

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSIONES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO



1ª EDIÇÃO

2024



Secretaria de
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística



SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO

Governo do Estado de São Paulo

Tarcísio de Freitas - Governador do Estado de São Paulo

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística

Natália Resende - Secretária de Estado

Cetesb - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Thomaz Miazaki de Toledo - Diretor-Presidente

Cetesb - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Diretoria de Gestão Corporativa

Liv Nakashima Costa - Diretora

Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental

Adriano Rafael Arrepia de Queiroz - Diretor

Diretoria de Engenharia e Qualidade Ambiental

Carolina Fiorillo Mariani - Diretora

Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental

Mayla Matsuzaki Fukushima - Diretora

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

SÉRIE RELATÓRIOS

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

SÃO PAULO - 2024

Dados Internacionais de Catalogação

(CETESB, Biblioteca, SP, Brasil)

C418m CETESB (São Paulo)

Metodologia de cálculo do inventário de emissões veiculares no estado de São Paulo [recurso eletrônico] / CETESB ; Coordenação geral Vanderlei Borsari ; Coordenação técnica Marcelo Pereira Bales ; Equipe técnica Cristiane Dias, Marcelo Pereira Bales, Silmara Regina da Silva. — São Paulo : CETESB, 2024.

1 arquivo de texto (46 p.) : il. color., PDF ; 2 MB. - - (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103)

Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>>
ISBN 978-65-5577-090-2

1. Ar – poluição 2. Cálculo - emissões atmosféricas 3. Emissões veiculares – inventário 4. Poluentes gasosos – fontes móveis 5. São Paulo (BR) 6. Veículos automotores - emissões I. Título. II. Série.

CDD (21.ed. esp.) 629.2028 681 61
363.739 263 816 1
515 028 6816 1

CDU (2.ed. port.) 614.72:629.33/.36(815.6)
614.72:51-3 (815.6)

Catalogação na fonte: Margot Terada – CRB 8-4422

Direitos reservados de distribuição e comercialização.
Permitida a reprodução desde que citada a fonte.

© CETESB 2024.

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345
Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900

FICHA TÉCNICA

Diretoria de Qualidade Ambiental

Biol. Carolina Fiorillo Mariani

Diretor

Departamento de Fontes Móveis de Emissão

Met. Carlos Ibsen Vianna Lacava

Gerente

Coordenação Geral

Divisão de Emissões Veiculares

Tecnol. Vanderlei Borsari

Gerente da Divisão de Emissões Veiculares

Coordenação Técnica

Eng. Marcelo Pereira Bales

Gerente do Setor de Avaliação de Emissões Veiculares

Equipe Técnica

Eng. Cristiane Dias

Eng. Marcelo Pereira Bales

Adm. Silmara Regina da Silva

Distribuição

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros Tel. 3133.3000 -
CEP 05459-900 - São Paulo/SP - Brasil Este relatório está também
disponível na página da CETESB: <cetesb.sp.gov.br>

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	2
2.	Definições.....	5
3.	Poluentes Inventariados.....	10
4.	Cálculo das Emissões	14
4.1	Emissão de escapamento.....	14
4.2	Intensidade de uso	14
4.3	Fatores de Emissão de Escapamento e Autonomia.....	15
4.4	Ciclos de condução para obtenção da emissão de escapamento	17
4.5	Fatores de Deterioração.....	19
4.6	Emissão Evaporativa	19
4.7	Emissão de Abastecimento	21
4.8	Emissão de gases de efeito estufa	22
5.	Caracterização da Frota Circulante.....	25
6.	Combustíveis Automotivos	30
7.	Indicadores de Emissão e Atividade Veicular	33
8.	Incertezas Metodológicas	36
9.	Referências.....	39

Lista de Figuras

Figura 1 - Modelo Geral do Inventário.....	3
Figura 2 - Ciclo de condução de emissões para automóveis e comerciais leves	17
Figura 3 - Ciclo WMTC para ensaio de emissão para motocicletas e similares	18
Figura 4 - Ciclo de ensaio de emissão de motores para veículos pesados	18
Figura 5 - Veículo inserido para ensaio de emissão evaporativa na câmara SHED do laboratório de Emissão Veicular da CETESB em São Paulo	20
Figura 6 - Expulsão de vapor de combustível no processo de abastecimento	21
Figura 7 - Apresentação esquemática do tamanho das frotas	25
Figura 8 - Curvas de sucateamento das categorias de veículos.....	27

Lista de Quadros

Quadro 1 – Poluentes incluídos no Inventário.....	11
Quadro 2 - Razões CH_4/THC_{escap} para a decomposição de THC_{escap} em CH_4 e $NMHC_{escap}$	14
Quadro 3 - Taxa de evaporação de combustíveis	21
Quadro 4 - Potencial de aquecimento global dos GEE	22
Quadro 5 – Definição das categorias de veículos	25

INTRODUÇÃO

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

1. INTRODUÇÃO

Um inventário de emissões atmosféricas é, basicamente, um conjunto de dados obtidos a partir de fontes de poluição especificadas, numa dada área geográfica e num dado período. Ele pode fornecer subsídios para entender as relações entre as emissões e as concentrações ambientais de poluentes resultantes e, portanto, é um instrumento fundamental para estabelecer políticas e ações para assegurar que os padrões de qualidade do ar sejam respeitados e para o acompanhamento da eficiência das políticas públicas implantadas.

Desde 2011 a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB publica o Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo, onde apresenta as estimativas de emissão de poluentes oriundas da frota de veículos em circulação no Estado e nas regiões metropolitanas. Apresenta também as informações estatísticas originadas do PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - e do Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares - PROMOT (1), em especial os fatores de emissão dos veículos novos, informações históricas e projeções sobre as futuras fases desses programas.

A metodologia adotada para o cálculo das emissões de poluentes e gases de efeito estufa de origem veicular foi a apresentada no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (2), publicado pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA. Algumas modificações foram incorporadas com a publicação do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013: ano-base 2012: Relatório Final (3) e também por adaptações e estudos realizados pela CETESB ao longo dos anos.

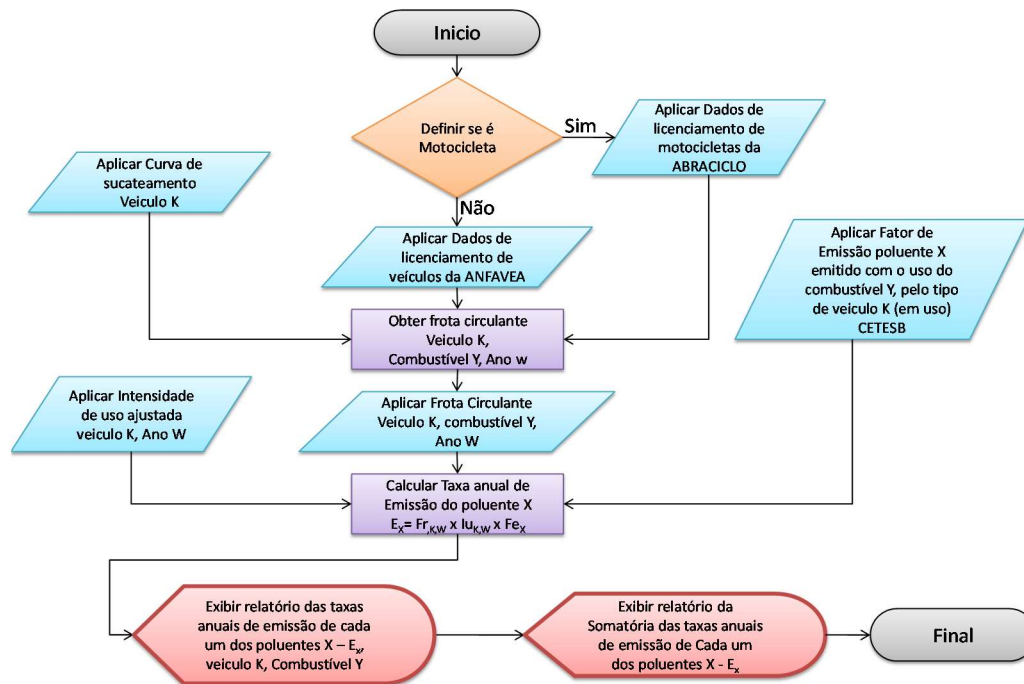
A metodologia aqui apresentada utiliza informações relativas à frota circulante, ao consumo aparente de combustível, fatores de emissão e autonomia específica para estimar as emissões. Também são apresentadas as definições das expressões mais utilizadas para o cálculo do inventário.

Figura 1 apresenta o modelo geral do inventário.

Todos os dados atualizados utilizados para o cálculo das emissões estão disponíveis para download no site da CETESB. Está garantida a disponibilidade da informação, pois os dados podem ser obtidos na forma interoperável, facilitando àqueles que irão fazer suas próprias análises.

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

Figura 1 - Modelo Geral do Inventário



LEGENDA

- Início e Fim: 
- Entrada e Saída de Dados: 
- Decisão: 
- Processo: 
- Geração de Relatório de Resultado: 

DEFINIÇÕES

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

2. DEFINIÇÕES

A seguir são listados e conceituados os termos específicos utilizados na metodologia desenvolvida. O conhecimento desses termos e conceitos facilita o entendimento da sistemática adotada e permite melhor seleção dos dados de entrada. Por consequência, é obtida uma melhor qualidade nos resultados e avaliações derivadas.

