



# **EFEITOS AMBIENTAIS DO TRÁFEGO: METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES E APLICAÇÃO À REGIÃO METROPOLITANA DE CAMPINAS**

***Palavras chaves: poluentes, tráfego, Rodovia Dom Pedro I, metodologia***

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

PEDRO SÁVIO RODRIGUES MILAGRES-200295

Orientador Docente: Dr. Pedro José Pérez Martínez.

Vigência: 2023/2024

## **1- Revisão Bibliográfica**

### **1.1 Introdução**

Durante o período de setembro/2023 a setembro/2024, foi realizada a pesquisa científica, iniciando pela Revisão Bibliográfica do tema de forma sistemática, levantamento de dados de transporte da Região Metropolitana de Campinas (RMC), investigação da metodologia de emissão do tráfego e a análise dos resultados obtidos, assim como a proposição de melhorias para o problema abordado. Foram utilizadas referências de diversas bases de dados científicos, por exemplo o *Scielo*, *Web of Science* e o *Science Direct*, além de sites de órgãos confiáveis, como arquivos das bibliotecas digitais da Unicamp, baseando-se em um recorte temporal de 15 anos. De forma simplificada, este resumo aborda os principais tópicos desenvolvidos na pesquisa, caracterizando a literatura científica e o método de pesquisa adotado.

### **1.2 Avaliação da emissão de gases oriundos do tráfego: causas e consequências**

A poluição do ar é um dos principais problemas ambientais da atualidade, comprometendo a saúde e a qualidade de vida da população, especialmente nos grandes centros urbanos. Segundo dados divulgados pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2022) por meio do relatório de Estatísticas Sanitárias Mundiais de 2022, a poluição atmosférica foi responsável por aproximadamente 7 milhões de mortes em 2016. Dessas, cerca de 4,2 milhões foram causadas diretamente pela poluição do ar ambiente, ou seja, aquele exterior às residências. Além disso, segundo o próprio relatório da OMS, cerca de 99% da população mundial respira níveis insalubres de partículas finas e dióxido de nitrogênio, prejudiciais à saúde humana.

Dentre as principais causas da poluição do ar estão as emissões oriundas do tráfego de veículos, principalmente nas regiões metropolitanas. Nos grandes centros urbanos, o fluxo dos modais rodoviários, tais como automóveis, ônibus, caminhões e motocicletas ocorre de forma intensa, em virtude da grande concentração de indústrias, zonas comerciais e zonas residenciais. Os principais gases oriundos das emissões veiculares são: óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), material particulado (MP), dentre outros compostos, descritos na tabela 1 (Cetesb, 2004). Em um veículo, a emissão destes poluentes podem ocorrer a partir do tubo de escapamento, por meio de vapores do sistema de alimentação de combustível, além de gases oriundos do cárter do motor e de sub-partículas originadas pelo desgaste dos freios e pneus (CETESB, 1987). Estes

poluentes, de forma geral, quando absorvidos pelo sistema respiratório, causam complicações e doenças agressivas à saúde humana, como o câncer de pulmão. De

acordo com a International Agency for Research on Cancer–IARC (IARC, 2013), a poluição do ar é considerada o mais significativo fator de risco ambiental para esse tipo de câncer, em razão do grande conjunto de agentes cancerígenos gerados pela emissão de motores a diesel, a gasolina e proveniente de processos industriais.

**Tabela 1:** Dados dos principais poluentes emitidos pelo tráfego de veículos

Poluentes	Características	Fontes Principais
Dióxido de Enxofre( $SO_2$ )	Gás incolor, com forte odor. Pode ser transformado a $SO_3$ , que, na presença de água, passa rapidamente a $H_2SO_4$ .	Processos que utilizam a queima de óleo combustível, refinaria de petróleo e veículos a diesel.
Monóxido de Carbono( $CO$ )	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.
Dióxido de Nitrogênio( $NO_2$ )	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode formar ácido nítrico, nitratos e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam gás ou óleo, incinerações.
Hidrocarbonetos ( $HC$ )	São a parcela de combustível não queimado ou parcialmente queimado. A maioria dos hidrocarbonetos são incolores e inodoros.	Expelido pelo motor dos veículos, bem como vapor de combustível emitido de diversos pontos do automóvel ou expelido durante o abastecimento do tanque.
Partículas totais em suspensão ( $PTS$ )	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas na atmosfera, na forma de poeira, fuligem ou fumaça.	Processos industriais, veículos motorizados(exaustão), queima de biomassa.
Partículas inaláveis ( $MP10$ ) e fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas na atmosfera, na forma de poeira, fuligem ou fumaça.	Processos de combustão(indústria e veículos automotores), aerossol secundário(formado na atmosfera).

