

# Tráfego veicular como método de avaliação da exposição à poluição atmosférica nas grandes metrópoles

*Motor vehicle traffic as an air pollution exposure assessment method in big cities*

## Resumo

A poluição atmosférica é uma das maiores preocupações para a saúde pública. Entre os estudos conduzidos para testar a associação entre poluição do ar e os mais diversos desfechos em saúde, alguns utilizaram dados viários e de tráfego veicular como avaliação da exposição. O presente trabalho pretende revisar e discutir alguns dos aspectos metodológicos dos estudos que utilizaram este método, principalmente em áreas onde a fonte veicular é uma grande geradora de poluentes. Realizou-se uma busca bibliográfica com palavras-chave relacionadas à poluição atmosférica e tráfego veicular, e foram selecionados artigos publicados entre os anos de 2000 e 2009. Foram constatadas várias abordagens para avaliar a exposição, enfatizando-se o método da Densidade de Tráfego Ponderada pela Distância, que considera as vias e a distância das mesmas em relação ao local de interesse e o tráfego. Além disso, destaca-se a importância do uso de técnicas de sistemas de informação geográfica (SIG) como instrumento na construção de modelos para mensurar a exposição.

**Palavras-chave:** Poluição atmosférica. Tráfego veicular, Emissões de veículos. Exposição ambiental. Sistema de informação geográfica.

**Mateus Habermann<sup>I</sup>**

**Andrea Paula Peneluppi Medeiros<sup>II</sup>**

**Nelson Gouveia<sup>I</sup>**

<sup>I</sup>Departamento de Medicina Preventiva da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

<sup>II</sup>Departamento de Medicina da Universidade de Taubaté

---

**Correspondência:** Mateus Habermann. Departamento de Medicina Preventiva, Faculdade de Medicina – Universidade de São Paulo. Av. Dr. Arnaldo, 455, 2º andar, Cerqueira César, 01246-903 São Paulo, SP, Brasil. E-mail: mathab@usp.br

## Abstract

Air pollution is a major concern for public health. Among the studies conducted to evaluate the association between air pollution and a wide variety of outcomes, some have used motor vehicle traffic data as a method for exposure assessment. This paper intends to revise and discuss some of the methodological aspects of studies that used this method, especially in areas where vehicles are the main generating source of pollutants. We performed a literature search with keywords related to air pollution and vehicle traffic, and selected articles published between the years 2000 to 2009. We noted different approaches for assessing the exposure among the studies using vehicle traffic, with emphasis on the method named Distance Weighted Traffic Density, which considers the number of roads, the distance from the location of interest and traffic itself. Moreover, we highlight the importance of using techniques such as geographic information systems (GIS) to measure this exposure.

**Keywords:** Air pollution. Motor vehicle traffic. Vehicle emissions. Environmental exposure. Geographic information system.

## Introdução

Vários estudos epidemiológicos têm encontrado associação entre a exposição aos poluentes atmosféricos e os efeitos adversos à saúde, como o aumento no número de internações hospitalares, aumento da mortalidade, diminuição da expectativa de vida etc.<sup>1</sup>. Geralmente estes estudos são realizados em áreas urbanas onde a principal fonte de poluição do ar são os veículos automotores. Segundo levantamento que investigou sete capitais brasileiras, cerca de 5% do total de óbitos por causas respiratórias entre idosos ( $\geq 65$  anos) e crianças ( $\leq 05$  anos) a cada ano podem ser atribuídos à poluição atmosférica, com grande contribuição das fontes veiculares<sup>2</sup>.

Nas últimas décadas vem sendo observada uma queda na emissão de poluentes emitidos por veículos<sup>3</sup>. Apesar disso, as fontes móveis ainda se constituem como uma das principais emissoras de poluentes atmosféricos nas áreas urbanas. No Brasil, as três maiores áreas metropolitanas – São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte – somam 45% da frota nacional de veículos<sup>1</sup>.

O crescimento da frota veicular também leva a uma menor capacidade de fluidez no trânsito, o que acarreta maior tempo despendido em congestionamentos<sup>1</sup> e, conseqüentemente, aumenta a queima de combustíveis, gerando mais poluição.

Alguns estudos avaliam a poluição atmosférica utilizando-se de uma medida direta como os dados da concentração média dos poluentes medido pelas estações de monitoramento da qualidade do ar. No entanto, a distribuição dessas estações nas áreas urbanas avalia a concentração regional dos poluentes e não é densa suficiente para detectar a heterogeneidade espacial da dispersão dos poluentes emitidos por fontes móveis<sup>4</sup> o que pode levar a erros de classificação da exposição entre sujeitos.

Por esse motivo, diversos estudos têm examinado os efeitos da poluição atmosférica na saúde, utilizando uma medida indireta a partir da exposição ao tráfego de veículos. Essa abordagem tem sido empregada em

associação ou em substituição à medida direta obtida pela concentração média dos poluentes nas estações de monitoramento. O interesse no emprego da medida indireta em alguns estudos é porque ela possibilita a estimativa da exposição para um local específico.

A disponibilidade de dados sobre o fluxo veicular é um fator impulsionador para a realização de pesquisas que avaliem a associação desta exposição com os mais diversos desfechos à saúde. Um importante instrumento aplicado em estudos desse tipo são os sistemas de informação geográfica (SIG), que servem para mapear e delimitar problemas ambientais, áreas poluídas e dispersão de poluentes, entre outros.

