

# Inventário de Emissões Atmosféricas do Transporte Rodoviário de Passageiros no Município de São Paulo

## Nota Metodológica

### **Equipe Técnica**

#### **Instituto de Energia e Meio Ambiente**

André Luis Ferreira

David Shiling Tsai

Marcelo dos Santos Cremer

Rafael Godoy Bueno da Silva

Felipe Barcellos e Silva

#### **Apoio Técnico**

Edgar Calligari Pires

Junho de 2017

# Sumário

Escopo do Inventário .....	2
Metodologia .....	4
1. Equações gerais .....	6
2. Estimativa de emissões por automóveis e motocicletas .....	7
2.1 Distância percorrida e velocidade de percurso .....	8
2.2 Fatores de emissão e parâmetros de consumo de combustível .....	12
2.3 Síntese de procedimentos, fontes de informação e instrumentos utilizados .....	19
3. Estimativa de emissões por ônibus municipais .....	20
3.1 Distância percorrida e velocidade de percurso .....	21
3.2 Fatores de emissão e parâmetros de consumo de combustível .....	21
3.3 Síntese de procedimentos, fontes de informação e instrumentos utilizados .....	23
4. Estimativa de emissões por ônibus rodoviários .....	24
4.1 Distância percorrida e velocidade de percurso .....	24
4.2 Fatores de emissão e parâmetros de consumo de combustível .....	25
5. Estimativa de emissões de CO <sub>2</sub> por combustível .....	25
Referências .....	27

## Escopo do Inventário

Este Inventário estima as emissões de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa associadas ao transporte rodoviário de passageiros dentro dos limites do município de São Paulo<sup>1</sup>, em quadrículas<sup>2</sup> de 1 km por 1 km (1 km<sup>2</sup>), para um dia típico do ano de 2015, com resolução temporal de uma hora.

As fontes emissoras inventariadas, ou seja, os veículos, apresentam-se classificadas nas seguintes categorias: automóveis, motocicletas e ônibus (municipais e rodoviários).

Neste trabalho, foram inventariados os mesmos poluentes e gases do **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013, Ano-base 2012 (MMA, 2014)**. Incluem-se aí os poluentes controlados pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) e pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT): monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), aldeídos (RCHO), hidrocarbonetos não-metano (NMHC) e material particulado proveniente de combustão (MP<sub>comb</sub>) em veículos do ciclo Diesel. Também foram inventariados os seguintes gases não controlados pelo PROVONVE ou pelo PROMOT:

- Material particulado proveniente de combustão (MP<sub>comb</sub>) emitido por veículos do ciclo Otto movidos à gasolina C;
- Material particulado proveniente do desgaste de freios e pneus e por desgaste de pista (MP<sub>desg</sub>) para todas as categorias de veículos;
- Os gases de efeito estufa (GEE) dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

Em relação às emissões de hidrocarbonetos não-metano, as emissões incluem aquelas decorrentes da combustão (NMHC<sub>comb</sub>), para todas as categorias de veículos, e as emissões evaporativas a quente e por perdas em movimento para os automóveis (NMHC<sub>evap</sub>)<sup>3</sup>.

A **Tabela 1** sintetiza os poluentes e gases inventariados por categorias de veículo e por combustível utilizado.

---

<sup>1</sup> A delimitação da área que contém as fontes de emissão deve ser realizada segundo critérios que levem a prover as informações necessárias ao estudo da qualidade do ar em um determinado espaço. No caso de São Paulo, é bem provável que as emissões de toda a região metropolitana impactem no município, de modo que se recomenda a expansão deste inventário para toda grande São Paulo em trabalhos futuros.

<sup>2</sup> A representação de emissões em quadrículas (ou grid, ou grade espacial, ou células) é comumente utilizada para harmonizar diferentes conjuntos de dados. Pontos, linhas e polígonos podem ser convertidos para quadrículas e, assim, diferentes camadas de informação (fontes emissoras) podem ser facilmente agregadas.

<sup>3</sup> Para saber mais sobre as emissões evaporativas, pode-se consultar MMA (2014).

**Tabela 1: Gases e poluentes inventariados**

Poluentes e gases		Automóveis		Motocicletas		Ônibus
		Gasolina C	Etanol Hidratado	Gasolina C	Etanol Hidratado	Óleo Diesel
Emissões de escapamento	CO	✓	✓	✓	✓	✓
	NMHC <sub>comb</sub>	✓	✓	✓	✓	✓
	RCHO	✓	✓			
	NO <sub>x</sub>	✓	✓	✓	✓	✓
	MP <sub>comb</sub>	✓		✓		✓
	CO <sub>2</sub>	✓		✓		✓
	CH <sub>4</sub>	✓	✓	✓	✓	✓
	N <sub>2</sub> O	✓	✓	✓		✓
NMHC <sub>evap</sub>		✓	✓			
MP <sub>desg</sub>		✓	✓	✓	✓	✓

## Metodologia

De um modo genérico, emissões atmosféricas são estimadas por meio da seguinte equação geral:

$$E = A * Fe$$

Onde:

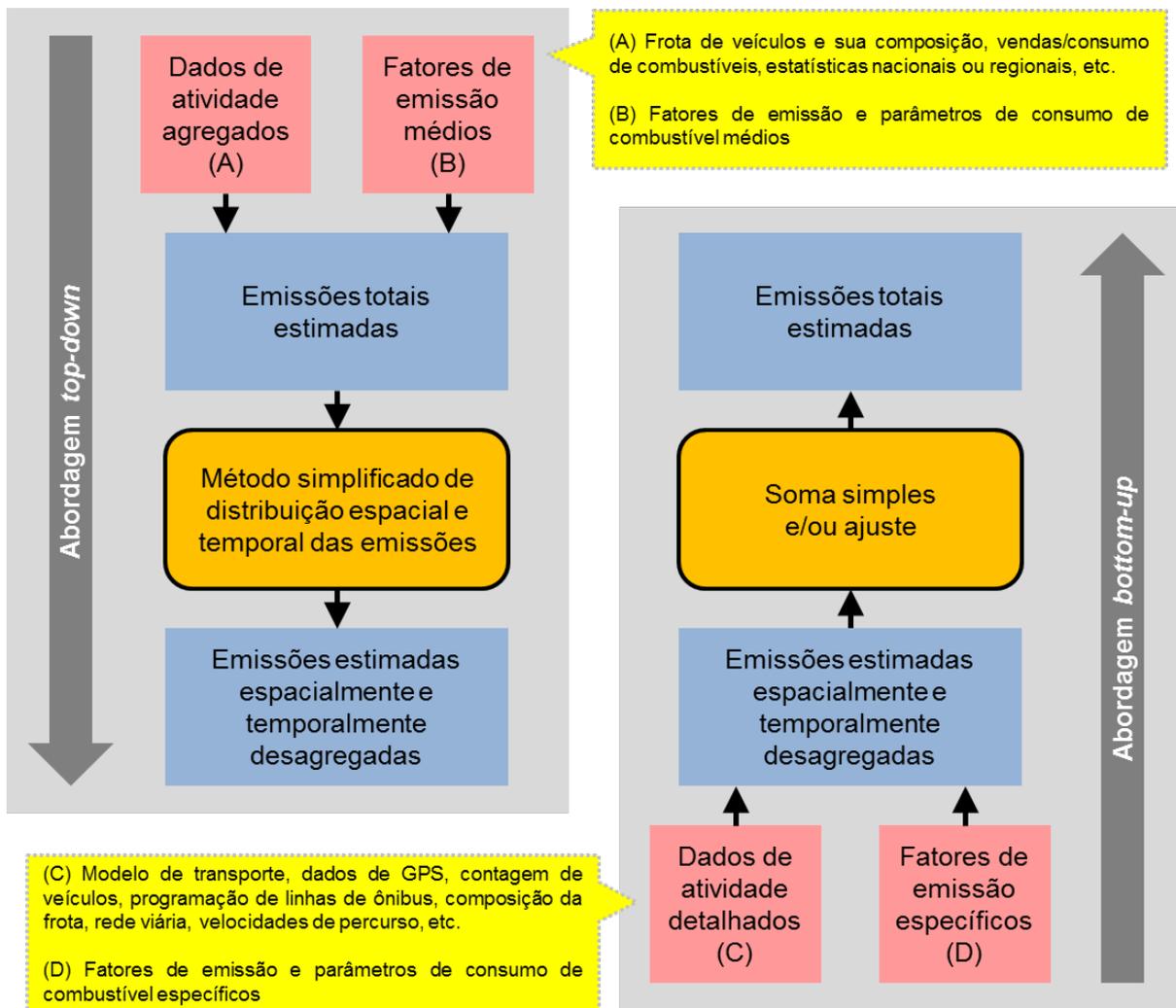
<b><i>E</i></b>	Emissões estimadas
<b><i>A</i></b>	Taxa de atividade da fonte emissora
<b><i>Fe</i></b>	Fator de emissão da fonte emissora

No caso de emissões veiculares, considerou-se a taxa de atividade (***A***) como a distância percorrida por um veículo (km) em determinado intervalo de tempo. O fator de emissão (***Fe***), por sua vez, é a quantidade de poluentes ou gases emitidos por quilômetro rodado ( $g_{\text{poluente}}/\text{km}$ ).

Com o propósito de avaliar emissões de fontes diversas, os dados de entrada para a equação geral acima podem ser obtidos segundo duas abordagens geralmente consideradas no desenvolvimento de inventários de emissões: uma chamada abordagem “*top-down*” (de cima para baixo) e a outra “*bottom-up*” (de baixo para cima). Tais nomenclaturas não constituem referenciais absolutos e são geralmente utilizadas de forma relativa ou comparativa.

A **Figura 1** exemplifica o que podem ser consideradas abordagens “*bottom-up*” e “*top-down*” na elaboração de inventários de emissões associadas aos transportes em municípios.

