

# COMUNICAÇÃO ESTADUAL

1º INVENTÁRIO DE EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA DIRETOS E INDIRETOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

EMISSÕES NO SETOR DE ENERGIA: SUBSETOR DE TRANSPORTES



**1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo**

**EMISSÕES NO SETOR DE ENERGIA  
SUBSETOR DE TRANSPORTES  
1990 A 2008**

**Governo do Estado de São Paulo**

Secretaria do Meio Ambiente

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

São Paulo, 2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

C418p CETESB (São Paulo)

Emissões no setor de energia [recurso eletrônico] : subsetor de transportes : relatório de referência / CETESB ; coordenação técnica e editorial João Wagner Silva Alves, Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer ; revisão técnica Bruna Patrícia de Oliveira, João Wagner Silva Alves ; equipe Bruna Patrícia de Oliveira ... [et al.]. – São Paulo : CETESB, 2014.

1 arquivo de texto (166 p.): il. color., PDF ; 37 MB. – (Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do estado de São Paulo, 1)

Publicado também em CD

Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>

ISBN 978-85-61405-63-2

1. Aquecimento global 2. Efeito estufa – gases 3. Gases – inventário 4. Mudanças climáticas 5. Política ambiental 6. Transportes – emissões antrópicas 7. São Paulo (Est.)  
I. Título II. Série.

CDD (21. ed. Esp.) 363.738 748 161

CDU (2. ed. Port.) 504.7:629(815.6)

Catalogação na fonte: Margot Terada CRB 8.4422

**Governo do Estado de São Paulo**  
Geraldo Alckmin

**Secretaria do Meio Ambiente**  
Bruno Covas

**CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**  
Otavio Okano



**CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**

Otavio Okano – Diretor-Presidente

**Diretoria de Gestão Corporativa**

Sergio Meirelles Carvalho – Diretor

**Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental**

Aruntho Savastano Neto – Diretor

**Diretoria de Engenharia e Qualidade Ambiental**

Carlos Roberto dos Santos – Diretor

**Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental**

Ana Cristina Pasini da Costa – Diretora



# RELATÓRIO DE REFERÊNCIA

## EMISSÕES NO SETOR DE ENERGIA SUBSETOR DE TRANSPORTES

### Coordenação:

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB



Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – PROCLIMA



### Parcerias:



**GOVERNO DO ESTADO  
DE SÃO PAULO**

### Apoio:



Embaixada Britânica  
Brasília



## APRESENTAÇÃO DO SECRETÁRIO

O Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo é fundamental para que se conheça o nível de emissões desses gases e suas principais fontes, possibilitando a análise das questões relacionadas à intensificação do efeito estufa causado pelas atividades humanas e permitindo a identificação dos setores chaves para a adoção de ações e medidas.

Neste volume, são apresentadas as emissões no setor de energia, no subsetor de transportes. O Inventário do Subsetor de Transportes é composto pelos Inventários de Transportes Aquaviário, Aéreo, Ferroviário e Rodoviário, e contou com a participação fundamental de especialistas do setor.

As informações apresentadas aqui são um importante subsídio que nos permitirá avançar na execução da Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC) e orientará a incorporação das questões climáticas no processo decisório inerente às políticas setoriais no estado de São Paulo, estimulando a adoção de tecnologias e práticas que possam promover a redução de GEE e nos orientar no sentido de uma economia de baixo carbono.

Além disso, um dos objetivos da PEMC é a promoção da educação ambiental e a conscientização social sobre as mudanças climáticas globais, informando amplamente acerca desse fenômeno, identificando vulnerabilidades e propondo medidas de adaptação, ações de prevenção e opções para a construção de um modelo de desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, o inventário é a ferramenta chave para que se estabeleça um panorama geral e detalhado sobre as emissões de GEE no estado, cumprindo o dever de comunicar à sociedade, em forma apropriada e contábil, dados sobre as emissões desses gases.

É nosso objetivo primordial fazer com que o estado de São Paulo participe de forma cada vez mais ativa nas iniciativas voltadas para o equilíbrio ambiental global e, por consequência, proporcione um ambiente cada vez mais saudável e com qualidade de vida para a nossa população.

**Bruno Covas**

Secretário do Meio Ambiente



## APRESENTAÇÃO

Esta publicação é uma síntese de quatro relatórios de referência elaborados sobre as emissões de gases de efeito estufa do subsetor de transportes do Estado de São Paulo, presentes também no Inventário de Emissões do Setor de Energia, e reunidos neste documento. São eles: transporte aéreo, transporte ferroviário, transporte aquaviário e transporte rodoviário. Complementam as emissões do setor de energia, os relatórios de queima de combustíveis: abordagem de referência (top-down) e abordagem setorial (bottom-up). Seu desenvolvimento se deu, principalmente, baseado nos métodos de 1996 e 2000 do Painel Intergovernamental de Mudanças do Clima (IPCC), resultando em um trabalho com transparência e comparabilidade com o Inventário Nacional das Emissões de Gases de Efeito Estufa do país.

Os Relatórios de Referência do Subsetor de Transportes, que compõem esta publicação foram desenvolvidos em parceria entre a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e o Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), tendo contado também com a colaboração de diversas outras instituições e pesquisadores dos setores inventariados, com o apoio da Embaixada Britânica no Brasil, no âmbito do Projeto "Apoio à Política Climática do Estado de São Paulo". É importante frisar a sua relevância, apresentando um mapa das emissões do subsetor no Estado 1990 a 2008, e servindo como suporte aos esforços de redução e mitigação, tendo como foco as práticas sustentáveis.

Elaborado sob a coordenação da CETESB, o Inventário de Emissões do Setor de Energia do Estado de São Paulo - Subsetor de Transportes é parte da Comunicação Estadual, prevista na Lei n. 13.798, de 9 de novembro de 2009, que institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas e define o compromisso do Estado frente às mudanças climáticas, entre eles, a elaboração de inventários de emissões antrópicas dos gases de efeito estufa controlados pelo Protocolo de Quioto.

**Otávio Okano**

Diretor Presidente da CETESB



## **Diretor-Presidente**

Otavio Okano

## **Departamento de Cooperação Institucional e Internacional – VI**

Fátima Aparecida Carrara

## **Divisão de Mudanças Climáticas – VIC**

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

## **Comunicação Estadual – Coordenação Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – PROCLIMA**

## **Ficha Técnica da Publicação**

### **Coordenação Técnica e Editorial**

João Wagner Silva Alves

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

### **Revisão Técnica**

Bruna Patrícia de Oliveira – Consultora Técnica

João Wagner Silva Alves

### **Equipe**

Bruna Chyoshi

Bruna Patrícia de Oliveira- Coordenadora Executiva

Camila Capassi Malagodi

Carlos Alberto Sequeira Paiva

Daniel Soler Huet

João Henrique Muniz de Souza - Coordenação Executiva

João Wagner Silva Alves

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Ligia Prangutti Orlandi

Natacha Nogueira Britschka

Neuza Maria Maciel

Omar de Almeida Cardoso

Rodrigo Cietto Ridolfi - Coordenação Executiva

## **Colaboradores**

André Luiz de Lima Reda, Caio Augusto Pinheiro Corrêa, Calvin Stefan Iost, Camila Bernardo de Faria, Camila Capassi Malagodi, Cristiane Dias, Denise Soletto, Edson Eduardo Mrocoski, Érica Marie Tachibana, Francisco do Espírito Santo Filho, Gabriela Pacheco Rotondaro, Gabriela Sá Leitão de Melo, Gisele dos Anjos Passareli, Isabela Maria Rodrigues Silva, Ligia Prangutti Orlandi, Marcelo Pereira Bales, Marcelo Poci Bandeira, Mariana Rezende Ayrosa, Mariana Pedrosa Gonzalez, Matheus Fernando Kelson Batinga de Mendonça, Mayra Braga Rocha, Mauro Meirelles, Natacha Nogueira Britschka, Paula Fernandes Iezzi, Renata Monteiro Siqueira, Roberto de Aguiar Peixoto, Rodrigo Botteghin Machado, Rodrigo do Prado Rezende, Tiago Costa Minelli, Toshiko Ueda, Vanderlei Borsari.

