

Valdir Soares de Andrade Filho<sup>I</sup>Paulo Artaxo<sup>II</sup>Sandra Hacon<sup>III</sup>Cleber Nascimento do Carmo<sup>IV</sup>Glauber Cirino<sup>I</sup>

# Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil

## Aerosols from biomass burning and respiratory diseases in children, Manaus, Northern Brazil

### RESUMO

**OBJETIVO:** Analisar a relação entre a exposição ao material particulado fino emitido em queimadas e as internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças.

**MÉTODOS:** Estudo descritivo com delineamento ecológico de séries temporais realizado em Manaus de 2002 a 2009. Os dados de internações hospitalares foram obtidos a partir do banco de dados do Sistema Único de Saúde. Os níveis de PM<sub>2,5</sub> foram estimados por sensoriamento remoto a partir da espessura ótica de aerossóis no comprimento de onda de 550 nm. Foram utilizadas a correlação de Pearson e a regressão linear múltipla entre as variáveis com intervalo de 95% de confiança.

**RESULTADOS:** A região de Manaus apresentou baixas concentrações de PM<sub>2,5</sub>, quando comparada com a porção sul da região Amazônica. Os meses de agosto a novembro (período seco) apresentaram os maiores níveis médios de PM<sub>2,5</sub> (de 18 a 23 µg/m<sup>3</sup>) e os maiores números de focos de queimadas detectados. A média do PM<sub>2,5</sub> para a estação chuvosa foi de 12 µg/m<sup>3</sup>, 66% menor que a média da estação seca, 20,6 µg/m<sup>3</sup>. As maiores taxas de internações ocorreram durante a estação chuvosa, e o mês de abril teve a maior taxa, com 2,51/1.000 crianças. Foi observada associação positiva significativa entre as internações e a umidade relativa (R = 0,126; p = 0,005), enquanto a associação entre internações com PM<sub>2,5</sub> mostrou-se negativa e estatisticamente significativa (R = - 0,168; p = 0,003). O R<sup>2</sup> do modelo final (Internações = 2,19\*Umidade - 1,60\*PM<sub>2,5</sub> - 0,23\*Precipitação) explicou em 84% as internações por doenças respiratórias em crianças, considerando as variáveis independentes estatisticamente significativas (umidade, PM<sub>2,5</sub>, e precipitação).

**CONCLUSÕES:** As internações hospitalares de crianças por doenças respiratórias em Manaus podem estar mais associadas às condições meteorológicas, principalmente a umidade, do que à exposição dos aerossóis emitidos em focos de queimadas da região.

**DESCRITORES:** Criança. Doenças Respiratórias, epidemiologia. Material Particulado. Poluição do Ar, efeitos adversos. Incêndios Florestais. Ecossistema Amazônico.

<sup>I</sup> Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, AM, Brasil

<sup>II</sup> Instituto de Física. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil

<sup>III</sup> Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca. Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>IV</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil

#### Correspondência | Correspondence:

Valdir Soares de Andrade Filho  
Escritório Central do Programa LBA – Campus II  
Av. André Araújo, 2936 Bairro Aleixo  
Caixa Postal 478  
69060-000 Manaus, AM, Brasil  
E-mail: valdirlsaf@hotmail.com

Recebido: 3/12/2011  
Aprovado: 30/7/2012

Artigo disponível em português e inglês em:  
[www.scielo.br/rsp](http://www.scielo.br/rsp)

---

## ABSTRACT

**OBJECTIVE:** To investigate the effects of fine particulate matter emitted through biomass burning on hospitalizations for respiratory diseases in children living in Manaus, Northern Brazil.

**METHODS:** Descriptive study with ecologic time series design carried out in Manaus from 2002 to 2009. Hospital admission data were obtained from the Unified Health System database. PM<sub>2.5</sub> levels were estimated using aerosol remote sensing through the measurement of aerosol optical depth at a wavelength of 550 nm. Statistical methods were used in the data analysis, with Pearson correlation and multiple linear regression between variables, with a 95% confidence interval.

**RESULTS:** The region of Manaus showed low PM<sub>2.5</sub> concentrations when compared to the Southern Amazonian region. Between August and November (dry period in the region), was when the highest mean levels of PM<sub>2.5</sub>, estimated between 18 to 23 µg/m<sup>3</sup>, and the largest number of fires were observed. For the rainy season, an average of 12 µg/m<sup>3</sup>, 66% lower than the dry season measurements (20.6 µg/m<sup>3</sup>) was observed. The highest rates of hospitalization were observed during the rainy season and April was the month with the highest levels at 2.51/1,000 children. A positive association between hospital admissions and relative humidity (R = 0.126; p-value = 0.005) was observed, while the association between admissions and PM<sub>2.5</sub> was negative and statistically significant (R = - 0.168; p-value = 0.003). The R<sup>2</sup> of the final model (Hospitalizations = 2.19\*Humidity - 1.60\*PM<sub>2.5</sub> - 0.23\*Precipitation) explained 84% of hospitalizations due to respiratory disease in children living in Manaus, considering the independent variables statistically significant (humidity, PM<sub>2.5</sub>, and precipitation).