- **Autonomia específica (autonomia)**

É a distância que o veículo percorre utilizando um determinado volume de combustível. No Brasil é usualmente expressa na unidade quilômetros por litro (km/l) e erroneamente chamada de consumo de combustível (vide definição para essa expressão).

- ***Bottom-up***

Metodologia para se estimar emissão de poluentes a partir da frota, da distância percorrida e dos fatores de emissão dos veículos.

- **Compostos Orgânicos Voláteis – COV**

Compostos que possuem alta pressão de vapor sob condições normais a tal ponto de vaporizar significativamente e permanecer na atmosfera. São emitidos pelos processos evaporativos de combustíveis e solventes orgânicos, pela queima incompleta de combustíveis e por alguns processos industriais.

- **Consumo de combustível**

É o volume ou massa de combustível consumido por um veículo ou motor percorrendo uma determinada distância (veículo) ou produzindo determinada quantidade de trabalho mecânico (motor). Na Europa é comumente expresso em litros a cada cem quilômetros para veículos (l/100 km) e para os motores é usualmente expresso em gramas por quilowatt hora (g/kWh). Expressão pouco utilizada no Brasil. Quando o termo consumo se referir ao veículo, vide definição de autonomia.

- **Consumo aparente de combustível**

Quantidade de combustível vendido em determinada região geográfica. Obtido a partir dos dados fornecidos à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a partir de declaração de vendas dos distribuidores de combustíveis. Expresso em volume por ano.

- **Curva de sucateamento**

Função desenvolvida a partir de um modelo estatístico que aplicada à frota de veículos novos permite estimar a frota circulante, retirando parte dos veículos que saíram de circulação em função de sucateamento causado por acidentes com perda total, furtos sem recuperação, desmonte, abandono etc.

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

- **Emissão de escapamento**

Gases e partículas gerados pela queima de combustível no motor do veículo e lançados pelo tubo de escapamento do veículo. Podem ser poluentes locais e gases de efeito estufa.

- **Emissão evaporativa**

Gases gerados pela evaporação do combustível armazenado no tanque de combustível do veículo.

- **Emissão de abastecimento**

Gases emitidos pela expulsão do vapor do combustível armazenado no tanque do veículo durante o processo de abastecimento.

- **Etanol anidro**

Álcool etílico com teor de água próximo de zero que é misturado à gasolina A para formar a gasolina C. No Brasil, é obtido a partir da cana-de-açúcar e, portanto, é um combustível renovável.

- **Etanol hidratado**

Álcool etílico com teor de água próximo de 5% em volume, utilizado diretamente nos veículos movidos a etanol ou nos veículos *flex-fuel*. Também é obtido a partir da cana-de-açúcar, portanto é um combustível renovável.

- **Fator de emissão**

Massa de poluente emitida pelos veículos ao circular por uma determinada distância. A unidade usual é gramas por quilômetro (g/km). É determinado em laboratório de emissão veicular e publicado anualmente pela CETESB. Os fatores de emissão dos veículos pesados, caminhões e ônibus, são obtidos a partir de teste no motor e são expressos em massa de poluente por quantidade de trabalho mecânico realizado (g/kWh). Os fatores de emissão dos motores expressos em g/kWh passam por processo de cálculo que os converte para massa de poluente por quilômetro, como nos demais veículos.

- **Frota circulante**

Conjunto de veículos que se estima estarem circulando, independente de constar nos registros do órgão de trânsito. É calculada a partir das vendas de veículos novos nos últimos 40 anos submetidas às curvas de sucateamento. Espera-se que o número de veículos dessa frota seja maior que a licenciada, pois parte dos veículos circula sem licenciamento e é menor que a frota registrada, uma vez que ela estima o sucateamento de parte dos veículos vendidos.

- **Frota de veículos novos**

Conjunto de veículos que receberam o primeiro licenciamento no órgão de trânsito quando novos, em determinado período. Equivalente à frota de veículos “zero quilômetro” em determinado período.

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

▪ **Frota licenciada**

Conjunto de veículos que estão com a documentação e impostos regularizados e, portanto, se entende que estão em circulação. Estima-se que essa frota seja menor que a registrada, uma vez que os proprietários tendem a não licenciar um veículo que tenha saído de circulação.

▪ **Frota registrada**

Conjunto de veículos que receberam licenciamento no órgão de trânsito quando novos ou quando foram transferidos de outros estados e constam como existentes desde então, ou seja, seus registros continuam ativos. Normalmente a quantidade de veículos registrados é maior que a frota circulante, pois se sabe que muitos veículos deixam de circular e não sofrem o processo de baixa no respectivo registro.

▪ **Gases de efeito estufa (GEE)**

Gases emitidos também por veículos que não causam prejuízos significativos à saúde nos níveis ambientais encontrados, mas contribuem para o fenômeno do aquecimento global. O principal deles é o CO₂. Outros gases de efeito estufa considerados nesta metodologia são o metano e o óxido nitroso. A lista de GEE que fazem parte do escopo se encontra no Quadro 1.

▪ **Gasolina A**

Também chamada gasolina pura, não contém etanol em sua composição. Não é vendida nos postos de combustíveis. É obtida a partir do petróleo e, portanto, é um combustível fóssil ou não renovável.

▪ **Gasolina C**

Gasolina comercial vendida nos postos de combustíveis. Possui em sua composição etanol anidro, em percentual definido em legislação que varia de 18% a 27% em volume, conforme a época.

▪ **Gás Natural Veicular (GNV)**

Combustível fóssil formado basicamente por gás metano e utilizado em veículos convertidos com motor do Ciclo Otto que eram originalmente movidos a etanol hidratado ou gasolina C. Existem ainda veículos originais de fábrica movidos a GNV de pouca circulação no estado.

▪ **Intensidade de uso**

É a distância percorrida pelo veículo ao longo de um período. Nesta metodologia, o período é anual. É expressa em quilômetros por ano (km/ano).

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

▪ **Intensidade de uso ajustada**

É o quanto se estima que o veículo percorra em um ano, após comparar o volume de combustível calculado para determinada frota em uma região com o volume de combustível vendido na mesma região. Encontrada uma diferença, se ajusta a intensidade de uso para maior, se o calculado ficou abaixo do vendido, ou se reduz a intensidade de uso, caso o volume vendido for menor que o calculado.

▪ **Intensidade de uso de referência**

É a estimativa utilizada de quanto um veículo percorre em um ano. Varia em função do tipo de veículo e sua idade. Por exemplo, estima-se que um automóvel com um ano de uso percorra cerca de 20 mil quilômetros por ano, com 20 anos de uso percorra cerca de 10 mil quilômetros em um ano.

▪ **Motor do Ciclo Diesel**

Motor de combustão interna cuja queima do combustível se dá devido ao aumento da temperatura provocada pela compressão do ar. Utiliza diesel como combustível e não possui vela de ignição. No Brasil é normalmente utilizado nos caminhões, ônibus e em parte dos veículos comerciais.

▪ **Motor do Ciclo Otto**

Motor de combustão interna que emprega o ciclo termodinâmico do tipo Otto. A principal característica desse motor é a vela de ignição, que provoca a combustão. Normalmente utilizado nos automóveis, motos e em alguns veículos comerciais que utilizam gasolina C, etanol hidratado ou GNV como combustível. Também utilizado nos veículos tipo *flex-fuel*.

▪ **Poluentes locais**

Poluentes emitidos por veículos que diretamente ou indiretamente causam prejuízos à saúde. A lista de poluentes que fazem parte do escopo desta metodologia se encontra no Quadro 1.

▪ **Taxa de sobrevivência**

Utilizada no cálculo da estimativa da quantidade de veículos que ao longo dos anos continua em circulação. A taxa de sobrevivência é complementar à taxa de sucateamento. Ou seja, ano a ano, a probabilidade de o veículo estar em circulação diminui.

▪ ***Top-down***

Metodologia para se estimar emissão de poluentes a partir do consumo aparente de combustível da área geográfica em questão. Nesse caso, utilizam-se os fatores de emissão do combustível, não do veículo.

▪ **Veículo *flex-fuel* ou *flex***

Veículo cujo projeto permite o uso de gasolina C, etanol hidratado ou qualquer mistura entre os dois combustíveis.

POLUENTES INVENTARIADOS



METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

3. POLUENTES INVENTARIADOS

As emissões de gases poluentes de um veículo ocorrem após a queima de combustível no motor e são lançadas pelo sistema de escapamento. São os chamados gases de exaustão. Ocorrem ainda pela evaporação do combustível contido no tanque, em pontos como a tampa do bocal de abastecimento, as mangueiras de combustível, suas conexões, o respiro do tanque etc. Por último, ocorrem durante o processo de abastecimento de combustível. Conforme o tanque vai sendo preenchido pelo combustível, os vapores ali contidos são expulsos através do bocal de abastecimento.

No grupo dos gases de exaustão estão o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NO_x), os hidrocarbonetos não metano (NMHC), os aldeídos totais (RCHO), o dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado (MP). Nesse grupo estão também os gases de efeito estufa: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O).