## **Capa**

Vera Severo

## **Editoração**

Eduardo Shimabokuro – Consultor Técnico

Wilson Issao Shiguemoto

## **Fotos**

Acervo Cetesb

Acervo da SMA

Omar de Almeida Cardoso

**Projeto CETESB (PSF LGHG CCE 0195) “Apoio a Política Climática do Estado de São Paulo”, Inventário de Gases de Efeito Estufa do Estado de São Paulo, 1990–2008, sob a coordenação do Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – PROCLIMA**

**Coordenação Institucional**

Fátima Aparecida Carrara – Gerente do Departamento de Cooperação Institucional e Internacional  
Luciana Morini (apoio)

**Coordenação Executiva**

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

**Coordenação Técnica**

João Wagner Silva Alves

**Publicação CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**

Para obter outras informações:

**Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – PROCLIMA**

Avenida Professor Frederico Hermann Júnior, 345, CEP 05459-900, São Paulo – SP

Telefone: +55 (11) 3133 3000, (11) 3133 3563; Fax: (11) 3133 4058/3402

e-mail: [proclima@cetesbnet.sp.gov.br](mailto:proclima@cetesbnet.sp.gov.br) / [vic\\_cetesb@sp.gov.br](mailto:vic_cetesb@sp.gov.br)

[www.cetesb.sp.gov.br/geesp](http://www.cetesb.sp.gov.br/geesp)

[www.cetesb.sp.gov.br/proclima](http://www.cetesb.sp.gov.br/proclima)

**A realização deste trabalho só foi possível com o apoio da Embaixada Britânica no Brasil**



**Embaixada Britânica  
Brasília**



## Agradecimentos

Nossos sinceros agradecimentos a: Alan Charlton, ex- embaixador do Reino Unido no Brasil, parceiro imprescindível; Otavio Okano e Nelson Roberto Bugalho, respectivamente presidente e ex- vice-presidente da CETESB, pelo apoio incondicional; Fátima Aparecida Carrara que coordenou o relacionamento institucional da CETESB com a Embaixada Britânica, uma parceira estratégica, contando com o apoio presente e incansável de Luciana Morini e equipe do Departamento de Cooperação Institucional e Internacional da CETESB; Fernando Rei, ex-presidente da CETESB, pelo apoio à cooperação com a Embaixada Britânica durante o seu mandato; José Domingos Gonzales Miguez, Newton Paciornick e Thelma Krug pela confiança, longa parceria e apoio na implementação deste 1º Inventário de Emissões de GEE.

Expressamos nosso agradecimento: à equipe da Embaixada Britânica, pelo apoio durante os três anos do desenvolvimento deste projeto, agradecendo em especial à Ana Nassar, Daniel Grabois, Larissa Araújo, Márcia Sumirê e Raissa Ferreira; à equipe do IMT, Carolina de Andrade, Gabriela Sá Leitão de Mello, André Luiz de Lima Reda, em especial à Roberto de Aguiar Peixoto; à Bruna Patrícia de Oliveira, sem a qual a realização desta publicação não seria possível; à Érica Marie Tachibana, por suas revisões e contribuições preciosas que agregaram qualidade e precisão às conclusões deste trabalho; à Cristiane Dias, Marcelo Bales e Vanderlei Borsari (CETESB) pelo apoio nas revisões técnicas e informações; à Daniel Nicolato Epitácio Pereira da ANAC, à Mika Saito da DAESP, à Marcelo Poci Bandeira e Milton Xavier ambos da Secretaria Estadual de Logística e Transportes; à Adriano Truffi Lima da Secretaria Estadual de Logística e Transportes da Cia. Docas de São Sebastião; Ramón Carollo Sarabia Neto e Ariovaldo Ferraz de A. Veiga ambos da Companhia do Metropolitano de São Paulo; Márcio de Oliveira Pinto e Fernando Regis dos Reis da ANTT, pelo fornecimento de informações estratégicas ao desenvolvimento destes inventários; às equipes da Associação Brasileira da Indústria do Poliuretano (ABRIPUR), do Ministério do Meio Ambiente (MMA), do Escritório para Implementação do Protocolo de Montreal no Brasil (PNUD), da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) na pessoa de André Luís Ferreira, David Shiling Tsai e Carmen Sílvia Câmara Araújo, nossos sinceros agradecimentos pelas informações estratégicas fornecidas, que possibilitaram a elaboração deste documento; à Margot Terada (CETESB) pelas orientações e apoio imprescindível na revisão bibliográfica deste documento; e finalmente, Francisco Emilio Baccaro Nigro da Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia pela revisão e apoio para o desenvolvimento deste trabalho.





# SUMÁRIO EXECUTIVO





## Sumário Executivo

### A Política Estadual de Mudanças Climáticas

De acordo com a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), as mudanças climáticas estão relacionadas, direta ou indiretamente às atividades humanas que alteram a composição global da atmosfera além da variabilidade climática natural. (IPCC, 2007). A Convenção do Clima foi adotada em 1992 e nos artigos 4º e 12º é apresentado o dever da elaboração de inventários periódicos pelas Partes, que devem incorporar as emissões ou remoções antrópicas de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal.

O Brasil como Parte da Convenção vem elaborando seus inventários periodicamente. Além das obrigações nacionais, observam-se no país iniciativas de governos estaduais e municipais relacionadas a essa questão global, como no Estado de São Paulo.

O Governo do Estado de São Paulo, por meio da Lei n. 13.798 de 09 de novembro de 2009 (SÃO PAULO, 2009a), instituiu a Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC), regulamentada pelo Decreto n. 55.947 de 24 de junho de 2010 (SÃO PAULO, 2010). No Artigo 6º dessa lei estão definidas as diretrizes para a elaboração, atualização periódica e a publicação de inventários de emissões e remoções antrópicas de GEE não controlados pelo Protocolo de Montreal, discriminadas por fontes e sumidouros, com o emprego de métodos comparáveis nacional e internacionalmente (CETESB, 2011). Na 1ª Comunicação Estadual, ampliou-se o escopo legal, incluindo as emissões dos gases controlados pelo Protocolo de Montreal.

### O Inventário

A 1ª Comunicação Estadual (CETESB, 2011) apresentou as emissões de GEE do Estado divididas em cinco principais setores: Energia, Processos Industriais e Uso de Produtos,

Agropecuária, Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas, e Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos. O Inventário do Subsetor de Transportes é parte integrante do Setor de Energia.

O Inventário do Subsetor de Transportes é composto pelos Inventários de Transportes Aquaviário, Aéreo, Ferroviário e Rodoviário, e contou com a participação fundamental de especialistas do setor de transportes para a conclusão dos trabalhos, contribuindo com a disponibilização de informações técnicas e, interpretação de dados e informações.

Para a elaboração dos inventários de Transporte Ferroviário e Aquaviário foram consultados especialistas da Secretaria Estadual de Logística e Transportes e da Secretaria de Desenvolvimento do Estado de São Paulo.

Para a elaboração do Inventário de Transporte Aéreo foram realizados contatos com a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), e para a realização do Inventário de Transporte Rodoviário foram consultados especialistas do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

### Estimativas

Os inventários estaduais seguiram as mesmas diretrizes do inventário nacional como o Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Guidelines 1996 (IPCC, 1996) o Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories - Good Practice Guidance 2000 (IPCC, 2000) o 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Guidelines 2006 (IPCC, 2006).

As fontes de dados foram o Balanço Energético do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2009b), o Relatório de Qualidade do ar 2009 (CETESB, 2010), versão preliminar da metodologia do 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (BRASIL, 2011) e os guias do IPCC (1996, 2000, 2006), respeitando os princípios de transparência, consistência e acurácia preconizados pelo IPCC.

Este relatório apresenta as emissões para o período de 1990 a 2008. Os gases inventariados foram o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NOx), e os compostos orgânicos

voláteis não metanos (NMVOC).

A Tabela 1 apresenta as emissões do inventário por tipo de gás para os anos de 1990, 1994, 2000, 2005 e 2008 e as variações que ocorreram de 1994, 2000, 2005 e 2008 em

**Tabela 1** Emissões do Subsetor de Transporte por Tipo de Gás

Setor	Ano	Unidade	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO	NOx	VOC
Transporte Aéreo	1990	[Gg]	600	0,01	0,02	1,56	2,11	0,19
	1994		994	0,01	0,04	2,97	4,12	0,35
	2000		1.725	0,02	0,06	4,87	5,82	0,52
	2005		1.810	0,02	0,06	4,58	6,59	0,55
	2008		1.997	0,01	0,07	4,78	7,93	0,49
	Var.1990/2000	[%]	188	206	185	211	175	178
	Var.1990/2005		202	132	195	193	212	192
Var.1990/2008	233		75	230	205	275	164	
Transporte Aquaviário	1990	[Gg]	2.698	0,25	0,07	NE	NE	NE
	1994		2.804	0,26	0,07	NE	NE	NE
	2000		3.534	0,32	0,09	NE	NE	NE
	2005		1.972	0,18	0,05	NE	NE	NE
	2008		1.478	0,13	0,04	NE	NE	NE
	Var.1990/2000	[%]	31	30	30	NE	NE	NE
	Var.1990/2005		-27	-27	-79	NE	NE	NE
Var.1990/2008	-45		-46	-84	NE	NE	NE	
Transporte Ferroviário	1990	[Gg]	331	0,02	0,13	NE	NE	NE
	1994		261	0,01	0,10	NE	NE	NE
	2000		231	0,01	0,09	NE	NE	NE
	2005		402	0,02	0,16	NE	NE	NE
	2008		462	0,03	0,18	NE	NE	NE
	Var.1990/2000	[%]	-30	-30	-30	NE	NE	NE
	Var.1990/2005		22	23	23	NE	NE	NE
Var.1990/2008	40		41	41	NE	NE	NE	
Transporte Rodoviário	1990	[Gg]	19.409	24,18	0,87	1.883,56	277,20	326,65
	1994		23.364	24,65	1,12	1.846,28	307,24	300,62
	2000		32.051	15,56	2,28	892,46	315,50	140,47
	2005		32.710	11,30	2,64	545,15	265,76	87,67
	2008		34.935	11,07	3,46	462,91	257,55	78,83
	Var.1990/2000	[%]	65	-36	162	-53	14	-57
	Var.1990/2005		69	-53	204	-71	-4	-73
Var.1990/2008	80		-54	297	-75	-7	-76	

Nota : NE - Não Estimado.

