

IMPACTO DO TRÁFEGO VEICULAR NOS TEORES DE METAIS PESADOS EM POEIRA DE ASFALTO DA CIDADE DO RECIFE

Fernando Bruno Vieira da Silva¹
Luiz Henrique Vieira Lima²
Rafael Lima da Silva³
Clístenes Williams Araújo do Nascimento⁴

INTRODUÇÃO

O tráfego veicular é fonte de metais pesados (MPs) nos centros urbanos. Os MPs são constituintes de vários componentes automotivos, e por isso podem ser liberados para o ambiente por meio da corrosão de peças automotivas, da dispersão de óleos lubrificantes, e principalmente, das emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis; e por fim podem ser depositados e se acumular na poeira do asfalto (SILVEIRA et al., 2010; FUJIWARA et al., 2011; KABATA–PENDIAS et al., 2011; OKORIE et al., 2012).

A poeira do asfalto é uma mistura complexa que contém componentes orgânicos, partículas de solo, pelos, pólen e resíduos do tráfego veicular, das emissões industriais, das construções e da pavimentação (WEI et al., 2010; LIU et al., 2014; SURYAWANSHI et al., 2016). Desta forma, como a poeira do asfalto é um material resultante da deposição de diversas atividades antrópicas, ela pode ser utilizada como um indicador da contaminação por metais pesados no ambiente urbano (GOPE et al., 2018). O baixo peso e tamanho reduzido das partículas facilitam sua ressuspensão por ação eólica ou movimentação de veículos, tornando-a um importante poluente atmosférico aos seres humanos por meio de exposição direta ou indireta.

Diversos estudos relataram concentrações elevadas de metais pesados na poeira do asfalto, devido, principalmente, ao intenso fluxo veicular podendo causar diversos danos à saúde dos seres vivos (BUDAI et al., 2018; MEN et al., 2018). Regiões com períodos escassos de precipitação promovem o acúmulo e emissão atmosférica da poeira devido ao menor efeito de lavagem e umedecimento do asfalto (ALVES et al., 2018). O aumento da frota veicular inibe a mobilidade urbana. Congestionamentos aumentam o consumo de combustíveis e conseqüentemente elevam a emissão de resíduos contendo metais pesados para o ambiente (MEN et al., 2018). O intenso fluxo veicular somado a ações de frenagem são responsáveis pela ressuspensão do material depositado no asfalto (APEAGYEI et al., 2011). No período chuvoso, a poeira do asfalto pode também ser carregada para corpos d'água, contaminando sedimentos e a cadeia trófica (GUNAWARDANA et al., 2014).

O aumento da frota veicular em grandes centros urbanos representa ameaça à qualidade ambiental e a saúde humana. Na última década, a frota veicular brasileira cresceu muito e rápido, atualmente, existem mais de 100 milhões de veículos em circulação. O Brasil possui uma das maiores frotas veiculares do mundo (DENATRAN, 2018). O maior percentual

¹Bolsista de Pós-doutorado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior (CAPES) e pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), Universidade Federal Rural de Pernambuco – PE, ferbruno01@yahoo.com.br;

²Bolsista de doutorado pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), Universidade Federal Rural de Pernambuco – PE, luizhenrique.vieira@hotmail.com;

³Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco – PE, rafaelindio1999@gmail.com;

⁴Professor titular do Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco – PE, e-mail: cwanascimento@hotmail.com;

de automóveis concentra-se nas grandes cidades brasileiras e algumas são classificadas como as mais congestionadas no mundo (TOMTOM TRAFFIC INDEX, 2018). Estudos avaliando MPs na poeira do asfalto no Brasil são escassos e avaliações realizadas em outras regiões do mundo com fluxo veicular inferior ao registrado nas cidades brasileiras, tiveram concentrações elevadas de MPs (ARSLAN, 2007; LI et al., 2018). Portanto, a investigação dos teores dos MPs na poeira do asfalto pode ser utilizada como ferramenta para inferir sobre o acúmulo, distribuição, origem e potenciais riscos ambientais e a saúde humana. Nesse sentido, o presente estudo objetivou avaliar o efeito do fluxo veicular sobre os teores de Cd, Cr, Ni e Sb presente na poeira do asfalto das principais vias urbanas do Recife.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Recife, capital pernambucana, é a terceira maior cidade do norte-nordeste do Brasil. Possui 1,6 milhão de habitantes e densidade demográfica de 7.039 hab km². Sua economia é baseada, principalmente, no setor de serviços e possui um PIB estimado em cinquenta bilhões de reais (IBGE, 2017). A cidade possui clima do tipo As' (tropical úmido), com temperatura e precipitação média anuais de 26°C e 2263 mm, respectivamente, e umidade relativa do ar de 78% (INMET, 2019). Na última década, a frota veicular da cidade teve aumento de 35%, atualmente possui mais de 680 mil veículos em circulação. O trânsito do Recife está entre os dez mais lentos do mundo (DETRAN, 2018; TOMTOM TRAFFIC INDEX, 2018).