**CONCLUSIONS:** Hospital admissions for respiratory diseases in children in Manaus, were more related to weather conditions and in particular relative humidity, than to exposure to aerosols emitted by biomass burning in the Amazonian region.

**DESCRIPTORS:** Child. Respiratory Tract Diseases, epidemiology. Particulate Matter. Air Pollution, adverse effects. Wildfire. Amazonian Ecosystem.

---

## INTRODUÇÃO

A região Amazônica vive um processo intenso de ocupação, com significativas mudanças no padrão de uso do solo pelo desmatamento e queimadas em larga escala de áreas florestadas.<sup>9</sup> As queimadas são responsáveis por emissões significativas de partículas de aerossóis para a atmosfera que exercem efeitos diretos e indiretos no clima e funcionamento do ecossistema amazônico.<sup>3</sup> A saúde das populações é afetada de forma significativa, principalmente na região do arco do desflorestamento.<sup>7,8</sup>

As condições atmosféricas consideradas limpas durante a estação chuvosa na Amazônia alteram-se durante a estação seca devido às emissões de partículas de aerossóis provenientes de queimadas de pastagens em

florestas. Isso gera importantes implicações em nível local, regional e global.<sup>2</sup> Durante a estação chuvosa, quando predominam as emissões biogênicas naturais, a concentração de massa de partículas < 10 microm (PM<sub>10</sub>) é da ordem de 10 µg/m<sup>3</sup>, com concentração de número de partículas de 300 partículas cm<sup>-3</sup>. Partículas na fração grossa (com diâmetros entre 2,5 e 10 microm) representam 80% da carga de particulados total da atmosfera. Em regiões severamente afetadas pela queima de biomassa, a concentração em massa sobe para cerca de 300 a 600 µg/m<sup>3</sup>, ao passo que o número de partículas sobe para 15.000 a 30.000 partículas cm<sup>-3</sup>, e a moda fina (partículas < 2,5 microm, chamada de PM<sub>2.5</sub>) passa a predominar sobre a moda grossa.<sup>2</sup>

Diferentemente de ambientes urbanos, em que a poluição atmosférica é caracterizada por exposição crônica, as queimadas na Amazônia representam exposição de elevada magnitude à saúde das pessoas por período médio anual de três a cinco meses, associado aos baixos índices pluviométricos.<sup>7</sup> As regiões mais afetadas por emissões de queimadas são concentradas ao longo da região do arco do desmatamento (Acre e Rondônia, sul do Amazonas, norte do Mato Grosso e leste do Pará), acompanhando áreas de influência das rodovias. Essas emissões afetam a saúde da população da bacia Amazônica em quase toda sua extensão, uma vez que a pluma das queimadas consiste majoritariamente de particulado fino facilmente transportado por longas distâncias.<sup>3</sup>

As partículas inaláveis têm dimensões < 10 µm e se depositam no sistema respiratório humano em vários níveis. As partículas entre 2,5 e 10 µm depositam-se essencialmente no componente superior do aparelho respiratório e nos brônquios principais. As partículas finas (< 2,5 µm) podem atingir porções mais profundas do sistema respiratório, até atingirem os alvéolos pulmonares.<sup>10</sup> Estudos epidemiológicos mostram aumento consistente de internações hospitalares e da mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares, relacionadas à exposição a poluentes presentes na atmosfera em diferentes regiões do globo. Isso ocorre principalmente nos grupos mais suscetíveis (crianças, idosos e aqueles com histórico de doenças cardiorrespiratórias), mesmo quando os níveis de exposição são considerados seguros pela legislação ambiental.<sup>5,18</sup>

A mortalidade mundial por doenças respiratórias atinge cerca de 13 milhões de crianças menores de cinco anos, 95% nos países emergentes. As doenças respiratórias são responsáveis por aproximadamente 10% das mortes entre os menores de um ano e mais de 50% das internações hospitalares em crianças menores de cinco anos no Brasil.<sup>15</sup> A exposição à poluição atmosférica é relacionada a efeitos sistêmicos como a ativação de vias inflamatórias e estresse oxidativo,<sup>16</sup> vasoconstrição arterial e alterações imunológicas,<sup>14</sup> e aos fatores de coagulação do sangue.<sup>6</sup> Poucos estudos brasileiros avaliaram os efeitos da exposição a aerossóis de queimadas nas funções cardiorrespiratórias e na mortalidade de crianças e idosos na Amazônia brasileira.<sup>8,12</sup> Pesquisas sobre essa aplicação para a Amazônia são de realização recente.

O objetivo do presente estudo foi analisar a relação entre a exposição do material particulado fino emitido em queimadas e as internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças.

## MÉTODOS

Estudo descritivo com delineamento ecológico de série temporal de internações hospitalares por doenças respiratórias (capítulo X da CID-10, códigos J00 a J99) em crianças até nove anos de idade, residentes em Manaus, de 2002 a 2009. Menores de 29 dias de vida foram retirados da série de dados, pois as taxas de internação normalmente são relacionadas ao parto, não necessariamente à exposição à poluição atmosférica. O grupo etário foi selecionado por representar indivíduos mais vulneráveis às doenças do aparelho respiratório e aos efeitos de poluentes atmosféricos. A escolha de Manaus deve-se por representar o grande centro urbano na Amazônia central, marcado pelo intenso processo de expansão urbana e crescimento populacional nas últimas três décadas. As internações hospitalares refletem a exposição à poluição urbana oriunda de fontes veiculares e industriais, além das queimadas.

