



X- 617 - MODELAGEM DA DISPERSÃO ATMOSFÉRICA DE POLUENTES PROVENIENTES DO FLUXO DE VEÍCULOS NA UFAL

Arthur Diegues Barros Rogério de Oliveira⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Alagoas.

Viviane Tavares Silva⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Alagoas.

Henrique Correia Moritz⁽³⁾

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Alagoas.

Karina Ribeiro Salomon⁽⁴⁾

Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Lavras. Mestrado em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Itajubá. Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá. Professora Associada IV do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Endereço⁽¹⁾: Campus A.C. Simões, Universidade Federal de Alagoas, Av. Lourival Melo Mota, S/N - Tabuleiro do Martins - Maceió - AL - CEP: 57072-970 - Brasil - Tel: (82) 3214-1868 - e-mail: arthur.rogerio@ctec.ufal.br

RESUMO

Os veículos automotivos são uma das principais fontes poluidoras do ar no meio urbano. O Campus A. C. Simões da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) possui um expressivo número de alunos e servidores que utilizam variados meios de transporte para frequentar a universidade, como a UFAL não possui uma rede de monitoramento da qualidade do ar que subsidie um diagnóstico e controle da poluição, logo, modelos matemáticos que estimam a concentração de poluentes são ferramentas importantes para a avaliação dos impactos. Este trabalho consistiu na avaliação da poluição veicular na avenida principal da UFAL, Maceió-AL por meio de simulações realizadas com o *software* AERMOD View. Foi estimado o fluxo total veicular a partir de contagens em horários de pico. A partir de dados meteorológicos, topográficos e das fontes de emissão, obtiveram-se distribuições de concentrações de partículas totais suspensas (PTS) e monóxido de carbono (CO) sobre a malha de receptores. Os mapas de dispersão obtidos mostraram que os poluentes se concentraram em torno das fontes e que as concentrações de PTS 24h e CO 8h estimadas estavam acima dos limites da Resolução CONAMA N° 491/2018. Foi comprovada a maior exposição a níveis mais elevados de poluição dos receptores às margens da avenida principal. Constatou-se que as condições meteorológicas e topográficas da UFAL favorecem a dispersão atmosférica de poluentes e que os veículos afetam significativamente a qualidade do ar da região.

PALAVRAS-CHAVE: Dispersão de poluentes, Qualidade do ar, AERMOD View, Veículos, Modelagem.

INTRODUÇÃO

O uso de combustíveis fósseis, emissões gasosas de processos industriais, veículos automotores e incêndios são as principais fontes de poluição do ar no Brasil (BRASIL, 2019). O setor de transporte é um dos maiores contribuintes em escala global para a geração de gases de efeito estufa e aquecimento global (MACÊDO; RAMOS, 2020).

As diversas fontes de poluição urbana, como processos industriais, emissões veiculares e incêndios, emitem uma série de compostos, como material particulado, dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), amônia e compostos orgânicos voláteis (COVs) (MIRANDA et al. 2012), que interagem na atmosfera, sofrem reações químicas e/ou fotoquímicas, assim como dispersam, diluem e depositam. Essa interação, quando combinada com as características climáticas e topográficas, pode gerar efeitos sinérgicos que agravam a poluição atmosférica e, assim, elevam os riscos relacionados à exposição a essa atmosfera.



O aumento da frota de veículos e o consequente aumento das emissões constituem um fator de risco para problemas de saúde da população exposta aos poluentes atmosféricos (BERTIN et al., 2015; COSTA et al., 2017). Nesse contexto, no Brasil, a frota de veículos cresce anualmente, e a poluição do ar pela emissão de poluentes pelos veículos é um desafio a ser superado. Na maioria das áreas urbanas do Brasil, a principal fonte de poluição considerada são os veículos (MIRANDA et al., 2012). Em Maceió, a frota total de veículos passou de 21.963 veículos, em 1990, para 364.071 veículos em 2020 (DETRAN-AL, 2023).

Apesar dos veículos gerarem e emitirem menos poluentes desde a década de 1990 no Brasil, a intensidade do tráfego e o elevado fluxo de veículos em circulação implicam no aumento da contribuição dessa fonte para a poluição da atmosfera urbana (MACÊDO; RAMOS, 2020). Portanto, é fundamental o controle da poluição veicular, que faz parte de uma gestão eficiente da qualidade do ar, atrelado ao cumprimento da legislação vigente, como a resolução CONAMA N° 491/2018 (BRASIL, 2018). No entanto, como Maceió não possui rede de monitoramento para avaliação satisfatória da qualidade do ar, instrumentos como modelos numéricos são necessários, pois estimam a concentração de poluentes emitidos, geram curvas de distribuição de concentração, permitem a verificação de impactos ambientais negativos e suprem a escassez de dados de monitoramento experimental (HOLMS; MORAWSKA, 2006).

Um modelo de dispersão amplamente utilizado para fontes pontuais, de área e de linha, como avenidas com tráfego de veículos, em ambientes rurais e urbanos, recomendado pela *US Environmental Protection Agency* (EPA) é o AERMOD. A partir de dados meteorológicos, dados de terreno e dados de fontes de emissão, eles geram curvas de distribuição Gaussiana para avaliar a dispersão da pluma de poluentes na camada limite atmosférica, de modo que estimativas das concentrações de poluentes sejam obtidas em uma malha de receptores, constituindo uma ferramenta muito útil e ferramenta promissora para avaliação da qualidade do ar (EPA, 2005).