Diante da importância do tema para a saúde pública, este trabalho pretende revisar estudos epidemiológicos que utilizam o tráfego veicular como medida indireta de avaliação da exposição à poluição atmosférica.

## Metodologia

Foi realizada uma busca de literatura referente à poluição atmosférica e tráfego veicular na base de dados PubMed utilizando os termos *air pollution*, *health*, *traffic*, *road traffic*, *vehicular traffic* ou *traffic density*, com o seguinte parâmetro de busca: (“*air pollution*”[MeSH Terms] OR “*air pollution*”[All Fields]) AND “*health*”[All Fields] AND (“*traffic*”[Title/Abstract] OR “*road traffic*”[Title/Abstract] OR “*vehicular traffic*”[Title/Abstract] OR “*Traffic density*”[title/abstract]).

A busca dos artigos foi restrita àqueles publicados entre 2000 e 2009, e posteriormente estes foram separados por tipo de método de avaliação da exposição utilizado. Não foram considerados artigos que reportaram experimentos em laboratório, artigos de avaliação da exposição de poluição atmosférica sem qualquer relação com dados de saúde, ou que consideraram apenas poluição de ambientes internos (*indoor pollution*). Houve uma seleção prévia pelo título, depois pela leitura do resumo e, quando necessário, a leitura completa do

artigo. Alguns estudos pertinentes ao tema foram adicionados a partir das referências bibliográficas dos artigos obtidos na busca anterior.

Esta revisão é parte de um estudo aprovado pela Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa - CAPPesq da Diretoria Clínica do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, sob o número 0662/09.

## Resultados

Do total de 513 artigos identificados a partir do parâmetro de busca, 35 foram elegíveis para revisão.

Pôde-se constatar que diferentes indicadores do tráfego veicular foram utilizados para caracterizar a poluição atmosférica. Por exemplo, alguns estudos analisaram como indicador as distâncias de determinados locais, como da residência ou da escola até as vias, ou a densidade de veículos ou comprimento e a densidade de vias em setores censitários ou *buffers*; outros empregaram o fluxo de veículos nas vias de interesse ou utilizaram uma combinação de vários indicadores.

Os desfechos avaliados nestes estudos variaram entre os agravos cardíacos<sup>5-9</sup>, respiratórios<sup>5,10-23</sup>, desfechos gestacionais<sup>24-28</sup>, alergias e alterações do sistema imunológico<sup>29-31</sup>, trombose<sup>32</sup>, câncer e leucemia<sup>33-37</sup>, contaminação por chumbo<sup>38</sup> e mortalidade em geral<sup>39</sup>.

### Estudos sobre a exposição ao tráfego veicular tendo como indicador apenas a distância

Este método consistiu no uso de SIG para mapear um local de interesse e sua distância até uma ou mais vias de tráfego. A maioria dos estudos avaliou a exposição a partir do endereço de residência, da escola<sup>11</sup> ou de algum outro ponto de referência – por exemplo, o centróide do setor censitário de residência<sup>6</sup>.

A exposição se baseou na distância destes pontos em relação às vias e serviu como

parâmetro para inferir o nível de exposição no qual os sujeitos estavam submetidos. Alguns estudos consideraram apenas a rodovia mais próxima<sup>7-9,11,12,25,32</sup>, outros utilizaram a via principal (vias arteriais, coletoras) e consideradas de intensidade de tráfego elevado<sup>6,18,20,26,28</sup>, enquanto houve estudos que se basearam na distância de ambos os tipos de via – rodovia ou via principal<sup>5,14,17,19,31,39</sup>.

Alguns autores utilizaram a menor distância do ponto de interesse em relação à via para avaliar a exposição dos sujeitos de seus estudos<sup>6,9,25,26,32</sup>. Outros autores consideraram expostos aqueles sujeitos cuja distância era menor que um determinado valor que variou entre 50 m<sup>5,12,39</sup>, 100 m<sup>5,18,20,31,39</sup>, 150 m<sup>18,19,23,31</sup>, 200 m<sup>7,20,28,31</sup>, 300 m<sup>17,19</sup> até 400 m<sup>11</sup>.

Alguns estudos avaliaram determinadas distâncias de acordo com a classificação viária: Hoek et al.<sup>5</sup> e Finkelstein et al.<sup>39</sup> consideraram expostos aqueles que residiam até 100 m de uma rodovia ou até 50 m de uma via principal (arterial ou coletora), enquanto outros autores adotaram vários valores para a distância, como Roselund et al.<sup>20</sup>, que se basearam em 100 m e 200 m, e Williams et al.<sup>31</sup>, que se basearam em 100 m, 150 m e 200 m.

Kim et al.<sup>19</sup> adotaram em suas análises, 150 e 300 m de distância das vias e, adicionalmente, diferenciaram os sujeitos entre aqueles que residiam a sotavento e a barlavento das rodovias e, assim, puderam explorar a influência da direção predominante do vento em suas análises.

### **Estudos sobre a exposição ao tráfego veicular tendo como indicador apenas a intensidade de tráfego veicular**

Muitos estudos utilizaram como método de avaliação da exposição a intensidade de tráfego veicular, entendida como o número de veículos passando em uma determinada via, em um período específico de tempo. A maioria considerou a média anual de tráfego diário e apenas Wyler et al.<sup>30</sup> e Furman e Laleli<sup>38</sup> utilizaram contagens de carros/hora para estimar a exposição.