As emissões evaporativas e de abastecimento são formadas por vapores de gasolina e etanol e definidas como hidrocarbonetos não metano (NMHC).

Compostos orgânicos voláteis

Os compostos orgânicos voláteis, ou COVs, são compostos químicos orgânicos cuja composição permite que evaporem em condições atmosféricas normais de temperatura e pressão. Os COVs são qualquer composto de carbono, excluindo monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbônico, carbonetos ou carbonatos metálicos e carbonato de amônio, e que possam participar de reações fotoquímicas atmosféricas. Os compostos orgânicos voláteis, ou COVs, são compostos químicos orgânicos cuja composição permite que evaporem em condições atmosféricas normais de temperatura e pressão. Os COVs são qualquer composto de carbono, excluindo monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbônico, carbonetos ou carbonatos metálicos e carbonato de amônio, e que possam participar de reações fotoquímicas atmosféricas.

Fonte: USEPA (4)

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

O **Quadro 1** apresenta os poluentes e gases de efeito estufa incluídos nesta metodologia.

Quadro 1 – Poluentes incluídos no Inventário

Poluentes	Automóveis e Comerciais Leves do ciclo Otto		Motocicletas		Veículos do Ciclo Diesel
	Gasolina C	Etanol Hidratado	Gasolina C	Etanol Hidratado	
Monóxido de carbono (CO)	✓	✓	✓	✓	✓
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	✓	✓	✓	✓	✓
Material Particulado (MP)	✓		✓		✓
Hidrocarbonetos não-metano (NMHC)(1)	✓	✓	✓	✓	✓
Metano (CH ₄)	✓	✓	✓	✓	✓
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	✓		✓		✓
Dióxido de carbono (CO ₂)	✓	✓	✓	✓	✓
Aldeídos (RCHO)	✓	✓			
Óxido Nitroso (N ₂ O)	✓	✓	✓		✓

(1) Emissões de escapamento, evaporativa e de abastecimento incluídas.

Outra fonte importante de material particulado é a ressuspensão do material depositado nas vias com a passagem dos veículos. Como existem poucos estudos no Brasil relativos à emissão por ressuspensão, esta forma de emissão não está considerada nesta metodologia.

Emissão de ressuspensão

Trata-se do material fino depositado nas vias que é lançado à atmosfera pelos ventos e pela movimentação dos veículos. Eventualmente, o fluxo de gases do escapamento dos veículos também pode provocar a ressuspensão de partículas. São diversas as fontes desse material de ressuspensão. O veículo é uma delas, por ter alguns componentes de desgaste, como os pneus e os sistemas de freio e embreagem. O próprio material particulado gerado pela queima de combustível também se deposita no pavimento e retorna à atmosfera por ressuspensão. Além do veículo, o próprio pavimento gera material particulado, assim como o ambiente no entorno (obras, indústrias, queimas diversas, solo e outras fontes naturais ou antrópicas), perda de material transportado etc.

As emissões podem ainda ser calculadas utilizando dois tipos de abordagem:

- *bottom-up*, na qual se considera a distância anual percorrida para cada tipo de veículo, além da quantidade de veículos, o fator de emissão, a autonomia e o volume de combustível consumido;
- *top-down*, na qual se utiliza o consumo aparente de combustível observado nas regiões de interesse. Os fatores de emissão estão relacionados ao tipo de combustível.

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

Para os poluentes monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos não metano (NMHC), aldeídos totais (RCHO) e material particulado (MP) utiliza-se a abordagem *Bottom-up*.

Para o cálculo das emissões de dióxido de enxofre (SO₂) utiliza-se a abordagem *top-down*. Destaca-se que, como a emissão de SO₂ é calculada em função do teor de enxofre máximo admitido pela especificação do combustível, é esperado que o combustível efetivamente consumido contivesse teores menores que o limite especificado. Assim, a emissão real desse gás pode ser menor que a estimada.

CÁLCULO DAS EMISSÕES



4. CÁLCULO DAS EMISSÕES

4.1 Emissão de escapamento

Para o cálculo da emissão de escapamento são necessários os dados de fator de emissão, intensidade de uso e número de veículos, por combustível, ano e categoria de veículos. A Equação geral para o cálculo das emissões de escapamento é dada pela:

Equação 1: $E = I_u \times F_e \times F_r$

Onde:

E = Massa de poluente emitida no período considerado (g/ano);

I_u = Intensidade de uso média anual percorrida pelo veículo (km/ano);

F_e = Fator de Emissão do tipo de veículo, do poluente e do combustível utilizado (g/km);

F_r = Frota circulante, por tipo de veículo e por ano (número de veículos).

4.2 Intensidade de uso

A distância percorrida pelo veículo ao longo de um ano é a intensidade de uso. Para cada categoria e idade de veículo é estabelecida uma intensidade de uso de referência. Como referência da distância média anual percorrida foram utilizados os dados constantes no relatório “Curvas de intensidade de uso por tipo de veículo automotor da frota da cidade de São Paulo”, publicado em 2014 pela CETESB (5). As curvas dos veículos *flex-fuel* foram atualizadas em 2016. As curvas dos veículos dedicados a etanol são ajustadas ano a ano, de acordo com a sua idade, uma vez que este tipo de veículo teve a produção descontinuada no ano de 2006. Estão disponíveis os valores empregados como intensidade de uso de referência para cada tipo de veículo em até 40 anos de uso.

Os valores de intensidade de uso de referência dos veículos foram ajustados ao consumo aparente de combustível rodoviário observado no estado de São Paulo, a partir de informações fornecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A intensidade de uso ajustada é calculada de acordo com a Equação 2.

Equação 2: $I_{u,i,ajustada} = I_{u,referência} \times (C_{observado}/C_{estimado})$

Onde:

$I_{u,i,ajustada}$ = Intensidade de uso anual ajustada do tipo de veículo (km/ano);

$I_{u,referência}$ = Intensidade de uso anual de referência do tipo de veículo (km/ano);

$C_{observado}$ = Consumo aparente de combustível anual (l/ano);

$C_{estimado}$ = Consumo de combustível da categoria de veículo, estimado pela relação entre os valores de intensidade de uso de referência (km/ano) e autonomia (km/l).

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

4.3 Fatores de Emissão de Escapamento e Autonomia

Fator de emissão é a massa de poluente emitida pelos veículos ao circular por uma determinada distância ou, no caso de motores, ao produzir determinada quantidade de trabalho mecânico.

Esses valores são publicados, anualmente, pela CETESB a partir de informações recebidas dos fabricantes ou importadores de veículos ou motores por meio dos Relatórios de Valores de Emissão de Produção (RVEP) e dos Relatórios de Vendas, quando existentes. Na ausência desses, são utilizados fatores de emissão da homologação ou descritos na literatura.

Os RVEP são elaborados pelos fabricantes e importadores após realizar ensaios de emissão em amostras dos veículos ou motores destinados ao mercado brasileiro. Os dados de emissão de cada veículo ensaiado são tratados estatisticamente e são calculados os valores médios de emissão em função da participação de cada modelo no mercado.

Para os automóveis, comerciais leves e motocicletas, os fatores de emissão dos hidrocarbonetos totais (THC) são apresentados separadamente para hidrocarbonetos não metano (NMHC) e metano (CH_4).

Na ausência de alguns dos valores, THC ou NMHC, para o cálculo da emissão de CH_4 , foi utilizada a razão CH_4/THC apresentada no 1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários (2). O **Quadro 2** apresenta os valores dessa razão.

Quadro 2 - Razões $\text{CH}_4/\text{THC}_{\text{escap}}$ para a decomposição de $\text{THC}_{\text{escap}}$ em CH_4 e $\text{NMHC}_{\text{escap}}$

Tipo de veículo	Combustível	Razão $\text{CH}_4/\text{THC}_{\text{escap}}$
Automóveis e Comerciais Leves produzidos até 1993 (sem catalisadores)	Gasolina C	15%
	Etanol Hidratado	15%
Automóveis e Comerciais Leves produzidos a partir de 1994 (com catalisadores)	Gasolina C	24,9%
	Etanol Hidratado	26,6%

Fonte: BRASIL, 2011 (2)

Os ensaios dos motores dos veículos comerciais leves que utilizam motores do ciclo diesel podiam, a critério do fabricante, ser realizados como veículos leves ou como veículos pesados (ensaios de emissão dos motores). Essa possibilidade foi excluída entre os anos de 2012 a 2022 quando todos os modelos foram ensaiados como veículos leves. A opção de ensaio do veículo comercial leve como veículo pesado retornou com a Fase P8, a partir de 2023.

Os valores do fator de emissão de motores diesel para veículos pesados são calculados originalmente em g/kWh e convertidos em g/km . Para essa conversão foram utilizadas as Equações 3 e 4, conforme metodologia apresentada no inventário nacional (2), dependente do consumo específico de combustível e dos valores de autonomia dos veículos.