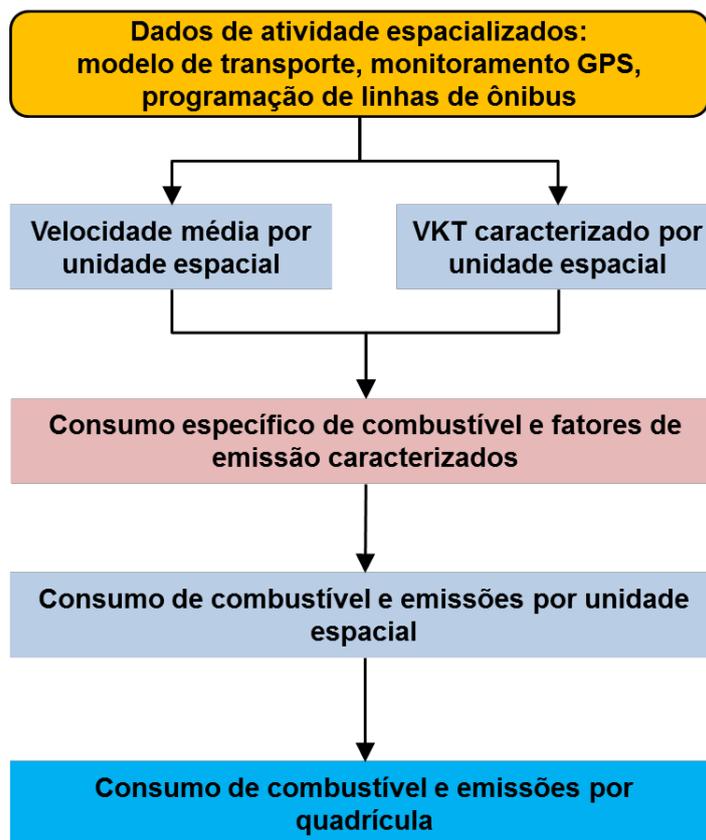
**Figura 1: Esquematisação das abordagens “top-down” e “bottom-up” em inventários municipais**



Fonte: Elaboração própria a partir de Saide P. et al. (2009) e de ECT/ACM (2014).

Este inventário se propõe a estimar as emissões por uma abordagem “bottom-up”. Para tanto, nessas estimativas, foram utilizados dados de atividade detalhados e aplicaram-se fatores de emissão específicos. A **Figura 2** a seguir sintetiza, de forma conceitual, o uso desses dados em estimativas de emissões e a obtenção dos resultados espacialmente explícitos em quadrículas.

**Figura 2: Fluxograma do uso de dados de atividade espacializados em estimativas de emissões**



Fonte: Elaboração própria a partir de Wang H. et al. (2008).

Serão apresentadas as equações, as fontes de informação, os procedimentos operacionais adotados e os instrumentos técnicos utilizados na aplicação desta equação geral nos componentes específicos necessários para produzir os resultados de acordo com o escopo descrito na seção anterior.

## 1. Equações gerais

O consumo de combustível e as emissões de poluentes e gases são dependentes do combustível queimado, da categoria de veículo, da geração tecnológica dos motores e dos equipamentos de controle de emissão, da velocidade de percurso, entre outros.

Dessa forma, as estimativas de consumo de combustível e de emissões de CO, NO<sub>x</sub>, NMHC, RCHO, MP<sub>comb</sub>, MP<sub>desg</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O foram realizadas utilizando como taxa de atividade a variável distância percorrida pelos veículos (em quilômetros) e fatores de emissão e consumo específico de combustível em unidades compatíveis (gramas de poluente ou gás por quilômetro e litros de combustível por quilômetro), segundo as seguintes formas detalhadas da equação geral apresentada anteriormente:

$$C_{f,c,i} = D_{f,c,i} * Ce_{f,c,i,v}$$

$$E_{g,f,c,i} = D_{f,c,i} * Fe_{g,f,c,i,v}$$

Onde:

- $C_{f,c,i}$  Consumo do combustível  $f$  pelos veículos de idade  $i$ , da categoria  $c$ , expresso em litros (L)
- $D_{f,c,i}$  Distância percorrida pelos veículos de idade  $i$ , da categoria  $c$ , utilizando o combustível  $f$ , expressa em quilômetros (km)
- $Ce_{f,c,i,v}$  Consumo específico de combustível  $f$  pelos veículos de idade  $i$ , da categoria  $c$ , operando na velocidade  $v$ , expresso em litros por quilômetro (L/km)
- $E_{g,f,c,i}$  Emissão do poluente ou gás  $g$  pelos veículos de idade  $i$ , da categoria  $c$ , utilizando o combustível  $f$ , expressa em gramas (g)
- $Fe_{g,f,c,i,v}$  Fator de emissão do poluente ou gás  $g$  pelos veículos de idade  $i$ , da categoria  $c$ , utilizando o combustível  $f$ , operando na velocidade  $v$ , expresso em gramas por quilômetro (g/km)

Exceção se faz com relação às emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que, por conta da estequiometria de sua reação de formação, podem ser estimadas com boa precisão a partir apenas do tipo e quantidade de combustível queimado. Essas estimativas tomaram como taxa de atividade o consumo de combustível associado ao deslocamento dos veículos, também estimado por este inventário (seção 5).

## 2. Estimativa de emissões por automóveis e motocicletas

A estimativa de emissões por automóveis e por motocicletas baseou-se principalmente em quatro conjuntos de informações:

Taxa de atividade (ou distância percorrida) por automóveis e motocicletas:

- (i) Dados do modelo de transporte construído pela Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) do município, cedidos ao IEMA em propósito específico pela própria.
- (ii) Dados da “**Pesquisa Origem Destino 2007**” e dados da “**Pesquisa de Mobilidade Urbana 2012**”, elaboradas pela Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô)<sup>4</sup>.

Fatores de emissão e consumos específicos de combustível:

- (iii) Dados gerados a partir dos “**Inventários Nacionais de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**” (MMA, 2011 e MMA, 2014) e do “**Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2015**” (CETESB, 2016).

<sup>4</sup> Foram usados na complementação do modelo de transporte da CET e para a construção de um modelo de transporte para representar a circulação de motocicletas.

- (iv) Adaptação dos fatores de emissão e parâmetros de consumo de combustíveis publicados pela Agência Ambiental Europeia (EEA) em seu “**Air Pollutant Emission Inventory Guidebook**” (EMEP/EEA, 2016).

A aplicação dos conjuntos de informações (i) e (ii) será descrita na seção 2.1 e dos conjuntos (iii) e (iv), na seção 2.2.

## 2.1 Distância percorrida e velocidade de percurso

A circulação de automóveis no sistema viário de São Paulo é modelada pela CET para fins de planejamento de suas operações. Para a elaboração deste inventário, foram disponibilizados pela companhia os dados de fluxo<sup>5</sup> e velocidade de automóveis, por ligação (*link*) da rede do modelo de transporte, por hora do dia, entre 6h e 21h, representativos de um dia útil típico de 2012. Também foram disponibilizados dados sobre a rede de transporte, como a capacidade de fluxo dos *links*, sua velocidade de fluxo livre e extensão.

Um modelo de transporte baseia-se numa estrutura de rede, onde os *links* representam segmentos da malha viária (possuindo determinadas características como: coordenadas geográficas, forma, extensão, o fluxo de veículos por tipo, a capacidade de fluxo de veículos por tipo, o fluxo de passageiros por tipo de veículo, o sentido de fluxo e a velocidade dos veículos) e os nós representam intersecções ou encontros de segmentos de vias.

Deve-se notar que uma limitação significativa para o propósito de modelagem de emissões em áreas povoadas é o fato de que os dados dos modelos de demanda de transporte representam vias curvilíneas como um ou mais segmentos de linhas retas. Ademais, um único *link* do modelo pode representar mais de uma via no sistema de transporte real e *links* podem existir sobre áreas em que não há vias na realidade. Como resultado, desalinhamentos com relação à localização real das vias podem ocorrer. Potenciais desalinhamentos de localização de vias podem ser corrigidos mesclando-se o conjunto de dados do modelo de transporte com um conjunto de dados geográficos de melhor acurácia espacial.

Conhecidos o fluxo de veículos e a extensão do *link*, estima-se a distância total percorrida pelos veículos a partir da seguinte equação:

---

<sup>5</sup> O fluxo de veículos é expresso em número de veículos que passam por hora (veículos/hora).

$$D_{l,h,c} = F_{l,h,c} * e_l$$

Onde:

$D_{l,h,c}$	Distância percorrida pelos veículos da categoria <b>c</b> , durante a hora <b>h</b> , no <i>link l</i> (vkm <sup>6</sup> /h)
$F_{l,h,c}$	Fluxo de veículos, expresso em número de veículos da categoria <b>c</b> que percorreram o <i>link l</i> , durante a hora <b>h</b> (veículos/h)
$e_l$	Extensão do <i>link l</i> (km)

O cálculo de emissões é assim feito nesta base, para cada *link* do modelo de transporte. Este trabalho não se propôs a avaliar a modelagem de transporte da CET, de modo que as emissões estimadas carregam as mesmas delimitações de escopo e simplificações da modelagem, lembrando também que o modelo da CET não é desenvolvido especificamente para fins de estimativa de emissões, mas para o planejamento de sua operação.

No entanto, o modelo de transporte também é calibrado a partir de dados gerados em campanhas de contagem de veículos realizadas pela CET, o que o aproxima da realidade. Uma melhor investigação acerca das oportunidades e necessidades de melhorias pode ser feita em outros trabalhos.

