

## X-038 – DISPERSÃO DE MATERIAL PARTICULADO NO MUNICÍPIO DE SIMÕES FILHO - BA

**Gabriel Silva Pita<sup>(1)</sup>**

Graduando em Engenharia Química pelo Instituto Federal da Bahia – Campus Salvador.

**Édler Lins de Albuquerque<sup>(2)</sup>**

Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

**José Antonio Menezes Filho<sup>(3)</sup>**

Graduado em Farmácia Bioquímica pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Mestre em *Environmental Pollution Control* pela *Pennsylvania State University*. Doutor em Saúde Pública e Meio Ambiente na área de Toxicologia Ambiental pela Escola Nacional da Saúde Pública (ENSP-FIOCRUZ).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Emídio dos Santos, s/n – Barbalho - Salvador – BA – CEP: 40301-015 – Brasil - Tel: (71) 2102-9400 - e-mail: [dgcom@ifba.edu.br](mailto:dgcom@ifba.edu.br)

### RESUMO

Estudos prévios realizados na região de Simões Filho mostraram que a população local relata diversos inconvenientes por causa da presença de poeira, havendo indícios desta ser oriunda de atividades industriais e veiculares. Sabe-se que o material particulado de diâmetro igual ou inferior a 2,5 micrometros ( $MP_{2,5}$ ) possui maior facilidade de adentrar no sistema respiratório humano, levando seus constituintes, vários destes tóxicos, até os alvéolos pulmonares e, portanto, até a corrente sanguínea causando diversos problemas respiratórios e cardiovasculares. Cientes disto, nesta pesquisa efetuou-se o estudo de dispersão de material particulado de diâmetro menor que 2,5 micrometros ( $MP_{2,5}$ ) para fontes móveis (rodovias BR-324 e BA-093) e uma fonte fixa (indústria eletrossiderúrgica de liga Fe-Mn) situadas no município de Simões Filho – BA. Para tanto, fez-se necessário realizar o inventário de emissões para as fontes estudadas e, sua modelagem e simulação com o *software AERMOD View*. Foram considerados como principais fontes o tráfego de veículos nas rodovias BR-324 e BA-093 e as principais chaminés da referida indústria. Os resultados mostraram que, para  $MP_{2,5}$ , são ultrapassados diversos padrões de qualidade do ar no mundo, inclusive o da OMS, e os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491 de 19/11/2018 para o  $MP_{2,5}$ . Em virtude dos valores encontrados, a qualidade do ar na região pode ser classificada como péssima, segundo os parâmetros nacionais, para a região mais próxima da interseção entre as duas rodovias estudadas, o que apresenta indícios prejudiciais à saúde da comunidade próxima. Além disso, foi obtido que as fontes móveis são os maiores contribuintes da emissão de  $MP_{2,5}$  na região estudada, porém a indústria eletrossiderúrgica de liga Fe-Mn também contribui significativamente para a pluma de dispersão de poluente no município estudado, tanto em termos de concentração de poluentes quanto em termos do formato e alcance da pluma de  $MP_{2,5}$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** Dispersão de poluentes do ar, *AERMOD View*, inventário de emissões, Simões Filho-BA.

### INTRODUÇÃO

Os diversos processos atmosféricos indicam que podem ser encontrados na composição química do material particulado: líquidos (soluções aquosas de ácidos sulfúrico, nítrico, amônia, etc.), íons (sulfato, cloreto, etc.), carbono orgânico e inorgânico, material biológico e metais (Pb, Cd, Hg, Fe, Mn, Zn, Ca, Mg, etc.) (SEINFELD e PANDIS, 2016).

Estudos anteriores realizados atestaram que a população das Vilas de Cotegipe e Santa Luzia tem sido impactada por emissões atmosféricas. Níveis elevados de Mn foram detectados nos cabelos e nas unhas dos moradores, concentrações até 15 vezes superiores aos valores normais. Como possível consequência dessa elevada concentração de material particulado (MP), observa-se associação dos níveis de Mn no organismo das crianças em idade escolar com efeito na memória e função motora e, sobretudo, comportamentos agressivos (MENEZES FILHO et al. 2013). Além disso, pode-se afirmar que os impactos à saúde causados por poluentes atmosféricos dependem do nível de concentração e tempo de exposição, da quantidade de poluente inalada e

das características físico-químicas do agente poluente (MANAHAN, 2017) e, para material particulado (MP), a dimensão da partícula é outro fator importante, visto que partículas menores (finas e ultrafinas) podem atingir os alvéolos pulmonares, levando componentes agressivos diretamente à corrente sanguínea.