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

$$\frac{g_{poluente}}{km} = \frac{g_{poluente}}{g_{diesel}} \times \frac{g_{diesel}}{L_{diesel}} \div \frac{km}{L_{diesel}} \quad (3)$$

Onde,

$$\frac{g_{poluente}}{g_{diesel}} = \frac{g_{poluente}}{kWh} \div \frac{g_{diesel}}{kW} \quad (4)$$

A partir da edição de 2013 os valores de autonomia dos ônibus urbanos e micro-ônibus foram obtidos a partir de dados da SPTRANS – São Paulo Transporte. Esses dados foram utilizados para o cálculo do inventário do estado por entender que as maiores frotas de ônibus urbanos estão concentradas nas regiões metropolitanas do estado e possuem um perfil de operação (tráfego e carregamento - variáveis que influenciam diretamente a autonomia) similar ao município de São Paulo.

O edital de concorrência da prestação de serviço de transporte coletivo público de passageiros publicado pela prefeitura de São Paulo em 2015 apresentou novos valores de autonomia para ônibus urbanos (6). Esses valores foram incorporados aos cálculos e podem ser obtidos no site da Cetesb no item “Fator de Emissão” (Fator de emissão de veículos pesados com motores do ciclo Diesel em g/km), do respectivo ano.

Os fatores de emissão de CO₂ para veículos do ciclo Otto e Diesel foram obtidos do Inventário Nacional (3). No caso do N₂O e CH₄ para veículos do ciclo Diesel foram obtidos em IPCC (7). Para os veículos do ciclo Otto foram obtidos do IPCC (7) e BORSARI (8).

Os fatores de emissão para as motocicletas nos anos de 2003 a 2012 foram calculados a partir dos dados de homologação obtidos do Promot e ponderados pelas vendas. A partir de 2013 foram obtidos a partir de dados dos Relatórios de Valores de Emissão de Produção (RVEP) e são apresentados em duas categorias: menor ou igual a 150 cilindradas e maiores que 150 cilindradas, separados ainda por gasolina, *flex*-gasolina e *flex*-etanol. A partir da fase M4 os limites de emissão são classificados pela velocidade máxima, porém os fatores de emissão continuarão a ser classificados pela cilindrada. Os fatores de emissão dos ciclomotores são apresentados separadamente, porém para o cálculo das emissões esse tipo de veículo está contemplado juntamente com a categoria motocicletas.

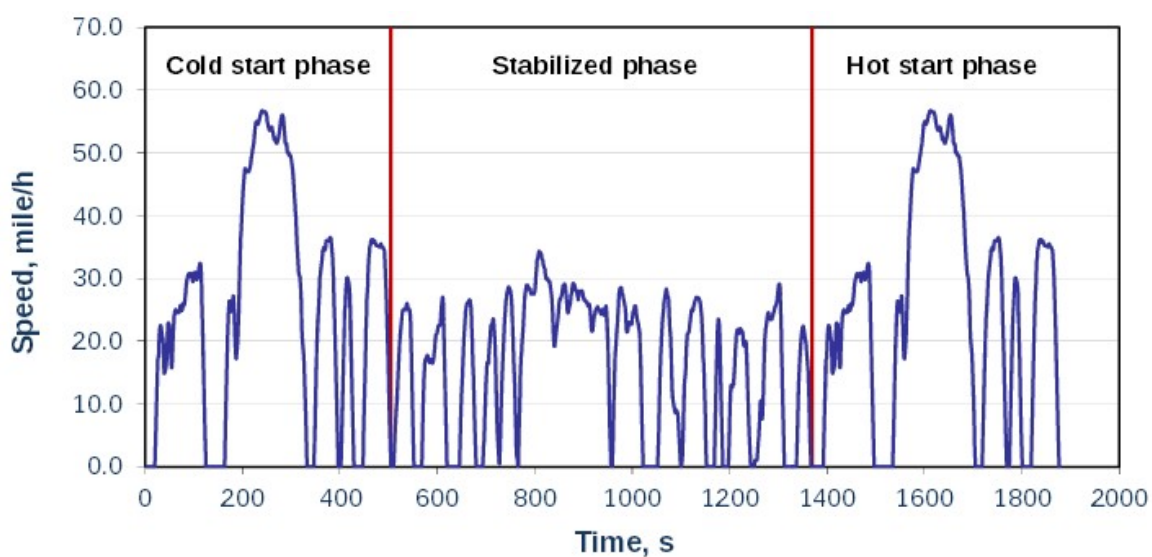
Atualmente não são comercializados veículos novos desenvolvidos para usar GNV. Entretanto, por determinado período foram realizadas homologações de conversões de veículos. Os fatores médios de emissão de veículos convertidos para uso do GNV conforme as normas do Proconve vigentes à época.

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

4.4 Ciclos de condução para obtenção da emissão de escapamento

A **Figura 2** apresenta o ciclo de condução utilizado para a realização dos ensaios de emissões e autonomia no ciclo urbano nos automóveis e comerciais leves do ciclo Otto, prescrito pela norma ABNT NBR 6601 (9). Ele é dividido em três fases: partida com o motor frio, transiente e partida com o motor quente. O ciclo percorre 18 quilômetros e tem duração total de cerca de 40 minutos, incluindo o intervalo de 10 minutos entre a segunda e a terceira fases, quando permanece desligado.

Figura 2 - Ciclo de condução de emissões para automóveis e comerciais leves

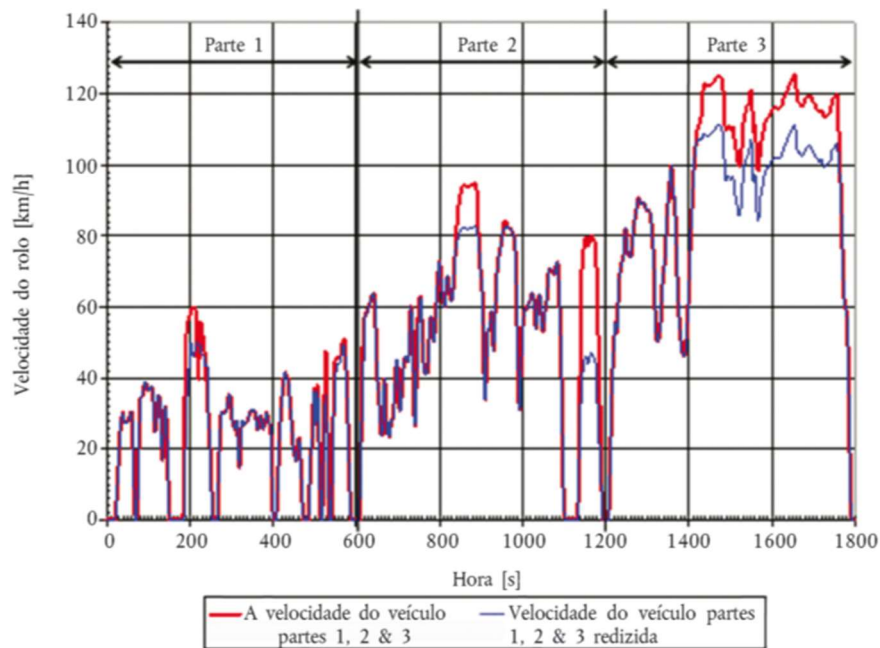


Fonte: DIESELNET (10)

A Figura 3 apresenta o novo ciclo para motocicletas, adotado no Brasil a partir de 2014, o *World-wide Motorcycle Test Cycle* (WMTC), em substituição ao ciclo padrão europeu utilizado até então. Esse ensaio é determinado conforme a norma ABNT NBR 16369 (11).

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

Figura 3 - Ciclo WMTc para ensaio de emissão para motocicletas e similares

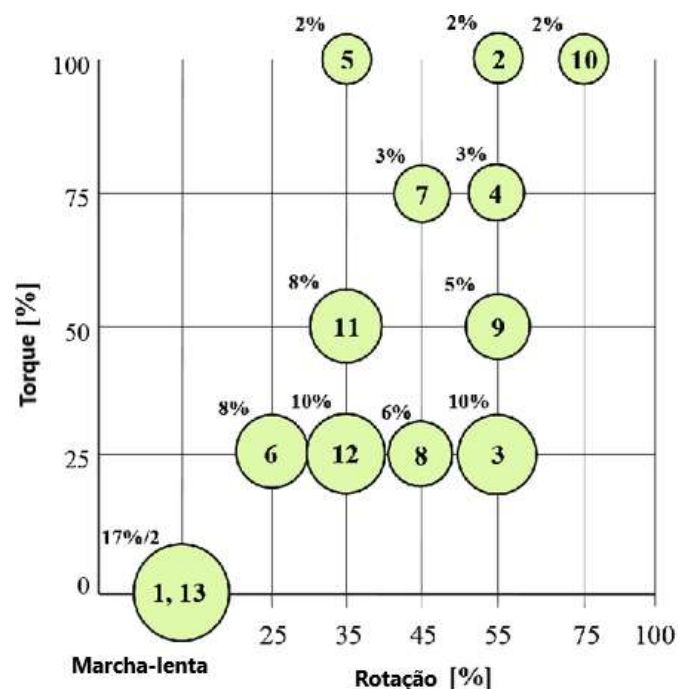


Fonte: EUROPA (12)

Nota: onde se lê "redizida", leia-se "reduzida".