Para a consolidação de uma base de dados de atividade que cobrisse todo o escopo do inventário – ou seja, dados de fluxo e velocidade por *link*, para cada período de uma hora, para todas as horas de um dia, para cada categoria de veículo, em um dia típico de 2015 –, foi necessário fazer complementações e adaptações aos dados disponibilizados pela CET.

As seções a seguir descrevem as complementações e adaptações realizadas, para cada categoria de veículos.

### 2.1.1 Automóveis

Para automóveis, os fluxos representativos de 2012 apresentados pelo modelo da CET foram estimados para 2015 com base no crescimento das vendas de combustível, em termos de energia.

Para tanto, foram levantados os volumes vendidos de etanol hidratado e gasolina C, no município de São Paulo, em 2012 e em 2015, reportados no “Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo” (SESP, 2013 e SESP, 2016). Esses volumes (m<sup>3</sup>) foram convertidos em energia (tep) empregando-se as densidades energéticas e o teor de etanol anidro na gasolina C, apresentados na seção 5. O percentual de crescimento encontrado (6,61%) foi aplicado homogeneamente para todos os *links*.

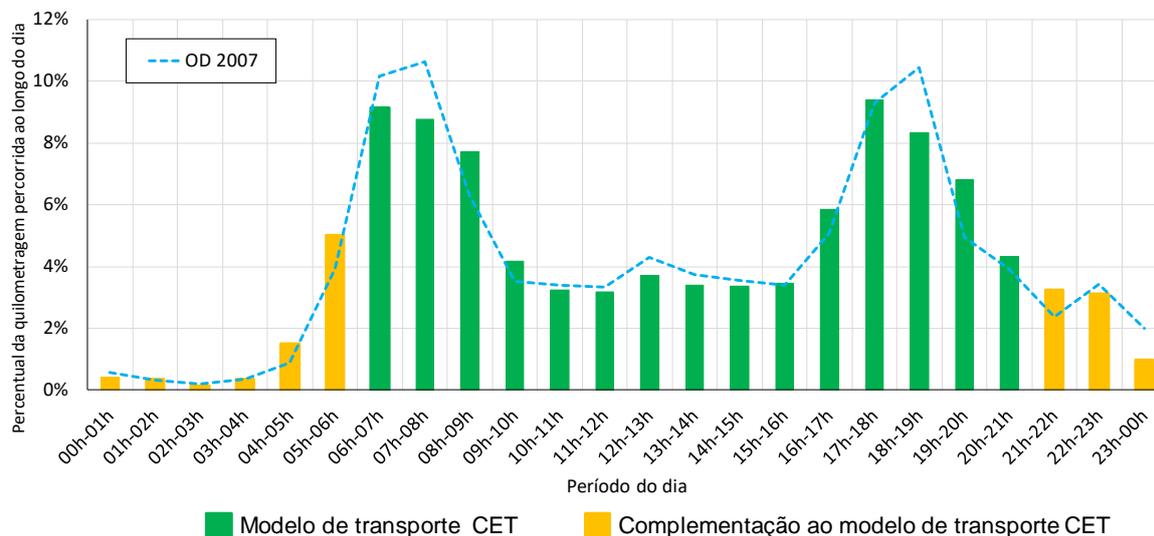
Os dados disponibilizados pela CET, corrigidos para 2015, cobriam os períodos entre 6h e 21h de um dia. Foi necessário fazer uma complementação do modelo de transporte com dados para os períodos entre 21h e 6h.

---

<sup>6</sup> Para não haver confusão com a grandeza de extensão (km), expressamos aqui a distância percorrida por um veículo na unidade veículo-quilômetro (vkm).

Em primeiro lugar, foram estimados os fluxos de veículos por *link*, para cada período de uma hora entre 21h e 6h. Para tanto, o primeiro passo foi obter, na Pesquisa de Origem Destino 2007 (OD), o perfil horário das distâncias totais percorridas dentro do município<sup>7</sup>. O **Gráfico 1** mostra o perfil obtido e o compara com o perfil traçado a partir dos dados do modelo de transporte da CET.

**Gráfico 1: Distribuição da distância total percorrida por automóveis na RMSP ao longo do dia**



Como pode ser observado no **Gráfico 1**, há boa aderência entre o perfil estimado a partir da OD e o perfil obtido a partir dos dados do modelo de transporte da CET. Dessa forma, as distâncias totais percorridas (vkm) para cada hora do dia foram determinadas de modo que o perfil horário de distâncias totais percorridas resultante no modelo complementado se mantivesse adequado ao perfil mostrado pela estimativa obtida a partir da OD. O resultado desta complementação também se apresenta ilustrado no Gráfico 1.

O segundo passo, foi fazer a distribuição por *links* dessas distâncias totais percorridas por período do dia não contemplado no modelo original da CET. Isto foi realizado de forma simplificada, fazendo-se a interpolação linear entre as participações de cada *link* na distância total percorrida de todo o modelo, dos períodos 20h-21h e 06h-07h.

O terceiro e último passo foi fazer o cálculo das velocidades para cada um desses *links* em cada período do dia não contemplado no modelo original da CET. Este cálculo é baseado em funções de fluxo e velocidade, conforme as premissas da modelagem de transporte da CET. Para este cálculo, além do fluxo de automóveis, considerou-se o fluxo de caminhões contemplado no modelo original da CET.

<sup>7</sup> Para traçar este perfil, considerou-se: (i) as viagens com origem e/ou destino dentro do município de São Paulo, (ii) as distâncias das viagens como sendo as distâncias diretas entre as coordenadas de origem e de destino e (iii) a hora de partida como determinante do período em que acontece a viagem.

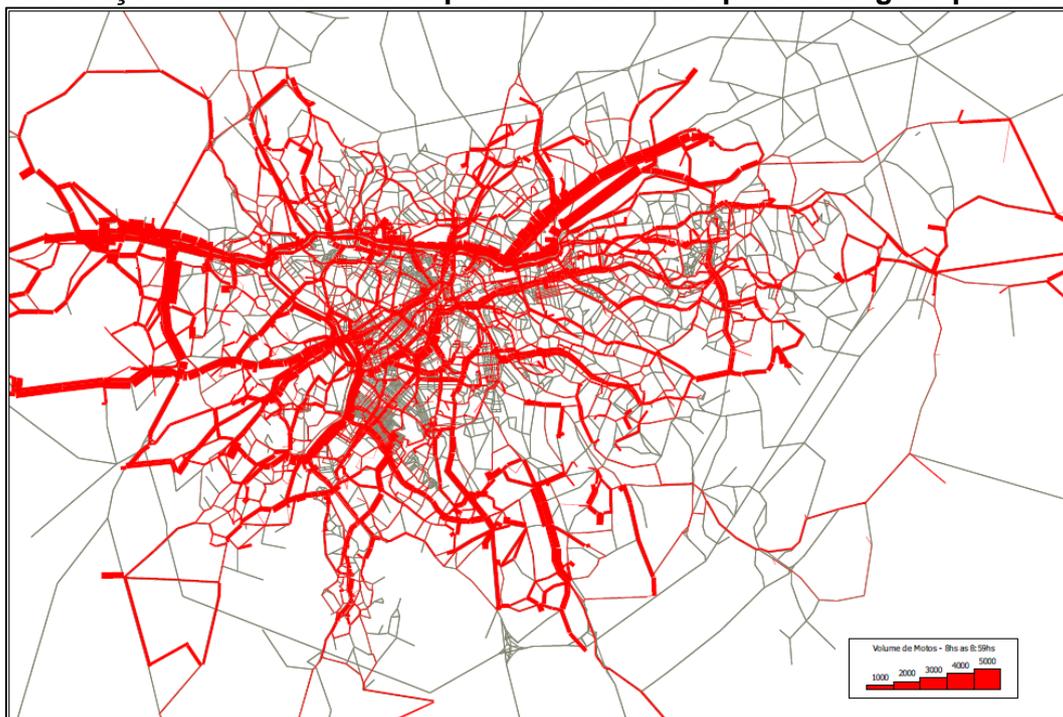
### 2.1.2 Motocicletas

Para as motocicletas, foi necessária a construção de um modelo de transporte. Tendo como base o modelo de transporte da CET para a circulação de automóveis e caminhões e os dados da “**Pesquisa Origem Destino 2007**” e da “**Pesquisa de Mobilidade Urbana 2012**”, foi desenvolvido, no âmbito da elaboração deste inventário, um modelo que representasse a circulação de motocicletas em um dia útil típico no município São Paulo em 2012.

Primeiramente, transformaram-se os dados de viagem das 31 macrozonas da Pesquisa de Mobilidade Urbana 2012 para as 460 microzonas da Pesquisa OD 2007. Para tanto, considerou-se que as proporções entre as microzonas (definidas na Pesquisa OD 2007) dentro da sua macrozona (definida na Pesquisa de Mobilidade Urbana 2012) permaneceram constantes entre 2007 e 2012.

Em seguida, procedeu-se ao carregamento dessas viagens para dentro do modelo de transporte disponibilizado pela CET, utilizando-se o software EMME, a partir do qual efetuou-se, segundo algoritmos internos e parametrizações definidas, a distribuição das viagens no sistema viário. A **Figura 3** ilustra um exemplo do resultado obtido, mostrando os fluxos de motocicletas por *link* para o período entre 8h e 9h.