Fonte: Cetesb, 2004

Os efeitos gerais sobre a saúde e o meio ambiente são comuns entre os gases poluentes, como por exemplo, a contaminação do solo, danos à vegetação natural, diminuição das resistências dos seres humanos às infecções bacterianas, aumento dos atendimentos hospitalares e de mortes prematuras (IARC, 2013). Inicialmente, a poluição do ar causa sintomas mais leves nos seres humanos, como mal estar, dor de cabeça, irritação nos olhos, garganta, dentre outros. Com o decorrer dos anos, a resposta inflamatória no sistema respiratório, causada pela inalação de poluentes no ar, pode prejudicar o funcionamento dos pulmões e do coração. Além disso, observa-se o agravamento de alergias respiratórias, sinusites, amigdalites, faringites, otites, bronquite, dentre outras doenças (IARC, 2013). Do mesmo modo, a poluição do ar pode causar alterações genéticas nas células daqueles sujeitos a grande exposição aos componentes tóxicos, causando particularmente o câncer de pulmão e de bexiga.

Segundo pesquisas do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Carvalho, 2011), cerca de 20% das emissões globais de  $CO_2$  são provenientes do tráfego de veículos nas vias urbanas. Em relação aos dados do Brasil, esse valor cai para 10%, de

acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Pela Cetesb, os veículos de São Paulo são responsáveis por 72,6% da emissão de gases do efeito estufa, mas

conseguem transportar apenas 30% dos usuários que utilizam os meios de locomoção locais ([Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2022](#)). Os impactos negativos diretamente causados pelo aquecimento global são vários, como o aumento do nível dos oceanos, alteração do regime das chuvas, inundações e a redução da biodiversidade. Segundo dados da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima ([UNFCCC, 2023](#)), divulgados em setembro de 2023, a temperatura da Terra pode aumentar em 2,6°C até o ano de 2100, em virtude do agravamento do aquecimento global, situação extremamente alarmante, principalmente por piorar a qualidade de vida dos seres vivos.

O principal objetivo deste projeto de pesquisa é aplicar uma metodologia para avaliar as emissões do tráfego na rodovia SP-065, conhecida como Rodovia Dom Pedro I, na região metropolitana de Campinas, utilizando dados da frota atual de veículos que utilizam a via. Dessa forma, objetiva-se contribuir para a análise de emissões de gases e, conseqüentemente, para a tomada de decisão com relação aos fatores ambientais e a poluição provenientes do tráfego, a fim de proporcionar condições adequadas, por meio de estudo científico, para a transformação do Brasil em um país com transporte eficiente e sustentável.

## 2- Dados de tráfego da Região Metropolitana de Campinas

Na tabela 2, são apresentados os dados do tráfego na Rodovia Dom Pedro I, em um dado trecho e no horário de pico, caracterizando os veículos de passeio, comerciais e as motocicletas. Ademais, explicitando de forma resumida, mas que ficou devidamente explicada no relatório final, foi utilizado o ArcGis Pro para a determinação do número de ônibus e veículos de carga que passavam pelo mesmo trecho da rodovia Dom Pedro I, no horário de pico. Os valores foram, respectivamente, 21 ônibus e 99 veículos de carga, dentre caminhões leves, médios e pesados. Estes dados serão utilizados posteriormente para o cálculo da quantidade de emissão total de cada poluente (em kg) por categoria veicular na via. Na tabela 3, por meio de dados fornecidos pela Cetesb, estão os fatores de emissão ( $em\ g.\ km^{-1}$ ) para cada categoria veicular.

**Tabela 2:** Dados do VDM que trafegam pela SP-065 no horário de pico

POSTO DE COLETA				HORA PICO		VDM (VOLUME MÉDIO DIÁRIO)				
Município	Km Inicial	Km Final	Extensão (em km)	Hora	Quantidade	Sentido	Passeio	Comercial	Moto	Total
Campinas	125.2	145.5	20,3	07:30 às 8:30	2894	NORTE	10836	1625	444	12905

**Fonte:** DER (Departamento de Estradas e Rodagem), Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo

**Tabela 3:** Fatores de emissão ( $g. km^{-1}$ ) em casos onde há apenas o número total de veículos por categoria

Categorias/ Poluentes	CO ( $g. km^{-1}$ )	NO <sub>x</sub> ( $g. km^{-1}$ )	RCHO ( $g. km^{-1}$ )	NMHC ( $g. km^{-1}$ )	CH <sub>4</sub> ( $g. km^{-1}$ )	MP ( $g. km^{-1}$ )	CO <sub>2</sub> ( $g. km^{-1}$ )
<b>Automóveis e veículos comerciais leves</b>	1,2	0,4	0,01	0,4	0,15	0,015	210,0
<b>Motocicletas</b>	3,0	0,15	-	0,5	0,1	0,010	210,0
<b>Caminhões leves, médios e pesados</b>	1,0	0,4	-	5,0	-	0,15	445,0
<b>Ônibus urbanos e rodoviários</b>	1,1	0,5	-	9,0	-	0,20	445,0