A Figura 4 mostra o ciclo de ensaio do motor *World Harmonized Stationary Cycle (WHSC)*, utilizado no ensaio de emissão de motores de veículos pesados que geram dados para o cálculo dos fatores de emissão. No ciclo, o motor é levado a 13 diferentes condições de carga e rotação. As emissões são obtidas a partir de cada condição e ponderadas pelos percentuais mostrados na Figura 5.

Figura 4 - Ciclo de ensaio de emissão de motores para veículos pesados



Fonte: Adaptado de United Nations Economic Commission for Europe (13)

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

4.5 Fatores de Deterioração

As emissões de escapamento são alteradas de acordo com a idade do veículo, a quilometragem anual percorrida, as condições de manutenção e os padrões de condução do veículo. Os dados sobre os fatores de emissão em condições reais de uso no Brasil são escassos.

O Inventário Nacional (2) estabelece incrementos médios de emissões por acúmulo de rodagem, para automóveis usando Gasolina C e Etanol Hidratado, baseados em dados do Proconve. Os valores foram determinados para os poluentes CO, NO_x, NMHC e RCHO e devem ser adicionados aos fatores de emissão a cada 80.000 km. Não foram empregados fatores de deterioração para veículos do ciclo Diesel e para a categoria motocicletas devido à falta de dados ou estudos validados.

4.6 Emissão Evaporativa

O cálculo das emissões evaporativas baseou-se na metodologia apresentada por VICENTINI (14) no Inventário Nacional (2), adaptada para as condições locais a partir do *Tier2* do Guia Europeu para Inventário de Emissões.

Foram utilizados como dados de entrada os valores de emissão evaporativa que constam nos processos de homologação para atendimento do Proconve, além de outros dados, como frota, número de viagens diárias e tecnologia empregada nos motores dos veículos.

A emissão evaporativa é obtida a partir de ensaio específico, determinado pela norma ABNT NBR 11481 (15) e pela norma ABNT NBR 16927 (16) - a partir da fase Proconve L7. A principal diferença entre as normas é no tempo da fase *diurnal*, de 1 hora na primeira e de 48 horas na segunda norma. O ensaio é realizado com equipamento denominado SHED, acrônimo para a expressão em inglês *Sealed Housing for Evaporative Determination*. Trata-se de uma câmara selada, onde o veículo é inserido e sua emissão de vapor de combustível é mensurada pela concentração de hidrocarbonetos ao final do ensaio. O ensaio evaporativo é dividido em duas fases. A fase *diurnal* é realizada para mensurar o vapor de combustível emitido em consequência da exposição ao sol com o carro frio. A fase *hot soak* é realizada para quantificar a emissão de vapor de combustível devido ao aquecimento do motor após o uso. Esses resultados são utilizados para o cálculo do *running losses*, fator que representa a emissão evaporativa do veículo em funcionamento.

Para os veículos movidos a etanol, no período de 2002 a 2007 foram obtidos valores da emissão evaporativa por meio de regressão logarítmica, utilizando os dados históricos dos fatores de emissão de veículos movidos a etanol.

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

A Equação 3 foi utilizada para o cálculo de emissão evaporativa.

Equação 3:

$$E_{cov} = \sum_s D_s \times \sum_j N_j \times (HS_j + e_{dj} + RL_j)$$

Onde:

E_{cov} = Emissões evaporativas de hidrocarbonetos anuais (g)

D_s = Números de dias no qual o fator de emissão deve ser aplicado

N_j = Quantidade de veículos na categoria inventariada

HS_j = Média diária *hot soak* (g/dia)

e_{dj} = Média diária da emissão na fase *diurnal* (g/dia)

RL_j = Média diária da emissão na fase *running losses* (g/dia)

A **Figura 5** mostra um veículo inserido na câmara SHED do Laboratório de Emissões Veiculares da CETESB em São Paulo.

Figura 5 - Veículo inserido para ensaio de emissão evaporativa na câmara SHED do laboratório de Emissão Veicular da CETESB em São Paulo



METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

4.7 Emissão de Abastecimento

Os combustíveis do segmento automotivo passam por diversos processos de armazenagem, transporte e transferência. Todos esses processos são potenciais geradores de emissão de vapores de combustíveis. Esses vapores, classificados como compostos orgânicos voláteis (COV), além de serem poluentes, também são importantes precursores do poluente ozônio.

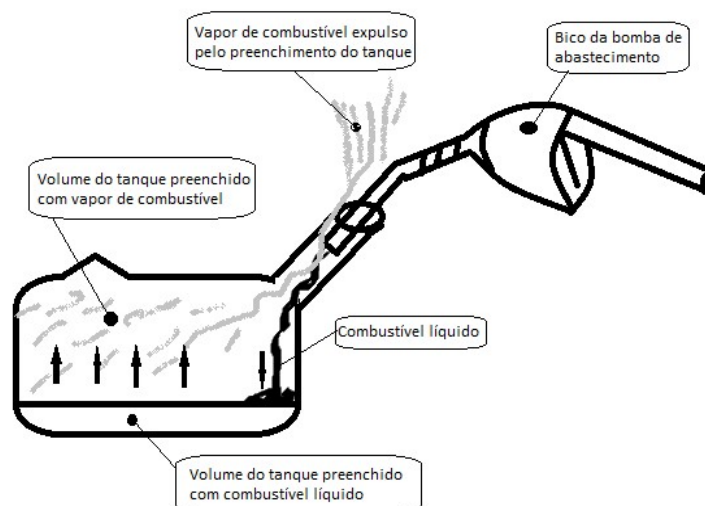
Estudo realizado pela CETESB (17) demonstra que com a redução das emissões de NMHC pelo escapamento e evaporativas, motivada pela evolução tecnológica induzida pelas exigências do Proconve, outras fontes de emissão passaram a ser objeto de interesse, em especial a de abastecimento, por até então não ser objeto de controle.

Emissão nos postos de abastecimento

A emissão de vapor de combustível (COV) no posto de abastecimento ocorre em dois momentos: na descarga dos caminhões-tanque que entregam combustível ao posto e no momento em que os veículos são abastecidos pelo posto. Somente a segunda parcela está contabilizada nesta metodologia, pois ela está diretamente vinculada ao veículo e o controle dessa emissão também deve ser feito por sistemas do próprio veículo, conforme previsto na Resolução Conama 492/2018 (20).

O último processo de transferência e de armazenagem se dá no momento do abastecimento do veículo no posto de combustíveis. A emissão acontece pelo fato de o vapor contido no tanque de combustível do veículo ser expulso pelo preenchimento do tanque com combustível líquido. Os vapores escapam pelo próprio tubo de enchimento do tanque, em volume equivalente ao de abastecimento. A Figura 6 mostra de forma esquemática o processo de expulsão do vapor de combustível do tanque no momento do abastecimento.

Figura 6 - Expulsão de vapor de combustível no processo de abastecimento



Fonte: (14)

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

De acordo com CETESB (17), o volume de vapor emitido é proporcional ao volume de combustível consumido. Os valores de massa evaporada são obtidos em função das taxas de evaporação. As taxas adotadas pelo estudo estão demonstradas no Quadro 3.

Quadro 3 - Taxa de evaporação de combustíveis

Combustível	Taxa de evaporação (g/l)
Gasolina	1,14
Etanol	0,37

Fonte: CETESB (17)

Os volumes de combustível adotados, para as estimativas de emissão de abastecimento, para gasolina e etanol, estão demonstrados nos dados de consumo no estado e em cada município e são disponibilizados pela Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo (SEMIL), a partir de dados fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. Não se considerou significativa a emissão de abastecimento para o diesel em função de sua baixa volatilidade.

4.8 Emissão de gases de efeito estufa

As estimativas da emissão de gases de efeito estufa (GEE) diretos originados dos veículos são calculadas para o estado de São Paulo e para as Regiões Metropolitanas de São Paulo, de Campinas, da Baixada Santista, do Vale do Paraíba e Litoral Norte, de Sorocaba, de Ribeirão Preto, de São José do Rio Preto, de Piracicaba e de Jundiaí.

São estimadas as emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O).

A estimativa total da emissão é apresentada em dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$), utilizando a metodologia Potencial de Aquecimento Global (GWP) em horizonte de 100 anos, prevista pelo IPCC (7). No **Quadro 4** são mostrados os valores do potencial de aquecimento global dos GEE considerados.

De acordo com a metodologia, 1% do potencial de emissão de CO_2 não é efetivamente gerado, portanto esse percentual foi reduzido do montante de CO_2 calculado.

É considerada a estimativa da frota circulante no estado de São Paulo no ano em questão.

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

Quadro 4 - Potencial de aquecimento global dos GEE

GEE	CO _{2eq}
CO ₂	1
CH ₄	28
N ₂ O	265

Fonte: IPCC (7)

As emissões de CO₂ provenientes do uso dos combustíveis renováveis etanol anidro (misturado à gasolina), etanol hidratado e biodiesel (misturado ao óleo diesel) não são contabilizadas, de acordo com a metodologia adotada. Portanto, nos relatórios de emissões veiculares são consideradas as emissões de dióxido de carbono provenientes da gasolina A e do óleo diesel. As emissões dos gases CH₄ e N₂O provenientes do uso de todos os combustíveis entram na contabilização.