Este estudo teve o objetivo de avaliar a dispersão de poluentes atmosféricos a partir do fluxo de veículos circulantes na Universidade Federal de Alagoas (UFAL), além de obter distribuições de concentração de partículas totais em suspensão (PTS) e monóxido de carbono (CO) por meio de simulações matemáticas realizadas pelo *software* AERMOD *view* e avaliar a contribuição da fonte móvel na qualidade do ar na UFAL.

MATERIAIS E MÉTODOS

MODELO AERMOD

O sistema de modelagem AERMOD consiste em um modelo de dispersão com os pré-processadores AERMET e AERMAP, incorporados ao sistema, que têm a função de fornecer o modelo com os dados meteorológicos e os dados do terreno e do receptor, respectivamente, para obter a distribuição da concentração de poluentes (EPA, 2004). O AERMOD pode ser utilizado na modelagem da dispersão de poluentes para receptores dentro de 50 km na área modelada (MOKHTAR; HASSIM; TAIB, 2014).

O sistema de modelagem AERMOD utilizado neste estudo foi executado com uma interface comercial, AERMOD *View* (versão 11.2) (*Lakes Environmental Software*, Canadá). O modelo estima concentrações horárias até médias anuais de poluentes seguindo um fluxo apresentado na Figura 1.

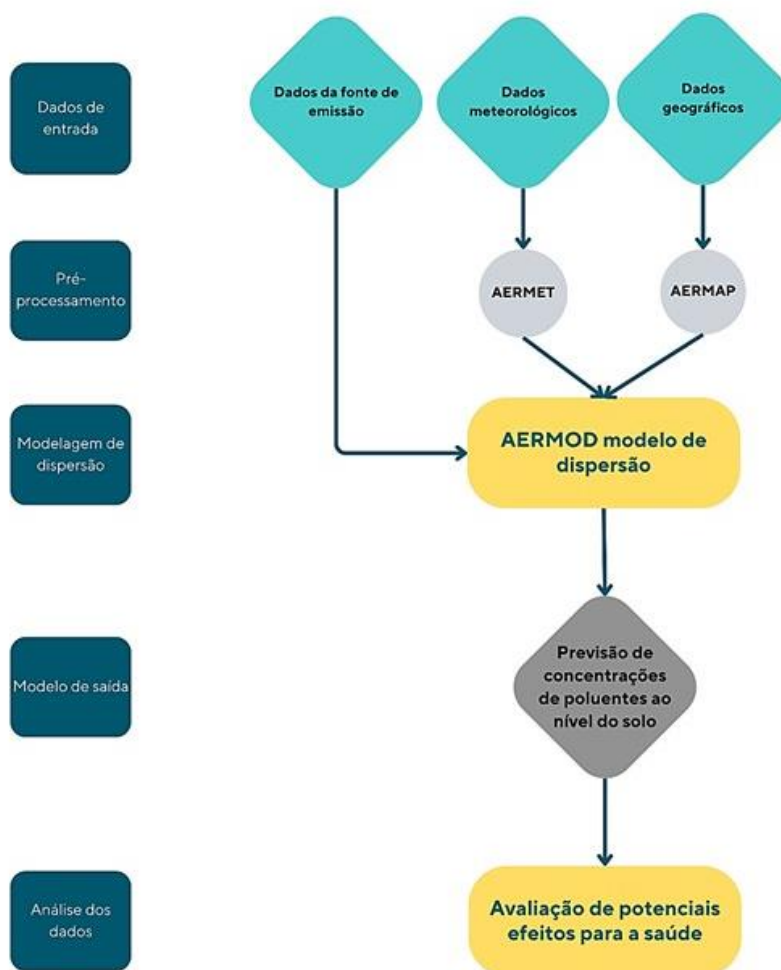


Figura 1: Fluxo no sistema de modelagem AERMOD.

ÁREA DE ESTUDO

O município de Maceió, estado de Alagoas, está situado na faixa costeira do nordeste oriental, com área de 509,320 km² e população de 957.916 habitantes, e área urbana de 233km², 99,93% da população maceioense é urbana (IBGE, 2021). Maceió possui uma frota total de 392.177 veículos, destes 208.052 são automóveis, 90.972 são motocicletas (DETRAN-AL, 2023).

A área de estudo está localizada dentro do Campus A. C. Simões, UFAL, em Maceió- AL, situada entre as coordenadas 9°33'11" de latitude sul e 35°46'55" de longitude oeste. O campus tem como vizinhança loteamentos populares e o Complexo penitenciário de Maceió e possui altitude variável de 80 a 100 m (CAVALCANTE, 2017).

A via de estudo compreende a Avenida principal da UFAL da região do portão de entrada até a região do Restaurante Universitário, em seus dois sentidos, totalizando uma extensão de 1,32 km para cada sentido da via e 20 m de largura no total (Figura 2).



Figura 2: Local de estudo, destacando a localização das vias que são objetos deste estudo.

DADOS METEOROLÓGICOS E ROSA DOS VENTOS

Para o processamento dos dados meteorológicos e geração da rosa dos ventos pelo pré-processador AERMET, foram utilizados os dados meteorológicos dos anos de 2020 e 2021, obtidos da estação meteorológica do Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares, pertencente à REDEMET da aeronáutica, localizado a uma distância aproximada de 9 km da UFAL.