O clima em Manaus é predominantemente tropical chuvoso. O período chuvoso ocorre de janeiro a abril, e o mês de março apresenta maior precipitação (média de 310 mm). O período seco corresponde aos meses de julho a setembro, sendo agosto o mês mais seco (média de 50 mm). Maio a junho e outubro a dezembro são considerados meses de transição. Chove em média 190 dias durante o ano, resultando em total acumulado de chuvas (média anual de 2.280 mm). A umidade relativa do ar é alta e apresenta médias mensais em torno de 88% no período chuvoso e de 77% no período seco. As temperaturas médias mensais são estáveis, variando entre 26°C e 28°C. Manaus ocupa área de 11.401 km<sup>2</sup>, aproximadamente 592,19 km<sup>2</sup> de área urbana. De acordo com o censo populacional de 2010, o município de Manaus possui 1.802.525 habitantes, dos quais 99,5% residem na área urbana. Crianças até nove anos representam cerca de 18% da população. Manaus concentra 54% da população estadual, que é de 3.350.773 habitantes. Apresenta índice de desenvolvimento humano municipal (IDH-M) de 0,774, pouco acima da média nacional (0,766). O município conta com 17 hospitais gerais, sete do setor público e dez do setor privado, segundo dados do Cadastro Nacional de Estabelecimento de Saúde (CNES). Até dezembro de 2009, a percentagem da população coberta pelos modelos de atenção básica à saúde era de 45,4% (Programa de Saúde da Família – PSF; Programa de Agentes Comunitários – PACS).<sup>a</sup>

Os dados de internação coletados foram secundários, obtidos via banco de dados Datasus.<sup>b</sup> A análise foi limitada a internações hospitalares devido à ausência de dados sistematizados confiáveis em relação aos

<sup>a</sup> Ministério da Saúde. DATASUS. Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde. Brasília (DF); 2010 [citado 2010 dez 15]. Disponível em: <http://cnes.datasus.gov.br/>

<sup>b</sup> Ministério da Saúde. DATASUS. Sistema de Informações Hospitalares. Brasília (DF); 2010 [citado 2010 dez 16]. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/SIHD/>

demais níveis de atendimento, como ambulatorial e emergencial, na rede municipal e estadual de saúde de Manaus, conforme observado em levantamento prévio de campo. Informações referentes aos indicadores de Atenção Básica à Saúde foram obtidas no Sistema de Informação da Atenção Básica (SIAB).<sup>c</sup>

Níveis de PM<sub>2,5</sub> foram estimados por determinações da espessura ótica de aerossóis do sensor *MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites Terra e Aqua da National Aeronautics and Space Administration (NASA). Estimativas de PM<sub>2,5</sub> foram produzidas a partir da espessura ótica de aerossóis (AOD), de acordo com o método desenvolvido por Paixão<sup>d</sup> (2011), para aerossóis de queimadas na Amazônia. A cidade de Manaus não dispõe de estações de superfície com monitoramento de concentrações de material particulado. As informações populacionais por idade foram disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Dados de umidade relativa, temperatura média e precipitação foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia. Estimativas de número de focos de queimadas e de área desmatada foram obtidas no banco de dados disponível ao público no *website* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).<sup>e</sup>

Os dados foram coletados diariamente. Os sensores Modis não conseguem estimar a AOD com precisão em dias com intensa nebulosidade na atmosfera, o que contribui para a ausência de medidas nesses dias. Esse padrão de nebulosidade é comum na Amazônia, principalmente nas primeiras oito a dez semanas do ano. Para evitar essa ausência de informações na série temporal, optou-se pela organização da base de dados em semanas e meses.

A morbidade hospitalar foi considerada variável dependente e agrupada no somatório das internações por semana (contagem simples de quantas crianças se internaram por semana) e em taxas médias mensais de internação hospitalar por doenças respiratórias (taxa de internação em menores de nove anos, por 1.000 habitantes). As variáveis independentes foram: estimativas médias semanais e mensais de PM<sub>2,5</sub>; dados meteorológicos semanais e mensais de temperatura média do ar, umidade relativa média e precipitação total; e somatório semanal e mensal das estimativas de focos de queimadas. Estatísticas descritivas foram calculadas para descrever o comportamento das variáveis durante o período de estudo. Para verificar a relação existente entre o material particulado fino, as variáveis meteorológicas e a variável de desfecho

foram calculados coeficientes de correlação linear de Pearson ( $r$ ), com intervalo de 95% de confiança. Foram aplicados modelos de regressão linear múltipla ( $Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$ ). Como medida de qualidade de ajuste do modelo, utilizou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e foram considerados valores significativos ao nível de 5%. A análise dos resíduos foi aplicada como medida da qualidade do ajuste do modelo. As análises estatísticas foram realizadas com o *software* SPSS versão 17.0.