1 A Comunicação Estadual e os respectivos relatórios que a compõe, adotaram o ano de 1996 para esta referência, por ser conhecido com esta data. Contudo, o ano de publicação foi 1997.

relação a 1990 por tipo de gás.

## Perfil das Emissões Antrópicas Líquidas do Estado de São Paulo do Subsetor de Transportes de 1990 a 2008

Tabela 2 Emissões de GEE do Subsetor de Transportes de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

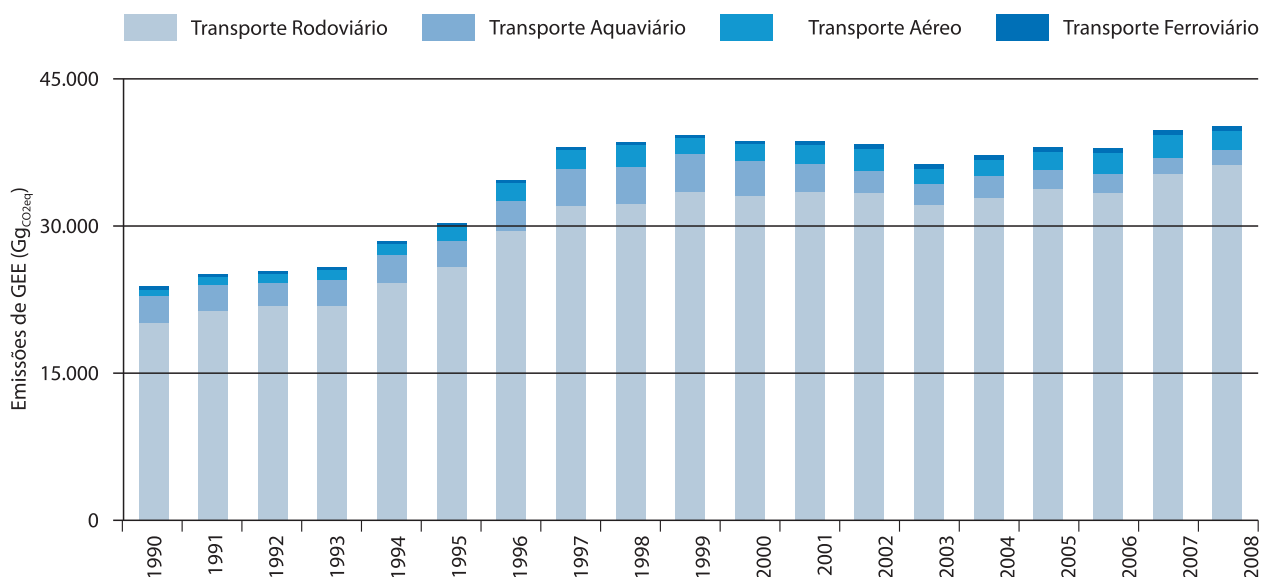
Subsetor	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	[GgCO <sub>2eq,ano</sub> <sup>-1</sup> ]									
Transporte Aéreo	606	757	816	1.005	1.163	1.485	1.805	1.905	2.195	1.599
Transporte Aquaviário	2.725	2.605	2.454	2.551	2.832	2.653	3.039	3.666	3.766	3.963
Transporte Ferroviário	371	307	274	276	292	286	298	319	253	232
Transporte Rodoviário	20.186	21.422	21.809	21.959	24.228	25.849	29.516	32.157	32.310	33.444
<b>Total</b>	<b>23.888</b>	<b>25.090</b>	<b>25.353</b>	<b>25.792</b>	<b>28.515</b>	<b>30.273</b>	<b>34.658</b>	<b>38.047</b>	<b>38.523</b>	<b>39.238</b>

Subsetor	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	[GgCO <sub>2eq,ano</sub> <sup>-1</sup> ]								
Transporte Aéreo	1.743	1.876	2.174	1.484	1.659	1.829	2.220	2.339	2.018
Transporte Aquaviário	3.569	2.861	2.341	2.218	2.191	1.992	1.863	1.697	1.493
Transporte Ferroviário	259	373	409	446	428	452	449	452	518
Transporte Rodoviário	33.084	33.500	33.356	32.153	32.922	33.767	33.439	35.315	36.239
<b>Total</b>	<b>38.655</b>	<b>38.610</b>	<b>38.280</b>	<b>36.302</b>	<b>37.200</b>	<b>38.039</b>	<b>37.972</b>	<b>39.802</b>	<b>40.268</b>

Nota: Para a conversão em CO<sub>2eq</sub> foi empregado o GWP para um horizonte de 100 anos, de 21 para o CH<sub>4</sub>, e 310 para N<sub>2</sub>O, conforme apresentado pelo IPCC (IPCC, 2007).

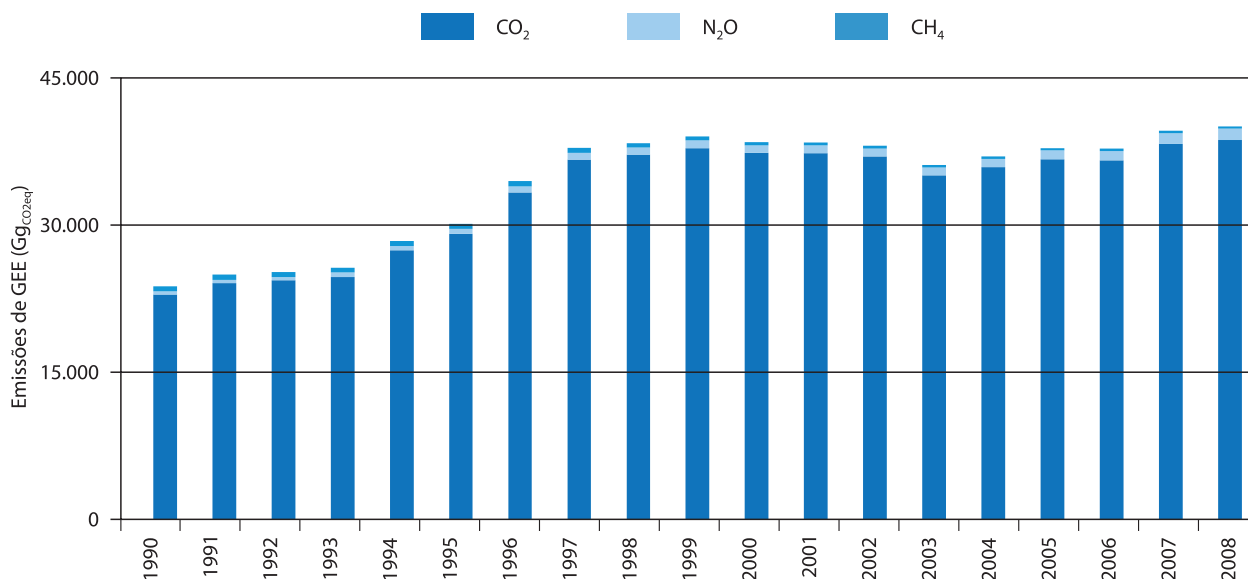
O Gráfico 1 apresenta as emissões do período de 1990 a 2008. Observa-se no gráfico, que o modal rodoviário é o principal responsável pelas emissões do Subsetor, seguido pelo transporte aquaviário, aéreo e ferroviário.

Gráfico 1 Emissões de GEE por Modal do Subsetor de Transportes de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



O Gráfico 2 apresenta as emissões do período de 1990 a 2008. Observa-se no gráfico que o CO<sub>2</sub> é o principal responsável pelas emissões do Subsetor de Transportes, seguido pelo CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O.

**Gráfico 2** Emissões de GEE por Tipo de Gás do Subsetor de Transportes de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



A Tabela 2 apresenta as emissões totais de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O em CO<sub>2</sub>eq, de 1990 a 2008.

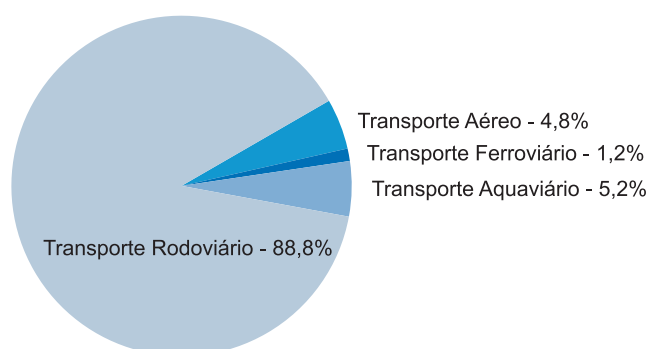
### Perfil das Emissões Antrópicas Líquidas do Estado de São Paulo do Subsetor de Transportes em 2005

**Tabela 3** Estimativas das Emissões de GEE do Subsetor de Transportes em 2005

Subsetor	2005
[GgCO <sub>2</sub> eq.ano <sup>-1</sup> ]	
Transporte Aéreo	1.829
Transporte Aquaviário	1.992
Transporte Ferroviário	451
Transporte Rodoviário	33.767
<b>Total</b>	<b>38.039</b>

A Tabela 3 apresenta as emissões totais de GEE em CO<sub>2</sub>eq, no ano de 2005.

