



Revista Paulista de Pediatria

ISSN: 0103-0582

ISSN: 1984-0462

Sociedade de Pediatria de São Paulo

David, Gleise Silva; Rizol, Paloma Maria Silva Rocha; Nascimento, Luiz Fernando Costa

MODELOS COMPUTACIONAIS FUZZY PARA AVALIAR  
EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR EM CRIANÇAS

Revista Paulista de Pediatria, vol. 36, núm. 1, 2018, pp. 10-16  
Sociedade de Pediatria de São Paulo

DOI: 10.1590/1984-0462;/2018;36;1;00013

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=406055234014>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais informações do artigo
- Site da revista em [redalyc.org](http://redalyc.org)

redalyc.org  
UAEM

Sistema de Informação Científica Redalyc

Rede de Revistas Científicas da América Latina e do Caribe, Espanha e Portugal

Sem fins lucrativos acadêmica projeto, desenvolvido no âmbito da iniciativa  
acesso aberto

# MODELOS COMPUTACIONAIS FUZZY PARA AVALIAR EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR EM CRIANÇAS

Fuzzy computational models to evaluate the effects of air pollution on children

Gleise Silva David<sup>a</sup>, Paloma Maria Silva Rocha Rizol<sup>a,\*</sup>, Luiz Fernando Costa Nascimento<sup>a</sup>

## RESUMO

**Objetivo:** Construir um modelo computacional *fuzzy* para estimar o número de internações de crianças até 10 anos por doenças respiratórias, com base nos dados de poluentes e fatores climáticos da cidade de São José do Rio Preto, Brasil.

**Métodos:** Foi construído modelo computacional utilizando a lógica *fuzzy*. O modelo tem 4 entradas, cada uma com 2 funções de pertinência gerando 16 regras, e a saída com 5 funções de pertinência, baseado no método de Mamdani, para estimar a associação entre os poluentes e o número de internações. Os dados de internações, de 2011–2013, foram obtidos no Departamento de Informática do Sistema de Saúde (DATASUS) e os poluentes material particulado ( $PM_{10}$ ) e dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ), a velocidade do vento e a temperatura foram obtidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb).

**Resultados:** Foram internadas 1.161 crianças no período analisado, e a média dos poluentes foi 36 e 51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  —  $PM_{10}$  e  $NO_2$ , respectivamente. Os melhores valores da correlação de Pearson (0,34) e da acurácia avaliada pela curva *Receiver Operating Characteristic* — ROC ( $NO_2$  — 96,7% e  $PM_{10}$  — 90,4%) foram para internações no mesmo dia da exposição.

**Conclusões:** O modelo mostrou-se eficaz na predição do número de internações de crianças, podendo ser utilizado como ferramenta na gestão hospitalar da região estudada.

**Palavras-chave:** Lógica *fuzzy*; Poluentes do ar; Doenças respiratórias; Material particulado; Dióxido de nitrogênio.

## ABSTRACT

**Objective:** To build a *fuzzy* computational model to estimate the number of hospitalizations of children aged up to 10 years due to respiratory conditions based on pollutants and climatic factors in the city of São José do Rio Preto, Brazil.

**Methods:** A computational model was constructed using the *fuzzy* logic. The model has 4 inputs, each with 2 membership functions generating 16 rules, and the output with 5 pertinence functions, based on the Mamdani's method, to estimate the association between the pollutants and the number of hospitalizations. Data from hospitalizations, from 2011–2013, were obtained in DATASUS — and the pollutants Particulate Matter ( $PM_{10}$ ) and Nitrogen Dioxide ( $NO_2$ ), wind speed and temperature were obtained by the Environmental Company of São Paulo State (Cetesb).

**Results:** A total of 1,161 children were hospitalized in the period and the mean of pollutants was 36 and 51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  —  $PM_{10}$  and  $NO_2$ , respectively. The best values of the Pearson correlation (0.34) and accuracy measured by the *Receiver Operating Characteristic* (ROC) curve ( $NO_2$  — 96.7% and  $PM_{10}$  — 90.4%) were for hospitalizations on the same day of exposure.

**Conclusions:** The model was effective in predicting the number of hospitalizations of children and could be used as a tool in the hospital management of the studied region.