Estimativas globais indicam que somente o material particulado fino (diâmetro menor ou igual a 2,5 µm) é responsável por cerca de 3 % dos óbitos em crianças, 5 % dos cânceres de pulmão e 3 % dos óbitos de crianças até cinco anos de idade, totalizando cerca de 800 mil óbitos prematuros (COHEN et al., 2005). Este cenário demonstra a relevância e a complexidade existente no conhecimento das formas de ação do material particulado no organismo e sua presença na atmosfera.

## OBJETIVO

Diante desse cenário apresentado, o presente trabalho visou à realização de um estudo de dispersão para entendimento da dinâmica de espalhamento do material particulado oriundo do tráfego de veículos nas rodovias BR-324 e BA-093 e das emissões causadas por uma planta de produção de liga Fe-Mn (indústria eletrossiderúrgica) próxima ao município estudado. Desta forma, foram previstas as concentrações de material particulado causadas pelas fontes estudadas e associados os possíveis impactos ambientais.

## METODOLOGIA UTILIZADA

O inventário de emissões veiculares foi efetuado utilizando-se metodologia recomendada pela Agência Ambiental Européia, a qual relaciona a quantidade de poluentes emitida por uma frota de veículos com seu fator de emissão e com seu fator de atividade. Neste trabalho, as principais emissões veiculares foram atribuídas às rodovias BR-324 e BA-093, principais rodovias de acesso ao município de Simões Filho-BA. A Equação 1 apresenta o método de cálculo empregado:

$$E_{p,t} = \sum_k \sum_t \sum_c (F_{k,t,c} \times FC_{p,k,t,c} \times FA_{k,t}) \quad \text{equação(1)}$$

Sendo:

$E_{p,t}$  = Emissão total de um poluente p em um ano t;

$F_{k,t,c}$  = Frota de veículos de uma categoria k, fabricados em um ano t e que processam um combustível c;

$FC_{p,k,t,c}$  = Fator de emissão corrigido de um poluente p, para veículos novos de uma categoria k, fabricados em um ano t e que processam um combustível c;

$FA_{k,t}$  = Fator de atividade relacionado a veículos de uma categoria k e fabricados em um ano t.

Os dados necessários para realizar o inventário veicular foram obtidos nas agências reguladoras de transporte (DENATRAN), no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (2013), e nas empresas concessionárias das rodovias estudadas (Bahia Norte e Via Bahia). Nestes dados, o tráfego de veículos foi classificado por categoria veicular, por horário e por dia. Para classificar as categorias veiculares em função do ano de fabricação e do combustível consumido, foram empregados relatórios estatísticos disponíveis no site do DENATRAN para os municípios de Salvador, Simões Filhos, Camaçari e Candeias, que são os municípios nas redondezas das vias estudadas, para o mês de Julho de 2017 (frota mais atual disponível no início do estudo).

Para a contabilização da emissão dos poluentes em veículos *flex*, utilizou-se parâmetros de preferência da utilização de gasolina ou álcool pelos condutores, presentes no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários de 2013. Os fatores de emissão para caminhões foram obtidos a partir de uma média ponderada dos fatores de emissão em função do porte do caminhão.

Ainda acerca do inventário de emissões, para estimar o fator de atividade relacionado a veículos de uma categoria k e fabricados em um ano t, utilizou-se a velocidade média permitida para cada categoria em cada rodovia e a distância de cada trecho destas rodovias dentro dos limites do município de Simões Filho. O fator de emissão corrigido de um poluente p, para veículos novos de uma categoria k, fabricados em um ano t e que processam um combustível c foi encontrado no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas para Veículos Rodoviários, publicado em 2013 pelo Ministério do Meio Ambiente. Trabalhou-se com três trechos: BA-093, BR-324 pista de ida e BR-324 pista de volta; com seis categorias de veículos em cada trecho: automóvel, motocicleta, comercial leve, micro-ônibus, ônibus e caminhão; e com o poluente material particulado com

diâmetro menor ou igual a 2,5 micrometros ( $MP_{2,5}$ ). Diante disto, calculou-se a quantidade de veículos para cada caso envolvendo um determinado ano de fabricação dos veículos, um determinado combustível consumido por esses veículos e a categoria dos mesmos. De posse da quantidade de veículos para cada caso e dos fatores de emissão disponíveis no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários de 2013, obteve-se as taxas de emissão para cada caso estudado.