De acordo com o objetivo proposto em cada estudo, foi considerado o tráfego da via principal mais próxima<sup>29,30,35,38</sup>, o tráfego da rodovia mais próxima<sup>10,11</sup> ou o tráfego das vias (vias principais ou não) contidas em distâncias (*buffers*) até 50 m<sup>25</sup>, 100 m<sup>8,9,25</sup>, 150 m/500 pés<sup>16,19,21,37</sup> e 300 m<sup>9,19</sup>. A maioria se baseou no tráfego veicular em relação ao domicílio dos sujeitos. Um estudo considerou o local de trabalho<sup>38</sup> e outro as escolas<sup>11</sup>.

Os valores de fluxo veicular foram obtidos pela contagem geral, não especificando o tipo do veículo, com exceção dos estudos de Janssen et al.<sup>11</sup> e Wyler et al.<sup>30</sup>, que distinguiram o fluxo de carros e caminhões. Três estudos aplicaram questionários e obtiveram o auto-relato da intensidade do tráfego na rua de residência<sup>15,20,22</sup>.

Em outra abordagem metodológica, a medida de tráfego foi obtida pela multiplicação do comprimento das vias próximas às residências da população estudada pela média diária do fluxo de veículos das mesmas<sup>16,21,35,37</sup>.

### **Estudos sobre a exposição ao tráfego veicular tendo como indicador apenas a densidade de vias/veículos**

Dois estudos obtidos na revisão não se restringiram aos dados da distância das vias ou tráfego veicular para avaliar exposição, mas calcularam a densidade de vias e veículos no polígono que circundava o domicílio.

A partir do endereço do sujeito georreferenciado e de dados do censo, Reynolds et al.<sup>36</sup> calcularam a densidade de veículos, obtida pela divisão do total de veículos do setor censitário por sua área (em milhas quadradas). A densidade de veículos referia-se ao número proprietários de veículos de um setor censitário, e não à sua circulação nas vias desta área.

A densidade de veículos fornece uma estimativa do potencial de exposição às emissões por evaporação de combustíveis quando os veículos estão estacionados à noite, uma vez que esta evaporação é uma

importante fonte de gases orgânicos voláteis, como o benzeno<sup>36</sup>.

Para o cálculo da densidade de vias foi dividido o comprimento total das vias de uma unidade de área, denominada *buffered blocks*, por sua área. Os *buffered blocks* consistiam em uma fronteira adicional de 200 m no entorno de cada setor censitário. Segundo os autores, o aumento da fronteira dos setores censitários evitava discrepância de tamanho de área e vias desses setores no cálculo desta medida.

Em outro estudo de Reynolds et al.<sup>37</sup> o comprimento das ruas em um *buffer* de 150 m/500 pés ao redor do domicílio dos sujeitos geocodificado foi somado e, em seguida, este valor foi dividido pela área do *buffer*.

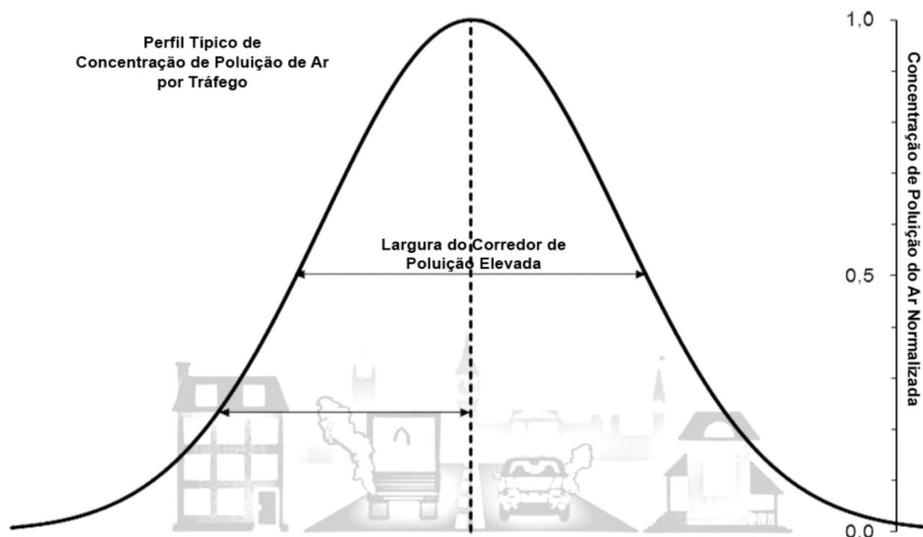
### Utilização de mais de uma medida indireta de exposição ao tráfego veicular no mesmo estudo

Muitos estudos utilizaram a combinação de vários indicadores da exposição ao tráfego veicular para estimar indiretamente a poluição atmosférica. Uma metodologia que foi repetidamente observada baseia-se na combinação de dados sobre o fluxo de

veículos e a distância das vias no entorno do ponto de interesse (representando a dispersão dos poluentes advindos dos veículos a partir do centro da rua). Esse modelo é denominado densidade de tráfego ponderada pela distância – DTPD<sup>13,17-19,24-27,33-35</sup>.

Neste modelo se assume que as emissões dos veículos nas vias se aproximam de uma distribuição gaussiana (normal) e que 96% dos poluentes emitidos pelo tráfego veicular se dispersam em até 500 pés /150 m do centro da via<sup>33</sup>, conforme se visualiza na Figura 1. Quanto maior o fluxo na via, maior a emissão dos poluentes veiculares, aumentando as concentrações dos mesmos no espaço urbano, principalmente nas residências próximas às vias mais movimentadas.