**Keywords:** *Fuzzy* logic; Air pollutants; Respiratory tract diseases; Particulate matter; Nitrogen dioxide.

\*Autor correspondente. E-mail: [palomarizol@gmail.com](mailto:palomarizol@gmail.com) (P.M.S.R. Rizol).

<sup>a</sup>Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Guaratinguetá, SP, Brasil.  
Recebido em 14 de dezembro de 2016; aprovado em 01 de maio de 2017; disponível on-line em 26 de outubro de 2017.

## INTRODUÇÃO

A associação entre a poluição do ar e as doenças respiratórias<sup>1-8</sup> e cardiovasculares<sup>2,9</sup> é alvo de diversos estudos, e a preocupação mundial com a qualidade do ar tem sido cada vez maior. No Brasil, seguem-se os padrões estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), em sua Resolução nº 03/1990,<sup>10</sup> mesmo que estes estejam acima dos padrões atuais adotados em outros países que atualizaram suas legislações. No Estado de São Paulo, atualmente está vigente o Decreto nº 59.113,<sup>11</sup> que objetiva atingir o padrão da Organização Mundial da Saúde (OMS) por meio de metas intermediárias.<sup>12,13</sup>

Os poluentes nocivos à saúde mais estudados são: material particulado ( $PM_{10}$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO$  e  $NO_2$ ), dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), ozônio ( $O_3$ ) e gás carbônico ( $CO_2$ ). Em geral, as maiores fontes desses poluentes são automóveis, indústrias, termoelétricas e queima de biomassa. O  $PM_{10}$  é composto por partículas sólidas e líquidas em suspensão no ar, menores ou iguais a 10  $\mu m$ , cuja fração fina —  $PM_{2,5}$  — chega até o local em que ocorrem as trocas de gases no pulmão. O  $NO_2$  é um agente oxidante capaz de chegar às porções periféricas do pulmão e é o precursor da formação de  $O_3$ .<sup>1,4</sup>

No período de outubro de 2011 a setembro de 2013 houve cerca de 2,7 milhões de internações por doenças respiratórias no Brasil; dessas, aproximadamente 1,1 milhão foi de crianças de até 10 anos de idade — só o Estado de São Paulo foi responsável por cerca de 200 mil delas. Os gastos com esse tipo de internação no país, durante o mesmo período deste estudo, foram de cerca de 2,5 bilhões de reais, sendo que aproximadamente um terço desse valor foi destinado a internações de crianças de até 10 anos — desse total, 173 milhões de reais foram gastos apenas no Estado de São Paulo.<sup>14</sup>

As técnicas estatísticas, como regressão de Poisson, são as mais utilizadas em estudos envolvendo poluição do ar e desfechos na saúde. Em geral, estes estudos demonstram a associação entre os poluentes e as doenças cardiorrespiratórias, estimando risco de óbito ou internação.<sup>2,3</sup> A abordagem *fuzzy* tem sido utilizada como alternativa para diversas áreas, entre elas a Medicina. Sua grande vantagem é a facilidade para lidar com termos linguísticos e informações imprecisas e incertas, além do baixo custo computacional. Ao contrário da teoria clássica, em que cada elemento pertence ou não a um conjunto, na lógica *fuzzy* existe um grau de pertinência, podendo um elemento ser mais ou menos pertencente a um determinado conjunto.<sup>15</sup> Como, por exemplo, a variável de entrada  $PM_{10}$  com 24  $\mu g/m^3$ . A lógica *fuzzy* permite atribuir ao subconjunto *fuzzy* “aceitável” um grau de pertinência 0,55, e ao subconjunto “inaceitável” um grau de pertinência 0,45, resultando nas incertezas inerentes a esse registro. De fato, uma medição do valor de entrada do material particulado de 23  $\mu g/m^3$  e outra de 25  $\mu g/m^3$  que,

pela lógica clássica, seriam classificadas como aceitável e inaceitável, respectivamente, não apresentaram diferenças significativas. Na abordagem *fuzzy*, cada elemento pode ser compatível com várias categorias, com diferentes graus de pertinência, tornando a classificação ainda mais realista.