O inventário de emissões da atividade industrial foi efetuado a partir do levantamento dos equipamentos presentes na indústria estudada levando em consideração fatores como altura do equipamento, vazão de descarga, localização georreferenciada do equipamento, etc. Tais dados foram disponibilizados pelo órgão de controle ambiental do estado da Bahia (INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos).

Para a modelagem computacional do problema e uso do *software*, optou-se por empregar as taxas de emissão médias por categoria. Como foi calculada a taxa de emissão para cada caso envolvendo um determinado ano de fabricação dos veículos, um determinado combustível consumido por esses veículos e a categoria dos mesmos, foi possível realizar uma média ponderada com a finalidade de se obter uma taxa média por categoria, com o intuito de facilitar o processamento de dados nos softwares empregados. As fontes foram cadastradas como fontes linhas (tipo volume) e foi criado um *grid* de receptores com 30 km de lado que engloba as redondezas do município de Simões Filho. Os dados topográficos e dados meteorológicos passaram por pré-processamento no *software AERMET View* para uso no simulador *AERMOD View*. Todos os dados foram alimentados ao *software* e as simulações determinaram a distribuição espacial das concentrações de  $MP_{2,5}$  em Simões Filho, permitindo observar as áreas mais impactadas pelas fontes poluidoras consideradas.

Os resultados foram validados e interpretados por meio da comparação com dados obtidos anteriormente em estudos similares e com os dados obtidos nas coletas em amostrador de grandes volumes (*high-vol*) para material particulado  $MP_{2,5}$ , coletadas na Escola Municipal Castelo Branco, situada no povoado de Mapele, região de Simões Filho à jusante da direção predominante dos ventos. A concentração presente foi obtida descontando-se a massa do filtro desta massa, e dividindo-se o resultado pelo volume de ar total coletado, determinado pelo amostrador *high-vol*. Nesta abordagem, obteve-se um indicativo da concentração média do material particulado fino gerado na região de Simões Filho e proveniente das fontes emissoras.

Por fim, foram efetuadas análises comparativas dos resultados das plumas de concentração com padrões de qualidade do ar nacionais, padrões de diversos outros países do mundo e padrões recomendados pela OMS (Organização Mundial de Saúde), permitindo prever os impactos causados por esta poluição.

## RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, realizou-se as simulações no *software AERMOD View* para avaliar a contribuição somente das rodovias BR-324 e BA-093 na qualidade do ar da região para períodos de 24 h e 1 ano. Isto foi efetuado com o intuito de quantificar o impacto destas fontes veiculares isoladamente. Os resultados obtidos podem ser vistos nas Figuras 1 e 2. Posteriormente, as simulações efetuadas consideraram as fontes veiculares e a fonte industrial investigada para os mesmos períodos de 24 h e 1 ano. Os resultados obtidos estão mostrados nas Figuras 3 e 4.

Com intuito de validar os resultados das simulações realizadas, foi realizada a coleta de  $MP_{2,5}$  na Escola Municipal Castelo Branco e comparou-se estes resultados com os resultados obtidos nas simulações. A Tabela 1 exibe a massa inicial do filtro seco e do mesmo após o recolhimento da amostra, bem como a concentração de material particulado em dada região em  $\mu g/m^3$ . Diante disso, comparando as Figuras 1, 2, 3 e 4 com a Tabela 1 pode-se afirmar que, para a coleta de  $MP_{2,5}$  no amostrador *high-vol*, foi encontrada uma faixa de 6,688  $\mu g/m^3$  até 14,355  $\mu g/m^3$ , com intervalo para 95% de confiança para a média de  $9,98 \pm 3,13 \mu g/m^3$ . Para a simulação da dispersão de  $MP_{2,5}$ , foi encontrada uma faixa de 1,0 até 20,0  $\mu g/m^3$  na região da Escola Castelo Branco, a qual situa-se cerca de quatro quilômetros da indústria eletrossiderúrgica e cerca de cinco quilômetros da rodovia BR-324. Portanto, pode-se afirmar que, mesmo a coleta de  $MP_{2,5}$  apresentando uma faixa de concentração mais restrita, os valores obtidos nas simulações mostraram-se na mesma ordem de grandeza do obtido mediante coleta em campo, validando a metodologia utilizada e os resultados obtidos pela simulação, pois foi obtido um erro aceitável e dentro do esperado para as simulações.



