05

Tabela 3 - Coeficientes de regressão e respectivos erros-padrão para os poluentes em todos os dias da estrutura de defasagem analisada e da soma dos efeitos. São José dos Campos, SP, 2000-2001.

	PM ₁₀		SO ₂		O ₃	
	Coeficiente	EP	Coeficiente	EP	Coeficiente	EP
Lag0	-0,00053	0,00125	0,00206	0,00719	0,00032	0,00134
Lag1	0,00029	0,00057	0,00273	0,00385	-0,00038	0,00073
Lag2	0,00089	0,00069	0,00167	0,00428	0,00004	0,00080
Lag3	0,00122*	0,00053	0,00007	0,00350	0,00068	0,00064
Lag4	0,00126*	0,00055	-0,00088	0,00356	0,00125	0,00063
Lag5	0,00098	0,00071	0,00000	0,00439	0,00147	0,00077
Lag6	0,00035	0,00056	0,00392	0,00385	0,00108	0,00066
Lag7	-0,00067	0,00123	0,01210	0,00676	-0,00020	0,00129
Soma	0,00378*	0,00134	0,02160	0,01330	0,00362	0,00262

EP: Erro-padrão
*p<0,05

mente, e de fontes fixas (indústrias). Assim, a toxicidade nessas cidades tendem a ser semelhantes.

A metodologia do presente estudo é similar aos estudos semelhantes realizados no Brasil^{2,4,5,9} e em centros de pesquisa fora do País.^{9,14} As variáveis de confusão incluídas nos modelos de regressão foram as classicamente utilizadas em estudos dos efeitos dos poluentes do ar sobre a saúde. A região onde está localizada a cidade de São José dos Campos apresenta clima sem grandes variações de temperatura, com raras temperaturas baixas, semelhante ao encontrado na cidade de São Paulo. Isso permitiu que o controle dos efeitos da temperatura e da umidade fossem feitos com indicadores lineares de suas médias móveis de dois dias. A utilização de apenas uma função de alisamento não paramétrica, para sazonalidade de longa duração, minimizou possíveis erros nas estimativas de efeito e seus respectivos erros-padrão.

Dos três poluentes ambientais estudados, permaneceu com significância estatística o PM₁₀. Além do efeito do poluente ser imediato, isto é, no mesmo dia da exposição, ele pode ser notado dias depois. No presente estudo, os efeitos do PM₁₀ nas internações hospitalares se tornaram importantes apenas três e quatro dias após a exposição. O mesmo comportamento foi observado para o ozônio, que apresentou efeitos de maior importância no quarto, quinto e sexto dia após a exposição. O dióxido de enxofre, ao contrário do observado por Braga et al,⁵ não se mostrou importante. O efeito observado ocorre em defasagens maiores do que os encontrados em estudos realizados em São Paulo.^{4,5,9} Tanto o PM₁₀ como o O₃ também se mostraram com significância em recente estudo relacionado com atendimentos de crianças, em ambulatórios da rede pública com problemas respiratórios.²

A modelagem do ozônio é mais comple-

ta, pois apresenta picos de concentração tanto nos períodos quentes como frios. Tal fato explica-se pela maior insolação dos dias de verão e pela maior permanência de precursores oxidantes na atmosfera no inverno, devido às piores condições de dispersão. Mesmo assim, houve associação entre o O₃ e as internações com defasagem de quatro dias.

Como salientado por Fioravante,⁸ a poluição pode não ser somente autóctone mas também importada, sendo que a poluição gerada em São Paulo pode, dependendo das condições de vento, atingir até 300 km