O objetivo deste trabalho foi estimar, por meio de um modelo *fuzzy*, o número de internações de crianças de até 10 anos por doenças respiratórias, com base nos dados de poluentes e fatores climáticos da cidade de São José do Rio Preto, Brasil, fortemente afetada pela poluição da queima da palha de cana-de-açúcar e pelas estradas da região<sup>12,16</sup> — essa cidade apresenta níveis de poluição comparáveis (e, em alguns momentos, superiores) aos níveis encontrados na Região Metropolitana de São Paulo, quebrando o paradigma de que cidades do interior têm necessariamente melhor qualidade do ar.<sup>4</sup>

## MÉTODO

São José do Rio Preto localiza-se no interior do Estado de São Paulo, a noroeste da capital (latitude: 20° 48' S e longitude: 49° 22' O), tendo aproximadamente 400 mil habitantes e uma frota de cerca de 340 mil veículos.<sup>17</sup> A queima de palha de cana-de-açúcar é a maior causadora de poluição atmosférica nessa região — são cerca de 130 mil hectares/ano —, sendo a fumaça preta, resultado da queima de combustível por motores diesel, a segunda maior causa. A região administrativa de São José do Rio Preto tem um perfil agroindustrial baseado principalmente na produção de açúcar e álcool, a partir da cana-de-açúcar, e na fabricação de móveis.<sup>16</sup>

Um modelo computacional *fuzzy* foi desenvolvido para avaliar o número de internações por doenças respiratórias de crianças de até 10 anos, de acordo com as concentrações de  $PM_{10}$  e dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ) e os valores de temperatura do ar e velocidade do vento, obtidos da Companhia de Engenharia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), de São José do Rio Preto. A base de dados do número de internações por doenças respiratórias em crianças foi obtida do portal do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS)<sup>14</sup> para as doenças do capítulo X da 10<sup>a</sup> Revisão da Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados com a Saúde (J00 – J99), para o município de São José do Rio Preto, no período de 1º de outubro de 2011 a 30 de setembro de 2013.

São apresentadas na Figura 1 (A-D) as entradas do sistema:  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ , velocidade do vento e temperatura, respectivamente; e, na Figura 1E, a saída representada pelo número de internações por doenças respiratórias de crianças residentes em São José do Rio Preto. Na Tabela 1, tem-se os valores máximos, os valores mínimos e o desvio padrão dos dados utilizados.

As quatro variáveis de entrada foram “fuzzificadas” com duas funções de pertinência trapezoidais cada, e a saída possui cinco funções de pertinência (quatro triangulares e uma trapezoidal), de acordo com o especialista. Assim, foram definidas 16 regras ( $2 \times 2 \times 2 \times 2$ ), levando-se em consideração os efeitos dos poluentes e das variáveis climáticas nas doenças respiratórias em crianças. As regras relacionando as entradas e as saídas são mostradas na Tabela 2.

As variáveis de entrada são “fuzzificadas” por meio de graus de pertinência. Em seguida, é realizado o processo de inferência Mamdani, também conhecido como máximo e mínimo. Por fim, o método de defuzzificação centro de área é aplicado para obter a saída (número de internações).<sup>15</sup>