**Figura 3: Ilustração do modelo de transporte desenvolvido para as viagens por motocicletas**

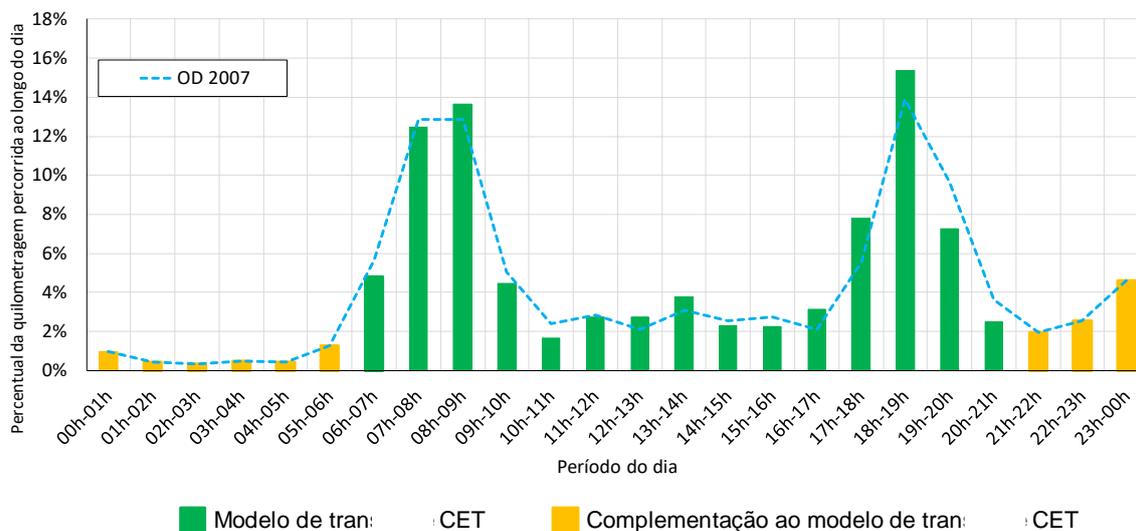


Conforme visto no caso dos automóveis, foi necessário aplicar uma correção para se obter volumes de motocicletas representativos de 2015 em cada um dos *links* do modelo desenvolvido. Para tanto, utilizou-se a evolução da frota de motocicletas no município de São Paulo, entre 2012 e 2015, publicada pela CETESB em seus “**Relatórios de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo**” (CETESB, 2013 e CETESB, 2016). O percentual de crescimento encontrado (2,94%) foi aplicado homogeneamente para todos os *links*.

O carregamento das viagens de motocicletas apenas foi feito para o período disponível no modelo de transporte original da CET. Assim, também foi necessário fazer uma complementação do modelo de transporte com dados para os períodos entre 21h e 6h.

Tal procedimento seguiu o método usado para os automóveis, onde foram estimados os fluxos de veículos por *link*, para cada período de uma hora entre 21h e 6h. Para tanto, o primeiro passo foi obter, na Pesquisa OD 2007, o perfil horário das distâncias totais percorridas dentro do município. O **Gráfico 2** mostra o perfil obtido e o compara com o perfil traçado a partir dos dados do modelo de transporte desenvolvido para motocicletas.

**Gráfico 2: Distribuição da distância total percorrida por motocicletas na RMSP ao longo do dia**



Como pode ser observado no **Gráfico 2**, assim como para automóveis, há boa aderência entre o perfil estimado a partir da OD e o perfil obtido a partir dos dados do modelo de transporte desenvolvido. A complementação realizada também se apresenta no **Gráfico 2**.

O último passo foi fazer a distribuição por *links* dessas distâncias totais percorridas por período do dia não contemplado no modelo original da CET. De maneira simplificada, novamente, essa distribuição foi realizada por interpolação linear entre as participações de cada *link* na distância total percorrida de todo o modelo, dos períodos 20h-21h e 06h-07h.

## 2.2 Fatores de emissão e parâmetros de consumo de combustível

### 2.2.1 Automóveis

Neste trabalho, aplicaram-se, sempre que possível, fatores de emissão e consumos específicos de combustível caracterizados de acordo com o ano de fabricação do veículo (ano-modelo), seu tipo de motor e combustível utilizado. Logo, foi necessário realizar caracterização semelhante para as

distâncias percorridas segundo um perfil de idades, tipo de motor e combustíveis utilizados pelos automóveis em circulação.

O perfil de idade da frota de automóveis em circulação, foi levantado a partir “**Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2015**” (CETESB, 2016).

Em seguida, foi necessário combinar esse perfil de idades levantado com a participação dos tipos de motores e o combustível queimado. São quatro as combinações de motor-combustível, cada uma com um correspondente fator de emissão específico a ser aplicado: (1) motores movidos exclusivamente a gasolina C, (2) motores movidos exclusivamente a etanol hidratado, (3) motores *flex-fuel* usando gasolina C e (4) motores *flex-fuel* usando etanol hidratado.

Para cada ano-modelo, o perfil de idade da frota, por tipo de motor, foi obtido também no Relatório da CETESB.

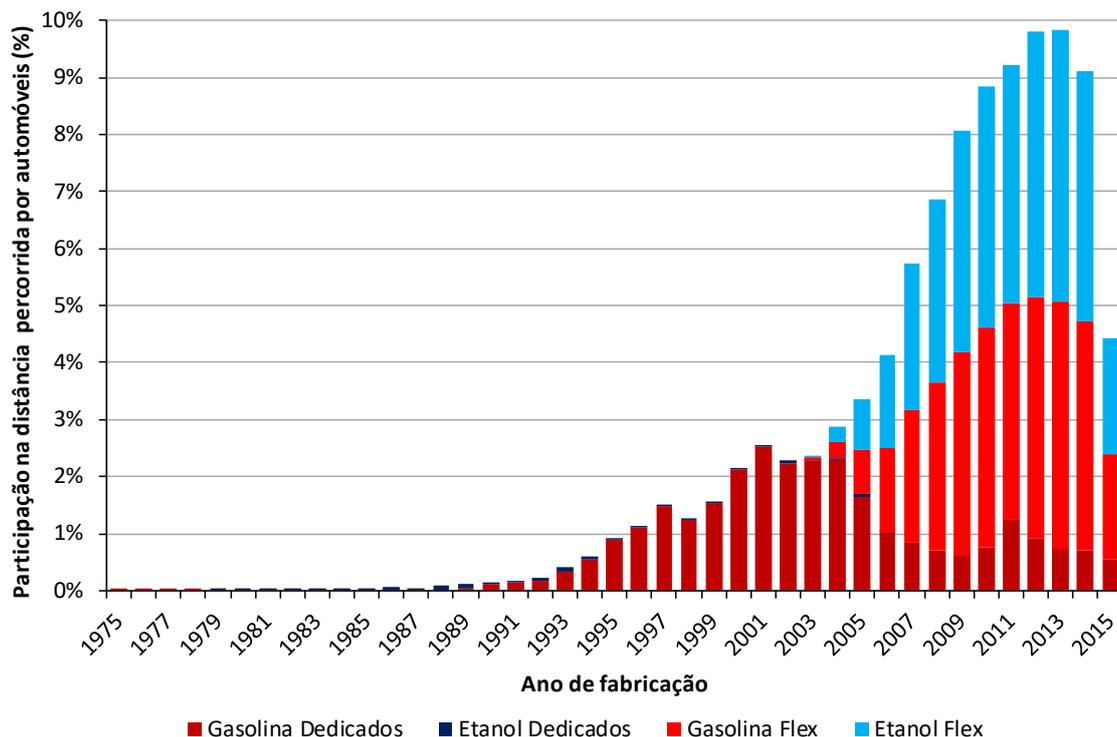
Já a determinação da fração de veículos *flex-fuel* que optaram por gasolina C ou por etanol hidratado foi feita conforme o método apresentado no “**Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013, Ano-base 2012**” (MMA, 2014)<sup>8</sup> e os consumos de gasolina C e etanol hidratado reportados pelo “**Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo 2015**” (SESP, 2016). Estimou-se que, em 2015, 52% dos veículos *flex-fuel* optou por etanol hidratado, enquanto 48% optou por gasolina C, aproximadamente.

Combinando esse perfil da frota, segundo idade e combinação motor-combustível, com as curvas de intensidade de uso por idade do veículo publicada no “**Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013, Ano-base 2012**” (MMA, 2014), foi possível levantar o perfil de distância percorrida por automóveis que pode ser visto no **Gráfico 3**.

---

<sup>8</sup> A metodologia parte da premissa de que as distâncias médias percorridas pelos veículos *flex-fuel* são iguais, independente do combustível escolhido. A fração de veículos *flex-fuel* que opta por cada um dos combustíveis é ajustada iterativamente no modelo de cálculo do inventário até que ela coincida com a razão observada entre os consumos totais dos combustíveis.

**Gráfico 3: Perfil de distância percorrida por automóveis em São Paulo, num dia útil típico (2015), segundo o ano de fabricação do veículo e o motor-combustível**



Cabe destacar que, por simplificação, a distribuição da distância percorrida segundo o ano de fabricação, tipo de motor e combustível utilizado foi considerada homogênea nos *links* do modelo de transporte. Em um trabalho futuro, cabe avaliar a inclusão de uma caracterização desta natureza durante o carregamento do modelo de transporte, através dos dados de pesquisa OD<sup>9</sup>.

O perfil de circulação apresentado no **Gráfico 3** foi empregado para ponderar os fatores de emissão e parâmetros de consumo de combustíveis, por ano de fabricação, tipo de motor e combustível utilizado, publicados pela CETESB. Dessa forma, obtiveram-se parâmetros médios representativos da circulação dos automóveis no município de São Paulo, apresentados na **Tabela 2**.

<sup>9</sup> Essa caracterização também se faz necessária pois, ao assumir uma distribuição homogênea nos *links* do modelo, insere-se uma fonte significativa de incerteza na localização das emissões o que prejudica a qualidade de modelos de dispersão de poluentes que possam vir a utilizar essas estimativas como dados de entrada.