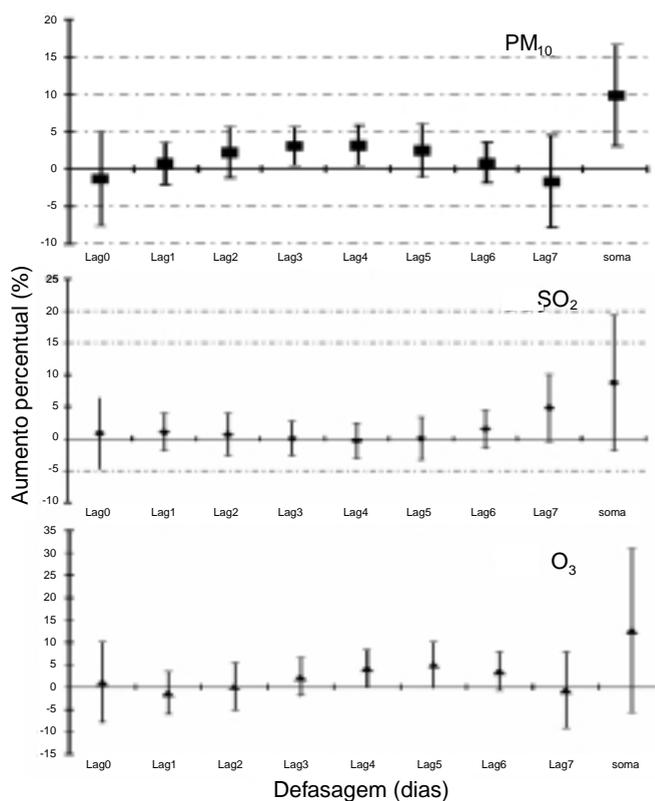


Figura 2 - Aumentos percentuais e respectivos intervalos de confiança nas internações por pneumonias de crianças para aumentos de um interquartil na concentração de poluentes, em cada dia da estrutura de defasagem analisada e para a soma de efeitos dos oito dias do período. São José dos Campos, SP, 2000-2001.

de distância. São José dos Campos situa-se num vale onde os ventos costumadamente são de oeste para leste, podendo “importar” esses poluentes da Capital.

Os resultados do presente estudo apontam que municípios de médio porte, com grande parque industrial podem ser afetados pelas variações da poluição atmosférica, interferindo no perfil de morbidade respiratória infantil. Portanto, este não é um proble-

ma específico das grandes regiões metropolitanas.

AGRADECIMENTOS

À Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), pela cessão do banco de dados, e ao Eng. Paulo Galvão, da Secretaria da Saúde do Estado de São Paulo, XXIV Diretoria Regional de Saúde, pela compilação dos dados do Datasus.

REFERÊNCIAS

1. Abbey DE, Petersen F, Mills PK, Beeson WL. Long-term ambient concentrations of total suspended particulates, ozone, and sulfur dioxide and respiratory symptoms in a nonsmoking population. *Arch Environ Health* 1993;48(1):33-46.
2. Bakonyi SMC, Danni-Oliveira IM, Martins LC, Braga ALF. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Rev Saúde Pública* 2004;38(5):695-700.
3. Bobak M. Outdoor air pollution, low birth weight, and prematurity. *Environ Health Perspect* 2000;108(2):173-6.
4. Braga ALF, Conceição GMS, Pereira LAA, Kishi HS, Pereira JCR, Andrade MF et al. Air pollution and pediatric respiratory hospital admissions in São Paulo, Brazil. *J Environ Med* 1999;2(1):95-102.
5. Braga ALF, Saldiva PHN, Pereira LAA, Menezes JJC, Conceição GMS, Lin CA et al. Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil. *Pediatr Pulmonol* 2001;31(2):106-13.
6. Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society. Health effects of outdoor air pollution. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;153(1):3-50.
7. Dominici F, McDermott A, Zeger SL, Samet JM. On the use of generalized additive models in time-series studies of air pollution and health. *Am J Epidemiol* 2002;156(3):193-203.
8. Fioravante C. Estufa que exporta poluição. *Pesquisa FAPESP* 2002;71:28-35.
9. Lin CA, Martins MA, Farhat SCL, Pope CA 3rd, Conceição GMS, Anastácio VM et al. Air pollution and respiratory illness of children in São Paulo, Brazil. *Pediatr Perinat Epidemiol* 1999;13(4):475-88.
10. Loomis D, Castillejos M, Gold DR, McDonnell W, Borja-Aburto VH. Air pollution and infant mortality in Mexico city. *Epidemiology* 1999;10(2):118-23.
11. Park H, Lee B, Há EH, Lee JT, Kim H, Hong YC. Association of air pollution with school absenteeism due to illness. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2002;156(12):1235-9.
12. Pereira LAA, Loomis D, Conceição GMS, Braga ALF, Arcas RM, Kishi HS et al. Association between air pollution and intrauterine mortality in São Paulo, Brazil. *Environ Health Perspect* 1998;106(6):325-9.
13. Ritz B, Yu F, Fruin S, Chapa G, Shaw GM, Harris JA. Ambient air pollution and risk of birth defects in southern California. *Am J Epidemiol* 2002;155(1):17-25.
14. Schwartz J, Dockery DW, Neas LM, Wypij D, Ware JH, Spengler JD et al. Acute effects of summer air pollution of respiratory symptom reporting in children. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;150(5 Pt 1):1234-42.
15. Schwartz J. Air pollution and children's health. *Pediatrics* 2004;113(4 Suppl):1037-43.