CENÁRIO DE MODELAGEM NO AERMOD VIEW

O cenário de modelagem para simulação no AERMOD View consistiu em duas vias de tráfego de veículos, consideradas como fontes lineares, sendo representadas por uma linha na interface do *software*. Os poluentes considerados foram CO e PTS, as modelagens foram comparadas com as médias de concentração indicadas na resolução CONAMA N° 491/2018.

Os dados de elevação do solo processados pelo AERMAP foram da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM37) (EPA, 2004). A área de modelagem teve raio de 1 km com grade cartesiana uniforme, a liberação de poluentes e os receptores foram considerados ao nível do solo, sendo os receptores gerados automaticamente pelo *software*. Foram considerados veículos leves e motocicletas movidos a gasolina e veículos pesados, ônibus e caminhões, movidos a diesel e considerada a emissão de poluentes em toda a linha, proporcional ao número de veículos por categoria em um intervalo de tempo.

DADOS DE ENTRADA

Para este estudo, fatores de emissão, número de veículos e velocidade média do tráfego foram necessários como dados de entrada. Os fatores de emissão de poluentes pelos veículos (g/km) foram os apresentados no Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2021 (CETESB, 2021). O número de veículos que trafegaram nas vias foi determinado por contagem de veículos que passavam pela região central da UFAL em um dia aleatório e em três intervalos de tempo, a fim de avaliar as concentrações máximas de poluentes emitidos na avenida principal da UFAL.

As categorias contabilizadas foram motocicletas, veículos leves, caminhões e ônibus, sendo a contagem realizada para os veículos que trafegavam por ambas as vias nos horários de pico: 6:30h as 7:30h, 12:30h as 13:30h, 17:00h as 18:00h, para que fosse analisada a pior situação. Com base na contagem realizada, foi estimado o número de veículos que representou o fluxo diário veicular no trecho analisado.

A velocidade média do veículo (km/h) considerada foi de 40 km/h para todos os veículos, usando como referência a velocidade máxima permitida dentro do Campus. As taxas de emissão de cada poluente foram determinadas utilizando a metodologia aplicada por Macedo (2012) que multiplica o fator de emissão (EF) pela velocidade média (V_m) dos veículos considerados, conforme a Equação 1, e pelo número de veículos (N) que trafegaram pelo trecho modelado correspondente a 1 dia. As taxas de emissão de poluentes por categoria de veículo são apresentadas na Tabela 1.

$$\text{Taxa de emissão (g/s)} = [(EF \text{ (g/km)} \times V_m \text{ (km/h)}) / 3600 \text{ (s/h)}] \times N \quad \text{Equação (1)}$$

Tabela 1: Taxas de emissões (g/s) por poluentes e categorias de veículos. (*) CETESB (São Paulo), 2021.

Categoria	Fator de emissão (g/km) *		Veículos Estimados	Taxa de emissão (g/s)	
	CO	PTS		CO	MP
Leves	0,14	0,001	1910	2,971111	0,02122
Motocicletas	0,486	0,0035	527	2,8458	0,02049
Ônibus	0,472	0,025	450	2,36	0,125
Caminhões	0,155	0,009	12	0,020667	0,0012
Total			2899	8,197578	0,16792

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ELEVAÇÃO DO TERRENO E ROSA DOS VENTOS

A malha totalizou 441 receptores. A partir da inserção dos dados topográficos pelo AERMAP *View*, foram obtidas as elevações do terreno da área de estudo e a partir dos dados meteorológicos foi gerada uma rosa dos ventos pelo AERMET *View*. As elevações do terreno em relação ao nível do mar estão entre 53 e 112 m, sendo que avenida estudada está entre 80 e 100 m (Figura 3).

Percebe-se que a topografia é predominantemente plana, esta característica influencia positivamente na dispersão de poluentes, uma vez que as correntes de ar circulam mais livremente ao contrário do que ocorreria na presença de relevos com ondulações e orografia como montanhas, que frequentemente promovem condições atmosféricas estáveis que dificultam a dispersão atmosférica (RICHMOND-BRYANT, 2018).