**Tabela 1: Concentração de MP<sub>2,5</sub> na escola Castelo Branco.**

Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Concentração (µg/m³)
400001	2,68155	2,69669	9,360
400002	2,69304	2,71635	14,355
400003	2,68062	2,72563	9,242
500001	4,46701	4,47953	6,688
500002	4,46642	4,47856	7,500
500003	4,47342	4,49397	12,712

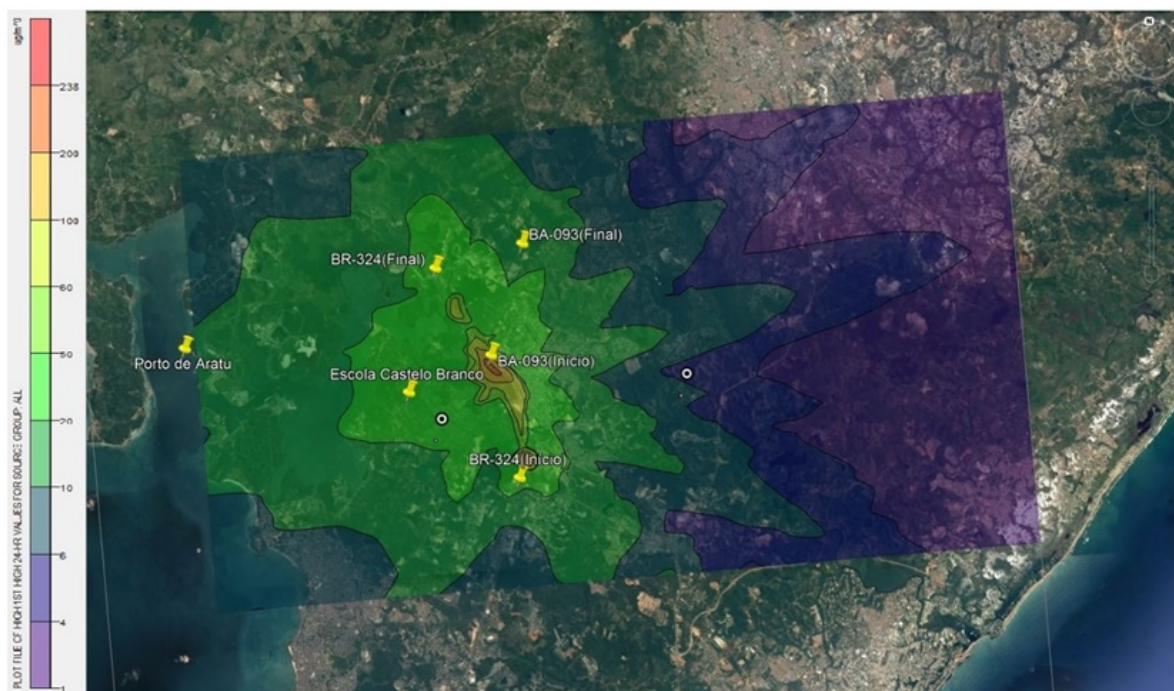


**Figura 1: Pluma obtida para a dispersão de MP<sub>2,5</sub>. Fontes:rodovias BR-324 e BA-093. Período: 24 h.**

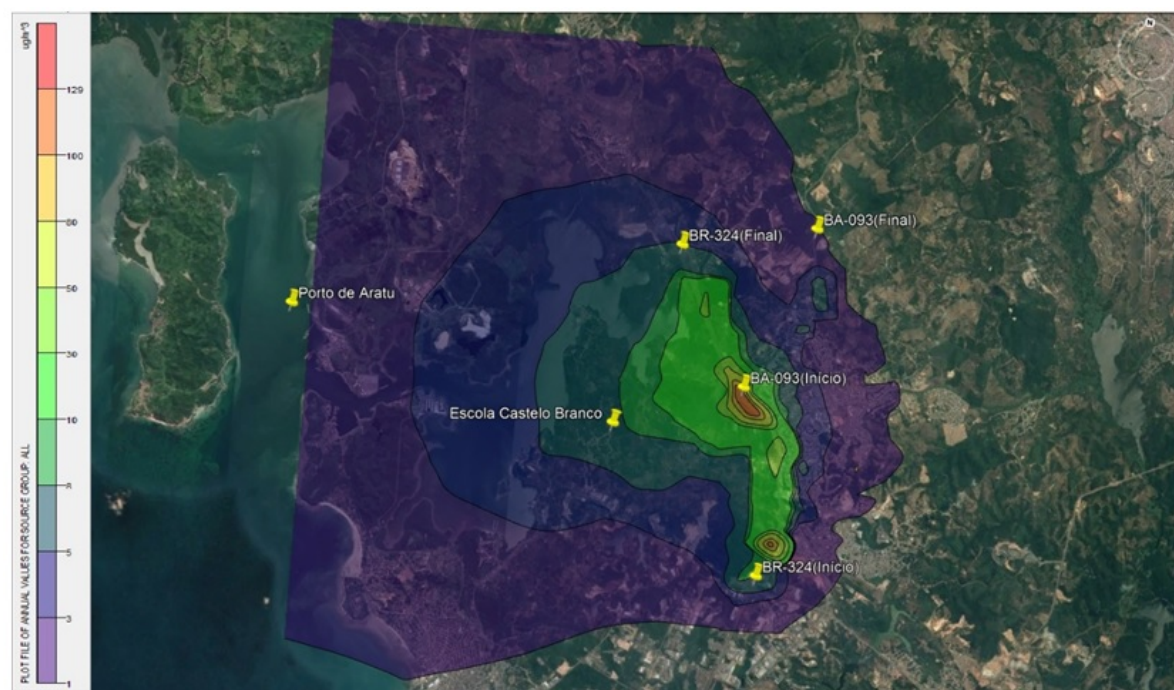


**Figura 2:Pluma obtida para a dispersão de MP<sub>2,5</sub>. Fontes:rodovias BR-324 e BA-093. Período:1 ano.**





**Figura 3. Pluma obtida para a dispersão de  $MP_{2.5}$ . Fontes: indústria eletrossiderúrgica e rodovias BR-324 e BA-093. Período: 24 h.**



**Figura 4. Pluma obtida para a dispersão de  $MP_{2.5}$ . Fontes: indústria eletrossiderúrgica e rodovias BR-324 e BA-093. Período: 1 ano.**

Para compreender o impacto da atividade da indústria eletrossiderúrgica de liga Fe-Mn comparou-se a pluma de dispersão sob influência das duas rodovias estudadas isoladamente para o período de 24 h, Figura 1, com a pluma de dispersão sob influência das duas rodovias estudadas em conjunto com a indústria eletrossiderúrgica de liga Fe-Mn para o período de 24 h, Figura 3. Pôde-se perceber que, comparando as concentrações máximas obtidas nas Figuras 1 e Figura 3, a contribuição das fontes veiculares correspondeu a 87,82 % deste valor, enquanto se pode afirmar que a presença da indústria eletrossiderúrgica de liga Fe-Mn