Para cada sujeito estudado é calculada a DTPD em uma distância variável no entorno de seu domicílio de residência, ou outro local de interesse, geocodificado (Figura 2), no qual  $L$  é a largura do *buffer* e  $D$  é a menor distância da casa para cada via dentro do *buffer*.  $Y$  é o valor usado para ponderar o fluxo veicular obtido para cada via dentro desta área.



Adaptado de Pearson et al.<sup>23</sup> / Adapted from Pearson et al.<sup>23</sup>

**Figura 1** – Perfil da concentração de poluentes emitidos pelo tráfego veicular conforme o modelo da Densidade de tráfego ponderada pela distância.

**Figure 1** - Profile of the concentration of pollutant emission by motor vehicle traffic according to the Distance-weighted traffic density model.

$$Y = \left( \frac{1}{0,4\sqrt{2\pi}} \right) \times \exp \left[ - \frac{\left( (0,5) \left( \frac{D}{L} \right)^2 \right)^2}{(0,4)^2} \right]$$

Divide-se, então, o fluxo veicular da referida rua pelo valor de Y, gerando o valor de X. Então se somam os valores ponderados de tráfego (X) de todas as vias contidas no *buffer* (n), obtendo-se, portanto a DTPD.

$$X = \frac{\text{fluxo veicular}}{Y} \quad DTPD = \sum_{i=1}^n X_i$$

Como a densidade e a característica das construções, direção predominante dos ventos, altitude, turbulência gerada pela passagem dos veículos interferem na dispersão dos poluentes gerados pelo tráfego, pode-se assumir larguras variadas de *buffers* para calcular a DTPD. Isso diminui imprecisões na medida da exposição.

Para obtenção da DTPD, os estudos utilizaram *buffers* com raios variando entre

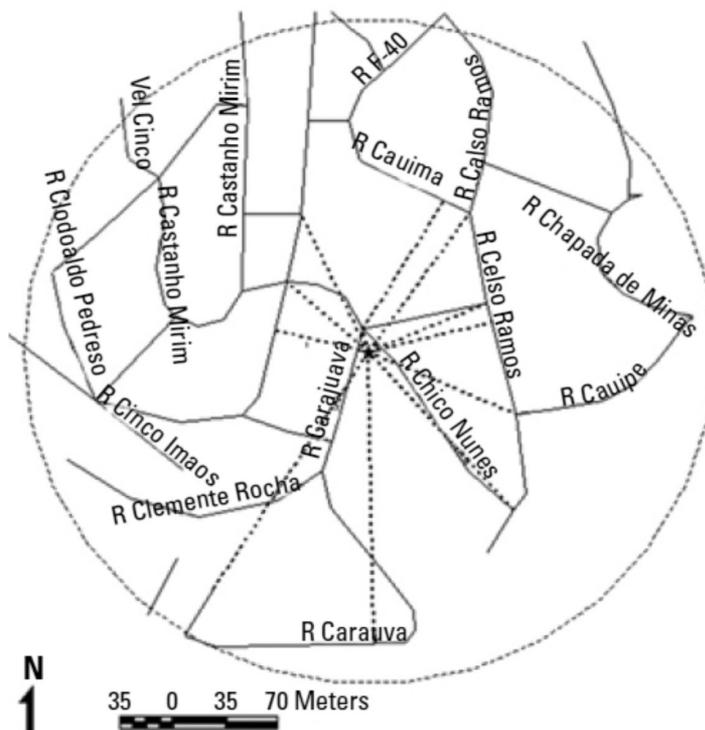
300 m<sup>13,17,18</sup>, 750 pés (228,4 m)<sup>33,34</sup>, 165 m<sup>35</sup>, até 500 pés / 150 m<sup>19,24-26,33</sup>.

## Discussão

Como se observou na busca bibliográfica, a rede viária e seu respectivo fluxo de veículos é um importante indicador de poluição atmosférica, uma vez que as fontes móveis são as principais emissoras desses poluentes nas áreas urbanas.

No entanto, quando a distância das vias ou o volume tráfego representam apenas a via mais próxima da residência, a avaliação da exposição pode apresentar limitações, pois uma via mais distante e com elevado tráfego poderia ser importante na análise. Logo, a ponderação do fluxo veicular pela distância permite uma apreciação mais fidedigna, por considerar o conjunto das vias que circundam a residência.

Apenas alguns se basearam em um



Fonte: Medeiros et al.<sup>27</sup> / Source: Medeiros et al.<sup>27</sup>

**Figura 2** – Representação de um *buffer* com 750 pés (228,4 m) de raio no entorno da residência de um sujeito, em um estudo epidemiológico.

**Figure 2** – Representation of a 750 feet (228.4 m) radius buffer, bordering a residence of a subject in an epidemiological study.

único método de avaliação da exposição; a maioria dos autores procurou usar vários, ou então combiná-los. Apesar dessa variedade e combinações, poucos estudos consideraram informações mais detalhadas do tráfego, como a média de velocidade dos carros<sup>38</sup>, o tipo de veículo (carros ou caminhões), o que pode caracterizar o combustível utilizado<sup>40</sup>, e nenhum considerou o ano de fabricação do veículo.