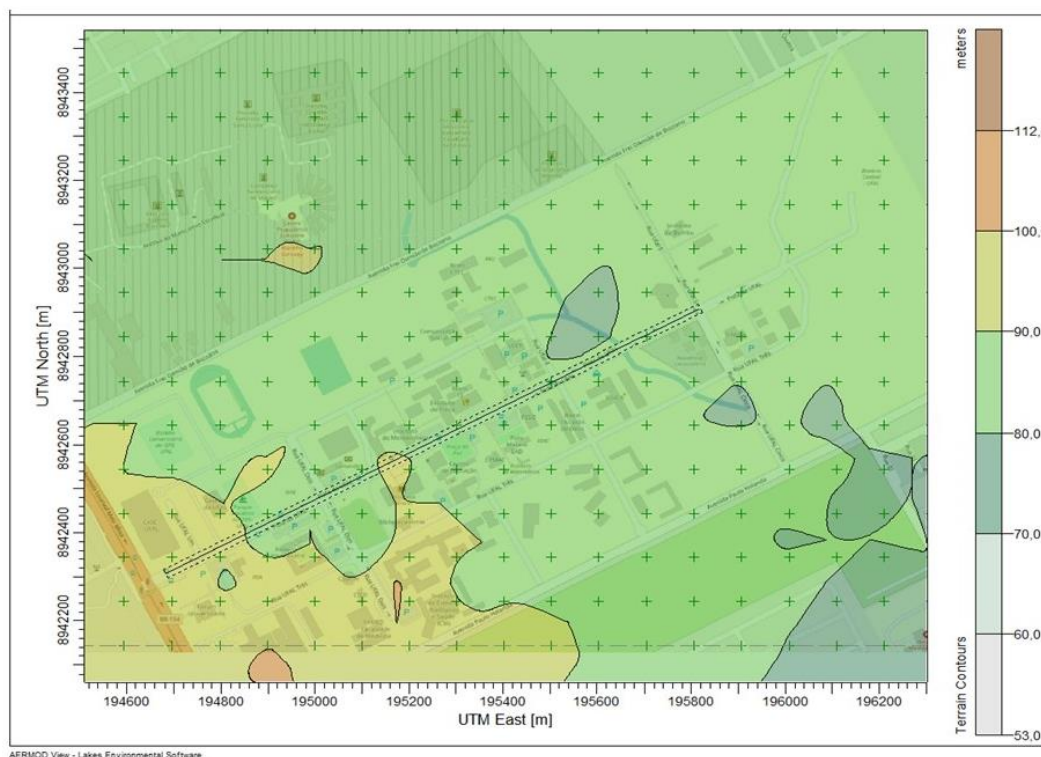


Figura 3: Curvas de elevação do terreno na área de domínio do modelo.

A rosa dos ventos (Figura 4), gerada pelo AERMET, indica, para a cidade de Maceió, uma predominância de vento nas direções nordeste, leste e sudeste, com velocidade variando de 0,5 m/s a 11 m/s, velocidade média anual de 3,67 m/s e calmaria de 4,3%. Esses valores mostram que Maceió possui condições meteorológicas que favorecem a dispersão de poluentes atmosféricos, com percentual de calmaria abaixo dos 5%, aliados ao clima quente e úmido.

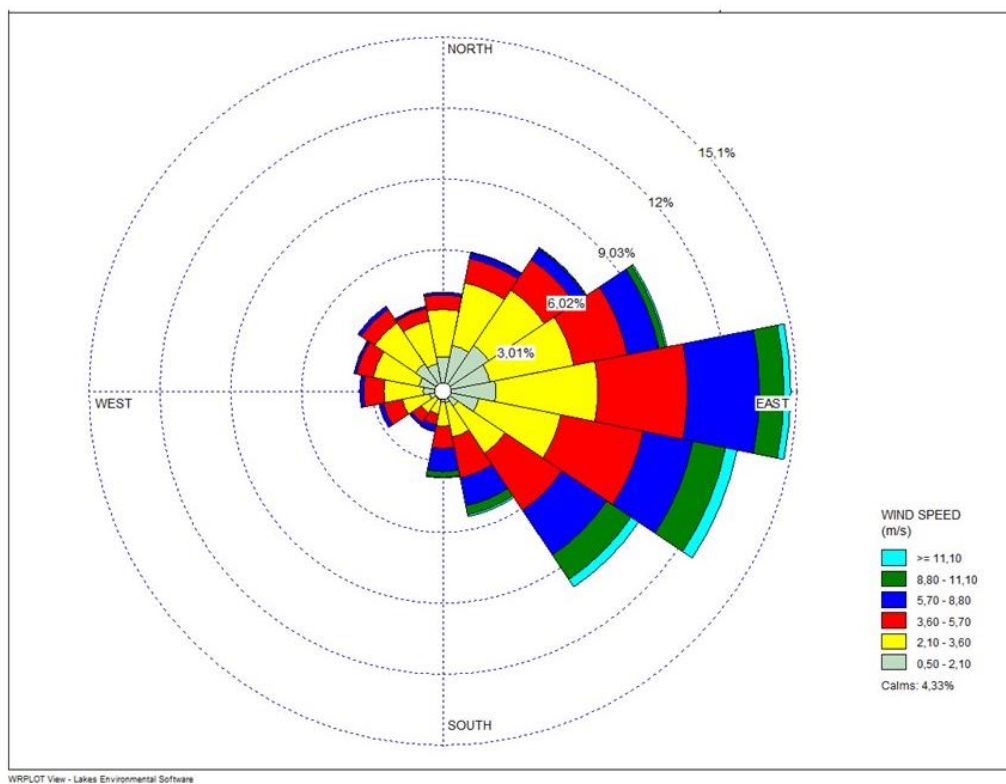


Figura 4: Rosa dos ventos obtida pelos dados meteorológicos de 2020 a 2021.

As classes de estabilidade predominantes obtidas com os dados meteorológicos foram A, B e C (Tabela 2), isto significa que neste período de dados, a atmosfera esteve instável na maior parte do tempo (Figura 5), o que facilita a dispersão dos poluentes, devido à turbulência gerada que caracteriza a instabilidade.

Tabela 2: Categorias de velocidade do vento e classificação de estabilidade atmosférica. Fonte: adaptado de *Lakes Environmental* (2018).