## RESULTADOS

Foram registradas 61.707 internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças menores de nove anos de idade e maiores de 29 dias de vida. As internações por doenças respiratórias foram a causa mais prevalente de internação: < um ano, 46,6%; de um a quatro anos, 39,6%; de cinco a nove anos, 20,6%. Crianças do sexo masculino representaram 61% das internações registradas no período de estudo. As internações por doenças respiratórias, em crianças, representaram, em média, 67% das internações por essa causa, considerando todas as faixas etárias. As pneumonias (J12, J15 e J18) foram o principal motivo das internações em crianças (45,2%), seguidas de influenza (J10, 18,2%) e asma (J45, 17,9%) (Tabela 1).

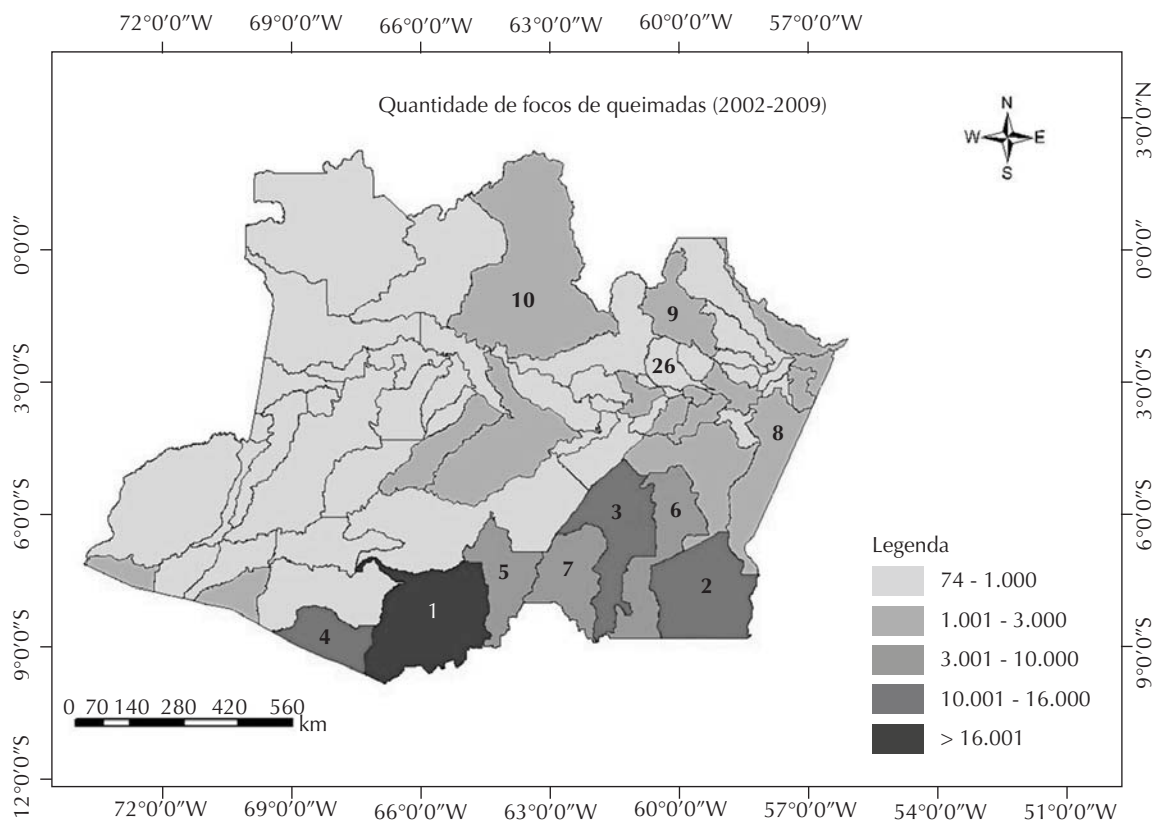
**Tabela 1.** Estatísticas descritivas das internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças, variáveis meteorológicas, estimativas de PM<sub>2,5</sub> e de focos de queimadas. Manaus, AM, 2002 a 2009.

Variável	Média semanal	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Internações	148	65,4481	25	332
Variáveis meteorológicas				
Temperatura	27,3	1,125	25	33
Umidade relativa	83	5,766	63	94
Precipitação	43,3	41,652	0	215
PM <sub>2,5</sub>				
Estação chuvosa	13	3,89	6	36
Estação seca	20,6	6,637	10	54
Queimadas				
Estação chuvosa	0,6	1,71	0	15
Estação seca	4,9	7,542	0	43

<sup>c</sup> Ministério da Saúde. DATASUS. Sistema de Informação de Atenção Básica. Brasília (DF); 2010 [citado 2010 dez 16]. Disponível em: <http://siab.datasus.gov.br/SIAB/index.php>

<sup>d</sup> Paixão MMA. Propriedades ópticas de aerossóis naturais e de queimadas da Amazônia [dissertação de mestrado]. São Paulo: Instituto de Física da USP; 2011.