Para o cálculo das emissões é adotado o método *top-down*, devido à indisponibilidade de fatores de emissão veicular adequados ao cenário brasileiro. No método *top-down* é utilizado o consumo aparente de combustível observado no estado de São Paulo e nas regiões metropolitanas e o fator de emissão característico do combustível, disponíveis no 2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores rodoviários (3).

Os fatores de emissão de CO₂ em kg/l de combustível, para gasolina automotiva, etanol hidratado, etanol anidro e diesel mineral estão disponíveis no site da CETESB.

Para N₂O e CH₄ dos veículos movidos a diesel, os fatores de emissão foram obtidos na publicação do IPCC (7). Para os veículos do ciclo Otto, do IPCC (7) e BORSARI (8).

FROTA CIRCULANTE

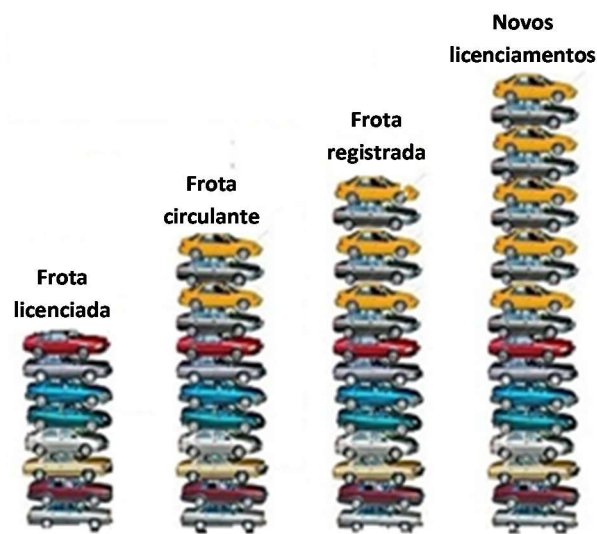
METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

5. CARACTERIZAÇÃO DA FROTA CIRCULANTE

Frota circulante é o conjunto de veículos que se estima estarem circulando, independente de constar nos registros do órgão de trânsito. É calculada a partir das vendas de veículos novos nos últimos 40 anos e submetida às curvas de sucateamento. É diferente da frota registrada onde se considera um conjunto de veículos que receberam o primeiro licenciamento no órgão de trânsito quando novos e constam como existentes, ou seja, seus registros continuam ativos.

Normalmente a quantidade de veículos registrados é maior que a frota circulante, pois é sabido que muitos veículos deixam de circular e não sofrem o processo de baixa nos órgãos de trânsito. Existe ainda a frota licenciada que é o conjunto de veículos que estão com a documentação e impostos regularizados e, portanto, se entende que estão em circulação. A **Figura 7** traz a representação esquemática do tamanho das frotas utilizadas neste inventário.

Figura 7 – Apresentação esquemática do tamanho das frotas



Fonte: Marcelo Pereira Bales (2014)

O número de veículos novos licenciados é apresentado anualmente pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) e pela Associação Brasileira dos Fabricantes de motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (ABRACICLO).

Os valores informados para o estado de São Paulo foram utilizados para o cálculo da frota circulante. Esses números diferem dos produzidos pelo Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo (DETRAN-SP), pois são estimados a partir da venda dos veículos novos subtraídos dos que, estatisticamente, espera-se que já estejam fora de circulação.

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

A frota está dividida em categorias de veículos e pelo combustível utilizado. No **Quadro 5** são apresentadas as categorias que são utilizadas nesta metodologia.

Quadro 5 – Definição das categorias de veículos

Categorias	Motor/Combustível		Definição
Automóveis	Otto	Gasolina C	Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, inclusive o condutor e veículos de carga não enquadrados como Comercial Leve
		Etanol Hidratado	
		<i>Flex-fuel</i>	
Comerciais Leves	Otto	Gasolina C	Veículo automotor, não derivado de veículo leve de passageiros, com MTM até 3.856 kg, destinado ao transporte de pessoas ou carga útil maior que 1000 kg, com PBT até 3.856 kg (1)
		Etanol Hidratado	
		<i>Flex-fuel</i>	
Motocicletas	Otto	Gasolina C	Veículo automotor de duas rodas, com ou sem side-car, dirigido em posição montada
		<i>Flex-fuel</i>	
Caminhões Semileves (3,8 t < PBT < 6 t)	Diesel		Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroçaria, e PBT superior a 3.856 kg
Caminhões Leves (6 t <= PBT < 10 t)			
Caminhões Médios (10 t <= PBT < 15 t)			
Caminhões Semipesados (15 t <= PBT e PBTC < 40 t)			
Caminhões Pesados (15 t <= PBT e PBTC >= 40 t)			
Ônibus Urbanos	Diesel		Veículo automotor de transporte coletivo dentro do município, de uso intermunicipal nas regiões metropolitanas e os midiônibus
Micro-ônibus			Veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para até vinte passageiros para uso urbano, intermunicipal ou rodoviário, incluindo os miniônibus
Ônibus Rodoviários			Veículo automotor de transporte coletivo para transporte entre municípios, interestadual, internacional, turismo, fretamento e os especiais

Notas: MTM – Massa Total Máxima

PBT – Peso Bruto Total

PBTC – Peso Bruto Total Combinado

(1) Resolução Conama 492/2018 (20)

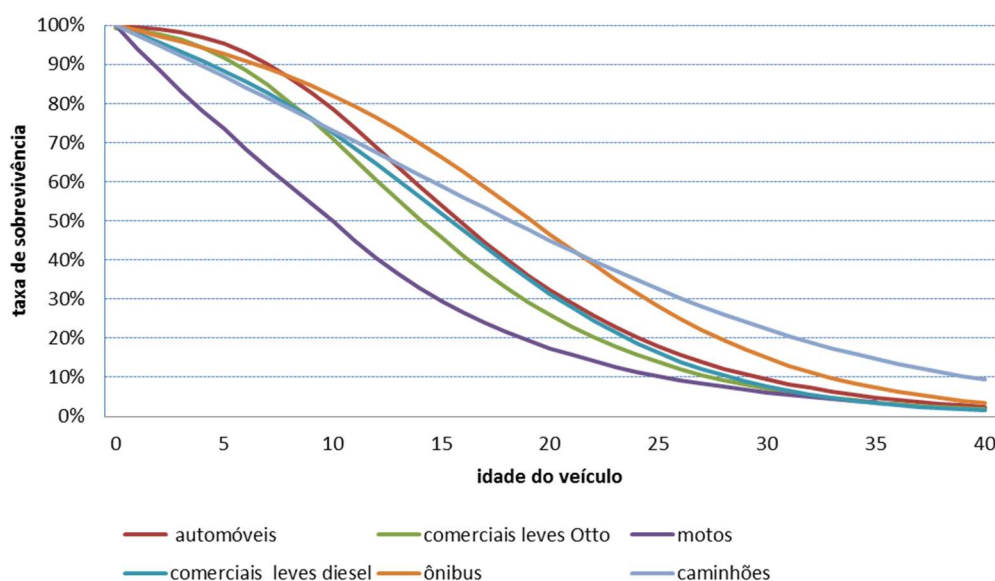
METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

Para o cálculo da frota circulante dos caminhões, utilizou-se um fator de segregação para determinar as subcategorias (semileves, leves, médios, semipesados e pesados). Os fatores de segregação representam um percentual das vendas publicadas pela ANFAVEA para cada uma das subcategorias em relação ao total.

No caso dos ônibus o fator de segregação é determinado pela sua aplicação: urbano, micro-ônibus e rodoviário. Foi utilizada uma metodologia considerando o percentual de vendas para cada aplicação informada pela Associação Nacional dos Fabricantes de ônibus (FABUS) (19). Essa metodologia foi descrita na edição de 2013 do Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo (22).

Após a aplicação dos fatores de segregação para cada categoria, os valores resultantes foram multiplicados, ano a ano, pela taxa de sobrevivência publicada no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (2). A somatória dos resultados obtidos é a frota em circulação do ano de interesse. A **Figura 8** apresenta as curvas de sucateamento empregadas nos cálculos, que indicam o percentual de veículos que sobrevivem ao longo do tempo. A taxa de sucateamento é complementar à taxa de sobrevivência.

Figura 8 - Curvas de sucateamento das categorias de veículos



Fonte: Inventário Nacional (2), adaptado por CETESB

Para o cálculo da estimativa da frota circulante dos 645 municípios paulistas foram utilizados os dados da frota registrada fornecidos pelo DETRAN-SP, aplicando-se o fator de segregação para os Veículos pesados e o fator de correção de frota, que é obtido a partir da taxa de sobrevivência, aplicados sobre os dados de vendas de veículos novos.

Essas estimativas incorporam incertezas decorrentes dos métodos estatísticos, em especial a taxa de sobrevivência e a regionalização da informação, como por exemplo: a transferência e circulação de veículos entre cidades e estados. Entretanto, consideram-se aceitáveis as incertezas geradas

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

para o fim a que se destina, pois se entende que o volume de veículos nessas condições seja pouco expressivo e a correção da intensidade de uso pelo consumo aparente de combustível permite um bom ajuste.