**Tabela 2: Fatores de emissão e de consumo de combustível médios para automóveis**

Parâmetro de consumo de combustível e fatores de emissão	Dedicados Gasolina C	Dedicados Etanol Hidratado	Flex-fuel	
			Gasolina C	Etanol Hidratado
Consumo de combustível (L/km)	0,0895	0,1225	0,0830	0,1201
CO (g/km)	1,2103	8,4930	0,3184	0,4703
NO <sub>x</sub> (g/km)	0,1907	0,8566	0,0295	0,0357
NMHC <sub>comb</sub> (g/km)	0,1319	0,8422	0,0384	0,0564
NMHC <sub>evap</sub> (g/km)	0,0804	0,6891	0,0502	0,0543
RCHO (g/km)	0,0063	0,0773	0,0017	0,0108
MP <sub>comb</sub> (g/km)	0,0017	-	0,0012	-
CH <sub>4</sub> (g/km)	0,0373	0,1630	0,0121	0,0369
N <sub>2</sub> O (g/km)	0,0211	0,0095	0,0196	0,0170

Segundo o “1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários” (MMA, 2011):

*(...) inexistem no país, ou não são significativos, estudos que permitam dimensionar os reais impactos, sobre os fatores de emissão, das condições de operação, condução e manutenção da frota. Esses aspectos ganham importância à medida que se propõem inventários de maior resolução espacial e temporal, e que possam ser correlacionados com ações de melhoria da qualidade do ar. (MMA, 2011; p.70)*

Dado que num estudo de emissões a nível do sistema viário é importante reconhecer a influência de condições de percurso específicas, como a velocidade, e dada também a indisponibilidade de bases de informação ou estudos que forneçam fatores de emissão e de consumos específicos de combustível associados às características e condições operacionais (em especial a velocidade de percurso) representativos de veículos brasileiros, recorreu-se aqui a um procedimento semelhante ao adotado no estudo “Estimativa de redução das emissões atmosféricas resultante da implantação do Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte” (IEMA, 2014b).

Os consumos específicos de combustível e os fatores de emissão de CO, NO<sub>x</sub> e NMHC<sub>comb</sub> apresentados no “Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2015” (CETESB, 2016)<sup>10</sup> foram adaptados a partir de curvas de variação desses parâmetros em função da velocidade de percurso publicadas pela Agência Ambiental Europeia (EEA) em seu “Air Pollutant Emission Inventory Guidebook” (EMEP/EEA, 2016).

As curvas publicadas pela EEA são apresentadas por cilindrada e por fase tecnológica de controle de emissões para automóveis, segundo a legislação europeia (fases Euro). Assumiu-se uma média simples entre as diferentes faixas de cilindradas de modo a se obter uma única curva para cada fase Euro.

<sup>10</sup> O consumo de combustível e as emissões de CO, NO<sub>x</sub> e NMHC por quilômetro para veículos leves é levantado pelo PROCONVE segundo o “ciclo urbano” estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Esse ciclo é uma sequência de acelerações e velocidades que busca simular as condições de operação dos veículos nas cidades. Sua velocidade média é de aproximadamente 31,4 km/h (V<sub>ref</sub>). Os valores apresentados na **Tabela 2** são representativos dessa velocidade média.

As curvas obtidas foram normalizadas de forma a indicar variações dos parâmetros em relação a um valor representativo do ciclo urbano brasileiro ( $V_{ref} \approx 34,1$  km/h) em função da velocidade de percurso dos automóveis.

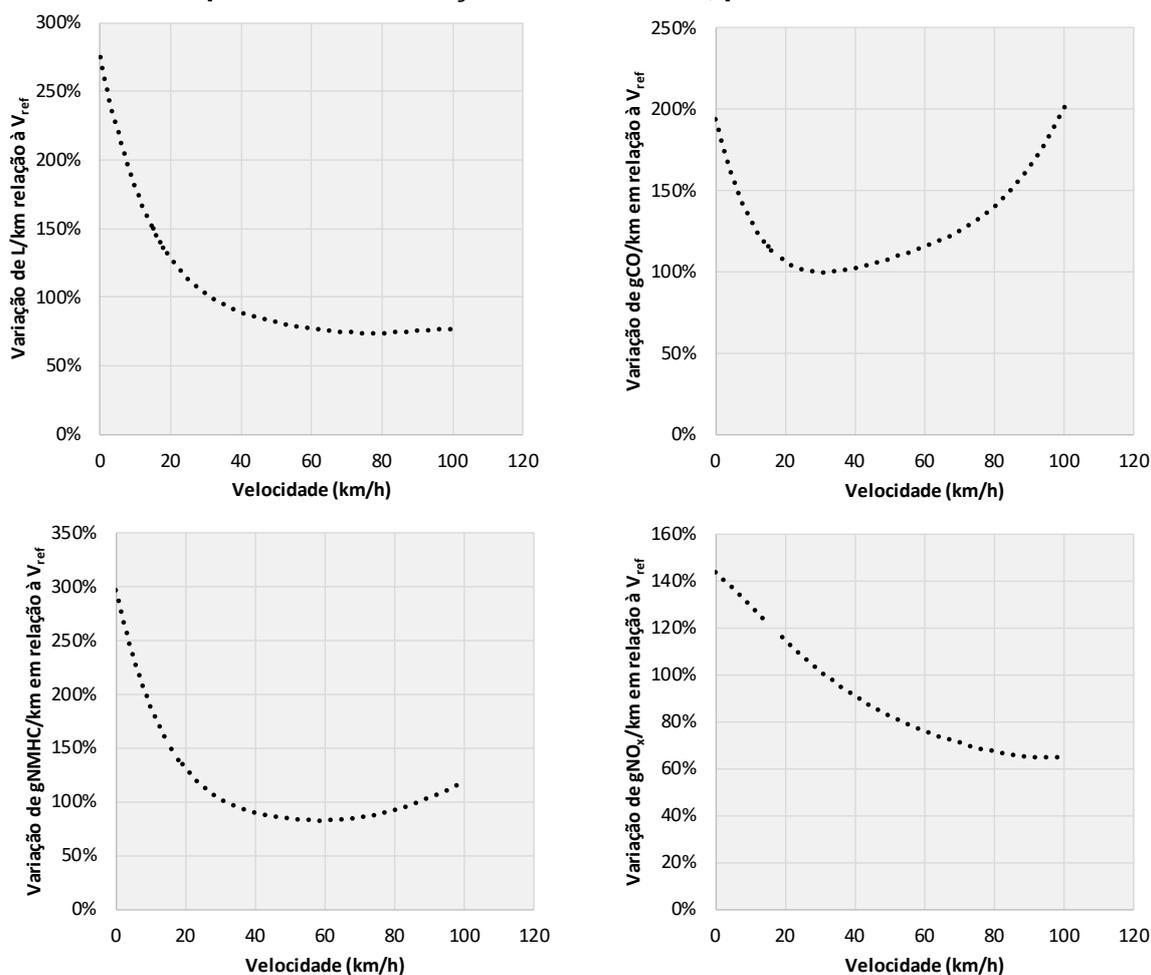
Conforme sugerido em **Ibarra, 2016**, a correspondência entre as fases tecnológicas europeias (Euro) e brasileiras (PROCONVE) está apresentada na **Tabela 3**.

**Tabela 3: Fases PROCONVE e Euro, segundo o ano de fabricação do automóvel**

Ano de fabricação do veículo	Fase PROCONVE	Fase Euro
Até 1987	L0	Pré-Euro
1988-1991	L1	
1992-1996	L2	Euro 1
1997-2004	L3	Euro 2
2005-2011	L4	Euro 3
2012-2013	L5	Euro 4
2014-2015	L6	Euro 5

Dada essa correspondência, foi possível obter uma curva única por parâmetro, ponderada pelo perfil de participação de cada ano-modelo na distância percorrida (**Gráfico 1**), por meio de uma regressão polinomial de quinto grau. As curvas obtidas são apresentadas no **Gráfico 4**.

**Gráfico 4: Variação de consumo de combustível e emissões (CO, NMHC<sub>comb</sub> e NO<sub>x</sub>) por quilômetro em função da velocidade, para automóveis**



Os fatores de emissão de MP<sub>desg</sub> (material particulado por desgaste de pneus, freios e pista) foram estimados como função da velocidade de percurso dos automóveis (em km/h), diretamente segundo as equações e parâmetros apresentados em EMEP/EEA, 2016:

$$v < 40 \rightarrow Fe(v)_{MP_{desg}} = 0,0286983$$

$$40 \leq v \leq 90 \rightarrow Fe(v)_{MP_{desg}} = 0,0391401 - 0,000260981 * v$$

$$v \geq 90 \rightarrow Fe(v)_{MP_{desg}} = 0,01465059$$

Nas equações acima,  $v$  representa a velocidade de circulação dos automóveis (km/h) e  $Fe(v)_{MP_{desg}}$  representa o fator de emissão em função da velocidade (gMP<sub>desg</sub>/km). Esse procedimento foi adotado em decorrência da ausência de fatores de emissão representativos das condições brasileiras, conforme discutido em MMA, 2014.

Para os demais gases e poluentes (NMHC<sub>evap</sub>, RCHO, MP<sub>comb</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O), não se considerou a variação dos fatores de emissão com a velocidade. Dessa forma, foram adotados os fatores de emissão médios apresentados na **Tabela 2**.