Velocidade do vento (m/s)	Classe
1,54	A - Extremamente instável
3,09	B - Moderadamente instável
5,14	C - Raramente instável
8,23	D - Neutro
10,23	E - Estável

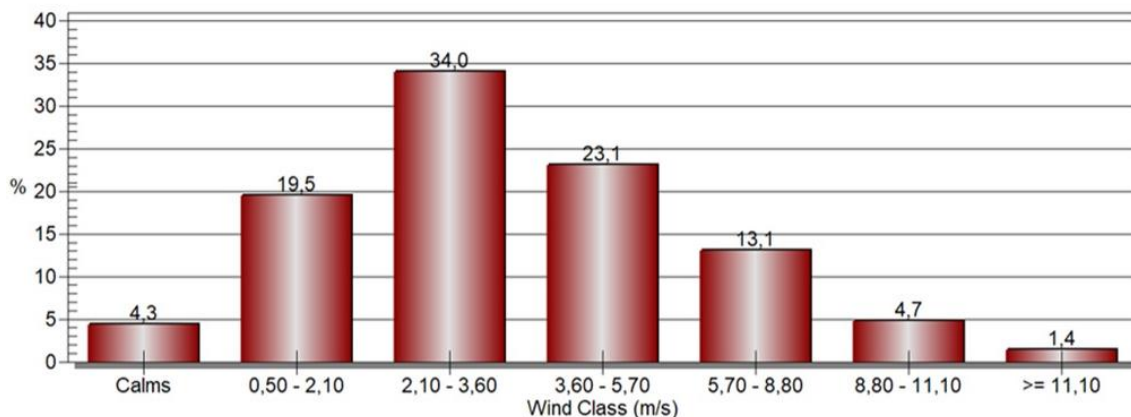


Figura 5: Distribuição da frequência das classes de estabilidade do vento de Maceió para os dados meteorológicos de 2020 e 2021.

SIMULAÇÃO AERMOD

MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

Os valores da média de 8h ultrapassaram o padrão de 9 ppm, aproximadamente $11100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, recomendado pela Resolução CONAMA N° 491/2018, atingindo concentração máxima de $24568 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 6), o que corresponde a mais que o dobro do limite indicado pela norma de preservação da qualidade do ar e da vida da população, e está acima de 15 ppm que representa a concentração de nível de atenção para o CO segundo a mesma resolução.

Observa-se que a pluma de CO de 8h tende a se dispersar na direção que sopram os ventos predominantes, porém os picos de concentração estão localizados ao redor da fonte, isso se deve ao fato de o lançamento de poluentes por veículos ocorrer próximo ao solo, pois a baixa altura de lançamento dificulta o deslocamento da pluma em direção ao vento, assim como observado por Macêdo e Ramos (2020).

A maior concentração de CO foi observada no ponto receptor correspondente a Unidade de Educação Infantil Professora Telma Vitoria, representando um fator preocupante devido a maior sensibilidade das crianças a poluição atmosférica.

De acordo com a Resolução CONAMA N° 491/2018, o valor padrão para a média de 8h não deve ser ultrapassado em um dia, desse modo, o resultado desta modelagem serve como alerta para a qualidade do ar da UFAL e os efeitos na saúde e bem-estar dos estudantes e servidores da universidade.

A principal via de exposição ao CO é a respiratória. Intoxicações agudas podem ser fatais. Os efeitos da exposição ao CO na saúde humana incluem hipóxia, ao formar carboxihemoglobina, inflamação, lesões neurológicas e cardíacas (ERNST; ZIBRAK, 1998; WEAVER, 2009).

Exposições subagudas de longo prazo ao monóxido de carbono com duração superior a 24 horas geralmente ocorrem de forma intermitente e podem durar semanas ou até anos. A incidência de exposição a longo prazo é desconhecida (WEAVER, 2009). Os sintomas de intoxicação crônica podem incluir fadiga crônica, estresse emocional, déficits de memória, dificuldade para trabalhar, distúrbios do sono, vertigens, neuropatia, parestesias, infecções recorrentes, policitemia, dor abdominal e diarreia (PENNEY, 2007).