<sup>e</sup> Ministério da Ciência e Tecnologia; Ministério do Meio Ambiente. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. SIG Queimadas: monitoramento de focos. Brasília (DF); 2010 [citado 2010 nov 01]. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>



Municípios do Amazonas	n	%
1 Lábrea	30.097	23,3
2 Apuí	15.956	12,4
3 Manicoré	12.021	9,3
4 Boca do Acre	10.271	8
5 Canutama	7.708	6
6 Novo Aripuanã	7.249	5,6
7 Humaitá	3.244	2,5
8 Maués	3.000	2,3
9 Presidente Figueiredo	2.512	1,9
10 Barcelos	2.499	1,9
26 Manaus	836	0,7
Outros	33.847	26,2
Total	129.240	100,0

Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. SIG Queimadas: monitoramento de focos. Brasil; 2010 [citado 2010 nov 1]. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>

**Figura 1.** Focos de queimadas. Municípios do estado de Amazonas, de 2002 a 2009.

As maiores taxas mensais de internações por doenças respiratórias em crianças foram observadas no período chuvoso, e abril foi o mês com maior média ao longo do período, com taxa de internação de 2,51/1.000 crianças. As taxas mensais de internação variaram entre 0,48/1.000 crianças (janeiro/2009) e 3,53/1.000 crianças (abril/2003).

Foram detectados 836 focos de queimadas, captados pelo conjunto de satélites da série NOAA, Aqua e Terra,

Goes e Meteosat, disponibilizados no *website* do INPE. Entre os 62 municípios do Amazonas, Manaus apresentou-se como 26º em termos do número de focos de queimadas (0,7% do total). Foram detectados 129.240 focos de queimadas entre 1º de janeiro de 2002 e 31 de dezembro de 2009 no estado de Amazonas. Os municípios com maior incidência de queimadas (Lábrea, Apuí e Manicoré) situam-se à porção sul do estado (Figura 1). O período seco, de agosto a outubro, correspondeu à



maior ocorrência de focos de queimadas (70% de todos os focos detectados no município).

As maiores concentrações de  $PM_{2,5}$  para a região de Manaus (média de  $20,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) foram observadas de agosto a novembro, estação seca e de maior número de focos de queimadas. A média de  $PM_{2,5}$  foi de  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para a estação chuvosa. As estimativas das concentrações médias mensais de  $PM_{2,5}$  variaram entre  $8,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (abril/2002) e  $29,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (novembro/2002). Os níveis anuais de  $PM_{2,5}$  mantiveram-se relativamente constantes (média de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Houve associação positiva e significativa entre as internações e a umidade relativa na análise de correlação de Pearson, ao passo que a associação entre internações com  $PM_{2,5}$  mostrou-se negativa e estatisticamente significativa. A relação das internações com focos de queimadas detectados em Manaus não foi estatisticamente significativa. O material particulado  $PM_{2,5}$  mostrou-se significativamente associado às variáveis meteorológicas e de ocorrência de focos de queimadas. Observou-se relação direta com a temperatura e número de focos e relação inversa com umidade e precipitação (Tabela 2).

Os modelos com integração das variáveis em termos semanal e mensal mostraram-se significativos na análise de regressão linear múltipla. Para o modelo semanal, incluíram-se as variáveis independentes de  $p < 0,05$  (umidade,  $PM_{2,5}$  e precipitação), que explicaram 84% das internações pela morbidade respiratória em crianças residentes em Manaus. O modelo mensal apresentou a variável umidade com  $p$  significativo que justificou 86% das internações (Tabela 3).

**Tabela 3.** Modelo de regressão linear múltipla da análise semanal (quantidade de internações) e mensal (taxa de internação) pela morbidade respiratória em crianças. Manaus, AM, 2002 a 2009.

Variável	Modelo de internações	p	R <sup>2</sup>
Internações	$Y = 2,19X_1 - 1,60X_2 - 0,21X_3$	$< 0,001$	0,84
Taxa de internação	$Y = 0,02X_1$	$< 0,001$	0,86

Y: Internação por doenças respiratórias;  $X_1$ : (Umidade;  $p < 0,001^a$ ;  $X_2$ : ( $PM_{2,5}$ ;  $p = 0,003^a$ );  $X_3$ : (Precipitação;  $p = 0,006^a$ )

Modelo Taxa de Internação: Y (internação por doenças respiratórias);  $X_1$  = umidade;  $p < 0,001$

$p < 0,01$  (taxa por 1.000 habitantes)

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação

## DISCUSSÃO

As internações hospitalares de crianças por doenças respiratórias em Manaus estão mais relacionadas às condições meteorológicas e em particular à umidade do que à exposição à fumaça oriunda das queimadas e às concentrações de  $PM_{2,5}$  da região de Manaus.

As séries temporais das internações hospitalares apresentaram comportamento sazonal oposto ao da série temporal da concentração de material particulado (Figura 2a). O maior número de internações ocorreu em abril e o máximo de  $PM_{2,5}$ , em novembro.