## 2.2.2 Motocicletas

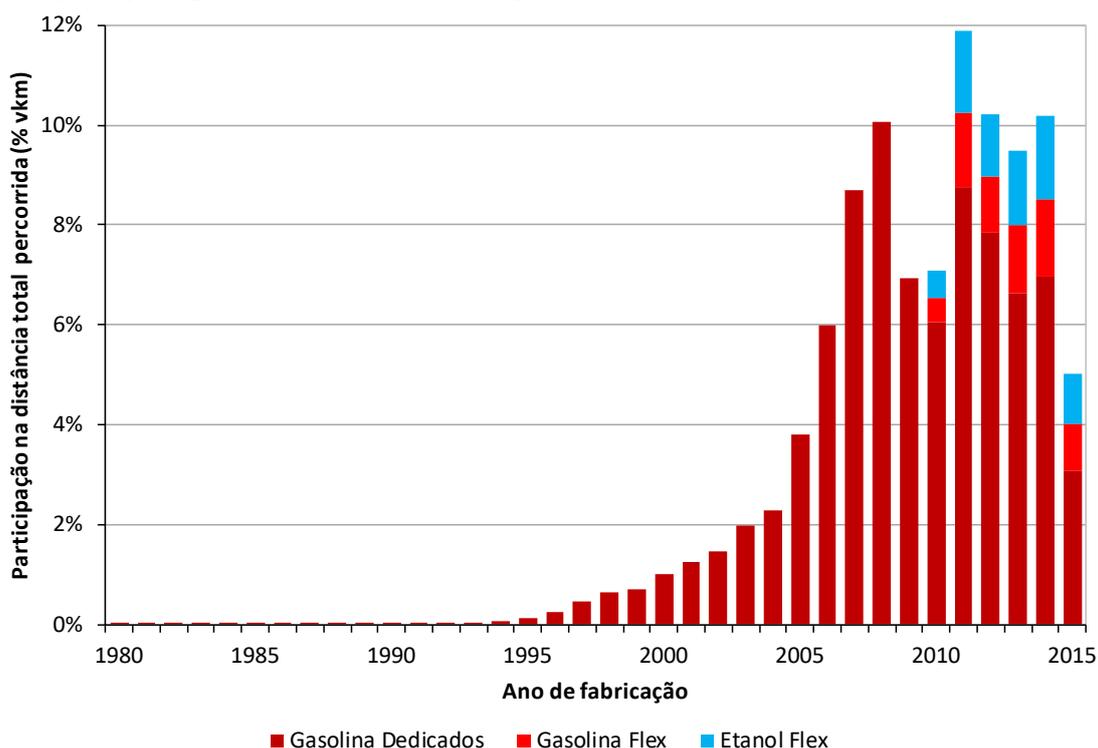
A determinação dos fatores de emissão e parâmetros de consumo de combustível para motocicletas teve um tratamento bastante similar ao dos automóveis.

A distribuição das distâncias totais percorridas por ano de fabricação e tipo de motor foram obtidos da combinação da distribuição da frota de motocicletas por ano de fabricação e tipo de motor, obtidas do “**Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2015**” (CETESB, 2016), e da distribuição da distância percorrida por ano de fabricação, obtida do “**Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 Ano-Base 2012**” (MMA, 2014).

O método empregado para determinação do combustível utilizado pelos veículos *flex-fuel* considera todos os veículos que possuem esse tipo de motor, dessa forma, o valor obtido foi aplicado tanto para automóveis como para motocicletas.

Esse o procedimento descrito permitiu a determinação da distância total percorrida (vkm) por ano de fabricação, tipo de motor e combustível utilizado. O **Gráfico 5** apresenta o resultado obtido.

**Gráfico 5: Perfil de distância percorrida por motocicletas em São Paulo, num dia útil típico (2015), segundo o ano de fabricação do veículo e o motor-combustível**



Tanto para o consumo específico de combustível quanto para os fatores de emissão de motocicletas, se optou por utilizar os valores apresentados no “**Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2015**” (CETESB, 2016) e no “**Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 Ano-Base 2012**” (MMA, 2014). Os valores médios obtidos após a aplicação da distribuição por ano de fabricação dos veículos, representada no **Gráfico 5**, são apresentados na **Tabela 4**.

Não se considerou, para motocicletas, a influência da velocidade de circulação dos veículos no consumo de combustível e nas emissões.

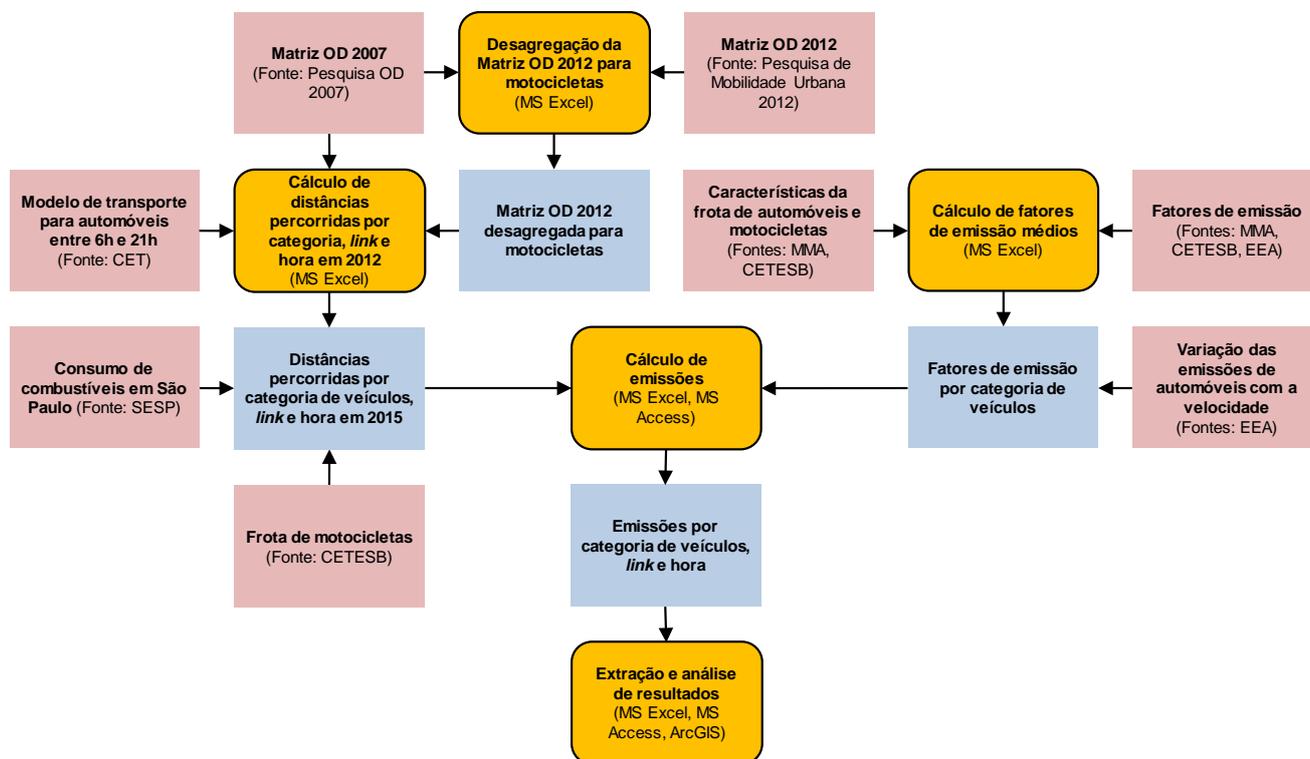
**Tabela 4: Fatores de emissão e parâmetros de consumo de combustível médios para motocicletas**

Parâmetro de consumo de combustível e fatores de emissão	Dedicados Gasolina C	<i>Flex-fuel</i>	
		Gasolina C	Etanol Hidratado
Consumo de combustível (L/km)	0,0270	0,0242	0,0350
CO (g/km)	2,7374	0,7854	0,7196
NMHC <sub>comb</sub> (g/km)	0,3575	0,0995	0,1129
NO <sub>x</sub> (g/km)	0,1061	0,0501	0,0447
MP <sub>comb</sub> (g/km)	0,0059	0,0035	-
MP <sub>desg</sub> (g/km)	0,0094	0,0094	0,0094
CH <sub>4</sub> (g/km)	0,0719	0,0330	0,0374
N <sub>2</sub> O (g/km)	0,0020	0,0020	-

### 2.3 Síntese de procedimentos, fontes de informação e instrumentos utilizados

A **Figura 4** sintetiza os fluxos de dados (dados de entrada em vermelho e dados de saída em azul), os procedimentos operacionais efetuados (em amarelo) e instrumentos utilizados (entre parênteses) para os cálculos de atividade, fatores de emissão e emissões por automóveis e motocicletas.

**Figura 4: Fluxograma de dados, procedimentos e instrumentos usados na estimativa de emissões por automóveis e motocicletas**



### 3. Estimativa de emissões por ônibus municipais

Foram estimadas neste inventário as emissões dos ônibus que compõem o sistema municipal de transporte público, ou seja, aquele sob gestão da São Paulo Transportes (SPTrans). A estimativa dessas emissões baseou-se principalmente em dois conjuntos de informações:

- (i) Taxa de atividade (ou distância percorrida): monitoramento da operação do sistema de transporte coletivo por ônibus via sistema de posicionamento global (GPS<sup>11</sup>), fornecido pela SPTrans.
- (ii) Fatores de emissão e consumos específicos de combustível: não se encontram disponíveis bases de informação ou estudos que forneçam tais dados associados às características e condições operacionais (em especial a velocidade de percurso) representativos de veículos brasileiros. Recorreu-se aqui aos fatores de emissão e parâmetros de consumo de combustíveis publicados pela Agência Ambiental Europeia (EEA), considerando-se que a maior parte dos fabricantes de chassis de ônibus no Brasil tem origem europeia.

Nesta primeira versão do Inventário, por ausência de informações prontamente disponíveis, foram relevadas as emissões oriundas dos transportes intermunicipais por ônibus do tipo urbano (sistema sob gestão da Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos – EMTU) e também as emissões

<sup>11</sup> Sigla em inglês para *global positioning system*.

oriundas do transporte por ônibus fretados. O detalhamento das estimativas de emissões por ônibus intermunicipais rodoviários será apresentado na seção 4.