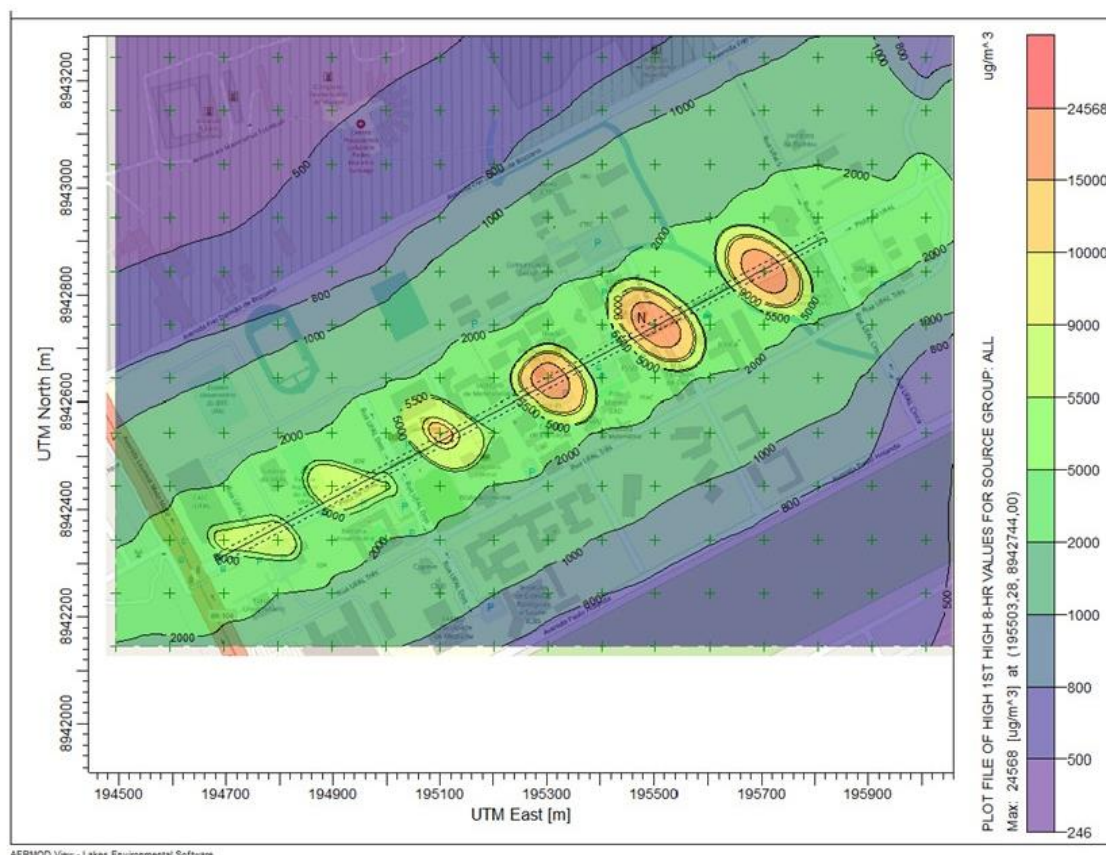


Figura 6: Mapa de dispersão de CO em 8h na região da avenida principal da UFAL. N: Unidade de Educação Infantil Professora Telma Vitoria.

PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS)

Os mapas de dispersão diário e anual para as concentrações de material particulado são apresentados, respectivamente, nas Figura 7 e Figura 8. Na Figura 7 observa-se que a concentração máxima de $248 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período de 24h, ultrapassa o padrão de qualidade do ar de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da Resolução CONAMA Nº 491/2018. Os valores anuais de concentração apresentados no mapa de dispersão (Figura 8) estão abaixo do limite da legislação pertinente ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a concentração anual máxima foi de $68,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Em estudo similar, Macêdo e Ramos (2020) encontraram concentrações máximas, diária e anual, abaixo dos limites permitidos pela Resolução CONAMA Nº 491/2018.

A dispersão da pluma de PTS ocorreu na direção em que sopram os ventos predominantes, com seis regiões de pico de concentração ao redor das fontes. Misra et al. (2013) também observou que as concentrações de PTS tendem a diminuir à medida que a distância da estrada aumenta.

Novamente a Unidade de Educação Infantil Professora Telma Vitoria foi a principal receptor de poluente, onde foram observadas as concentrações máximas diária ($248 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e anual ($68,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), o que representa um fator de alerta para a saúde dos alunos e funcionários da unidade. Em um estudo realizado por Gumede e Savage (2017), foi observado que 80% das crianças, entre 6 e 12 anos de idade, expostas a partículas em suspensão apresentaram funções pulmonares restritivas.

Problemas de saúde causados por partículas em suspensão incluem a morte prematura de pacientes cardíacos, problemas coronarianos como infartos e arritmias cardíacas, além de irritação das vias aéreas, principalmente em crianças, tosse e dificuldade respiratória (asma, bronquite e enfisema pulmonar), e, também, irritação nos



olhos e nariz, dor de cabeça (KUKADIA et al., 2003; EPA, 2006). As partículas em suspensão ainda podem causar danos à flora e à fauna, danos ao solo e à água (RESENDE, 2007).