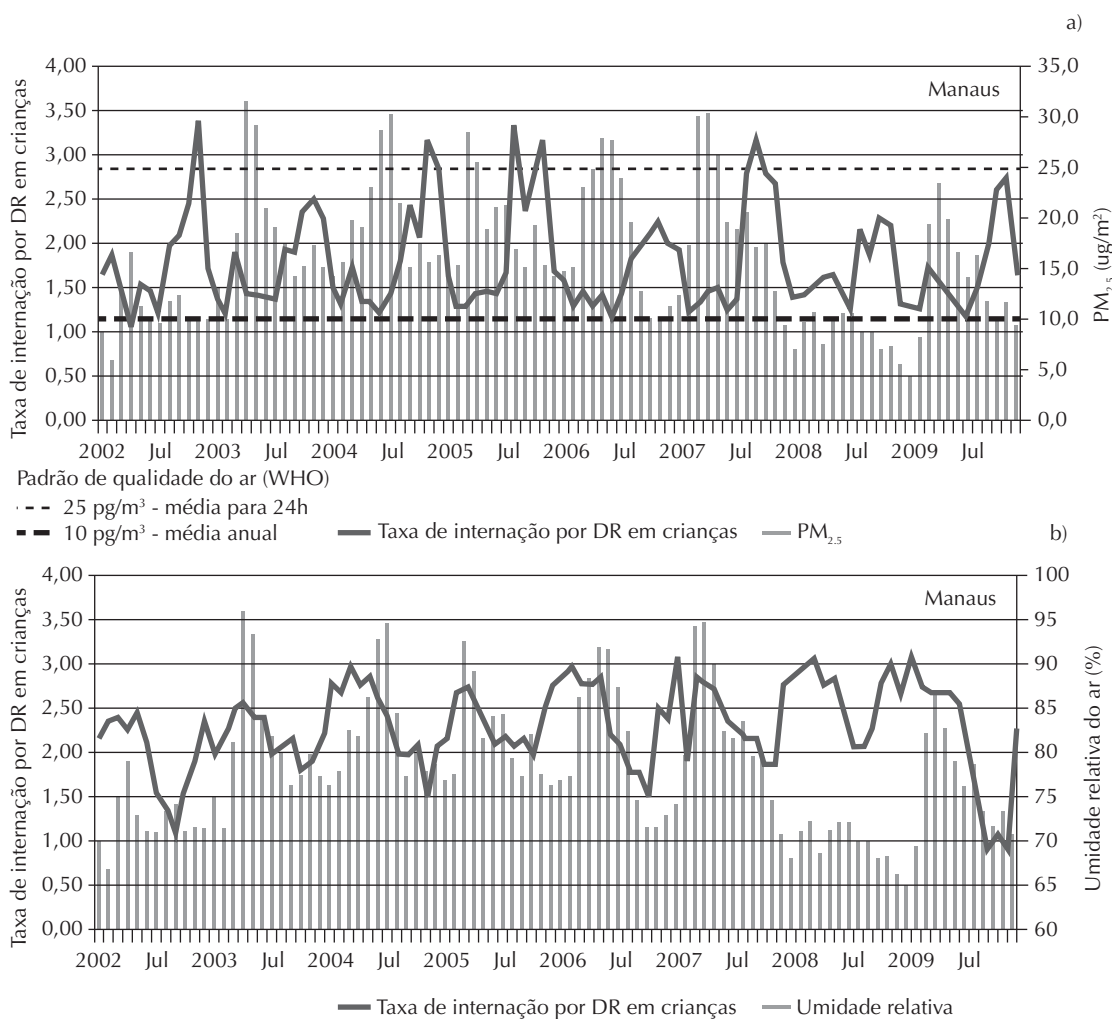
Os níveis médios anuais de  $PM_{2,5}$  mantiveram-se 50% acima do padrão anual de qualidade do ar recomendado pela Organização Mundial da Saúde ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  média anual).<sup>20</sup> A média semanal do poluente para a estação chuvosa ( $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) mostrou-se 58% menor que a média da estação seca ( $20,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Comparando com outras

**Tabela 2.** Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis utilizadas, para a base de dados semanal e mensal. Manaus, AM, 2002 a 2009.

Semanal	Internação	Precipitação	Temperatura	Umidade	$PM_{2,5}$	Focos
Internação	1	-0,014	-0,099 <sup>b</sup>	0,126 <sup>a</sup>	-0,168 <sup>a</sup>	-0,079
Precipitação		1	-0,601 <sup>a</sup>	0,586 <sup>a</sup>	-0,230 <sup>a</sup>	-0,243 <sup>a</sup>
Temperatura			1	-0,878 <sup>a</sup>	0,387 <sup>a</sup>	0,468 <sup>a</sup>
Umidade				1	-0,292 <sup>a</sup>	-0,429 <sup>a</sup>
$PM_{2,5}$					1	0,240 <sup>a</sup>
Focos						1
Mensal	Taxa int.	Precipitação	Temperatura	Umidade	$PM_{2,5}$	Focos
Taxa int.	1	-0,006	-0,163	0,145	-0,212 <sup>b</sup>	-0,152
Precipitação		1	-0,670 <sup>a</sup>	0,698 <sup>a</sup>	-0,365 <sup>a</sup>	-0,359 <sup>a</sup>
Temperatura			1	-0,870 <sup>a</sup>	0,526 <sup>a</sup>	0,571 <sup>a</sup>
Umidade				1	-0,424 <sup>a</sup>	-0,504 <sup>a</sup>
$PM_{2,5}$					1	0,413 <sup>a</sup>
Focos						1