### 3.1 Distância percorrida e velocidade de percurso

Para estimar as distâncias percorridas por ônibus, foram usados os dados de monitoramento da operação do sistema de transporte coletivo por ônibus via GPS, fornecidos pela SPTrans. Os dispositivos de localização automática de veículo (AVL<sup>12</sup>) equipados nos veículos monitorados registram as suas coordenadas geográficas (latitude e longitude) ao longo do tempo. Desse modo, através da sequência de posições geográficas de cada veículo monitorado, é possível obter uma aproximação da sua quilometragem percorrida.

O cálculo de distância foi efetuado para cada par de coordenadas consecutivas, por veículo, segundo o método da distância direta<sup>13</sup>. Do mesmo modo, é calculada a velocidade média deste percurso, tendo-se esta distância calculada e o intervalo de tempo decorrido entre o primeiro evento e o segundo evento do par. O cálculo de emissões é assim feito nesta mesma base, para cada par de coordenadas consecutivas de um veículo, registrado no sistema de monitoramento da SPTrans.

Cabe destacar que a aplicação do método da distância direta traz uma imprecisão uma vez que o veículo não realiza o percurso entre o par de coordenadas em uma perfeita linha reta. Assim sendo, para maior precisão em trabalhos futuros, recomenda-se que seja elaborado um método para calibrar o cálculo de distância percorrida.

Ressalva similar se aplica ao cálculo da velocidade de percurso entre o par de coordenadas. Assim como o deslocamento não é realizado em uma perfeita linha reta, também não o é em velocidade constante. Assim, para fins de cálculo de emissões, uma vez que a velocidade é uma variável que afeta os fatores de emissão de uma forma não-linear (ver seção 3.2), valores médios de velocidade podem não representar variações bruscas de velocidade ocorrendo no percurso entre os eventos registrados.

### 3.2 Fatores de emissão e parâmetros de consumo de combustível

Conforme já discutido na seção 2.2, para o nível de detalhamento proposto neste Inventário, a influência da velocidade nas emissões é significativa. Dessa forma, recorreu-se aqui a dados disponíveis em literatura, assumindo a semelhança entre ônibus brasileiros e europeus<sup>14</sup>.

---

<sup>12</sup> Sigla em inglês para *automatic vehicle locator*.

<sup>13</sup> A distância direta ( $D$ ) entre dois pontos geográficos ( $x$  e  $y$ ), definida como a menor distância entre eles medida ao longo da superfície de uma esfera, pode ser calculada em função das coordenadas destes pontos (**Latitude** e **Longitude**) e do raio da Terra ( $R_T$ ).

$$D = 2 \operatorname{asen} \left( \sqrt{\operatorname{sen}^2 \left( \frac{\operatorname{Latitude}_y - \operatorname{Latitude}_x}{2} \right) + \cos(\operatorname{Latitude}_x) \cos(\operatorname{Latitude}_y) \operatorname{sen}^2 \left( \frac{\operatorname{Longitude}_y - \operatorname{Longitude}_x}{2} \right)} \right) R_T$$

<sup>14</sup> A partir das estatísticas de vendas de veículos novos disponibilizadas pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), pode-se constatar a elevada predominância das

Foram adotados diretamente os dados utilizados pela Agência Ambiental Europeia em seu “**EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook**” (EMEP/EEA, 2016).

Tais dados podem ser encontrados em um arquivo disponível na página web da Agência Ambiental Europeia<sup>15</sup>. O arquivo contém fatores de emissão, expressos em gramas por quilômetro, para monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos (HC) e material particulado por combustão (MP<sub>comb</sub>), além de parâmetros de consumo de óleo diesel, também expressos em gramas por quilômetro, para veículos pesados – caminhões e ônibus.

Esses fatores e parâmetros são apresentados na forma de funções matemáticas dependentes da velocidade do veículo, e também da categoria do veículo, da fase tecnológica do motor (fases Euro), da carga do veículo (0%, 50% ou 100% carregado) e da declividade da pista (-6%, -4%, -2%, 0%, 2%, 4% ou 6%). Por simplificação, neste Inventário foram utilizadas as equações para declividade 0% e carregamento 50%, caracterizando uma suposta condição média de operação.

Um problema a ser encaminhado quando da aplicação destas funções foi o fato de elas não contemplarem aplicações em velocidades abaixo de 11 km/h. Assim, para velocidades abaixo de 11 km/h, assumiu-se o fator de emissão constante e igual àquele calculado para a velocidade de 11 km/h. Isto pode ser apontado como uma significativa fonte de erro, uma vez que, na realidade do município, boa parte da circulação dos veículos ocorre em velocidades mais baixas do que 11 km/h. Para melhores resultados, este problema deve, portanto, ser enfrentado em futuros trabalhos.

Foram empregadas funções de consumo específico de combustível e emissões em função da velocidade para as categorias de ônibus urbanos da EEA (midi, standard e articulado) e para as três fases tecnológicas presentes no sistema de ônibus da SPTrans em 2012 (fases P4, P5 e P7 do PROCONVE, correspondentes às fases Euro II, Euro III e Euro V no sistema europeu).

Para a aplicação desses fatores de emissão, fez-se necessário adotar uma correspondência entre as categorias de porte de veículo definidas pela SPTrans com aquelas apresentadas pela EEA, o que está apresentado na **Tabela 5**. Nota-se que tal correspondência adotada não se mostra ideal, visto que não permite diferenciar as variações de porte entre, por exemplo, os ônibus articulados e biarticulados. Entretanto, na ausência de dados melhores, optou-se por assumir tais simplificações.

**Tabela 5: Correspondência entre as categorias de ônibus SPTrans e EEA**

<b>Categorias SPTrans</b>	<b>Capacidade (SPTrans)</b>	<b>Categorias EEA</b>
Micro-Ônibus	21 passageiros	Ônibus midi (<15t)
Miniônibus	40 passageiros	
Midiônibus	60 passageiros	Ônibus standard (15-18t)
Básico	68 passageiros	
Padron	88 passageiros	
Articulado	112 passageiros	Ônibus articulado (>18t)
Biarticulado	170 passageiros	

---

montadoras de origem europeia no mercado brasileiro de ônibus (principalmente Mercedes-Benz e Volkswagen).

<sup>15</sup> <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016> – seção 1.A.3.b.i-iv Road Transport Annex HDVs 2016.

Quanto à geração tecnológica dos motores, a correspondência com o padrão europeu é mais adequada, haja visto que os limites de emissão para motores estabelecidos pelo PROCONVE têm, historicamente, tomado como base as regulações europeias comumente referenciadas como “Euro”. A **Tabela 6** mostra essas correspondências.

**Tabela 6: Fases PROCONVE e Euro, segundo o ano de fabricação do ônibus**

Ano de fabricação do veículo	Fase PROCONVE	Fase EURO
2002-2003	P4	Euro II
2004-2011	P5	Euro III
2012	P7	Euro V

A EEA ainda segmenta os veículos Euro V (P7) em duas classes, uma que utiliza o sistema de controle de emissões SCR e outra que utiliza o sistema EGR<sup>16</sup>. Neste estudo assumiu-se que todos os ônibus utilizam tecnologia SCR, considerando que o sistema EGR é preferencialmente aplicado em veículos de pequeno porte, em geral veículos comerciais leves.

Para os poluentes e gases CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e MP<sub>desg</sub>, não são apresentadas pela EEA curvas relacionando as emissões com a velocidade de circulação. Assim, neste Inventário, foram utilizados os fatores de emissão para ônibus urbanos adotados pelo “**Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013, Ano-base 2012**” (MMA, 2014), conforme mostra a **Tabela 7**. Quanto ao CO<sub>2</sub>, o fator de emissão e a metodologia de cálculo são apresentados na seção 5.

**Tabela 7: Fatores de emissão de MP<sub>desg</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O para ônibus**

Poluente ou gás	Fator de emissão (g/km)
MP <sub>desg</sub>	0,097
CH <sub>4</sub>	0,060
N <sub>2</sub> O	0,030

### 3.3 Síntese de procedimentos, fontes de informação e instrumentos utilizados

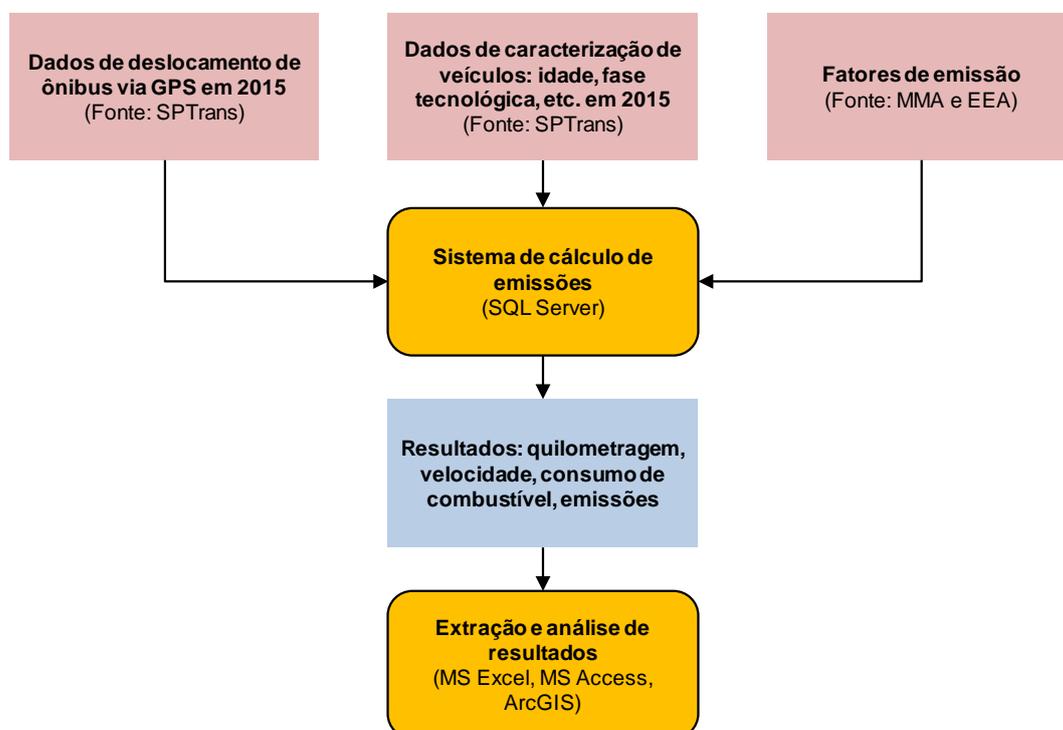
Dado o volume de dados gerados pela SPTrans no seu sistema de monitoramento dos ônibus por GPS, desenvolveu-se um programa computacional em Linguagem de Consulta Estruturada (SQL<sup>17</sup>) para processar tal quantidade de informações. Tal processamento, que efetua o método descrito nos itens anteriores, consistiu em: identificar e validar cada par consecutivo de registros; calcular a distância percorrida pelo veículo; calcular a velocidade média de percurso; calcular o consumo de combustível; calcular as emissões atmosféricas; e associar o deslocamento a uma quadrícula.