**Gráfico 3** Emissões Totais de GEE em 2005



O Gráfico 3 apresenta as emissões totais de GEE em CO<sub>2</sub>eq, no ano de 2005.

Em 2005, o Subsetor de Transportes, com 38.039 Gg foi responsável por 48% das emissões do Setor de Energia e 27% das emissões totais do Estado para esse mesmo ano. Observa-se que o modal rodoviário é responsável por quase 90% das emissões, seguido do modal aquaviário, aéreo e ferroviário.

## Referências

BRASIL. MMA. **1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**: relatório final. Brasília, 2011. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/163/\\_publicacao/163\\_publicacao27072011055200.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf)>. Acesso em: jun. 2014.

CETESB. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2009**. São Paulo, 2010. (Série Relatórios). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **1º Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo**: comunicação estadual. 2.ed. São Paulo, 2011. Disponível em: <[http://www.ambiente.sp.gov.br/prozonesp/files/2014/02/Primeiro\\_Inventario\\_GEE\\_WEB\\_Segunda-Edicao-v1.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/prozonesp/files/2014/02/Primeiro_Inventario_GEE_WEB_Segunda-Edicao-v1.pdf)>. Acesso em: jun. 2014.

IPCC. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**: reporting instructions. Bracknell, UK, 1996. v. 1. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.html>>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories**. Hayama, JP, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama, JP: IGES: IPCC, 2006. 5 v. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Climate change 2007**: synthesis report 2007. Geneva: WMO: IPCC, 2008. 104 p. (IPCC Fourth Assessment Report, AR4). Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_synthesis\\_report.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm)>. Acesso em: jun. 2014.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual nº 13.798, de 9 de novembro de 2009. Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas - PEMC. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, v. 119, n. 209, 10 nov. 2009a, Seção 1, p. 1-4. Disponível em: <[http://www.imprensaoficial.com.br/PortalIO/DO/BuscaDO2001Documento\\_11\\_4.aspx?link=/2009/executivo%2520secao%2520i/novembro/10/pag\\_0001\\_BUE3BDTN11KH8eDSAPBM5P10TPK.pdf&pagina=1&data=10/11/2009&caderno=Executivo%20I&paginaordenacao=100001](http://www.imprensaoficial.com.br/PortalIO/DO/BuscaDO2001Documento_11_4.aspx?link=/2009/executivo%2520secao%2520i/novembro/10/pag_0001_BUE3BDTN11KH8eDSAPBM5P10TPK.pdf&pagina=1&data=10/11/2009&caderno=Executivo%20I&paginaordenacao=100001)>. Acesso em: jun. 2014.

SÃO PAULO (Estado). SSE. **Balanço energético do estado de São Paulo 2009**: ano base 2008. São Paulo, 2009b. (Série Informações Energéticas, 2). Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/43.pdf>>. Acesso em: jun. 2014.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 55.947, de 24 de junho de 2010. Regulamenta a Lei nº 13.798, de 9 de novembro de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Mudanças Climáticas. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, v. 120, n. 119, 25 jun. 2010. Seção 1, p. 1-5. Disponível em: <[http://www.imprensaoficial.com.br/PortalIO/DO/BuscaDO2001Documento\\_11\\_4.aspx?link=/2010/executivo%2520secao%2520i/junho/25/pag\\_0001\\_8RC02UH0TODVOe4LDSQHKL1KG64.pdf&pagina=1&data=25/06/2010&caderno=Executivo%20I&paginaordenacao=100001](http://www.imprensaoficial.com.br/PortalIO/DO/BuscaDO2001Documento_11_4.aspx?link=/2010/executivo%2520secao%2520i/junho/25/pag_0001_8RC02UH0TODVOe4LDSQHKL1KG64.pdf&pagina=1&data=25/06/2010&caderno=Executivo%20I&paginaordenacao=100001)>. Acesso em: jun. 2014.

## Lista de Siglas e Abreviaturas

ABRACICLO – Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares	DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
AEAC – Álcool Etílico Anidro Combustível (Etanol Anidro)	EC – <i>European Commission</i>
AEHC – Álcool Etílico Hidratado Combustível (Etanol Hidratado)	EEA – <i>European Environment Agency</i> (Agência Europeia do Ambiente)
ALL – América Latina Logística do Brasil S.A.	EMEP – <i>European Monitoring and Evaluation Programme</i>
ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil	EPE – Empresa de Pesquisa Energética
ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores	FC – Fator de Conversão
ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis	FCA – Ferrovia Centro-Atlântica S.A.
ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários	FE – Fator de Emissão
ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres	FEPASA – Ferrovia Paulista S.A.
AVGAS – Gasolina de aviação	FERROBAN – Ferrovias Bandeirantes S.A.
BEESP – Balanço Energético do Estado de São Paulo	FM – Fator de Multiplicação
BEN – Balanço Energético Nacional	GEE – Gás / Gases de Efeito Estufa
CDTM – Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Mecânica	GNV – Gás Natural Veicular
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo	GRT – <i>Gross Registered Tonnage</i> (Tonelagem de arqueação bruta)
CND – Conselho Nacional de Desestatização	GWP – <i>Global Warming Potential</i> (Potencial de aquecimento global)
CODESP – Companhia Docas do Estado de São Paulo	HC – Hidrocarbonetos
COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia	IEA – <i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
CORINAIR – <i>Core Inventory Air Emissions</i>	IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente
CPTM – Companhia Paulista de Trens Metropolitanos	IGES – <i>Institute for Global Environmental Strategies</i> (Instituto de Estratégias Ambientais Globais)
DAESP – Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo	IMO – <i>International Maritime Organization</i> (Organização Marítima Internacional)
DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito	IMT – Instituto Mauá de Tecnologia
	INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
	INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
	IPCC – <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima)

LTO – *Landing-takeoff Cycles* (Ciclos de Pouso e Decolagem)

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia (Atual MCTI)

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MRS – MRS Logística S.A.

NMHC – Hidrocarbonetos Não Metanos

NMVOC – *Non-methane Volatile Organic Compounds* (Compostos orgânicos voláteis não metanos)

NOVOESTE – Ferrovia Novoeste S.A.

PECO – Programa de Economia de Combustíveis

PBL – *Planbureau Voor de Leefomgeving – Netherlands Environmental Assessment Agency* (Agência de Avaliação Ambiental dos Países Baixos)

PBT – Peso bruto total

PCI – Poder calorífico inferior

PDDT – Plano Diretor de Desenvolvimento dos Transportes

PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S.A.

PIB – Produto Interno Bruto

PROCLIMA – Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo

PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

QAV – Querosene de Aviação

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

RO-RO – *Roll-on Roll-off*

SIN – Sistema interligado nacional

SINDIPEÇAS – Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores

SSE – Secretaria de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo

ST – Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo (atual Secretaria de Logística e Transportes do Estado de São Paulo)

TEBAR – Terminal Marítimo Almirante Barroso

THC – Hidrocarbonetos Totais

UNECE – *United Nations Economic Commission for Europe* (Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa)

UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change* (Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)

USEPA – *United States Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

VOC – *Volatile Organic Compounds* (Compostos Orgânicos Voláteis)

## Lista de Símbolos

C – Carbono	km – Quilômetro
cal – Caloria	kW – Quilowatt
cc- Cilindrada (Centímetro Cúbico)	kWh – Quilowatt-hora
CH <sub>4</sub> – Metano	L – Litro
cm <sup>3</sup> – Centímetro Cúbico	m – Metro
CO – Monóxido de Carbono	m <sup>2</sup> – Metro Quadrado
CO <sub>2</sub> – Dióxido de carbono; Gás carbônico	m <sup>3</sup> – Metro Cúbico
CO <sub>2eq</sub> – Dióxido de carbono equivalente/ Gás carbônico equivalente	N <sub>2</sub> O – Óxido Nitroso
g – Grama	NO <sub>x</sub> – Óxidos de Nitrogênio
Gg – Gigagrama	SO <sub>2</sub> – Dióxido de Enxofre
hp – Horse power	SO <sub>x</sub> – Óxidos de Enxofre
J – Joule	t – Tonelada
kcal – Quilocaloria	tep – Tonelada Equivalente de Petróleo
kg – Quilograma	TJ – Terajoule
	tOE – Tonelada de Óleo Equivalente