Verifica-se que em apenas dois estudos revisados houve a discriminação entre o tráfego de caminhões e demais veículos durante a análise dos dados<sup>11,30</sup>. Todos os tipos de veículos automotores emitem poluentes que comprometem a qualidade do ar, porém o tipo de combustível utilizado por esses veículos determina maior ou menor concentração de diferentes poluentes, os quais exercem efeitos adversos à saúde de maneira diferenciada.

A maioria dos artigos apresentados não incluiu a variável mobilidade de residência nas análises. O tempo despendido pelos sujeitos em suas residências, no local de trabalho ou no deslocamento de sua casa ao trabalho não foi analisado em nenhuma pesquisa. O tempo/mobilidade de residência e cenários diários de exposição são variáveis importantes, pois se utiliza a medida de exposição no momento em que o estudo é realizado, e muitas vezes as pessoas se mudam ou passam grande parte do dia em um local que não é a residência, e isso acaba gerando erros na classificação da exposição.

A mobilidade de residência foi analisada por Hooven et al.<sup>26</sup>, em Rotterdam – Holanda, no período que compreendia os 7 meses anteriores à data de concepção e o 5º mês de gestação. Das 7.339 gestantes participantes do estudo, somente 1.118 (15,2%) não haviam se mudado neste período. Uma limitação apontada por Reynolds et al.<sup>37</sup>, no estudo realizado na Califórnia – EUA, foi que o endereço da residência materna no registro de nascimento era diferente daquele constante na base de registros de câncer em 50% dos casos (num período de até 5 anos entre o nascimento e o diagnóstico).

Em contrapartida, Miyake et al.<sup>28</sup> encon-

traram uma baixa mobilidade residencial em Neyagawa – Japão. Foram realizadas duas entrevistas com gestantes, uma no período pré-natal e outra entre o 2º ao 9º mês após o parto. 90,2% das mulheres declararam o mesmo endereço neste intervalo de tempo entre o primeiro e o segundo inquérito.

Shima et al.<sup>12</sup> levantaram informação sobre o tempo de residência da população estudada em Shiba - Japão, incluindo apenas as pessoas que já estavam morando no local há pelo menos três anos. Do total de 3.184 sujeitos que responderam o primeiro questionário, 655 (20,6%) foram excluídos por não terem residido no tempo estabelecido.

Na coorte holandesa Netherlands Cohort Study (NLCS), Hoek et al.<sup>5</sup> também encontraram uma grande percentagem (89,8%) dos participantes do estudo vivendo há  $\geq 10$  anos no mesmo endereço, com uma média de 35 anos de residência.

Outra limitação reportada em vários artigos revisados é a resolução temporal dos dados de tráfego. Pearson et al.<sup>33</sup> referem como uma de suas limitações na análise do tráfego veicular o fato de as contagens de veículos serem realizadas a cada 10 anos e apenas para uma determinada área de Denver – EUA. Dessa maneira, as estimativas poderiam não corresponder ao período antes do diagnóstico de câncer para cada criança. Langholz et al.<sup>34</sup> também apontam dificuldade similar. A contagem de tráfego mais próxima do período da seleção dos sujeitos (casos) foi entre 1990 e 1994, e o período etiologicamente mais relevante para a pesquisa seria antes da data do diagnóstico (exposição das crianças nos anos de 1978 a 1984, antes do diagnóstico de leucemia), ou seja, os dados referiram-se para cerca de 10 a 20 anos depois dessa data.

Wilhelm e Ritz<sup>24</sup> e Hooven et al.<sup>26</sup> referem em suas pesquisas que receberam os valores das médias anuais da contagem veicular de 24h, mas os valores diários, mensais e flutuações sazonais foram ignorados. Uma vantagem do estudo realizado na França por Zmirou et al.<sup>13</sup> em relação aos demais

se deve à inclusão das variações sazonais do tráfego, permitindo melhor detalhamento do grau de exposição à poluição atmosférica em diferentes períodos do ano.

Quando se leva em conta apenas a classificação viária (rodovias, vias arteriais e coletoras) como avaliação da exposição, não se permite identificar, por exemplo, possíveis variações entre uma mesma classificação, uma vez que os valores estimados de tráfego estão padronizados dentro de faixas de valores.

As vias de maior porte e tráfego, como rodovias e vias principais, foram exaustivamente consideradas nos estudos<sup>10,11,17,24-26</sup>. No entanto, as vias locais foram menos abordadas, e quando essas vias eram analisadas os valores dos seus fluxos veiculares não eram vistos de maneira mais detalhada, com a adoção de um único valor, não discriminando as variações que essas vias podiam ter dentro da área na qual se encontravam, como verificado em dois estudos que atribuíram um fluxo de 100 veículos/dia para as vias locais<sup>33,34</sup>.

A informação sobre a proporção das vias locais em relação às demais é importante, pois possibilita uma visão da real necessidade de serem ou não analisadas essas vias, principalmente quando se trata de área residencial. Somente um estudo considerou todos os tipos de vias, inclusive o tráfego das vias locais<sup>27</sup>. Diferentemente de outros autores que não analisaram as vias locais ou atribuíram um único valor para todas elas, Medeiros et al.<sup>27</sup> estimaram o fluxo das mesmas pelo total do fluxo de cada polígono (utilizado pela companhia de tráfego local) proporcionalmente para cada via, de acordo com o comprimento da mesma dentro da área.