<sup>16</sup> SCR (*Selective Catalytic Redution*) e EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) são diferentes estratégias tecnológicas de motores de veículos pesados do ciclo Diesel para o atendimento aos limites de emissão da fase P7 do PROCONVE.

<sup>17</sup> Sigla em inglês para *Structured Query Language*, que é a linguagem de pesquisa declarativa padrão para banco de dados relacional.

De um modo geral, a **Figura 5** ilustra os fluxos de dados (dados de entrada em vermelho e dados de saída em azul), os procedimentos operacionais (em amarelo) e os instrumentos técnicos usados (entre parênteses) para obtenção dos resultados associados à circulação dos ônibus municipais.

**Figura 5: Fluxograma de dados, procedimentos e instrumentos usados na estimativa de emissões por ônibus**



#### 4. Estimativa de emissões por ônibus rodoviários

Foram estimadas neste inventário as emissões dos ônibus intermunicipais rodoviários que operam entre terminais rodoviários e/ou agências de venda de passageiros.

Esses ônibus são dotados de poltronas individuais numeradas, porta única para embarque e desembarque, bagageiro externo e proibição de transporte de passageiros em pé. Em São Paulo, se utilizam dos terminais rodoviários Tietê, Barra Funda e Jabaquara.

##### 4.1 Distância percorrida e velocidade de percurso

O principal conjunto de dados de atividade levantado para essas estimativas foram os “**Relatórios de Partidas Realizadas**” cedidos pela Socicam, empresa responsável pela administração dos três terminais rodoviários do município de São Paulo.

A partir dos relatórios de 2015, foi possível caracterizar as viagens diárias por origem, destino e hora do dia. Para cada uma dessas viagens, foi associada uma rota típica que o veículo percorre dentro

dos limites do município<sup>18</sup>. Dessa forma, obteve-se de forma espacialmente explícita a quilometragem percorrida por esses veículos e associou-se essa taxa de atividade a uma das quadrículas definidas neste Inventário.

#### 4.2 Fatores de emissão e parâmetros de consumo de combustível

Conforme discutido na seção 2.2, para que fosse possível capturar o efeito da velocidade de circulação nas emissões dos veículos, foram empregados fatores de emissão e de consumo específico de combustível usados pela Agência Ambiental Europeia (EEA - *European Environment Agency*) em seu “**EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook**” (EMEP/EEA, 2016).

Uma vez que não há informações prontamente disponíveis a respeito do perfil da frota de ônibus intermunicipais rodoviários (categoria e ano de fabricação), caracterizou-se um “veículo típico” operando em condições médias<sup>19</sup>.

A velocidade de circulação desses veículos foi obtida a partir das velocidades apresentadas no modelo de transporte fornecido pela CET, dada a premissa de que esses ônibus circulam em trânsito compartilhado com os outros veículos.

### 5. Estimativa de emissões de CO<sub>2</sub> por combustível

Os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> utilizados neste inventário foram obtidos no relatório “**Emissões de Gases de Efeito Estufa por Queima de Combustíveis: Abordagem *Bottom-Up* - Relatório de Referência – Anexo metodológico**” (MCTI, 2016). No relatório, esses fatores são expressos em massa de CO<sub>2</sub> por unidade de energia (kgCO<sub>2</sub>/TJ). Assim sendo, foi necessário converter os fatores para kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> através da densidade energética dos combustíveis, obtida no “**Balço Energético Nacional 2016, Ano-base 2015**” (MME, 2016). Para tanto, a seguinte equação é aplicada:

$$E_{CO_2,f,c,i} = C_{f,c,i} * Fe_{CO_2,f} * \rho_{energia,f} * \frac{TJ}{tep}$$

Onde:

$E_{CO_2,f,c,i}$	Emissões de CO <sub>2</sub> associadas a queima do combustível $f$ por veículos da categoria $c$ , de idade $i$ (kgCO <sub>2</sub> )
$Fe_{CO_2,f}$	Fator de emissão de CO <sub>2</sub> por unidade de energia contida no combustível $f$ (kgCO <sub>2</sub> /TJ)
$\rho_{energia,f}$	Densidade energética do combustível $f$ (tep/m <sup>3</sup> )

<sup>18</sup> Foram criadas doze rotas de viagens que possuem o município de São Paulo como origem (terminal rodoviário – rodovia) e doze rotas na qual o município é o destino (rodovia – terminal rodoviário). Para tal, associou-se a cada uma das cidades apresentadas nos relatórios da Socicam uma rodovia tipicamente utilizada.

<sup>19</sup> Os parâmetros empregados são aqueles definidos pela EEA como os dos ônibus “*Coaches Standard Euro V*”, em uma situação de declividade 0% e carregamento 100%.

$$\frac{TJ}{tep}$$

Conversão das unidades de energia (TJ para tep) igual a 0,041868

A **Tabela 8** apresenta as densidades energéticas e fatores de emissão dos combustíveis utilizados nas estimativas das emissões de CO<sub>2</sub>.

Ainda que não sejam reportadas, as emissões associadas aos biocombustíveis foram estimadas e os parâmetros utilizados também são apresentados na **Tabela 8**. Os teores de etanol anidro na gasolina C<sup>20</sup> e de biodiesel no óleo diesel<sup>21</sup> comercializados no município também foram aplicados.

**Tabela 8: Parâmetros utilizados nas estimativas de emissões de CO<sub>2</sub>**

Combustível	Densidade Energética (tep/m <sup>3</sup> )	Fator de emissão (kgCO <sub>2</sub> /TJ)	Fator de emissão (kgCO <sub>2</sub> /L)
Etanol Anidro	0,534	70.800	1,583
Etanol Hidratado	0,510	70.800	1,512
Biodiesel	0,792	74.100	2,457
Gasolina Automotiva	0,770	69.300	2,234
Diesel Mineral	0,848	74.100	2,631

<sup>20</sup> Gasolina C ou gasolina comum é a mistura entre gasolina automotiva e etanol anidro. Em 2015, o teor de etanol anidro na mistura comercializada foi 27% em volume (Secretaria de Energia, 2016).

<sup>21</sup> Chama-se aqui de óleo diesel a mistura de diesel mineral com biodiesel. Em 2015, o teor de biodiesel na mistura comercializada foi 7% em volume, conforme especificação vigente da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

## Referências

- ANFAVEA, Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores, 2016. “Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2015”.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2016. “Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2015”.
- Cook, R., Isakov, V., Touma, J.S., Benjey, W., Thurman, J., Kinnee, E., Ensley, D., 2008. “Resolving Local-Scale Emissions for Modeling Air Quality near Roadways”. Journal of the Air & Waste Management Association.
- ETC/ACM, European Topic Center on Air Pollution and Climate Change Mitigation, 2013. “Recommendations for improvements of urban scale emission studies”.
- EMEP/EEA, European Monitoring and Evaluation Programme / European Environment Agency, 2016. “Emission Inventory Guidebook 2016”.
- Ibarra, S., Ynoue R., 2016. “REMI model: Bottom-up emissions inventories for cities with limited data”. Transport and Air Pollution Conference, May 23-26 2016, Lyon, France.
- IEMA, Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2014. “Estimativa de redução das emissões atmosféricas resultante da implantação do Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte”.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006. “Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”.
- MCTI, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. “Emissões de Gases de Efeito Estufa por Queima de Combustíveis: Abordagem Bottom-Up - Relatório de Referência – Anexo metodológico”.
- MME, Ministério de Minas e Energia, 2016. “Balanço Energético Nacional 2016, Ano-base 2015”.
- Metrô SP, Companhia do Metropolitano de São Paulo, 2008. “Pesquisa Origem e Destino 2007. Região Metropolitana de São Paulo”.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente, 2011. “1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários”. Relatório Final.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente, 2014. “Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013, Ano-base 2012”.
- SESP, Secretaria de Energia do Estado de São Paulo, 2016. “Anuário Estatístico de Energéticos por Município no Estado de São Paulo 2015”.
- Saide, P., Zah, R., Osses, M., Ossés de Eicker, M., 2009. “Spatial disaggregation of traffic emission inventories in large cities using simplified top-down methods”.
- Sidiropoulos, C., Tsilingiridis, G., Pentaliotis, A., Evripidou, C., Papastavros, C., Mesimeris, T., Papastavrou, M., 2009. “A Spatially Allocated Air Pollution Emissions Inventory for Cyprus”. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology, Chania, Creta, Grécia.

Wang, H., Fu, L., Lin, X., Zhou, Y., Chen, J., 2008. "A bottom-up methodology to estimate vehicle emissions for the Beijing urban area."