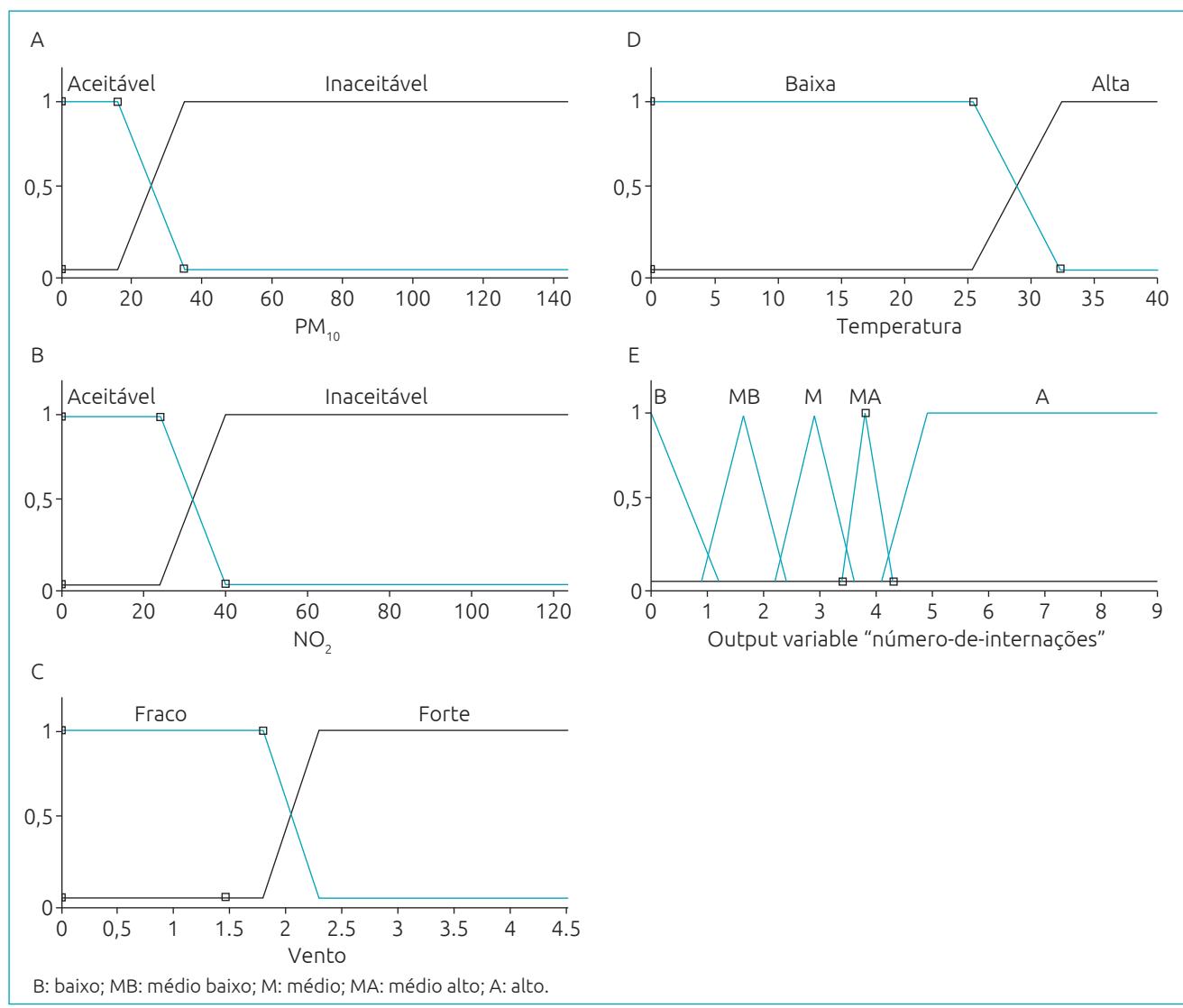
Para a validação do modelo, foi realizada a correlação de Pearson entre os dados reais e o modelo *fuzzy*, com defasagens

de 0 a 3 dias — ou seja, do dia da exposição até o terceiro dia — após a inalação dos poluentes. Foram avaliadas, também, as curvas ROC dos poluentes com um corte de até 2 internações, em que se obtiveram valores referentes à acurácia do modelo com nível de significância de 5%.

## RESULTADOS

No período avaliado foram relatadas 1.161 internações de crianças por doenças respiratórias no município de São José do Rio Preto, gerando um gasto de cerca de 1,7 milhão de reais, ou seja, aproximadamente 1% do gasto do Estado de São Paulo com internações desse tipo.<sup>14</sup>

Na Figura 2, são apresentadas as distribuições de valores para  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ , temperatura, velocidade do vento e número



**Figura 1** Variáveis de entrada do sistema de inferência *fuzzy* com o grau de pertinência no eixo y — (A) material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), (B) dióxido de nitrogênio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), (C) velocidade do vento ( $\text{m}/\text{s}^2$ ) e (D) temperatura do ar e de saída (E) número de internações por doenças respiratórias de crianças, São José do Rio Preto, Brasil 2011–2013.

de internações. Observa-se que há uma sazonalidade nas concentrações de poluentes. No período conhecido pela queimada de biomassa e pela falta de chuvas (entre julho e setembro), há um aumento dos poluentes, geralmente atribuído a essa prática de queimadas para facilitar a colheita manual de cana-de-açúcar. Assim, tem-se que o aumento de poluentes leva ao aumento de internações; já a temperatura e o vento mostram uma relação inversa: o seu aumento diminui o número de internações.