A idade máxima dos veículos adotada para estimar a frota circulante é de 40 anos, pois se considera que não existam veículos mais antigos em circulação em número significativo. As justificativas, considerações e estimativas de emissão para a tomada dessa decisão constam na edição de 2013 do Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo (22).

COMBUSTÍVEIS



METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

6. COMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS

No Brasil, os veículos leves de passageiros utilizam como combustível a gasolina, o etanol hidratado e o gás natural veicular (GNV). No caso dos veículos *flex-fuel* podem utilizar gasolina ou etanol hidratado. Existe uma fração de veículos elétricos a bateria, ainda em volume pouco significativo e ainda os veículos elétricos híbridos, estes se dividindo ainda entre híbridos plugáveis (que podem ser carregados na rede elétrica) e não plugáveis. As motocicletas utilizam gasolina e os modelos *flex-fuel* podem utilizar também etanol hidratado. Os Comerciais Leves podem utilizar gasolina, etanol hidratado, GNV e o diesel. Podem também ser do tipo *flex-fuel* e utilizar gasolina ou etanol hidratado. Os Veículos Pesados de modo geral utilizam somente o diesel como combustível, com uma parcela pouco significativa de veículos que utilizam GNV e outra parcela de veículos elétricos. De modo geral, os veículos movidos apenas a etanol, que deixaram de ser fabricados no início dos anos 2000, compõem uma parcela também pouco significativa da frota circulante.

Como demonstram Goldemberg, Nigro e Coelho (23), a utilização do etanol hidratado ou da gasolina nos veículos *flex-fuel* depende principalmente da relação de preços desses combustíveis, assim como da resistência ao uso do etanol hidratado, que varia de acordo com a localidade. Esse método mostrou-se adequado para o estado de São Paulo. Para as motocicletas *flex-fuel* não existem estudos a respeito da opção pelo uso de gasolina ou etanol hidratado.

Os veículos elétricos têm emissão nula, pois não possuem motor a combustão e não utilizam combustível de qualquer tipo, apenas energia elétrica. Já os veículos híbridos, que possuem motor a combustão e utilizam combustível, tem sua emissão contabilizada de acordo com os critérios aplicáveis aos veículos convencionais, resguardadas suas características próprias de carregamento (no caso dos veículos *plug-in*¹), emissão e consumo de combustível.

6.1. Volumes comercializados

O consumo aparente de combustíveis é utilizado para o ajuste da intensidade de uso no cálculo das estimativas de emissão. Os dados de consumo no estado e em cada município são disponibilizados pela Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo (SEMIL) a partir de dados fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP.

Considera-se, para efeito de inventário, que todo volume de combustível comercializado foi consumido no mesmo período, não sendo contabilizadas eventuais diferenças de estocagem entre o primeiro e o último dia do ano.

– ¹ VEHP - Veículo elétrico híbrido recarregável externamente (pode ser flex, gasolina, etanol, diesel ou GNV).

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

Da mesma forma, considera-se que todo volume comercializado no estado e nas regiões metropolitanas foi consumido na própria área geográfica.

Uma parte do volume do diesel comercializado pode ser utilizada em outras aplicações, tais como construção civil, máquinas e tratores na produção rural, geração de energia e sistemas aeroportuários e suas emissões não estão contabilizadas. O volume do diesel considerado na metodologia procura refletir exclusivamente aquele que foi aplicado em veículos rodoviários.

Como existem diferenças significativas no poder calorífico entre os combustíveis, além de diferentes eficiências entre os motores, o consumo dos veículos utilizando um ou outro combustível também é bastante diferente. Assim, a comparação direta dos volumes comercializados não reflete claramente o uso dos veículos.

Para que essa comparação seja mais precisa, em especial pela variação permitida pelos veículos *flex-fuel*, os volumes comercializados de cada um dos combustíveis devem ser convertidos em uma unidade de medida comum, como por exemplo, a “Tonelada Equivalente de Petróleo” (TEP).

6.2. Consumo nas regiões

Para estimar as emissões nas regiões metropolitanas, faz-se necessário estimar os volumes dos combustíveis consumidos nesses locais. Para tal, soma-se o volume consumido nas cidades que formam cada região metropolitana.

O consumo dos combustíveis nas cidades está disponível no Anuário de Energéticos por Município no Estado de São Paulo, publicado pela Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística.

As características gerais dos combustíveis podem ser encontradas no Apêndice desta metodologia.

INDICADORES



METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

7. INDICADORES DE EMISSÃO E ATIVIDADE VEICULAR

Os indicadores de emissão e atividade veicular tem por objetivo demonstrar de forma clara e simplificada os fenômenos ligados à evolução da emissão veicular.

Alguns dos indicadores apresentam dados diretamente resultantes da emissão veicular, como o indicador tecnológico e os de emissão de gases de efeito estufa (GEE), que apresentam a emissão média por veículo ou por habitante. Outros indicadores apresentam dados ligados à atividade veicular, incluindo a comercialização de veículos novos, como o de intensidade de uso, o de quilometragem anual e o indicador de idade média.

Os dados utilizados para o cálculo de cada indicador são extraídos dos resultados intermediários ou finais do cálculo de emissões. A metodologia de cálculo de cada um dos indicadores está detalhada a seguir.

7.1. Indicador tecnológico

O parâmetro de interesse é a emissão média por veículo, por ano, por poluente atmosférico. Esse valor é influenciado pela distribuição de veículos com características tecnológicas diferentes e pela intensidade de uso. O indicador mostra a evolução do controle da emissão da frota circulante, incorpora a renovação e aponta seu impacto nas emissões. A Equação 4 define o cálculo do indicador.

Equação 4: Indicador tecnológico = $E_{ano} / (Fr_{ano} \times I_{uaj_{ano}})$

Onde:

E = Emissão total dos veículos, por poluente, no ano;

Fr = Frota circulante no ano;

I_{uaj} = Intensidade de uso ajustada da frota Fr no ano;

7.2. Indicador da intensidade de uso

Este indicador demonstra a evolução da intensidade de uso de um veículo da frota circulante no período sendo definido pela quantidade de veículos e pela intensidade de uso ajustada pelo consumo aparente de combustível. A Equação 5 define o cálculo do indicador.

Equação 5: Indicador da intensidade de uso dos veículos = $(\sum Fr_{tipo,ano} \times I_{uaj_{tipo,ano}}) / Fr_{tipo,ano}$

Onde:

Fr = Frota circulante, por tipo de veículo e ano;

I_{uaj} = Intensidade de uso ajustada da frota Fr no ano.

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

7.3. Indicador de distâncias anuais percorridas (km/ano)

Este indicador demonstra a evolução das estimativas das distâncias percorridas ao longo do ano por categoria de veículo e relaciona-se ao tamanho da frota circulante e ao consumo aparente de combustível. Permite a interpretação da evolução da atividade veicular do conjunto da frota. A Equação 6 define o cálculo do indicador.

Equação 6: Distância anual percorrida = $\sum Fr_{\text{tipo,ano}} \times luaj_{\text{tipo,ano}}$

Onde:

Fr = Frota circulante, por tipo de veículo e ano;

$luaj$ = Intensidade de uso ajustada da frota Fr no ano.

7.4. Indicador da taxa de motorização

Este indicador demonstra a evolução do número de veículos por habitante. Como o objetivo é refletir a propriedade de veículo de uso particular, foram considerados apenas indicadores para automóveis e motocicletas. A Equação 7 mostra o cálculo do indicador.

Equação 7: Indicador da taxa de motorização = $(Fr_{\text{tipo}})/Hab$

Onde:

Fr = Frota circulante no ano por tipo;

Hab = População no ano.

7.5. Indicador da emissão veicular de GEE por habitante

Este indicador demonstra a evolução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) pelo uso de veículo por habitante. Foram considerados todos os tipos de veículos. A Equação 8 mostra o cálculo do indicador.

Equação 8: Indicador da emissão de GEE veicular por habitante = $(ECO_{2eq,ano})/Hab$ ano

Onde:

ECO_{2eq} = Emissão de CO_{2eq} no ano;

Hab = População no ano.

7.6. Indicador da emissão de GEE por veículo

Este indicador demonstra a evolução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) pelo uso de veículo. Foram considerados todos os tipos de veículos. A Equação 9 mostra o cálculo do indicador.