## SUMÁRIO GERAL

SUMÁRIO EXECUTIVO.....	19
A Política Estadual de Mudanças Climáticas.....	21
O Inventário.....	21
Estimativas.....	21
Perfil das Emissões Antrópicas Líquidas do Estado de São Paulo do Subsetor de Transportes de 1990 a 2008.....	23
Perfil das Emissões Antrópicas Líquidas do Estado de São Paulo do Subsetor de Transportes em 2005.....	24
Referências.....	26
PARTE I - TRANSPORTE AÉREO.....	33
1 Introdução.....	41
2 Método.....	42
3 Dados.....	50
4 Resultados e Discussão.....	57
5 Conclusão e Recomendações.....	75
Referências.....	76
Anexos.....	77
PARTE II - TRANSPORTE AQUAVIÁRIO.....	81
1 Introdução.....	85
2 Método.....	90
3 Dados.....	92
4 Resultados.....	94
5 Conclusão e Considerações Finais.....	95
Referências.....	96
Anexo.....	97
PARTE III – TRANSPORTE FERROVIÁRIO.....	99
1 Introdução.....	103
2 Método.....	107

<b>3</b>	<b>Dados</b>	<b>110</b>
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>111</b>
<b>5</b>	<b>Conclusão e Considerações Finais</b>	<b>112</b>
	<b>Referências</b>	<b>113</b>
	<b>Anexo</b>	<b>114</b>
<b>PARTE IV – Transporte Rodoviário</b>		<b>117</b>
<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>125</b>
<b>2</b>	<b>Método</b>	<b>126</b>
<b>3</b>	<b>Dados</b>	<b>135</b>
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussão</b>	<b>150</b>
<b>5</b>	<b>Conclusões e Recomendações</b>	<b>164</b>
	<b>Referências</b>	<b>165</b>



# PARTE I



# TRANSPORTE AÉREO

### **Ficha Técnica**

Coordenação da Parceria CETESB / IMT

João Wagner Silva Alves

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

### **Elaboração**

André Luiz de Lima Reda

Érica Marie Tachibana

Gabriela Sá Leitão de Mello

Roberto de Aguiar Peixoto

### **Revisão Técnica**

João Wagner Silva Alves – CETESB

Bruna Patrícia de Oliveira – Consultora Técnica

### **Colaboração**

Bruna Patrícia de Oliveira

Caio Augusto Pinheiro Corrêa

Camila Bernardo de Faria

Camila Capassi Malagodi

Daniel Soler Huet

Edson Eduardo Mrocoski

Francisco do Espírito Santo Filho

Gabriela Rotondaro

Ligia Prangutti Orlandi

Matheus Fernando Kelson Batinga de Mendonça

Mayra Braga Rocha

Mauro Meirelles

Natacha Nogueira Britschka

Omar de Almeida Cardoso

Paula Fernandes Iezzi

Renata Monteiro Siqueira

Rodrigo Botteghin Machado

Rodrigo do Prado Rezende

Tiago Costa Minelli

Toshiklo Ueda

Esse Relatório de Referência foi elaborado pela CETESB em parceria com o Instituto Mauá de Tecnologia – IMT, no âmbito do contrato entre a Embaixada Britânica e a CETESB, para colaborar com o “Projeto Apoio à Política Climática do Estado de São Paulo”.

# SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO EXECUTIVO</b>	<b>19</b>
A Política Estadual de Mudanças Climáticas	21
O Inventário	21
Estimativas	21
Perfil das Emissões Antrópicas Líquidas do Estado de São Paulo do Subsetor de Transportes de 1990 a 2008	23
Perfil das Emissões Antrópicas Líquidas do Estado de São Paulo do Subsetor de Transportes em 2005	24
<b>Referências</b>	<b>26</b>
<b>PARTE I - TRANSPORTE AÉREO</b>	<b>33</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>41</b>
<b>2 Método</b>	<b>42</b>
2.1 Escolha do Grau de Rigor ( <i>Tier</i> )	42
2.1.1 <i>Tier</i> 1	43
2.1.2 <i>Tier</i> 2	43
2.2 Escolha das Atividades para o Levantamento de Dados	44
2.3 Escolha dos Fatores de Emissão	46
2.3.1 <i>Tier</i> 1	46
2.3.2 <i>Tier</i> 2 b	46
2.4 Conversão de Unidades de Medidas	46
2.5 Determinação de uma Série Temporal Consistente	47
2.6 Premissas Adotadas	47
2.6.1 Voos Interestaduais	48
2.6.2 Etapas Domésticas de Voos Internacionais	48
2.6.3 Aviação Não Regular	48
2.6.4 Aviação Militar	49
2.6.5 Gasolina de Aviação (AVGAS)	49
<b>3 Dados</b>	<b>50</b>
3.1 Consumo de Combustível para Aviação no Estado de São Paulo	50
3.2 Consumo de Combustível Durante Voos Domésticos	50
3.3 Pousos e Decolagens	51

3.4	Fatores de Emissão.....	53
3.5	Conversão de Unidades de Medidas.....	56
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussão .....</b>	<b>57</b>
4.1	<i>Tier 1</i> .....	57
4.1.1	Aeronaves Movidas a Gasolina de Aviação (AVGAS).....	57
4.1.2	Aeronaves Movidas a Querosene de Aviação (QAV).....	58
4.2	<i>Tier 2 b</i> 60.....	60
4.2.1	Aviação Doméstica Regular.....	60
4.2.2	Aviação Internacional Regular.....	62
4.3	Consolidação dos Resultados.....	63
4.4	Resultados Finais.....	69
<b>5</b>	<b>Conclusão e Recomendações.....</b>	<b>75</b>
	<b>Referências .....</b>	<b>76</b>
	<b>Anexos.....</b>	<b>77</b>
	Anexo 1 Consumo de Combustível.....	77
	Anexo 2 Pousos e Decolagens por Tipo de Aeronave.....	79

## TABELAS

Tabela 1	Graus de Rigor Sugeridos pela Disponibilidade de Dados para as Emissões Provenientes da Queima do QAV	43
Tabela 2	Consumo de Combustível para Aviação de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	50
Tabela 3	Consumo de Combustível para Aviação de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	50
Tabela 4	Consumo de QAV por Tipo de Uso de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	51
Tabela 5	Fatores de Emissão e Consumo de Combustível durante Estágio de LTO por Tipo de Aeronave	53
Tabela 6	Fator de Emissão do NOx durante Estágio de Cruzeiro por Tipo de Aeronave	54
Tabela 7	Fatores de Emissão Default e Consumo de Combustível	55
Tabela 8	Fatores de Emissão Default por Combustível Utilizado	55
Tabela 9	Fatores de Emissão Default para AVGAS	55
Tabela 10	Fatores de Emissão Default para QAV	55
Tabela 11	Dados de Conversão de Unidades de Medidas	56
Tabela 12	Relação entre Unidades de Medidas	56
Tabela 13	Emissões dos GEE Diretos e Indiretos da Combustão de AVGAS pelo Tier 1 de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	57
Tabela 14	Emissões dos GEE Diretos e Indiretos da Combustão de QAV da Aviação não Regular pelo Tier 1 de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	58
Tabela 15	Emissões dos GEE Diretos e Indiretos da Combustão de QAV dos Voos Domésticos pelo Tier 1 de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	59
Tabela 16	Emissões dos GEE Diretos e Indiretos da Combustão de QAV dos Voos Internacionais pelo Tier 1 de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	59
Tabela 17	Consumo de QAV por Estágio de Voo da Aviação Doméstica Regular de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	60
Tabela 18	Emissões de CO <sub>2</sub> da Combustão de QAV dos Voos Domésticos Regulares pelo Tier 2 b de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	60
Tabela 19	Emissões de CH <sub>4</sub> da Combustão de QAV dos Voos Domésticos Regulares pelo Tier 2 b de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	60
Tabela 20	Emissões de N <sub>2</sub> O da Combustão de QAV dos Voos Domésticos Regulares pelo Tier 2 b no Estado de São Paulo	61
Tabela 21	Emissões de NOx da Combustão de QAV dos Voos Domésticos Regulares pelo Tier 2 b de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	61
Tabela 22	Emissões de CO da Combustão de QAV dos Voos Domésticos Regulares pelo Tier 2 b de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	61
Tabela 23	Emissões de NMVOC da Combustão de QAV dos Voos Domésticos Regulares pelo Tier 2 b de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	61
Tabela 24	Emissões dos GEE Diretos da Combustão de QAV da Aviação Internacional pelo Tier 2 b de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	62
Tabela 25	Emissões dos GEE Indiretos da Combustão de QAV da Aviação Internacional pelo Tier 2 b de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	62
Tabela 26	Emissões dos GEE Diretos e Indiretos da Aviação Doméstica de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo	69

Tabela 27 Emissões dos GEE Diretos e Indiretos da Aviação Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	73
Tabela 28 Emissões dos GEE Diretos da Aviação Doméstica e Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	74