A diferença da concentração dos poluentes dentro e fora de casa poderia ser questionada como fator limitante dos estudos que estimam a exposição da população a partir de um indicador do tráfego veicular. No entanto, Hoek et al.<sup>5</sup> relatam que uma parte importante da exposição aos poluentes advindos do ambiente externo provavelmente ocorrem dentro das residên-

cias. Cançado et al.<sup>41</sup> referem que monitores pessoais para  $MP_{10}$  e monitores colocados nos lados externo e interno das residências detectaram a presença desse poluente, identificando que aproximadamente 50% do material particulado no interior das casas são provenientes do ambiente externo e que o restante tem origem na combustão de tabaco, no fogão a gás ou é indeterminada.

Outro aspecto que poderia ser questionado é se o tipo de via ou mesmo o fluxo veicular da mesma é um indicador adequado do nível de poluição da área. Neste sentido alguns estudos tiveram como objetivo validar a medida indireta de tráfego com algum poluente identificado pela medida direta de sua concentração. Esses estudos são importantes, pois os autores confirmam e reforçam que a fonte móvel tem papel fundamental no comprometimento da qualidade do ar e que esta pode servir como referência para se estimar a exposição de uma população aos poluentes atmosféricos.

Kramer et al.<sup>29</sup> utilizaram dados da concentração de  $NO_2$  e a densidade do tráfego em três áreas de uma cidade da Alemanha e demonstraram que a exposição ao tráfego foi uma importante *proxy* para a concentração de  $NO_2$  (estimativa da média anual).

A relação entre  $MP_{2,5}$ , carbono elementar e tráfego de caminhões no Bronx, Nova York – EUA foi analisada por Lena et al.<sup>40</sup>. Os resultados apontaram que a concentração de carbono elementar variava em função do tráfego de caminhões (um aumento de 1,69  $\mu g/m^3$  de carbono elementar para cada 100 caminhões/hora).

Reynolds et al.<sup>36</sup> compararam os valores de densidade de veículos, de vias e de tráfego com dados da concentração de vários poluentes (CO,  $NO_2$ ,  $MP_{10}$ , benzeno e 1,3-butadieno). A densidade de tráfego mostrou correlação positiva estatisticamente significativa com CO ( $r = 0,70$ ), Benzeno ( $r = 0,69$ ), 1,3 butadieno ( $r = 0,57$ ) e em menor grau com  $NO_2$  ( $r = 0,30$ ). A densidade de vias mostrou correlação positiva estatisticamente significativa com CO ( $r = 0,62$ ) e em menor grau com  $NO_2$  ( $r = 0,32$ ) e  $PM_{10}$  ( $r = 0,31$ ).

Zhu et al.<sup>4</sup> mediram material particulado e fumaça preta (*black carbon*) a distâncias entre 30 e 300 m dos lados de uma rodovia em Los Angeles – EUA. Um dos lados da rodovia encontrava-se a barlavento e o outro a sotavento. As medições mostraram que a concentração de partículas ultrafinas eram mais elevadas quanto mais próximo da rodovia, no lado a sotavento. Somente a partir de 300 m esta concentração tornou-se igual em ambos os lados da rodovia, indicando a influência dessas partículas até esta distância.

O estudo de Roosbroeck et al.<sup>42</sup> buscou validar a intensidade do tráfego como estimativa de exposição ao material particulado, à fuligem e NO<sub>x</sub> na Holanda. Comparou-se a exposição de sujeitos residentes em ruas com alto volume de tráfego (> 10.000 veículos/dia) e em ruas com baixo volume de tráfego. A relação entre a intensidade de tráfego próximo às residências e as concentrações externas às mesmas mostrou-se robusta e explicou entre 5 – 50% da variação de poluentes. O tempo gasto no tráfego e em ambientes externos aumentou significativamente a exposição à fuligem e MP<sub>2,5</sub>.

Os fatores meteorológicos, como a direção e a velocidade do vento, foram abordados em apenas um estudo, que considerou a direção predominante dos ventos<sup>19</sup>. Geralmente os modelos desenvolvidos assumem a dispersão isotrópica dos poluentes no espaço. A direção do vento pode ser menos importante para as ruas (arteriais e coletoras) do que para as rodovias, já que as residências são geralmente circundadas pelas primeiras, enquanto as rodovias tipicamente estão ao longo de um dos lados da residência. Logo, pode-se sugerir que a falta da informação sobre a direção do vento não compromete de maneira significativa os resultados dos estudos que se basearam em dados de vias arteriais, coletoras e, em alguns casos, locais.

Por fim, outra tendência que está começando aparecer com mais frequência na literatura sobre poluição atmosférica é o método denominado *Land Use Regression* - LUR para avaliar exposição, tradu-

zido como Regressão do Uso do Solo. Este método prediz concentrações de poluição em um dado local, combinando dados da rede viária ou tráfego veicular com outros fatores que podem influenciar a exposição, como uso do solo, topografia e características populacionais<sup>43</sup>. Contudo, a criação de modelos baseados em regressão envolve testes estatísticos complexos e a disponibilidade de todos os dados necessários para a criação desses modelos pode inviabilizar sua implantação.

## Considerações finais

À medida que o desenvolvimento econômico e a urbanização crescem nos países em desenvolvimento, observa-se um rápido aumento do número de veículos. Esses veículos encontram-se muitas vezes em mau estado de conservação, com uso de combustíveis de má qualidade e, ainda, com motores e mecanismos de filtragem dos gases precários, que trazem como consequência o aumento dos níveis de concentração da poluição atmosférica.