produziu um acréscimo de 13,9 % no valor máximo obtido para a concentração de  $MP_{2,5}$  disperso na região de Simões Filho.

De forma análoga, para o período de 1 ano, comparou-se a pluma de dispersão sob influência das duas vias estudadas isoladamente, Figura 2, com a pluma de dispersão sob influência das duas vias estudadas em conjunto com a indústria eletrossiderúrgica de liga Fe-Mn, Figura 4. Pôde-se perceber que, comparando a concentração máxima obtida na Figura 2 e na Figura 4, a contribuição das fontes veiculares correspondeu a 94,57 % do valor máximo, enquanto a indústria eletrossiderúrgica de liga Fe-Mn produziu um acréscimo de 5,7 % na concentração máxima registrada de  $MP_{2,5}$  na região de Simões Filho.

Além dos acréscimos observados, pôde-se perceber que a presença da indústria eletrossiderúrgica de liga Fe-Mn modifica o formato com que a pluma de poluentes se espalha na região. Sendo assim, é possível perceber que concentrações mais elevadas de poluentes alcançam regiões onde, para os cenários apresentados nas Figuras 1 e 2, possuíam concentrações mais brandas de poluentes. Portanto, além de contribuir para aumento da concentração de poluentes, a presença da indústria eletrossiderúrgica de liga Fe-Mn no cenário contribui para que concentrações intermediárias e elevadas de  $MP_{2,5}$  sejam observadas mais distantes das fontes, possuindo maior alcance na região.