## GRÁFICOS

Gráfico 1 Consumo de QAV de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	51
Gráfico 2 Comparativo dos Pousos e Decolagens Internacionais .....	52
Gráfico 3 Consolidação das Estimativas de CO <sub>2</sub> da Aviação Regular Doméstica de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	63
Gráfico 4 Consolidação das Estimativas de CH <sub>4</sub> da Aviação Regular Doméstica de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	64
Gráfico 5 Consolidação das Estimativas de N <sub>2</sub> O da Aviação Regular Doméstica de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	64
Gráfico 6 Consolidação das Estimativas de NO <sub>x</sub> da Aviação Regular Doméstica de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	65
Gráfico 7 Consolidação das Estimativas de CO da Aviação Regular Doméstica de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	65
Gráfico 8 Consolidação das Estimativas de NMVOC da Aviação Regular Doméstica de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	66
Gráfico 9 Consolidação das Estimativas de CO <sub>2</sub> da Aviação Regular Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	66
Gráfico 10 Estimativas de CH <sub>4</sub> da Aviação Regular Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	67
Gráfico 11 Consolidação das Estimativas de N <sub>2</sub> O da Aviação Regular Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	67
Gráfico 12 Consolidação das Estimativas de NO <sub>x</sub> pela Aviação Regular Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	68
Gráfico 13 Consolidação das Estimativas de CO pela Aviação Regular Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	68
Gráfico 14 Consolidação das Estimativas de NMVOC pela Aviação Regular Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	69
Gráfico 15 Representatividade das Emissões Domésticas de CO <sub>2</sub> por Tipo de Combustível de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	70
Gráfico 16 Representatividade das Emissões Domésticas de CH <sub>4</sub> por Tipo de Combustível de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	71
Gráfico 17 Representatividade das Emissões Domésticas de N <sub>2</sub> O por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo .....	71
Gráfico 18 Representatividade das Emissões Domésticas de NO <sub>x</sub> por Tipo de Combustível de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	72
Gráfico 19 Representatividade das Emissões Domésticas de CO por Tipo de Combustível de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	72
Gráfico 20 Representatividade das Emissões Domésticas de NMVOC por Tipo de Combustível de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	73

## FIGURAS

Figura 1	Árvore de Decisão para Escolha do Grau de Rigor ( <i>Tier</i> ) para Transporte Aéreo .....	42
Figura 2	Árvore de Decisão dos Dados para Transporte Aéreo.....	45

## EQUAÇÕES

Equação 1	Emissão de GEE Diretos ou Indiretos pelo <i>Tier</i> 1.....	43
Equação 2	Emissão de GEE Diretos ou Indiretos pelo <i>Tier</i> 2 b.....	43
Equação 3	Emissão de GEE Diretos ou Indiretos Durante LTO.....	43
Equação 4	Quantidade de LTO.....	44
Equação 5	Consumo de Combustível Durante LTO.....	44
Equação 6	Consumo de Combustível Durante Cruzeiro .....	44
Equação 7	Emissão de GEE Diretos ou Indiretos Durante Cruzeiro .....	44
Equação 8	Consumo de Combustível em Voos Internacionais.....	44
Equação 9	Equação 9. Conversão do Fator de Emissão Default.....	46
Equação 10	Conversão do Consumo de Combustível de tOE para kg.....	46
Equação 11	Conversão do Consumo de Combustível de m <sup>3</sup> para t.....	47
Equação 12	Compatibilização das Emissões de GEE Diretos ou Indiretos.....	47
Equação 13	Constante de Ajuste.....	47



## 1 Introdução

As estimativas das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) diretos e indiretos foram feitas empregando os métodos do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) apresentados no *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 1996) e no *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2000a), que agrupam as atividades produtivas em cinco setores principais: Energia, Processos Industriais, Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas, Agricultura e Resíduos e Efluentes Líquidos. Cada setor é dividido em subsetores. Neste caso, o Subsetor de Transporte está enquadrado no Setor de Energia. As emissões de GEE diretos e indiretos foram estimadas para o Transporte Aéreo, Ferroviário, Hidroviário e Rodoviário. Neste inventário foram abordadas as emissões de GEE diretos e indiretos relativas à aviação civil do Estado de São Paulo.

De acordo com o *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2000a), as estimativas da aviação civil incluem todas as emissões provenientes de aviões civis com finalidade de uso comercial<sup>1</sup>, tanto internacional<sup>2</sup> quanto doméstico<sup>3</sup>, compreendendo os voos regulares e fretados, inclusive o táxi aéreo e a aviação geral<sup>4</sup>.

Sendo assim, foram estimadas as emissões dos seguintes GEE diretos: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O); e dos indiretos: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e compostos orgânicos voláteis não metanos (NMVOC<sup>5</sup>), provenientes da queima de combustíveis pelo Setor de Transporte Aéreo para o período de 1990 a 2008, utilizando, sempre que possível, o *Tier* de maior refinamento.

Os gases emitidos pelos motores das aeronaves são compostos por aproximadamente 70% de CO<sub>2</sub>, pouco menos de 30% de vapor de água e menos de 1% de NO<sub>x</sub>, CO, óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), particulados e traços de outros compostos. As turbinas mais modernas emitem pequenas ou nenhuma quantidade de N<sub>2</sub>O (IPCC, 1999 *apud* IPCC, 2006).

Segundo o IPCC (2000a), o voo é dividido em dois estágios: o ciclo de pouso e decolagem (LTO<sup>6</sup> - *landing-takeoff cycles*) que inclui todas as atividades próximas ao aeroporto com altitude inferior a 914m; e o cruzeiro<sup>7</sup>, que ocorre em altitude superior a 914m.

1 Transporte de passageiros ou carga.

2 Com origem em um país e destino em outro país

3 Com origem e destino no mesmo país.

4 Aviões agrícolas, aeronaves particulares, helicópteros, etc.

5 Os métodos do IPCC sugerem a realização de estimativas de emissões de NMVOC. Neste documento considera-se que NMVOC (Non-Methane Volatile Organic Compounds) é igual a VOC (Volatile Organic Compounds). Os VOCs são precursores de gases de efeito estufa e o metano (CH<sub>4</sub>) é um gás de efeito estufa pouco reativo. A especificação NM representa apenas uma garantia de que as substâncias estimadas são somente os precursores, pois o metano é reportado separadamente.

6 Ambos, pouso e decolagem, definem uma operação de LTO.

7 Trajeto do avião desde após a decolagem até antes do pouso, com altitude superior a 914m.

## 2 Método

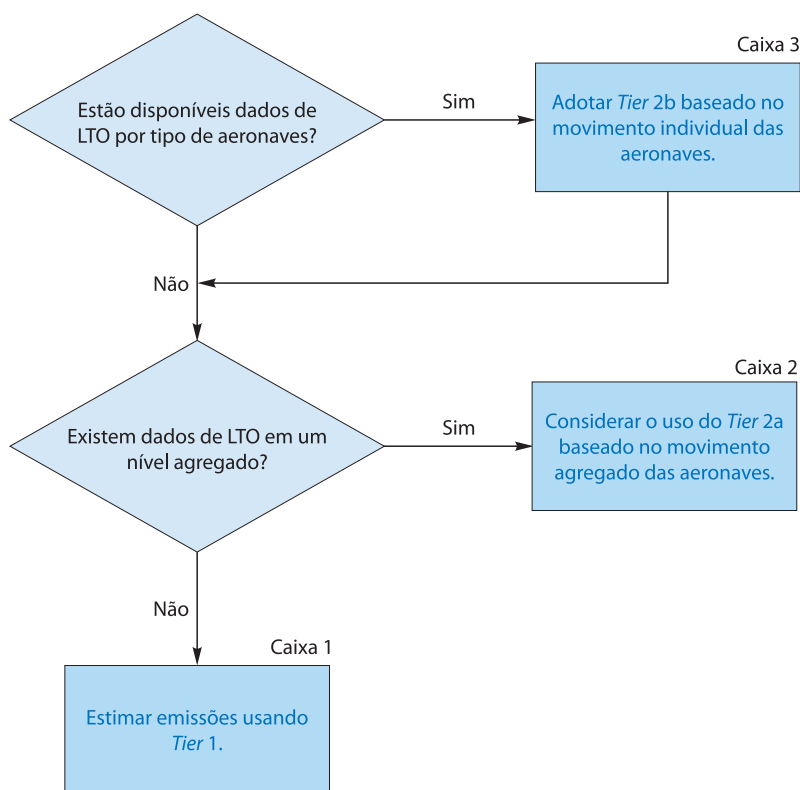
Para estimar as emissões dos GEE diretos e indiretos provenientes da queima de combustível de aviação, utilizaram-se os métodos apresentados no *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 1996), no *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2000a) e, em complemento, no *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2006).

De acordo com o IPCC (2000a), existem três diferentes graus de rigor para a elaboração das estimativas: *Tier 1*, *Tier 2 a* e *Tier 2 b*. Em todos os *Tiers* as emissões de GEE diretos e indiretos correspondentes aos voos internacionais devem ser reportadas separadamente do total.

### 2.1 Escolha do Grau de Rigor (*Tier*)

De acordo com o IPCC (2000a), a escolha do *Tier* depende particularmente da disponibilidade dos dados, conforme árvore de decisão (Figura 1).