A correlação de Pearson entre o número de internações real e do modelo apresentou resultados significativos para a defasagem de 0 a 3 dias, sendo que a melhor correlação foi de  $r=0,34$  para a defasagem de 0 dia, seguida da correlação de  $r=0,29$  para 1 dia,  $r=0,29$  para 2 dias e  $r=0,27$  para 3 dias ( $p$ -valor<0,05).

Os valores da área sob curva ROC para as defasagens de 0 a 3 dias são apresentados na Tabela 3, notando-se que os melhores desempenhos foram o da defasagem 0 de 96,7% (IC95% 95,4–98,0) para o  $\text{NO}_2$  e de 90,4% (IC 95% 88,1–92,6) para o  $\text{PM}_{10}$ .

## DISCUSSÃO

Este estudo mostrou a exequibilidade da aplicação de lógica *fuzzy* para a previsão do número de internações de crianças por doenças respiratórias, com base nas concentrações dos poluentes e nos valores de temperatura e velocidade do vento.

Na literatura encontraram-se estudos anteriores que trataram dos efeitos da poluição do ar nas internações por doenças respiratórias em crianças<sup>2,3,7</sup> utilizando métodos de regressão

**Tabela 1** Valores das médias, do desvio padrão, mínimos e máximos do material particulado, do dióxido de nitrogênio, da temperatura e da velocidade do vento, e número real de internações (Real) e estimado pelo modelo (Modelo), São José do Rio Preto, Brasil, 2011–2013.

	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
$\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	36,57	22,12	6,00	144,00
$\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	51,35	23,46	7,00	124,00
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	30,38	3,66	11,50	39,80
Vento ( $\text{m}/\text{s}^2$ )	2,26	0,53	1,10	4,10
Número de internações (Real)	1,59	1,55	0,00	9,00
Número de internações (Modelo)	3,24	1,81	0,37	6,77

$\text{PM}_{10}$ : material particulado;  $\text{NO}_2$ : dióxido de nitrogênio.

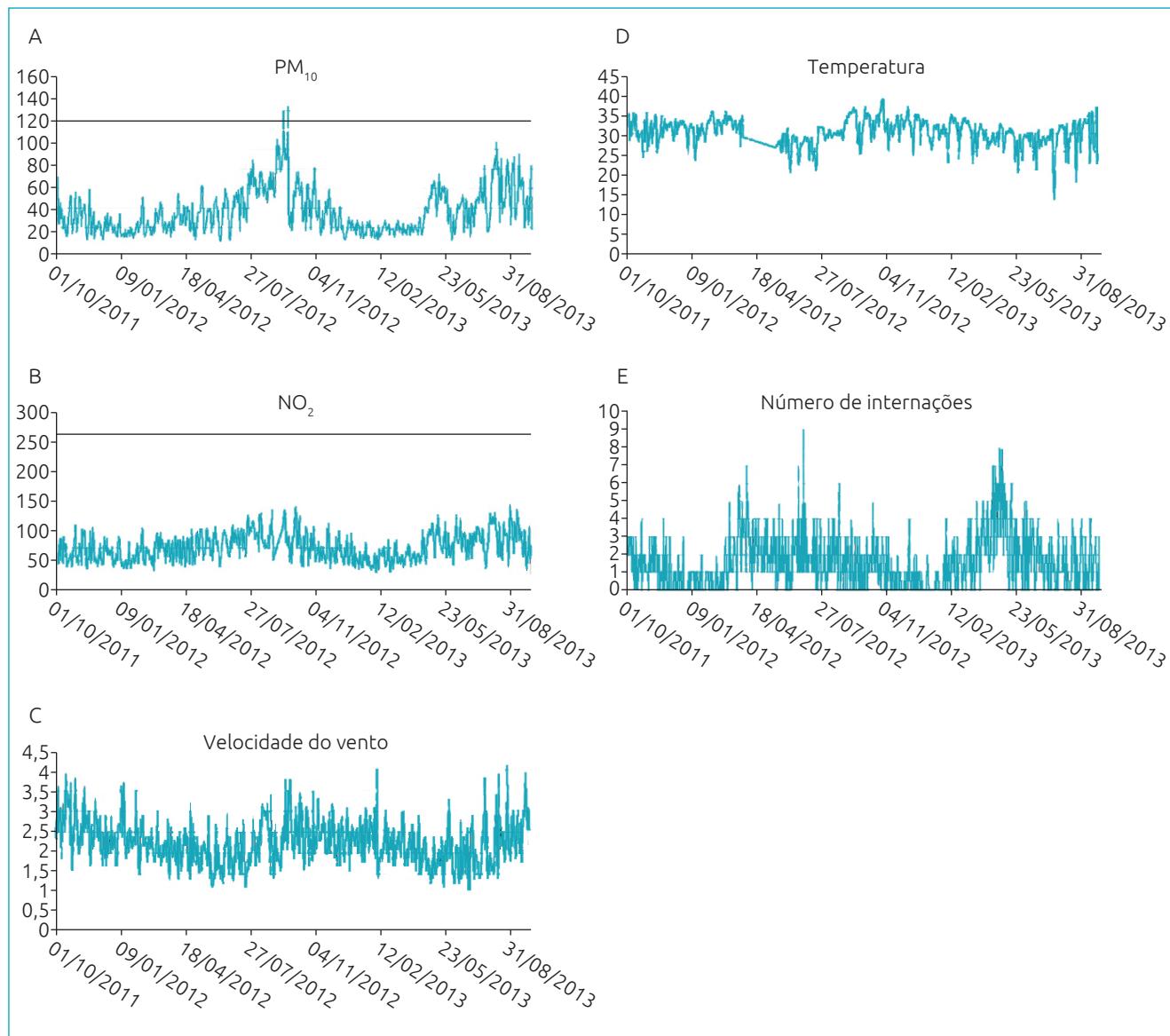
**Tabela 2** Base de regras do modelo *fuzzy* inserida no Matlab. São José do Rio Preto, Brasil, 2011–2013.

1. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Aceitável) e (Temperatura é Alta) e ( $\text{NO}_2$  é Aceitável) e (Vento é Forte) Então (Número de Internações é B) (1)
2. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Aceitável) e (Temperatura é Alta) e ( $\text{NO}_2$  é Aceitável) e (Vento é Fraco) Então (Número de Internações é B) (1)
3. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Aceitável) e (Temperatura é Baixa) e ( $\text{NO}_2$  é Aceitável) e (Vento é Forte) Então (Número de Internações é B) (1)
4. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Aceitável) e (Temperatura é Baixa) e ( $\text{NO}_2$  é Aceitável) e (Vento é Fraco) Então (Número de Internações é B) (1)
5. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Aceitável) e (Temperatura é Alta) e ( $\text{NO}_2$  é Inaceitável) e (Vento é Forte) Então (Número de Internações é MB) (1)
6. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Aceitável) e (Temperatura é Alta) e ( $\text{NO}_2$  é Inaceitável) e (Vento é Fraco) Então (Número de Internações é M) (1)
7. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Aceitável) e (Temperatura é Baixa) e ( $\text{NO}_2$  é Inaceitável) e (Vento é Forte) Então (Número de Internações é M) (1)
8. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Aceitável) e (Temperatura é Baixa) e ( $\text{NO}_2$  é Inaceitável) e (Vento é Fraco) Então (Número de Internações é M) (1)
9. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Inaceitável) e (Temperatura é Alta) e ( $\text{NO}_2$  é Aceitável) e (Vento é Forte) Então (Número de Internações é MB) (1)
10. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Inaceitável) e (Temperatura é Alta) e ( $\text{NO}_2$  é Aceitável) e (Vento é Fraco) Então (Número de Internações é MB) (1)
11. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Inaceitável) e (Temperatura é Baixa) e ( $\text{NO}_2$  é Aceitável) e (Vento é Forte) Então (Número de Internações é M) (1)
12. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Inaceitável) e (Temperatura é Baixa) e ( $\text{NO}_2$  é Aceitável) e (Vento é Fraco) Então (Número de Internações é M) (1)
13. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Inaceitável) e (Temperatura é Alta) e ( $\text{NO}_2$  é Inaceitável) e (Vento é Forte) Então (Número de Internações é M) (1)
14. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Inaceitável) e (Temperatura é Alta) e ( $\text{NO}_2$  é Inaceitável) e (Vento é Fraco) Então (Número de Internações é MA) (1)
15. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Inaceitável) e (Temperatura é Baixa) e ( $\text{NO}_2$  é Inaceitável) e (Vento é Forte) Então (Número de Internações é MA) (1)
16. Se ( $\text{PM}_{10}$  é Inaceitável) e (Temperatura é Baixa) e ( $\text{NO}_2$  é Inaceitável) e (Vento é Fraco) Então (Número de Internações é A) (1)