Baseado nos resultados anteriores, pode-se afirmar que, entre as fontes investigadas, as maiores contribuintes para as concentrações de  $MP_{2,5}$  na região de Simões Filho foram as emissões veiculares oriundas das rodovias BR-324 e BA-093, mais especificamente a frota de veículos que trafegam na BR-324, devido ao maior fluxo de veículos nesta e sua extensão maior, comparada à rodovia BA-093.

Acredita-se, deste modo, que com o objetivo de diminuir substancialmente a emissão de  $MP_{2,5}$  no município estudado, deve-se propor medidas que visem diminuir as emissões mais especificamente as presentes na BR-324. Tais medidas podem incluir incentivos à utilização de combustíveis que não emitam ou emitam menos  $MP_{2,5}$ , como o álcool ou o GNV, para os veículos leves, e incentivos na região para manutenção periódica em veículos pesados, que utilizam obrigatoriamente diesel, a fim de manter os níveis de emissão mais próximos daqueles oriundos de fábrica, minimizando os efeitos deletérios do desgaste com o tempo, além da conservação das rodovias em bom estado de forma a proporcionarem um fluxo mais constante e sem grandes interrupções, evitando episódios de acelerações e desacelerações bruscas nesta região.

Adicionalmente, medidas mitigadoras também devem ser tomadas quanto à emissão de  $MP_{2,5}$  pela indústria eletrossiderúrgica estudada, pois embora a mesma contribua menos para a concentração máxima obtida, quando comparada às rodovias existentes, a composição do material particulado emitido por esta atividade, com presença de manganês, pode trazer graves riscos à saúde da população. Dessa maneira, a indústria em questão deve realizar um estudo para otimização do processo e adequação de procedimentos de forma a atenuarem as emissões de  $MP_{2,5}$ .

Segundo Bin Zou et al. (2010), o *software AERMOD View* apresenta uma maior exatidão para os resultados obtidos para simulações de fontes fixas e fontes móveis em conjunto do que para os resultados obtidos para simulações de fontes fixas e fontes móveis isoladas. O que corrobora para que os resultados mostrados nas Figuras 3 e 4 expressem melhor a realidade encontrada no município de Simões Filho.

Para a modelagem média anual no *AERMOD View* para as rodovias BR-324 e BA-093 com a indústria eletrossiderúrgica de liga Fe-Mn para  $MP_{2,5}$  em um período de 24 h de dispersão foram obtidos 238,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para o centro de Simões Filho, intersecção entre as duas rodovias estudadas, e 1,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para a região periférica de Simões Filho, distância de 15 km em relação à intersecção entre as duas rodovias. Para um período de 1 ano de dispersão, foram obtidos 129,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para o centro de Simões Filho e 1,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para a região periférica, distância de 15 km em relação à intersecção entre as duas rodovias. De acordo com tais valores, foram ultrapassados os padrões de qualidade da OMS para o período de 24 h (75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e de 1 ano (35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e a qualidade do ar foi classificada como péssima na região central de Simões Filho, segundo os parâmetros nacionais.

O resultado obtido pode ser o indicativo de possíveis consequências à saúde da população como agravamento dos sintomas respiratórios, agravamento de doenças pulmonares, como asma, e cardiovasculares, como infarto do miocárdio, como vem sendo registrado na literatura (SALDIVAS et al, 2010), além dos efeitos nocivos por componentes como o manganês, que tem sido encontrado em estudos na região. Diante disso, segundo a

CETESB (2016), recomenda-se que pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre para que a comunidade de Simões Filho possa se prevenir contra possíveis agravamentos à saúde.

## CONCLUSÕES

Na presente pesquisa, obtiveram-se as plumas de dispersão de  $MP_{2,5}$  na região de Simões Filho. Os resultados obtidos puderam ser validados com resultados obtidos experimentalmente, a partir da coleta de  $MP_{2,5}$ , obtendo-se resultados na mesma ordem de grandeza entre as simulações e o coletado.

Foi possível verificar que a emissão de  $MP_{2,5}$  na indústria eletrossiderúrgica de liga Fe-Mn, além de contribuir para aumento da concentração de poluentes, contribuiu para que concentrações intermediárias e mais elevadas fossem previstas mais distantes das fontes emissoras.