**Figura 1** Árvore de Decisão para Escolha do Grau de Rigor (*Tier*) para Transporte Aéreo



Fonte: Adaptado IPCC (2000a)

As estimativas das emissões de GEE diretos e indiretos para o Setor de Transporte Aéreo foram calculadas separadamente de acordo com o tipo de combustível, o querosene de aviação (QAV) e a gasolina de aviação (AVGAS), sendo que as emissões de voos internacionais

foram reportadas separadamente das emissões nacionais totais, conforme orientação do IPCC (2000a).

Conforme recomendado pelo IPCC (2006), para o cálculo das emissões de GEE diretos e indiretos por aeronaves movidas a AVGAS, foi utilizado o *Tier 1*, por não existirem dados detalhados sobre os tipos de aeronave e tampouco sobre o LTO acumulado. Além disso, de acordo com IPCC (2000a), o *Tier 2* é aplicável apenas para o QAV utilizado em motores a jato.

As emissões de GEE diretos e indiretos de aeronaves movidas a QAV, conforme Tabela 1, foram divididas em duas partes, aviação regular<sup>8</sup> e não regular<sup>9</sup>, e em dois períodos. Para a aviação não

8 Neste Inventário, considerou-se aviação regular os voos realizados por empresas aéreas regulares, para se adequar aos dados coletados pela ANAC, que subdivide seus dados baseados nas informações das empresas aéreas regulares, e não em voos regulares.

9 É considerada aviação não regular os voos realizados por táxi aéreo, serviços aéreos especializados e aviação suplementar.

**Tabela 1** Graus de Rigor Sugeridos pela Disponibilidade de Dados para as Emissões Provenientes da Queima do QAV

Período / Segmentação	1990 a 1998	1999 a 2008
Aviação Regular	Tier 1	Tier 2 b
Aviação não Regular	Tier 1	Tier 1

regular, devido à inexistência de dados mais detalhados, utilizou-se o Tier 1. Na aviação regular, foram aplicados diferentes Tiers para cada período. Para o período de 1999 a 2008, como existem dados de LTO por tipo de aeronave, a árvore de decisão apresentada indicou a Caixa 3, na qual se sugere a utilização do Tier 2 b. Para os anos anteriores a esse período, devido à inexistência de dados de LTO, foi adotado o Tier 1.

Para que fosse possível determinar uma série histórica consistente, aplicou-se também o Tier 1 para o QAV durante o período de 1990 a 2008, conforme será explicado no subitem 2.5. Determinação de uma Série Temporal Consistente.

### 2.1.1 Tier 1

O Tier 1 consiste no combustível consumido para a aviação civil multiplicado por um fator de emissão médio (Equação 1). Esse fator de emissão médio foi calculado considerando todas as fases do voo, admitindo que 10% do combustível é utilizado durante o estágio de LTO (IPCC, 2000a).

**Equação 1** Emissão de GEE Diretos ou Indiretos pelo Tier 1

$$E = C \cdot FE$$

onde:

E	Emissão total	[kg <sub>GEE</sub> ]
C	Combustível consumido	[t <sub>combustível</sub> ]
FE	Fator de emissão	[kg <sub>GEE</sub> (t <sub>combustível</sub> ) <sup>-1</sup> ]

O Tier 1 foi utilizado para estimar as emissões de GEE, diretos e indiretos, provenientes da combustão de AVGAS e QAV para o período de 1990 a 2008.

### 2.1.2 Tier 2

Existem duas divisões para o Tier 2, sendo que o Tier 2 a faz distinção entre as emissões liberadas abaixo e acima de 914m, ou seja, divide as emissões nos estágios de LTO e cruzeiro. Já o Tier 2 b estima as emissões dos GEE diretos e indiretos em um nível mais detalhado, pois além de dividir o voo nesses dois estágios, detalha individualmente as aeronaves por tipo (IPCC, 2000a).

Para a estimativa dos GEE diretos e indiretos com base no Tier 2 b, utilizam-se as equações descritas a seguir (Equação 2 a Equação 5).

As emissões de cada GEE direto ou indireto são estimadas somando-se as emissões provenientes do estágio de LTO e do estágio de cruzeiro (Equação 2).

**Equação 2** Emissão de GEE Diretos ou Indiretos pelo Tier 2 b

$$E_i = E_{LTO,i} + E_{c,i}$$

onde:

E	Emissão total	[kg <sub>GEE</sub> ]
E <sub>LTO</sub>	Emissão durante LTO	[kg <sub>GEE</sub> ]
E <sub>c</sub>	Emissão durante cruzeiro	[kg <sub>GEE</sub> ]
i	GEE diretos ou indiretos	

Para estimar as emissões durante o estágio de LTO, utilizou-se a Equação 3, que multiplica o número de LTO pelo Fator de Emissão específico para cada GEE direto e indireto e, para o Tier 2 b, acrescenta-se um índice do tipo de aeronave.

**Equação 3** Emissão de GEE Diretos ou Indiretos Durante LTO

$$E_{LTO_i} = \sum_j LTO_j \cdot FE_{LTO_{i,j}}$$

onde:

E <sub>LTO</sub>	Emissão durante LTO	[kg <sub>GEE</sub> ]
LTO	Quantidade de LTO	[LTO]
FE <sub>LTO</sub>	Fator de emissão para LTO	[kg <sub>GEE</sub> · LTO <sup>-1</sup> ]
j	Tipo de aeronave	

Considerando que um ciclo de LTO corresponde a um pouso e uma decolagem,

utilizou-se a Equação 4 para se obter a quantidade de LTO.

**Equação 4** Quantidade de LTO

$$LTO = \frac{n^{\circ} \text{ de pousos e decolagens}}{2}$$

Para estimar as emissões de GEE diretos e indiretos durante o estágio de cruzeiro (Equação 7), foi necessário calcular o consumo de combustível utilizado durante o estágio de cruzeiro. Este dado foi obtido subtraindo-se o consumo de combustível utilizado durante o estágio de LTO do consumo de combustível total durante o voo, conforme apresentado na Equação 6. Por sua vez, o consumo de combustível durante o LTO foi calculado conforme apresentado na Equação 5.

**Equação 5** Consumo de Combustível Durante LTO

$$CC_{LTO} = \sum_j LTO_j \cdot C_{LTO_j}$$

onde:

$CC_{LTO}$	Consumo de combustível durante LTO	[kg <sub>combustível</sub> ]
LTO	Quantidade de LTO	[LTO]
$C_{LTO}$	Consumo de combustível por LTO	[kg <sub>combustível</sub> · LTO <sup>-1</sup> ]
j	Tipo de aeronave	

**Equação 6** Consumo de Combustível Durante Cruzeiro

$$C_{cr} = CC_T - \frac{CC_{LTO}}{10^3}$$

onde:

$C_{cr}$	Consumo de combustível em cruzeiro	[t <sub>combustível</sub> ]
$CC_T$	Consumo de combustível total	[t <sub>combustível</sub> ]
$CC_{LTO}$	Consumo de combustível por LTO	[kg <sub>combustível</sub> ]
$10^3$	Fator de conversão de kg para t	[kg.t <sup>-1</sup> ]

**Equação 7** Emissão de GEE Diretos ou Indiretos Durante Cruzeiro

$$E_{c_i} = C_{cr} \cdot FE_{C_i}$$

onde:

$E_c$	Emissão durante cruzeiro	[kg <sub>GEE</sub> ]
$C_{cr}$	Consumo de combustível em cruzeiro	[t <sub>combustível</sub> ]
$F_{EC}$	Fator de emissão para cruzeiro	[kg <sub>GEE</sub> · (t <sub>combustível</sub> ) <sup>-1</sup> ]
i	GEE direto ou indireto	

Utilizou-se o *Tier 2 b* para estimar as emissões de GEE diretos e indiretos provenientes da combustão de QAV referente à aviação regular no Estado de São Paulo para o período de 1999 a 2008, sendo que as emissões da aviação regular internacional foram calculadas seguindo o mesmo grau de rigor, porém apresentadas separadamente das emissões domésticas.

## 2.2 Escolha das Atividades para o Levantamento de Dados

De acordo com o IPCC (1996), as emissões com origem em voos domésticos devem ser relatadas separadamente das emissões originadas em voos internacionais. Por esse motivo, é necessário desagregar os usos de combustível em doméstico e internacional. Para tanto, é apresentada a árvore de decisão para a escolha dos dados para estimar a emissão de GEE diretos e indiretos (Figura 2).

Segundo o IPCC (2000a), ainda não há uma definição sobre como atribuir as emissões de GEE originadas em voos internacionais nos inventários nacionais de GEE. Assim sendo, todas as emissões desses voos são excluídas do total nacional e devem ser reportadas separadamente.

Para o período de 1999 a 2008, conforme árvore de decisão apresentada, chegou-se à Caixa 2, pois existem, para esse período, dados de combustível utilizado em voos domésticos. A quantidade de combustível utilizada em voos internacionais foi obtida através da Equação 8.