As amostras de poeiras de asfalto foram coletadas em 10 vias urbanas do Recife. As vias foram selecionadas em função de um gradiente de fluxo veicular (fluxo baixo: ≤ 5000 veículos dia⁻¹, fluxo médio: > 15000 e ≤ 30000 veículos dia⁻¹ e fluxo alto: > 30000 veículos dia⁻¹). A poeira foi coletada na condição de asfalto seco e em cada via foram coletadas três amostras compostas. A extensão das vias foi dividida em três seções e, em cada seção, foram coletadas seis amostras simples, que foram misturadas para obtenção da amostra composta. As amostras foram coletadas por meio da varredura de 1 m² da superfície do asfalto com auxílio de pincéis e pás de plástico, distanciando-se 1 m das bordas das vias.

As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de aço inoxidável ($\varnothing < 100 \mu\text{m}$). 1,00 g das amostras foram pesadas em béqueres de teflon de 50 mL, adicionou-se 5 mL de HF, 5 mL de HNO₃, 3 mL de HClO₄ e 5 mL de HCl para digestão total à 190°C em chapa aquecedora, de acordo com a metodologia descrita por Alvarez et al. (2001). Os extratos foram filtrados com papel de filtro faixa azul e o volume foi completado para balões certificados de 25 mL (NBR ISSO/IEC) com água ultrapura.

Os teores de Cd, Cr, Ni e Sb foram determinados por espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (ICP - OES Perkin Elmer 7000 DV). Adicionou-se 1 mL da solução de 0,5 mol L⁻¹ de Lu, utilizado como padrão interno na correção dos interferentes analíticos no extrato da digestão. As análises foram realizadas em duplicatas. Como padrão de qualidade para as análises, utilizou-se amostras em branco e dois materiais de referência (SRM 2709 San Joaquin soil e SRM 2710a Montana soil) com os teores dos MPs certificados pelo NIST (National Institute of Standards and Technology). As recuperações dos MPs nas amostras certificadas variaram de 87 – 107%.

O índice de poluição do metal (IPM) foi obtido pelas médias geométricas dos contaminantes por via para destacar as diferenças das concentrações encontradas, ilustrando de forma simplificada o comportamento que os dados apresentam (USERO 1996). Os dados obtidos foram submetidos a métodos estatísticos univariados (média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação). Todo procedimento estatísticos foi realizado usando o software STATISTICA (versão 10.0).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores médios para Cd, Cr, Ni e Sb nas poeiras de asfalto foram 2,0; 55,0; 12,0 e 1,0 mg kg⁻¹, respectivamente. Não houve variabilidade elevada entre os teores médios e medianos para os MPs avaliados. O enriquecimento da poeira por MPs foi avaliada comparando-se os resultados obtidos com os valores de referência de qualidade (VRQs) para solos de Pernambuco. Isto é possível pelo fato do solo ser uma matriz semelhante à poeira do asfalto (LI et al., 2018). Os MPs nas poeiras foram 33 a 400% superiores aos seus respectivos VRQs (Cd = 0,5; Cr = 35; Ni = 9 e Sb = 0,2 mg kg⁻¹) indicando uma forte influência das atividades antrópicas sobre o aporte e acúmulo dos metais na poeira do asfalto. O acúmulo dos MPs variou entre as vias. Os maiores teores de Cd, Cr, Ni e Sb foram observados nas vias de fluxo alto, corroborando a relação entre intensidade do fluxo e o aporte de MPs ao ambiente (ENUNEKU et al., 2017; GOPE et al., 2018). Ligas de aço contendo Ni e Cr são as principais matérias-primas na produção de chassis, portas, tetos, escapamentos e suportes para motores dos veículos (TISZA et al., 2018). O Ni também está presente em componentes elétricos e magnéticos e é um potencial contaminante nas próximas décadas devido à alta demanda de baterias de hidreto metálico de Ni para a produção de veículos híbridos e elétricos (NYKVIST et al., 2019).