B: baixo; MB: médio baixo; M: médio; MA: médio alto; A: alto.

de Poisson para séries temporais. Também existem estudos que utilizaram abordagem *fuzzy* para estimar o período de internação por doenças respiratórias<sup>5</sup> e doenças cardíacas<sup>9</sup> e para risco de morte neonatal.<sup>18,19</sup> Este estudo tratou do número de internações de crianças causadas por poluentes segundo defasagens

de 0 a 3 dias. O modelo *fuzzy* construído faz a associação entre a exposição a poluentes do ar, temperatura e vento e o número de internações por doenças respiratórias em crianças, mostrando bom desempenho na predição do número de internações com defasagens de até 3 dias.



**Figura 2** Distribuição temporal dos valores das variáveis — (A) material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), (B) dióxido de nitrogênio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), (C) velocidade do vento ( $\text{m}/\text{s}^2$ ) e (D) temperatura do vento ( $^{\circ}\text{C}$ ) — e (E) número de internações de crianças, São José do Rio Preto, Brasil, 2011–2013.

**Tabela 3** Valores da curva ROC e respectivos intervalos de confiança de 95% para defasagens de 0 a 3 dias dos poluentes material particulado e dióxido de nitrogênio, São José do Rio Preto, Brasil, 2011–2013.

	Lag 0	Lag 1	Lag 2	Lag 3
PM <sub>10</sub>	0,904 (0,881 – 0,926)	0,775 (0,739 – 0,811)	0,730 (0,691 – 0,769)	0,709 (0,669 – 0,749)
NO <sub>2</sub>	0,967 (0,954 – 0,980)	0,803 (0,769 – 0,838)	0,716 (0,675 – 0,756)	0,684 (0,641 – 0,726)

Lag: defasagem; PM<sub>10</sub>: material particulado; NO<sub>2</sub>: dióxido de nitrogênio.

A média de concentrações de poluentes em São José do Rio Preto é comparável à média na cidade de São Paulo. No período estudado, a concentração média de poluentes na cidade de São Paulo foi de  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para o  $\text{PM}_{10}$  e de  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para o  $\text{NO}_2$ . Em São José do Rio Preto foi de  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para o  $\text{PM}_{10}$  e de  $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para o  $\text{NO}_2$ . Nesse período, a concentração de  $\text{PM}_{10}$  foi considerada moderada ( $>50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) em 164 dias (22,4% dos dias estudados), ruim ( $>100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) em 7 dias (0,1% dos dias estudados) e ultrapassou o limite por 2 dias ( $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Com relação à concentração média do poluente  $\text{NO}_2$ , ela se manteve dentro dos valores aceitos pela legislação em vigor em todo o período estudado.<sup>13,20</sup>

A sensibilidade do modelo construído dos poluentes  $\text{PM}_{10}$  e  $\text{NO}_2$ , avaliado por meio da curva ROC, apresentou um bom valor. A acurácia foi significativa para defasagem 0 dias com o  $\text{NO}_2$ , com área sob a curva de 96,7%, sensibilidade de cerca de 92,0% e especificidade aproximada de 90,0%.

Deve-se considerar que o número de internações, obtido de dados provenientes do Datasus,<sup>14</sup> não contempla internações por planos privados e outros operadores de saúde, tratamentos ambulatoriais e erros de endereço (comum em cidades-polo nas quais indivíduos afirmam morar em uma cidade que não moram). No entanto, são dados utilizados em diversos estudos e suficientes para o modelo proposto.

Uma limitação deste estudo é que a concentração de poluentes medida pode não representar todo o território de São José do Rio Preto. Para este estudo, no entanto, considerou-se que a concentração foi homogênea. Outros fatores, como predisposição a doenças respiratórias e poluição em ambientes fechados, não foram considerados.

Por outro lado, este estudo apresenta um modelo de baixo custo e exequível, que pode ser utilizado em qualquer cidade que disponha de dados (poluentes e fatores climáticos) por meio de aplicativos para *tablets* ou *smartphones*, por exemplo. Pode, também, ser aplicado como auxiliador na gestão pública de saúde, fornecendo às equipes de saúde e aos gestores de políticas públicas uma estimativa do número esperado de internações.