Este artigo revisou estudos que utilizaram dados de rede viária e/ou tráfego veicular como medida indireta para avaliar poluição atmosférica em áreas urbanas. Essas medidas vêm sendo cada vez mais utilizadas na literatura internacional, aplicadas na investigação de diversos desfechos e, conseqüentemente, tendo importância no âmbito da epidemiologia ambiental. Somando-se a isso é indiscutível que os procedimentos inerentes às análises destas avaliações da exposição são facilitados e enriquecidos devido à utilização de SIG para armazenar, processar e geocodificar dados.

Em síntese, os indicadores de exposição baseados em tráfego veicular têm sido aplicados em diversos estudos porque são relativamente fáceis de interpretar e descrevem o quanto estão expostos às emissões veiculares aqueles que residem, principalmente, próximos de ruas movimentadas. Como se verificou, estudos têm mostrado que as concentrações de poluentes perto de

vias são bem correlacionadas com tráfego, da população aos poluentes atmosféricos de modo que estes indicadores podem ser urbanos. usados como um indicador da exposição

## Referências

1. Pan American Health Organization. *An assessment of health effects of ambient air pollution in Latin America and the Caribbean*. Washington D.C: PAHO; 2005.
2. Marcilio I, Gouveia N. Quantifying the impact of air pollution on the urban population of Brazil. *Cad Saúde Pública* 2007; 23(S4): S529-36.
3. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. *Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB, 2007. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/publicacoes.asp>. [Acessado em 2 de março de 2009].
4. Zhu Y, Hinds Wc, Kim S, Sioutas C. Concentration and size distribution of ultrafine particles near a major highway. *J Air Waste Manag* 2002; 52(9): 297-302.
5. Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S, Fischer P, Van Den Brandt PA. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *The Lancet* 2002; 360(9341): 1203-09.
6. Maheswaran R, Elliott P. Stroke Mortality Associated With Living Near Main Roads in England and Wales: a geographical study. *Stroke* 2003; 34: 2776-80.
7. Hoffmann B, Moebus S, Stang A, Beck EM, Dragano N, Mohlenkamp S et al. Residence close to high traffic and prevalence of coronary heart disease. *European Heart Journal* 2006; 27, 2696-702.
8. Tonne C, Melly S, Mittleman M, Coull B, Goldberg R, Schwartz J. A Case-Control Analysis of Exposure to Traffic and Acute Myocardial Infarction. *Environ Health Perspect* 2007; 115: 53-57.
9. Medina-Ramón M, Goldberg R, Melly S, Mittleman MA, Schwartz J. Residential Exposure to Traffic-Related Air Pollution and Survival after Heart Failure. *Environ Health Perspect* 2008; 116(4): 481-85.
10. Garshick E, Laden F, Hart JE, Caron A. Residence near a major road and respiratory symptoms in U.S. veterans. *Epidemiology* 2003; 14(6): 728-36.
11. Janssen NAH, Brunekreef B, Van Vliet P, Aarts F, Meliefste K, Harssema H, Fischer P. The relationship between air pollution from heavy traffic and allergic sensitization, bronchial hyper responsiveness, and respiratory symptoms in dutch schoolchildren. *Environ Health Perspect* 2003; 111(12): 1512-18.
12. Shima M, Nitta Y, Adachi M. Traffic-Related air pollution and respiratory symptoms in children living along trunk roads in Chiba Prefecture, Japan. *J Epidemiol* 2003; 13(2): 108-19.
13. Zmirou D, Gauvin S, Pin I, Momas I, Sahraoui F, Just J, et al. Traffic related air pollution and incidence of childhood asthma: results of the Vesta case-control study (Research Report). *J Epidemiol Community Health* 2004; 58(1):1 8-23.
14. Bayer-Oglesby L, Schindler C, Arx MEH, Braun-Fahrlander C, Keidel D, Rapp R et al. Living near main streets and respiratory symptoms in adults. *Am J Epidemiol* 2006; 164:1190-8.
15. Kuehni CE, Strippoli MF, Zwahlen M, Silverman M. Association between reported exposure to road traffic and respiratory symptoms in children: evidence of bias. *Int J Epidemiol* 2006; 35: 779-86.
16. Meng Y, Wilhelm M, Rull RP, English P, Ritz B. Traffic and outdoor air pollution levels near residences and poorly controlled asthma in adults. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2007; 98: 455-63.
17. Chang J, Delfino RJ, Gillen D, Tjoa T, Nickerson B, Cooper D. Repeated respiratory hospital encounters among children with asthma and residential proximity to traffic. *Occup Environ Med* 2008; 66: 90-8.
18. Kan H, Heiss G, Rose KM, Whitsel EA, Lurmann F, London SJ. Prospective analysis of traffic exposure as a risk factor for incident coronary heart disease: The atherosclerosis risk in communities (ARIC) Study. *Environ Health Perspect*.2008; 116(11): 1463-68.
19. Kim JK, Huen K, Adams S, Smorodinsky S, Hoats A, Malig B et al. Residential Traffic and Children's Respiratory Health. *Environ Health Perspect* 2008; 116(9): 1274-9.
20. Rosenlund M, Forastiere F, Porta D, Sario D, Badaloni C, Perucci CA. Traffic-related air pollution in relation to respiratory symptoms, allergic sensitisation and lung function in schoolchildren. *Thorax* 2009; 64: 573-80.
21. Wilhelm M, Meng Y, Rull RP, English P, Balmes J, Ritz B. Environmental Public Health Tracking of Childhood Asthma Using California Health Interview Survey, Traffic, and Outdoor Air Pollution Data. *Environ Health Perspect* 2008; 116(8): 1254-60.
22. Migliore E, Berti G, Galassi C, Pearce N, Forastiere F, Calabrese R. Respiratory symptoms in children living near busy roads and their relationship to vehicular traffic: results of an Italian multicenter study (SIDRIA 2). *Environmental Health* 2009; 8: 27-43.
23. Pujades-Rodríguez M, Lewis S, Mckeever T, Britton J, Venn A, Effect of living close to a main road on asthma, allergy, lung function and chronic obstructive pulmonary disease. *Occup Environ Med* 2009; 66: 679-84.