Equação 9: Indicador da emissão de GEE por veículo = $(ECO_{2eq,ano})/Fr$

Onde:

ECO_{2eq} = Emissão de CO_{2eq} no ano;

Fr = Frota circulante

INCERTEZAS

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

8. INCERTEZAS METODOLÓGICAS

Mesmo com a utilização das melhores informações disponíveis, as estimativas geradas por esta metodologia são permeadas por diversas incertezas. Podemos destacar alguns pontos que precisam evoluir para que o inventário reflita melhor a emissão real gerada pela frota circulante:

- Fatores de emissão: são baseados em resultados de ensaios de laboratório e podem não refletir as emissões reais, que sofrem influências do tráfego, do modo de dirigir, das condições climáticas, topográficas, do estado de manutenção dos veículos, do uso do ar-condicionado, diferenças entre combustíveis de ensaios e comerciais etc. Para reduzir a incerteza desse quesito é necessária a realização de ensaios em larga escala, estatisticamente significativos, com sistemas de medição instalados nos veículos ou por sensoriamento remoto, que permitem a medição das emissões na rua, em condição real de uso.
- A CETESB desenvolveu metodologia para as primeiras estimativas da emissão no abastecimento dos veículos. A partir de estimativas iniciais foi constatado que essa emissão é significativa nas grandes cidades. A partir da fase L7 do Proconve essa emissão passa a ser controlada e serão gerados dados para aperfeiçoar os fatores de emissão.
- Fator de deterioração das emissões: são baseados em resultados de ensaios normalizados e podem não refletir as situações reais de deterioração, que sofrem influências do modo de dirigir, dos cuidados com a manutenção dos veículos, da qualidade dos combustíveis etc. No caso das motocicletas e dos veículos pesados não são adotados. A partir de 2015 foram declarados os primeiros resultados dos ensaios de acúmulo de rodagem das motocicletas, que servirão para definir a deterioração a ser empregada nesta metodologia para o segmento. Para veículos pesados, a nova fase Proconve P8 estabeleceu obrigatoriedade de atendimento dos limites incluindo os fatores de deterioração.
- Frota circulante: ela é estimada com bases estatísticas, pois a frota real é desconhecida.
- Intensidade de uso: a partir de estudo realizado pela CETESB que teve por base o programa de inspeção veicular municipal, foi possível conhecer a rodagem real dos veículos da cidade de São Paulo, exceto das categorias com características de viagens de longa distância (caminhões e ônibus).
- Consumo aparente de combustível: quando a informação é regionalizada podem ocorrer fenômenos de abastecimento e consumo fora da região ou vice e versa. Além disso, não consideramos estoques existentes nos reservatórios dos postos, dos frotistas e dos veículos, que podem sofrer variação a cada virada de ano civil.
- Autonomia dos veículos: também baseada em dados obtidos nos ensaios de laboratório, pode não refletir a autonomia real dos veículos. Para o segmento ônibus urbano, a CETESB adotou a informação gerada pela empresa gestora do transporte público, SPTRANS, que possui estatísticas confiáveis. As demais categorias necessitam de estudos específicos.

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

- Escolha do etanol nos veículos *flex-fuel* (fração *flex*): o modelo para se estimar a utilização de etanol entre os veículos dedicados a etanol e os veículos *flex-fuel* é baseado em estatística, mas pode sofrer influência de fatores não contabilizados. De um modo geral, o modelo responde bem ao costume do consumidor paulista, que é influenciado principalmente pela relação de preços entre o etanol e a gasolina. Além disso, a oferta de etanol no estado é constante e há boa aceitação do combustível. Essa incerteza tende a se reduzir em poucos anos considerando que os veículos movidos exclusivamente a etanol estão saindo de circulação. Hoje representam menos de 2% da frota circulante. A partir do momento em que essa participação for considerada estatisticamente desprezível, todo o consumo de etanol no estado será alocado para os veículos *flex-fuel*.
- Emissão de amônia: a partir da adoção de sistema de redução das emissões dos veículos a diesel com a utilização de solução de ureia (desde as fases P7 e L6 do Proconve), surge a preocupação com a contaminação do ar por amônia e por poluentes secundários derivados de sua emissão, como material particulado. Os valores iniciais da emissão de amônia para os veículos pesados estão disponibilizados no Apêndice VV. As novas fases do Proconve P8 e L7/8 preveem o controle da emissão de amônia nos veículos a diesel, que já existe para os veículos pesados desde a fase P7.
- Geolocalização das emissões: o modelo de inventário utilizado pela CETESB não permite a estimativa das emissões, com razoável grau de certeza, em microrregiões.

REFERÊNCIAS



METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

9. REFERÊNCIAS

1. **BRASIL, IBAMA.** *Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores – PROCONVE/PROMOT/IBAMA. 3ª ed.* Brasília : Ibama/Diqua, 2011. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/veiculosautomotores/manual%20proconve%20promot_portugues.pdf>. Acesso em: 19 dez 2022.
2. **BRASIL. MMA.** *1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários: relatório final.* [Brasília-DF] : s.n., 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2015..
3. —. *Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários 2013: ano-base 2012: relatório final.* [Brasília, DF] : s.n., 2014. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario_de_Emissoes_por_Veiculos_Rodoviarios_2013.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2015..
4. **USEPA - United States Environmental Protection Agency.** Technical Overview of Volatile Organic Compounds. [Online] [Citado em: 2 de setembro de 2024.] <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds#:~:text=General%20Definition%20and%20Classifications,-Volatile%20organic%20compounds&text=Volatile%20organic%20compounds%2C%20or%20VOCs,of%20temperature%20and%20press.>
5. **CETESB.** *Curvas de intensidade de uso por tipo de veículo automotor da frota da cidade de São Paulo.* São Paulo, SP : s.n., 2013. Disponível em: <<http://veicular.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/35/2013/12/curvas-intensidade-uso-veiculos-automotores-cidade-sao-paulo.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2015..
6. **(Cidade), SÃO PAULO.** Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Transportes. Concorrência N° 001/2015 – SMT-GAB: Processo Administrativo nº 2015-0.051.567-8: Edital. Objeto: Delegação, por concessão, da prestação e exploração do serviço do serviço de transporte coletivo pú. São Paulo : s.n., 2015. 1 pasta (6 arquivos PDF :1,36 MB). Anexo 4: Política Tarifária de Remuneração; Anexo 4.8: Memória de cálculo - remuneração por veículo - parâmetros gerais. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/transportes/noticias/index.php?p>>.
7. **IPCC.** IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) AR5 Synthesis Report - Climate Change 2014. Disponível em: <https://ar5-syr.ipcc.ch/ipcc/ipcc/resources/pdf/IPCC_SynthesisReport.pdf> Acesso em 19 dez 2022.
8. **BORSARI, V.** Caracterização das emissões de gases de efeito estufa por veículos automotores leves no Estado de São Paulo, 2009. *189 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.* São Paulo : s.n., 2009. Disponível em:

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-21092009-115044/pt-br.php>>. Acesso em: 14 ago. 2015.

9. **ABNT**. NBR 6601: Veículos rodoviários automotores leves — Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escape. Rio de Janeiro : s.n., 2012.

10. **DIESELNET**. Emission Standard. Emission Test Cycle. FTP-75: Federal Test Procedure. :. United States, c1997-2015. Disponível em: <<https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php>>. Acesso em: 14 ago. 2015.

11. **ABNT**. NBR 16369: Motociclos e veículos similares - Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono no gás de escape. Rio de Janeiro: s.n., 2017.

12. **EUROPA**. Comissão Europeia Regulamento Delegado (UE) nº 134/2014 da comissão de 16 de dezembro de 2013. Completa o Regulamento (UE) n.º 168/2013 do Parlamento Europeu e do Conselho no que respeita aos requisitos de desempenho ambiental e da unidade de propulsão. *Jornal Oficial da União Europeia*. ano 57, nº L 53, 21 fev. 2014. II Atos não Legislativos, Regulamentos, p. 82,. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0134&rid=1>>. Acesso em: 14 ago. 2015.

13. **DIESELNET**. Emission Standard. Emission Test Cycle. European Stationary Cycle (ESC). United States, c1997-2015. Disponível em: <<https://www.dieselnet.com/standards/cycles/esc.php>>. Acesso em: 14 ago. 2015.

14. **VICENTINI, P. C.** Metodologia para o inventário de emissões evaporativas provenientes do sistema de alimentação de combustível de veículos do ciclo Otto: desempenho de produtos em motores. Rio de Janeiro : PETROBRAS, 2010.

15. **ABNT**. NBR 11481: Veículos rodoviários automotores leves — Medição da emissão evaporativa. Rio de Janeiro: s.n., 2010.

16. —. NBR 16927: Veículos rodoviários automotores leves com motor de ignição por centelha — Medição de emissões evaporativas diurnas, no resfriamento do veículo e no abastecimento de combustível. Rio de Janeiro : ABNT, 2021. ISBN 978-65-5659-849-9.

17. **CETESB**. *Metodologia de inventário de evaporação de combustíveis no abastecimento de veículos leves do ciclo Otto*. São Paulo, SP : s.n., 2015. 15 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2013/12/Metodologia-de-inventario-de-evaporacao-de-combustivel-no-abastecimento-de-veiculos-leves-Otto.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

METODOLOGIA DE CÁLCULO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

18. **BRASIL. CONAMA.** Resolução CONAMA nº 492, de 20 de dezembro de 2018. Estabelece as Fases PROCONVE L7 e PROCONVE L8 de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário. 2018. Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>> Acesso em 19 dez 2022.

19. **FABUS.** Carroçarias produzidas: acumulado - modelo 03 A – folha 01: mapa de produção de carroçarias – associadas. 1 quadro. Disponível em: <<http://www.fabus.com.br/>>.

20. **CETESB.** Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo - 2013. [Online] <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2013/12/relatorio-emissoes-veiculares-2013.pdf>.

21. **GOLDEMBERG, J, NIGRO, F e COELHO, S.** Bioenergia no estado de São Paulo: situação atual, perspectivas, barreiras e propostas. São Paulo : IMESP, 2008. Disponível em: <https://cmsdespoluir.cnt.org.br/Documents/PDFs/livro_bioenergia.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2022.