## Financiamento

Pró-Reitoria de Extensão Universitária da Universidade Estadual Paulista «Júlio de Mesquita Filho» (Unesp) – Proex, Bolsa de Apoio Acadêmico e Extensão I, Campus de Guaratinguetá – SP.

## Conflito de interesses

Os autores declararam não haver conflito de interesses.

## REFERÊNCIAS

1. César AC, Nascimento LF, Mantovani KC, Vieira LC. Fine particulate matter estimated by mathematical model and hospitalizations for pneumonia and asthma in children. *Rev Paul Pediatr.* 2016;34:18-23.
2. Gouveia N, Freitas CU, Martins LC, Marcilio IO. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. *Cad Saúde Pública.* 2006;22:2669-77.
3. Cesar AC, Nascimento LF, Carvalho Jr JA. Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. *Rev Saúde Pública.* 2013;47:1209-12.
4. Ribeiro H. Sugar caneburning in Brazil: respiratory health effects. *Rev Saúde Pública.* 2008;42:370-6.
5. Nascimento LF, Rizol PM, Peneluppi AP. Estimating the average length of hospitalization due to pneumonia: a fuzzy approach. *Braz J Med Biol Res.* 2014;47:977-81.
6. Negrisoli J, Nascimento LF. Poluentes atmosféricos e internações por pneumonia em crianças. *Rev Paul Pediatr.* 2013;31:501-6.
7. Nascimento LF, Rizol PM, Medeiros AP, Fontoura IG. Association between concentrations of air pollutants and mean time of hospitalization due to pneumonia in children. *Rev Ambient Água.* 2014;8:221-7.
8. Arbex MA, Santos UP, Martins LC, Saldíva PH, Pereira LA, Braga AL. A poluição do ar e o sistema respiratório. *J Bras Pneumol.* 2012;38:643-55.
9. Coutinho KM, Rizol PM, Nascimento LF, Medeiros APP. Fuzzy model approach for estimating time of hospitalization due to cardiovascular diseases. *Cienc Saúde Coletiva.* 2015;20:2585-90.
10. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 03/90 [homepage on the Internet]. 1990 [cited April 2017]. Available from: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>
11. São Paulo. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo - Decreto n.º 59.113, de 23 de abril de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. [homepage on the Internet]. [cited April 2017]. Available from: [http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/C1CB3034/DECRETO\\_SAO\\_PAULO\\_59113\\_2013.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/C1CB3034/DECRETO_SAO_PAULO_59113_2013.pdf)
12. Instituto Saúde e Sustentabilidade. Avaliação do Impacto da Poluição Atmosférica no Estado de São Paulo sob a visão da saúde [homepage on the Internet]. 2013 [cited May 2015]. Available from: [http://www.saudeesustentabilidade.org.br/site/wp-content/uploads/2013/09/DocumentofinaldaPesquisaPadrao\\_2409-FINAL-sitev1.pdf](http://www.saudeesustentabilidade.org.br/site/wp-content/uploads/2013/09/DocumentofinaldaPesquisaPadrao_2409-FINAL-sitev1.pdf)

13. São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade do ar no estado de São Paulo 2015. São Paulo: CETESB; 2016.
14. Brasil. Ministério da Saúde. DATASUS. Portal da Saúde SUS [homepage on the Internet]. [cited June 2015]. Available from: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php>
15. Tanaka K. An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications. Berlim: Springer; 1996.
16. São Paulo. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional. Caracterização Socioeconômica das Regiões SP – região Administrativa de São José do Rio Preto. São José do Rio Preto; 2012.
17. Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [homepage on the Internet]. [cited October 2015]. Available from: <http://www.cidades.ibge.gov.br>
18. Chaves LE, Nascimento LF. Estimando o desfecho no recém-nascido usando lógica fuzzy. Rev Paul Pediatr. 2014;32:164-70.
19. Nascimento LF, Rizol PM, Abiuzi LB. Establishing the risk of neonatal mortality using a fuzzy predictive model. Cad Saúde Pública. 2009;25:2043-52.
20. São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Sistema Qualar [homepage on the Internet] [cited May 2015]. Available from: <http://qualar.cetesb.sp.gov.br/qualar/home.do>