<sup>a</sup>  $p < 0,01$

<sup>b</sup>  $p < 0,05$



DR: doenças respiratórias

**Figura 2.** a) Taxas de internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e concentrações mensais de PM<sub>2.5</sub>. b) Taxas de internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e médias mensais de umidade relativa. Manaus, AM, 2002 a 2009.

regiões da Amazônia, Manaus apresentou níveis de PM<sub>2.5</sub> reduzidos. Em Alta Floresta, no norte do Mato Grosso, as concentrações de partículas inaláveis de 1992 a 2002 atingiram valores maiores que 100 µg/m<sup>3</sup> de agosto a outubro, com picos diários de até 600 µg/m<sup>3</sup>. Em Rondônia, valores de PM<sub>2.5</sub> atingem 50-90 µg/m<sup>3</sup> na estação de queimadas.<sup>2</sup> Embora sejam estudados padrões de qualidade do ar brasileiros para as concentrações de PM<sub>2.5</sub>, a legislação brasileira somente contempla valores máximos para PM<sub>10</sub>.

As associações com internações mostraram-se significativas quando agrupadas em semanas, com maior número de variáveis ambientais em comparação às análises feitas com agrupadas por médias mensais. Isso indica que estudos similares de avaliação dos efeitos

ambientais na saúde humana são mais bem aplicados em escalas de tempo menores, como em semanas ou dias. Gonçalves<sup>f</sup> (2010) estudou atendimentos ambulatoriais em crianças residentes de Porto Velho de forma mensal e não obteve correlações significativas com variáveis climáticas.

Muitos estudos encontram resultados adversos referentes aos efeitos climáticos e de poluentes na morbidade respiratória, dependendo da região do estudo, das fontes de emissões, do modelo de gestão hospitalar, número de leitos disponíveis para doenças respiratórias, entre outros fatores.<sup>1,4</sup>

Resultados de estudos recentes comportaram-se de modo similar para a Amazônia brasileira: frequências e taxas de morbidade por doenças respiratórias foram

<sup>f</sup> Gonçalves KS. Queimadas e atendimentos ambulatoriais por doenças respiratórias em crianças no município de Porto Velho, Rondônia [dissertação de mestrado]. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública da Fiocruz; 2010.

relativamente relacionadas a determinados níveis de concentração de material particulado,<sup>13</sup> ao período de baixa umidade relativa do ar e ao incremento das queimadas na região.<sup>7,18</sup>

As séries temporais das internações hospitalares em Manaus apresentaram comportamento sazonal claramente associado com a umidade relativa do ar (Figura 2b). É possível que as características ambientais inerentes ao período chuvoso da região exerçam papel importante no aumento das taxas de internações de crianças por doenças respiratórias. Ocorre o predomínio de emissões biogênicas naturais de partículas na estação chuvosa, originado pela intensa atividade de organismos biológicos da floresta que incluem: fragmentos de plantas e insetos, grãos de pólen, fungos, algas e esporos fúngicos.<sup>11</sup> A associação da influência desses particulados biogênicos na morbidade respiratória de crianças em Manaus não é comprovada diretamente neste estudo, mas merecerá devida atenção em estudos específicos que avaliem seus efeitos na saúde de crianças.

As causas mais frequentes das internações em crianças residentes em Manaus no período foram pneumonia (em diferentes classificações: J12, J15 e J18), gripe (J10) e asma (J45). A pneumonia é uma doença nos pulmões que pode ser causada por diferentes microrganismos, incluindo vírus, bactérias, parasitas ou fungos. As pneumonias fazem parte do rol de condições sensíveis à atenção ambulatorial: adequadamente tratadas no serviço de atenção primária, não deveriam evoluir para internação.<sup>17</sup> A baixa cobertura do Programa de Saúde da Família em Manaus (45,4% da população até 2009) pode ter contribuído para o aumento de internações por doenças respiratórias.

A complexidade em avaliar os efeitos de partículas emitidas em queimadas sobre a saúde humana, em especial sobre as populações mais vulneráveis, deve-se a uma série de fatores inter-relacionados de importância socioeconômica, clínica, epidemiológica e ambiental. A realização de estudos mais amplos, envolvendo profissionais de diferentes áreas, é necessária. Esse conhecimento é importante para a definição de políticas de saúde pública de prevenção, de planejamento urbano e ambiental de qualquer município, bem como reforça a necessidade da política de monitoramento contínuo da qualidade do ar, com benefícios à qualidade de vida da população e embasamento de conhecimento científico.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto para estimar os níveis de  $PM_{2,5}$  mostrou-se viável e eficaz, considerando a ausência de estações de monitoramento atmosféricos da qualidade do ar na região metropolitana de Manaus e na maior parte da região Amazônica. O uso de técnicas de sensoriamento remoto é uma ferramenta complementar às medidas de superfície, visto que são medidas indiretas, o que explicita a importância de estações de monitoramento terrestre de longo prazo para estudos integrados na região.