Os teores de Cd variou entre 0,3-1,9 mg kg⁻¹, o maior teor médio foi encontrado nas vias de alto fluxo. O Cd é incorporado aos veículos durante o processo de galvanização das peças proporcionando maior resistência a corrosão. Outra via de emissão deste metal pelo tráfego veicular é pela queima dos combustíveis fósseis (POLETTI et al., 2014). Os teores de Sb divergiram em função do gradiente de fluxo veicular. O teor médio de Sb nas vias de tráfego mais intenso (1,7 mg kg⁻¹) superou em 8 vezes o encontrado na via de baixo fluxo (0,2 mg kg⁻¹). Resultado similar foi observado em amostras de poeiras de asfalto de vias de alta densidade de tráfego no Chile (QUIROZ et al., 2013). Os autores atribuíram ao desgaste das pastilhas de freio devido a intensa ação de frenagem dos veículos como sendo a principal fonte do Sb nas vias. DE SILVA et al., 2016 afirmam que o acúmulo de MPs pode ser influenciado, principalmente, pela idade das vias, fluxo veicular e velocidade do tráfego, existindo uma tendência de maior acúmulo em vias mais antigas, com alto fluxo e de maior velocidade.

O IPM foi comparado com os gradientes de fluxo veicular, observou-se decréscimo nos valores do IPM com a redução do tráfego veicular, tornando assim mais evidente a influência do tráfego sobre o enriquecimento de MPs na poeira das vias, visto que o IPM apresentado pelos maiores fluxos (alto e médio) foi cerca de 4 e 3 vezes superior ao baixo fluxo, respectivamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os teores totais de Cd, Cr, Ni e Sb nas poeiras de asfalto da cidade do Recife apresentaram um padrão de distribuição crescente em relação ao gradiente de fluxo veicular, com enriquecimento da poeira nas vias de fluxo mais intenso, indicando forte impacto do tráfego de veículos sob os teores dos metais. O monitoramento das poeiras de asfalto e avaliações do risco à saúde humana deve ser realizado periodicamente em decorrência do crescimento acelerado da frota veicular, que consequentemente tende a aumentar o enriquecimento deste material por metais pesados.

Palavras-chave: Deposição atmosférica, Elementos-traço, Emissão veicular, Material particulado.

REFERÊNCIAS

ALVES, C. A.; EVTYUGINA, M.; VICENTE, A. M. P.; VICENTE, E. D.; NUNES, T. V.; SILVA, P. M. A.; DUARTE, M. A. C.; PIO, C. A.; AMATO, F.; QUEROL, X. Chemical profiling of PM10 from urban road dust. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v.634, p. 41-51, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.338>>.

APEAGYEI, E.; MICHAEL, S.; SPENGLER, J. D. Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts. *Atmospheric Environment*, Oxford, v. 45, p. 2310-2323, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231010009702>>.

ARSLAN, H. Heavy metals in street dust in Bursa, Turkey. *Journal of Trace and Microprobe Techniques*, London, v. 19, p. 439-445, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1081/TMA-100105058>>

BUDAI, P.; CLEMENT, A. Spatial distribution patterns of four traffic-emitted heavy metals in urban road dust and the resuspension of brake-emitted particles: Findings of a field study. *Transportation Research Part D*, Exeter, v. 62, p.179-185, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.02.014>>.

CAEIRO, S.; COSTA, M. H.; RAMOS, T. B.; FERNANDES, F.; SILVEIRA, N.; COIMBRA, A.; MEDEIROS, G.; PAINHO, M. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach. *Ecological Indicators*, Amsterdam, v. 5, p. 151-169, 2005. Disponível em: <[10.1016/j.ecolind.2005.02.001](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.02.001)>.

DE SILVA, S.; BALL, A. S.; HUYNH, T.; REICHMAN, S. M. Metal accumulation in roadside soil in Melbourne, Australia: Effect of road age, traffic density and vehicular speed. *Environmental Pollution*, Barking, v. 208, p. 1-8, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.032>>.

DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. (2018). Frota de veículos –2018. Disponível em: <<https://www.denatran.gov.br/estatistica/635-frota-2018>>.

DETRAN –DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO. (2018). Frota registrada segundo o tipo –Recife. Disponível em: <<https://www.detrans.pe.gov.br/estatisticas-info>>.

ENUNEKU, A.; BIOSE, E.; EZEMONYE, L. Levels, Distribution, Characterization and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Road Side Soils and Earthworms from Urban High Traffic Areas in Benin Metropolis, Southern Nigeria. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, London, v.3, p. 1-21, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.jece.2017.05.019>>.