24. Wilhelm M, Ritz B. Residential proximity to traffic and adverse birth outcomes in Los Angeles County, California, 1994-1996. *Environ Health Perspect* 2003; 111(2): 207-15.
25. Green RS, Malig B, Windham GC, Fenster L, Ostro B, Swan S. Residential exposure to traffic and spontaneous abortion. *Environ Health Perspect* 2009; 117(12): 1939-44.
26. Hooven EH, Jaddoe VWV, Kluizenaar Y, Hofman A, Mackenbach J, Steegers EAP et al. Residential traffic exposure and pregnancy-related outcomes: a prospective birth cohort study. *Environ Health* 2009; 8: 59-70.
27. Medeiros APP, Gouveia N, Machado RPP, Souza MR, Alencar GP, Novaes HMD et al. Traffic-related air pollution and perinatal mortality: A case-control study. *Environ Health Perspect* 2009; 117(1): 127-32.
28. Miyake Y, Tanaka K, Fujiwara H, Mitani Y, Ikemi H, Sasaki S et al. Residential proximity to a main roads during pregnancy and the risk of allergic disorders in Japanese infants: The Osaka Maternal and Child Health Study. *Pediatr Allergy Immunol* 2009 [in press].
29. Kramer U, Koch T, Ranft U, Ring J, Behrendt H. Traffic-related air pollution is associated with atopy in children living in urban areas. *Epidemiology* 2000; 11(1): 64-70.
30. Wyler C, Beraun-Fahrlande B, Kiinzli N, Schindler C, Ackermann-Liebric U, Perruchoud AP et al. Exposure to Motor Vehicle Traffic and Allergic Sensitization. *Epidemiology* 2000; 11(4): 450-56.
31. Williams LA, Ulrich CM, Larson T, Wener MH, Wood B, Campbell PT et al. Proximity to Traffic, Inflammation, and Immune Function among Women in the Seattle, Washington, Area. *Environ Health Perspect* 2009; 117(3):373-78.
32. Baccarelli A, Martinelli I, Pegoraro V, Stat B, Melly S, Grillo P et al. Living Near Major Traffic Roads and Risk of Deep Vein Thrombosis. *Circulation* 2009; 119: 3118-24.
33. Pearson RL, Wachtel H, Ebi KL. Distance-weighted traffic density in proximity to a home is a risk factor for leukemia and other childhood cancers. *Air Waste Manag Assoc* 2000; 50: 175-80.
34. Langholz B, Ebi KL, Thomas DC, Peters JM, London SJ. Traffic density and the risk of childhood leukemia in a Los Angeles case-control study. *Ann Epidemiol* 2002; 12(7): 482-7.
35. Reynolds P, Elkin E, Scalf R, Behren JV, Neutra RR. A case-control pilot study of traffic exposures and early childhood leukemia using a geographic information system. *Bioelectromagnetics* 2001; S5: 58-68.
36. Reynolds P, Behren JV, Gunier RB, Goldberg DE, Hertz A, Smith D. Traffic patterns and childhood cancer incidence rates in California, United States. *Cancer Causes and Control* 2002; 13:665-73.
37. Reynolds P, Behren Jv, Gunier Rb, Goldberg De, Hertz A. Residential exposure to traffic in California and childhood cancer. *Epidemiology* 2004; 15(1): 6-12.
38. Furman A, Laleli M. Semi-occupational exposure to lead: a case study of child and adolescent street vendors in Istanbul. *Environ Res* 2000; 83(1): 41-5.
39. Finkelstein MM, Jerrett M, SEARS MR. Traffic air pollution and mortality rate advancement periods. *Am J Epidemiol* 2004; 160: 173-7.
40. Lena TS, Ochieng V, Carter M, Holguin-Veras I, Kinney PL. Elemental carbon and PM<sub>2.5</sub> levels in an urban community heavily impacted by truck traffic. *Environ Health Perspect* 2002; 110(10): 1009-15.
41. Cançado JED, Braga A, Pereira LAA, Arbex MA, Saldiva PHN, Santos UP. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. *J Bras Pneumol* 2006; 32(S2): 23-9.
42. Roosbroeck Sv, Hoek G, Meliefste K, Janssen Nah, Brunekreef B. Validity of residential traffic intensity as an estimate of long-term personal exposure to traffic-related air pollution among adults. *Environ Sci Technol* 2008; 42: 1337-44.
43. Su JG, Jerret M, Beckerman B, Wilhelm M, Ghosh Jk, Ritz B. Predicting traffic-related air pollution in Los Angeles using a distance decay regression selection strategy. *Environ Health* 2009; 109: 657-70.

Recebido em: 04/05/10

Versão final reapresentada em: 23/08/10

Aprovado em: 27/09/10