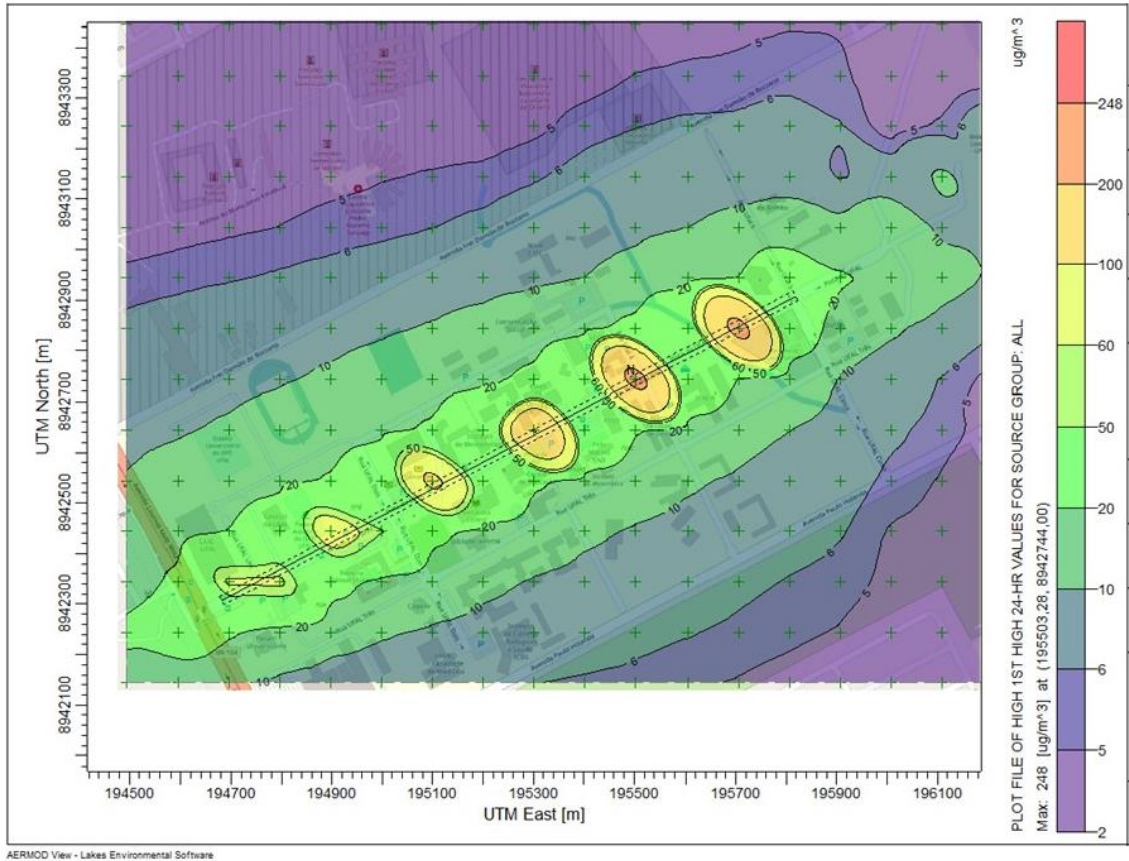


Figura 7: Mapa de dispersão diária de PTS na região da avenida principal da UFAL. N: Unidade de Educação Infantil Professora Telma Vitoria.

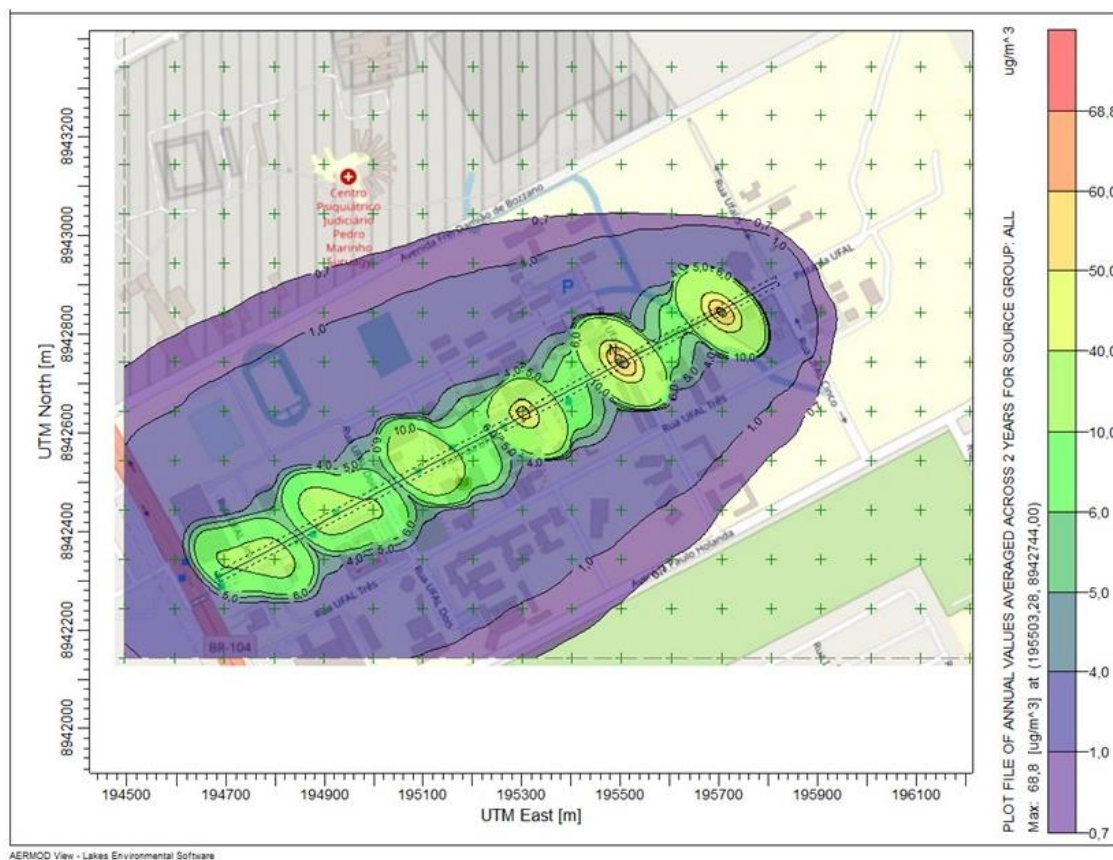


Figura 8: Mapa de dispersão anual de PTS na região da avenida principal da UFAL. N: Unidade de Educação Infantil Professora Telma Vitoria.