FUJIWARA, F.; REBAGLIATI, R. J.; MARRERO, J.; GOMEZ, D.; SMICHOWSKI, P. Antimony as a traffic-related element in size-fractionated road dust samples collected in Buenos Aires. *Microchemical Journal*, New York, v. 97, p. 62-67, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.microc.2010.05.006>>.

GOPE, M.; MASTO, R. E.; GEORGE, J.; BALACHANDRAN, S. Trading source, distribution and health risk of potentially harmful elements (PHEs) in street dust of Durgapur, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, New York, v. 154, p. 280-293, 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.042>>.

GUNAWARDANA, C.; EGODAWATTA, P.; GOONETILLEKE, A. Role of particle size and composition in metal adsorption by solids deposited on urban road surfaces. *Environmental Pollution*, Barking, v. 184, p. 44-53, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.08.010>>.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2017). Produto interno bruto dos municípios. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101458.pdf>>.

INMET -INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. (2019). Normas climatológicas do Brasil. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normasclimatologicas>>.

LI, Q.; YANG, K.; LI, J.; ZENG, X.; YU, Z.; ZHANG, G. An assessment of polyurethane foam passive samplers for atmospheric metals compared with active samplers. *Environmental Pollution*, Barking, v. 236, p.498-504, 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.043>>.

MEN, C.; LIU, R.; XU, F.; WANG, Q.; GUO, L.; SHEN, Z. Pollution characteristics, risk assessment, and source apportionment of heavy metals in road dust in Beijing, China. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 612, p.138-147, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.123>>.

NYKVIST, B.; SPREI, F.; NILSSON, M. Assessing the progress toward lower priced long range battery electric vehicles. *Energy Policy*, Oxford, v. 124, p. 144-155, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.09.035>>.

OKORIE, A.; ENTWISTLE, J.; DEAN, J. R. Estimation of daily intake of potentially toxic elements from urban street dust and the role of oral bioaccessibility testing. *Chemosphere*, Oxford, v. 86, p. 460-467, 2012. Disponível em: <[10.1016/j.chemosphere.2011.09.047](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.09.047)>.

POLETTI, G. D.; ETHUR, E. M.; HOEHNE, L. Determinação de cádmio e chumbo em solos usados em plantações de erva-mate sem e com diferentes tipos de manejo na região Sul do país. *Revista Destaques Acadêmicos*, Lajeado, v. 4, p. 59-65, 2014. Disponível em: <<http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/437/429>>.

QUIROZ, W.; CORTES, M.; ASTUDILLO, F.; BRAVO, M.; CERECEDA, F.; VIDAL, V.; LOBOS, M. G. Antimony speciation in road dust and urban particulate matter in Valparaíso, Chile: Analytical and environmental considerations. *Microchemical Journal*, New York, v. 110, p. 266-272, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2013.04.006>>.

SILVEIRA, E. L. C.; COELHO, R. C.; NETO, J. M. M.; MOURA, C. V. D.; MOURA, E. M. Determinação de metais em óleos lubrificantes, provenientes de motores de ônibus urbano, utilizando a FAAS. *Química Nova*, São Paulo, v. 33, p. 1863-1867, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000900008>.

SURYAWANSHI, P. V.; RAJARAM, B. S.; BHANARKAR, A. D.; RAO, C. V. C.; Determining heavy metal contamination of road dust in Delhi, India. *Atmosfera*, Cidade do México, v. 29, p. 221-234, 2016. Disponível em: <[10.20937/ATM.2016.29.03.04](https://doi.org/10.20937/ATM.2016.29.03.04)>.

TISZA, M.; CZINEGE, I. Comparative study of the application of steels and aluminium in light weight production of automotive parts. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, Beijing, v. 4p. 229-238, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2018.09.001>>.

TOMTOM TRAFFIC INDEX. Measuring Congestion worldwide. 2018. Disponível em: https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/city/recife. Acesso em: 24 set. 2018.

USERO, J.; REGALADO, E. G.; GRACIA, I. Trace Metals in the Bivalve Mollusc *Chamelea gallina* from the Atlantic Coast of Southern Spain. *Marine Pollution Bulletin*, Oxford, v. 32, p. 305-310, 1996. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0025326X95002096>>.

WEI, B.; YANG, L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal*, New York, v. 94, p. 99-107, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026265X09001416>>.