Baseando-se nos resultados obtidos, para as fontes consideradas, pôde-se afirmar que a maior contribuinte para a presença de  $MP_{2,5}$  na região de Simões Filho foi a frota de veículos que trafega nas rodovias BR-324 e BA-093, mais especificamente, os veículos que trafegam na BR-324. Deste modo, com o objetivo de diminuir substancialmente a emissão de  $MP_{2,5}$  no município estudado, deve-se propor medidas como incentivo à utilização de combustíveis que não emitam ou emitam menos  $MP_{2,5}$ , como o álcool ou o GNV, para os veículos leves e incentivos na região para manutenção periódica em veículos pesados, que utilizam obrigatoriamente diesel.

Entretanto, medidas mitigadoras também devem ser tomadas para a emissão de  $MP_{2,5}$  pela indústria eletrossiderúrgica de liga Fe-Mn. Acredita-se que realizar um estudo para otimização do processo e adequação de procedimentos para atenuarem as emissões de  $MP_{2,5}$ .

Por fim, pôde-se observar que os valores obtidos para concentração na região central de Simões Filho, considerando todas as fontes utilizadas, ultrapassaram os padrões de qualidade do ar da OMS e os padrões estipulados na Resolução CONAMA n. 491 de 19/11/2018 para  $MP_{2,5}$ , sendo a qualidade do ar avaliada como péssima, de acordo com os parâmetros nacionais. Este fato pode ser o indicativo de possíveis consequências à saúde da população e espera-se que estes resultados sirvam de base para o poder público e a iniciativa privada criem e implementem estratégias mais efetivas ao combate da poluição atmosférica na região de Simões Filho-BA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAIRD, C. e CANN, M. Química Ambiental. 3ª edição. Porto Alegre: Bookman. 2011.
2. BRASIL. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. 2013.
3. CETESB. Emissões veiculares no estado de São Paulo 2015. São Paulo. 2016.
4. COHEN, A.J.; ROSS ANDERSON, H.; OSTRO, B. *The global burden of disease due to outdoor air pollution. J. Toxicol. Env. Health A*. 2005.
5. COSTA, E. C. Caracterização do material particulado inalável na atmosfera e na vegetação urbana da cidade de Goiânia. EEC. UFG. p. 143. 2011.
6. DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. Quantidade de veículos por município, por ano de fabricação e combustível consumido (Junho de 2017). Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/610-frota-2017>>. Acesso em: 25, setembro, 2017.
7. E.E.A (European Environment Agency). *Emep/Eea Air Pollutant Emission Inventory Guidebook – 2009*. 2009
8. FARIAS, S. E. M. et al. Características das condições de tempo e clima e poluição do ar em Goiânia. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental – Goiânia (GO). 2012.
9. *Guideline for Ontario. Guidance for Demonstrating Compliance with the Air Dispersion Modelling Requirements. Ontario Regulation 419/05. Version 3.0*. 2016.
10. HABERMANN, M. & GOUVEIA, N. Tráfego veicular e mortalidade por doenças do aparelho circulatório em homens adultos. *Revista Saúde Pública*, 46 (1): p. 26-33. 2012
11. INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. Padrões de qualidade do ar: experiências da OMS, EUA e Europa. Brasil, São Paulo. 2013.
12. MANAHAN, S. *Environmental Chemistry. 10th edition, CRC Press*. 2017.



13. MENEZES-FILHO, J. A. et al. *Elevated manganese and cognitive performance in school-aged children and their mothers. Environmental Research* n. 111, p.156–163. 2011
14. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 491 de 19/11/2018. 2018.
15. NICOLUSSI, F. H. et al. Poluição do ar e doenças respiratórias alérgicas em escolares. *Revista Saúde Pública (RSP)*, 48 (2): p. 326-330. 2014.
16. SALDIVA, P. et al. Meioambiente e saúde: o desafio das metrópoles. Instituto Saúde e Sustentabilidade. Ex-Libris Comunicação Integrada. São Paulo. 2010.
17. SEINFELD, J. H. e PANDIS, S. N. *Atmospheric Chemistry and Physics – From Air Pollution to Climate Change. John Wiley & Sons, Inc., 3rd edition*, EUA. 2016.
18. TOLEDO, G. I. F. M. et al. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 14 (3): p. 445-454. 2011
19. ZOU, B. et al. *Performance of AERMOD at different time scales. Elsevier: Simulation Modeling Practice and Theory* 18, p. 612-623. EUA. 2010.