Fonte: Cetesb, 2021

### 3- Método de Pesquisa e Resultados

Com os fatores de emissão dados acima, então é possível calcular a quantidade total do poluente  $i$  emitido (em Kg) por uma frota de veículos  $X$ , em uma determinada via, a partir de um período de tempo  $t$  (em horas) e de um comprimento  $L$  (em Km), a partir da equação 1, dada abaixo (MMA, 2011). Esta quantidade de poluentes, de acordo com cada tipo de veículo, é dada na tabela 4.

$$E_{linha,i} = F_{r,j} * \left(\frac{F_{e,i}}{1000}\right) * L, \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

$$E_{linha,i} = \text{Quantidade total de emissão do poluente } i$$

$$F_{r,j} = \text{número de veículos que trafegam em na via em um período de tempo } t$$

$$F_{e,i} = \text{fator de emissão do poluente } i \text{ (em } g. km^{-1}\text{)}$$

$$L = \text{comprimento da via em estudo (em km)}$$

$$\text{Divisão por 1000} = \text{conversão de g para kg}$$

**Tabela 4:** Quantitativo de emissão total de cada poluente (kg) por categoria veicular em um trecho da rodovia Dom Pedro I (SP-065)

Categorias/ Poluentes	CO (kg)	NO <sub>x</sub> (kg)	RCHO (kg)	NMHC (kg)	CH <sub>4</sub> (kg)	MP (kg)	CO <sub>2</sub> (kg)
<b>Automóveis e veículos comerciais leves</b>	304,208	101,403	2,535	101,403	38,026	3,803	53236,344
<b>Motocicletas</b>	27,040	1,352	-	4,507	0,901	0,090	1892,772
<b>Caminhões leves, médios e pesados</b>	0,426	0,170	-	2,132	-	0,0639	189,704



Ônibus urbanos e rodoviários	2,211	1,005	-	18,087	-	0,402	894,317
------------------------------	-------	-------	---	--------	---	-------	---------

Fonte: Autoria Própria

## 4- Conclusão

Dessa maneira, por meio dos resultados acima, foi possível estimar a emissão total cada poluente decorrente do tráfego veicular, em um dado trecho, da rodovia Dom Pedro I, na Região Metropolitana de Campinas. Conseqüentemente, por serem valores expressivos, mostra-se a importância do monitoramento diário quanto aos dados de emissão na atmosfera, principalmente para a melhoria da qualidade do ar e conseqüentemente da saúde humana. Logo após o desenvolvimento final deste projeto, espera-se que ele seja diretamente relevante para o desenvolvimento científico e de políticas voltadas para a sustentabilidade, em relação ao tráfego de veículos, sobretudo nos grandes centros urbanos brasileiros.

## Referências Bibliográficas

BLANK, D. M. P. **O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas**. Mercator (Fortaleza), Universidade Federal do Ceará, v. 14, n. 2, p. 157–172, May 2015. ISSN 1984-2201. Disponível em: <https://doi.org/10.4215/RM2015.1402.0010>.

**objetiva de cálculo de emissões para a frota brasileira de veículos**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, v. 19, n. spe, p. 13–20, 2014. ISSN 1413-4152. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019010000284>.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. **EMISSIONES RELATIVAS DE POLUENTES DO TRANSPORTE MOTORIZADO DE PASSAGEIROS NOS GRANDES CENTROS URBANOS BRASILEIROS**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, abril de 2011. Acesso em: abril. 2024. Disponível em: [https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td\\_1606.pdf](https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf).

CARMO, R.; HOGAN, D. **Questões ambientais e riscos na região metropolitana de Campinas**. Novas Metrópoles Paulistas - População, Vulnerabilidade e Segregação, p. 581–604, 01 2006. CARVALHO, C. H. R. de. **Questões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. 04 2011. Acesso em: out. 2023.

Ministério do Meio Ambiente. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. 2011. Acesso em: maio/2024

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. 2022. Acesso em: jan. 2024. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/>.

EMTU. **Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo**. 2011. Acesso em: dez. 2023. Disponível em: <https://www.emtu.sp.gov.br/EMTU/home/home.htm>.

IARC. **I. A. for Research on C. Outdoor air pollution is a leading environmen - tal cause of cancer deaths**. 01 2013. Acesso em: nov. 2023.

OMS. **Estatísticas Sanitárias Mundiais 2022**. Acesso em: set.2023. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/4-4-2022-novos-dados-da-oms-revelam-que-bilhoes-pessoas-ainda-respiram-ar-insalubre>.

PDUI. **Região Metropolitana de Campinas (RMC)**. 2017. Acesso em: nov. 2023. Disponível em: <https://rmc.pdui.sp.gov.br/?pageid=127>.

RIBEIRO, A. G.; BAQUERO, O. S.; ALMEIDA, S. L. d.; FREITAS, C. U. d.; CARDOSO, M. R. A.; NARDOCCI, A. C. **Influência da densidade de tráfego veicular na internação por câncer do aparelho respiratório no município de São Paulo, Brasil**. Cadernos de Saúde Pública, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, v. 35, n. 1, p. e00128518, 2019. ISSN 0102-311X. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00128518>.