#### AGRADECIMENTOS

A Rogério Marinho, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela elaboração dos mapas do estudo; a Dennys Mourão, da Fundação Oswaldo Cruz, pela colaboração na coleta de dados; ao Escritório Central do Programa do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia pelo suporte logístico.



## REFERÊNCIAS

1. Araújo RF, Firmino JL, Gomes Filho M, Dantas RT. Análise da relação da incidência de Infecção Respiratória Aguda (IRA) com as variáveis meteorológicas em Campina Grande. *Rev Fafibe*. 2007;(3):1-5.
2. Artaxo P, Gatti LV, Leal AMC, Longo KM, Lara LL, Procópio AS, et al. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amaz*. 2005;35(2):185-98. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672005000200008>
3. Artaxo P, Oliveira PH, Lara LL, Pauliquevis TM, Rizzo LV, Pires Jr C, et al. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. *Rev Bras Meteorol*. 2006;21(3):1-22.
4. Bakonyi SMC, Danni-Oliveira IM, Martins LC, Braga ALF. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Rev Saude Publica*. 2004;38(5):695-700. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102004000500012>
5. Bell ML, Peng RD, Dominici F. The exposure-response curve for ozone and risk of mortality and the adequacy of current ozone regulations. *Environ Health Perspect*. 2006;114(4):532-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.8816>
6. Brook RD, Brook JR, Urch B, Vincent R, Rajagopalan S, Silverman F. Inhalation of fine particulate air pollution and ozone causes acute arterial vasoconstriction in healthy adults. *Circulation*. 2002;105(13):1534-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1161/01.CIR.0000013838.94747.64>
7. Carmo CN, Hacon SS, Longo KM, Freitas S, Ignotti E, Artaxo P, et al. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. *Rev Panam Salud Publica*. 2010;27(1):10-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1020-49892010000100002>
8. Castro H, Gonçalves KS, Hacon SS. Tendência da mortalidade por doenças respiratórias em idosos e as queimadas no Estado de Rondônia/ Brasil – período entre 1998 e 2005. *Cienc Saude Coletiva*. 2009;14(6):2083-90. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232009000600015>
9. Fearnside PM. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amaz*. 2006;36(3):365-400. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672006000300018>
10. Gomes MJM. Ambiente e pulmão. *J Pneumol*. 2002;28(5):261-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-35862002000500004>
11. Graham B, Guyon P, Artaxo P, Maenhaut W, Taylor P, Ebert M, et al. Composition and diurnal variability of the natural Amazonian aerosol. *J Geophys Res Atmos*. 2003;108(D24):4795. DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2003JD004049>
12. Ignotti E, Valente JG, Longo KM, Freitas SR, Hacon SS, Artaxo Netto P. Impact on human health of particulate matter emitted from burnings in the Brazilian Amazon region. *Rev Saude Publica*. 2010;44(1):121-30. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102010000100013>
13. Mascarenhas MDM, Vieira LC, Lanzieri TM, Leal APR, Duarte AF, Hatch DL. Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil – Setembro, 2005. *J Bras Pneumol*. 2008;34(1):42-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-37132008000100008>
14. Nell AE, Diaz-Sanchez D, Hiura T, Saxon A. Enhancement of allergic inflammation by the interaction between diesel exhaust particles and the immune system. *J Allergy Clin Immunol*. 1998;102(4Pt1):539-54. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0091-6749\(98\)70269-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0091-6749(98)70269-6)
15. Organización Panamericana de La Salud. Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la salud de América Latina y el Caribe. Washington (DC); 2005.
16. Pope III, CA. Air Pollution and Health: Good News and Bad. *N Engl J Med*. 2004;351(11):1132-4. DOI: <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMe048182>
17. Rosa AM, Ignotti E, Botelho C, Castro HA, Hacon SS. Doença respiratória e sazonalidade climática em menores de 15 anos em um município da Amazônia Brasileira. *J Pediatr*. 2008;84(6):543-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0021-75572008000700012>
18. Rosa AM, Ignotti E, Hacon SS, Castro HA. Análise das internações por doenças respiratórias em Tangará da Serra – Amazônia brasileira. *J Bras Pneumol*. 2008;34(8):575-82. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-37132008000800006>
19. Schwartz J, Dockery DW. Particulate air pollution and daily mortality in Steubenville, Ohio. *Am J Epidemiol*. 1992;135(1):12-9.
20. World Health Organization. Air quality guidelines: global update. Geneva; 2005.

Projeto financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP – Projeto nº 2008/58100-2); pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – Projeto nº 490001/2009-2); pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (Fapeam – Processo nº 009567-2-A); pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) Mudanças Globais, Subprojeto Amazônia.

Pesquisa baseada em dissertação de mestrado de Valdir Soares de Andrade Filho, apresentada no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e na Universidade do Estado do Amazonas, 2011.

Os autores declaram não haver conflito de interesses.