CONCLUSÕES

As simulações indicaram que as condições meteorológicas e as características topográficas do Campus A.C. Simões – UFAL, em Maceió, facilitam a dispersão de poluentes atmosféricos. O tráfego de veículos na avenida principal da UFAL contribui significativamente para as concentrações de monóxido de carbono e partículas totais em suspensão no ar, resultando na violação dos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 491/2018. As concentrações horárias de CO (8 horas) e PTS (24 horas) excederam o limite máximo permitido pela legislação, apresentando picos nas proximidades das vias de tráfego e gerando preocupação quanto ao risco de exposição, especialmente para as crianças e funcionários da Unidade de Educação Infantil Professora Telma Vitoria, que registrou as maiores concentrações dos poluentes modelados.

O modelo AERMOD demonstrou ser uma ferramenta eficaz para o estudo da dispersão de poluentes atmosféricos provenientes do tráfego de veículos. A modelagem de emissões de poluentes por veículos automotivos ainda representa um campo vasto e pouco explorado, devido à complexidade da poluição do ar e da dispersão de poluentes na atmosfera, além do número limitado de estudos realizados sobre essa temática.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERTIN, Mélanie et al. Association between prenatal exposure to traffic-related air pollution and preterm birth in the PELAGIE mother-child cohort, Brittany, France. Does the urban-rural context matter?. *Environmental research*, v. 142, p. 17-24, 2015.
2. BRASIL (2018) RESOLUÇÃO CONAMA 491 DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018. Cons. Nac. Meio Ambient. D.O.U. 21 nov. 2018, 1:155-156, Brasília, DF.
3. BRASIL (2019) Qualidade do Ar. Ministério do Meio Ambient Bras. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidadessustentaveis/qualidade-do-ar>. Acesso em: 07 mar. 2023.
4. CAVALCANTE, Juliana Costa et al. Caracterização dos efluentes líquidos produzidos no Campus AC Simões da Universidade Federal de Alagoas. 2017.
5. CETESB (São Paulo) (2021) Emissões veiculares no estado de São Paulo 2021. São Paulo: CETESB, 2022.
6. COSTA, Lucio G. et al. Neurotoxicity of traffic-related air pollution. *Neurotoxicology*, v. 59, p. 133-139, 2017.
7. DETRAN-AL. Estatística de frota. Detran Alagoas, [s.d.]. Disponível em: <http://indicadores.detrان.al.gov.br/estatistica/frota-2/>. Acesso em: 16 fev. 2023.
8. EPA-USA, US Environmental Protection Agency (2004) Aermol implementatio guide. Res Triangle Park, North Carolina, 2004.
9. EPA-USA, US Environmental Protection Agency (2005) 40 CFR part 51 revision to the guideline on air quality models adoption of a preferred general purpose (flat and complex terrain), dispersion model and other revisions; final rule. *Fed Regist United States* 70:68218- 68261.
10. EPA-USA, US. Environmental Protection Agency (2006) Particle pollution and health. US EPA, United States.
11. ERNST, Armin; ZIBRAK, Joseph D. Carbon monoxide poisoning. *New England journal of medicine*, v. 339, n. 22, p. 1603-1608, 1998.
12. GUMEDE, Phiywayinkosi R.; SAVAGE, Michael J. Respiratory health effects associated with indoor particulate matter (PM 2.5) in children residing near a landfill site in Durban, South Africa. *Air Quality, Atmosphere & Health*, v. 10, p. 853-860, 2017.
13. HOLMES, Nicholas S.; MORAWSKA, Lidia. A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available. *Atmospheric environment*, v. 40, n. 30, p. 5902-5928, 2006.
14. IBGE. Maceió. Cidades e Estados, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al/maceio.html>. Acesso em: 12 jun. 2023.
15. KUKADIA, Vina; UPTON, Stuart; HALL, David. Control of dust from construction and demolition activities. Watford, UK: Building Research Establishment, 2003.
16. Lakes Environmental (2018). Software AERMOD View 6.8.6.
17. MACÊDO, Maíra Feitosa Menezes; RAMOS, André Luis Dantas. Vehicle atmospheric pollution evaluation using AERMOD model at avenue in a Brazilian capital city. *Air quality, atmosphere & health*, v. 13, p. 309-320, 2020.
18. MACEDO, Roberta Lucho. Qualidade do ar em Campo Grande-MS: estudo das emissões por fontes móveis e sua dispersão. 2012.
19. MIRANDA, Regina Maura et al. Urban air pollution: a representative survey of PM 2.5 mass concentrations in six Brazilian cities. *Air Quality, Atmosphere & Health*, v. 5, p. 63-77, 2012.
20. MISRA, Aarshabh; ROORDA, Matthew J.; MACLEAN, Heather L. An integrated modelling approach to estimate urban traffic emissions. *Atmospheric Environment*, v. 73, p. 81-91, 2013.
21. MOKHTAR, Mutahharah M.; HASSIM, Mimi H.; TAIB, Rozainee M. Health risk assessment of emissions from a coal-fired power plant using AERMOD modelling. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 92, n. 5, p. 476-485, 2014.
22. PENNEY, David G. Chronic carbon monoxide poisoning: a case series. In: *Carbon Monoxide Poisoning*. CRC Press, 2007. p. 577-594.
23. RESENDE, Fernando. Poluição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
24. RICHMOND-BRYANT, J. et al. Factors associated with NO₂ and NO_x concentration gradients near a highway. *Atmospheric environment*, v. 174, p. 214-226, 2018.
25. WEAVER, Lindell K. Carbon monoxide poisoning. *New England Journal of Medicine*, v. 360, n. 12, p. 1217-1225, 2009.