**Equação 8** Consumo de Combustível em Voos Internacionais

$$C_{inter} = CV - C_d$$

onde:

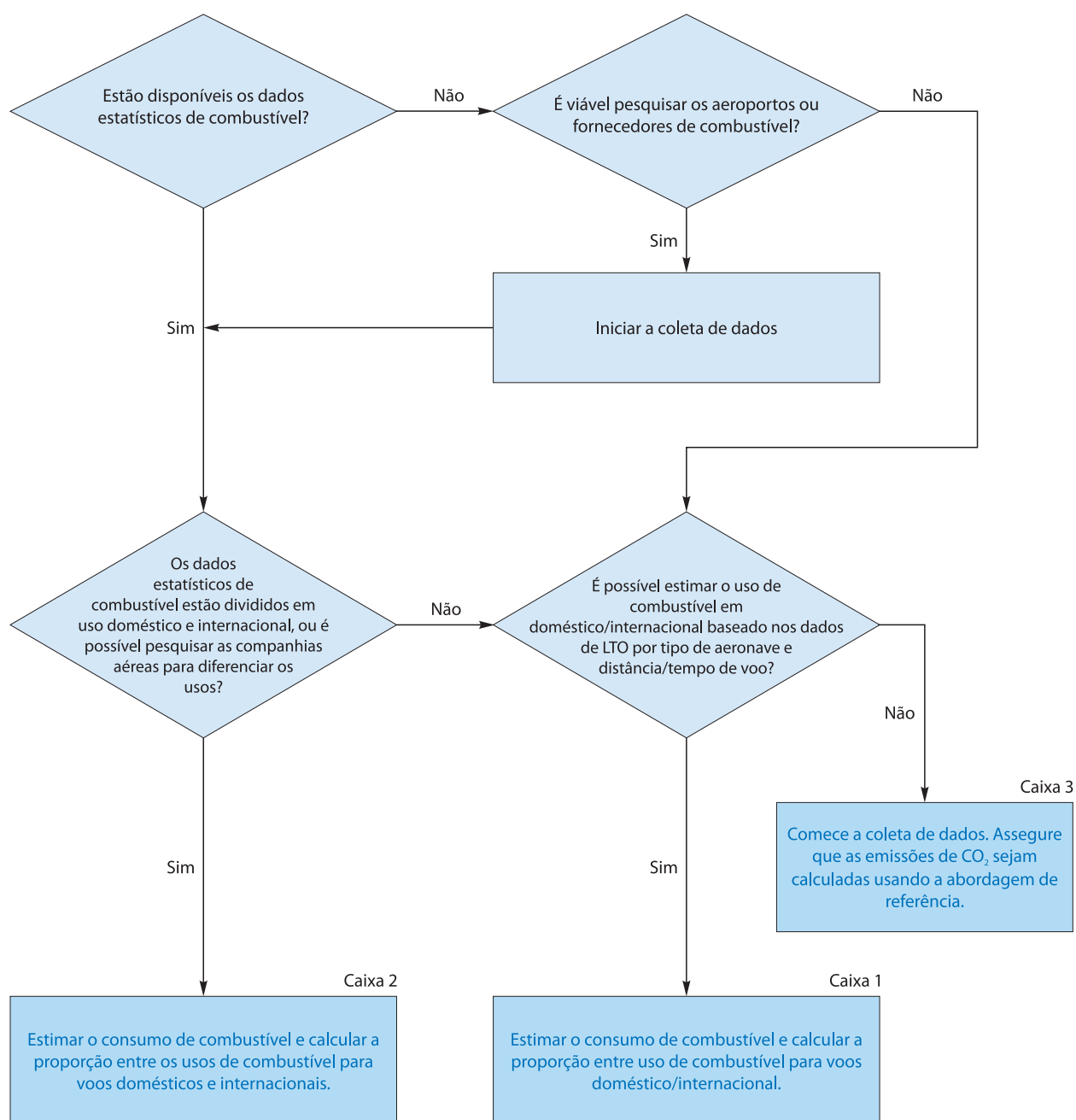
$C_{inter}$	Consumo de combustível em voos internacionais	$[t_{combustível}]$
CV	Combustível consumido no Estado de São Paulo	$[t_{tcombustível}]$
$C_d$	Consumo de combustível em voos domésticos	$[t_{tcombustível}]$

Para o período de 1990 a 1998, não foi possível acessar esses dados; dessa maneira, foi feita uma estimativa do consumo de combustível para voos domésticos e internacionais de

acordo com a Caixa 1 da árvore de decisão.

A estimativa do consumo de combustível desagregado entre doméstico e internacional foi realizada através da porcentagem média do consumo de cada setor para o período em que existiam dados, de 1999 a 2008. Essa porcentagem média foi aplicada ao consumo de combustível do Estado de São Paulo, obtendo-se assim o consumo de combustível desagregado em doméstico e internacional para os anos em que não havia esses dados disponíveis, ou seja, de 1990 a 1998.

Figura 2 Árvore de Decisão dos Dados para Transporte Aéreo



Fonte: Adaptado IPCC (2000a)

## 2.3 Escolha dos Fatores de Emissão

De acordo com o IPCC (2000a), é considerado boa prática utilizar os fatores de emissão default. Uma vez que as tecnologias das aeronaves não variam de país para país, os fatores de emissão nacionais geralmente não devem ser utilizados, a menos que sejam baseados em estudos revisados. Desta forma, optou-se por utilizar os fatores de emissão do IPCC.

Conforme a escolha dos *Tiers*, apresentada anteriormente, segue a distinção dos fatores de emissão a serem utilizados nos cálculos das estimativas, de acordo com cada *Tier* empregado.

### 2.3.1 Tier 1

Os fatores de emissão utilizados para estimar as emissões de GEE originados em aviões movidos a AVGAS e QAV foram os valores default do IPCC (1996, 2006).

Para estimar a emissão de GEE, foi necessário converter as unidades de medidas dos dados do IPCC de  $\text{kg.TJ}^{-1}$  para  $\text{kg.t}^{-1}$  de combustível. Essa transformação foi feita utilizando-se o poder calorífico do combustível, conforme Equação 9.

**Equação 9** Equação 9. Conversão do Fator de Emissão Default

$$FE = FE_x \cdot PC$$

onde:

FE	Fator de Emissão	$[\text{kg}_{\text{GEE}} \cdot (\text{t}_{\text{combustível}})^{-1}]$
FE <sub>x</sub>	Fator de Emissão default	$[\text{kg}_{\text{GEE}} \cdot \text{TJ}^{-1}]$
PC	Poder Calorífico	$[\text{TJ} \cdot (\text{t}_{\text{combustível}})^{-1}]$

### 2.3.2 Tier 2 b

Segundo IPCC (2006), considera-se boa prática utilizar os fatores de emissão do IPCC para estimar as emissões de GEE durante o ciclo de LTO. Para calcular as emissões durante o estágio de cruzeiro, é possível aplicar apenas os fatores de emissão específicos por aeronave para o NO<sub>x</sub>. A emissão de CH<sub>4</sub> para este estágio é considerada insignificante e assume-se que seu fator de emissão

seja zero. Os fatores de emissão utilizados nas estimativas de emissões de GEE de aeronaves movidas a QAV, para o período de 1999 a 2008, foram os do IPCC (2006), por serem dados mais recentes.

Para as estimativas das emissões de NO<sub>x</sub> da aviação internacional, não foi possível aplicar os fatores de emissão de NO<sub>x</sub> específicos por aeronave para o estágio de cruzeiro devido à indisponibilidade de dados de consumo de combustível por aeronave. Por isso, adotou-se o fator de emissão default de estágio de cruzeiro do IPCC (1996) do *Tier 2 a* para o NO<sub>x</sub>.

De acordo com o IPCC (1996), quando o tipo de aeronave não estiver na tabela de fatores de emissão do IPCC, sugere-se que seja utilizado o valor para o tipo de aeronave equivalente ou, alternativamente, os fatores de emissão default (Tabela 7). Desta forma, para as aeronaves que não correspondiam aos tipos de aeronaves listadas pelo IPCC, procurou-se seguir a mesma classificação adotada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) (BRASIL, 2010) e, quando não foi possível identificar a aeronave ou enquadrá-la naquelas referenciadas pelo IPCC, adotaram-se os fatores de emissão default (IPCC, 1996) referentes ao *Tier 2 a* para os gases estimados.

## 2.4 Conversão de Unidades de Medidas

Para os dados de consumo de combustível no Estado de São Paulo e consumo de combustível durante os voos domésticos, foi necessário realizar uma conversão de unidades de medidas para aplicar o cálculo das estimativas dos GEE diretos e indiretos.

Os dados de consumo de combustível no Estado de São Paulo foram obtidos em tonelada de óleo equivalente (tOE) e considerou-se mais adequado transformá-los para quilograma (kg) de combustível. Para isso, utilizou-se a Equação 10.

**Equação 10** Conversão do Consumo de Combustível de tOE para kg

$$CC = \frac{CC_{tOE} \cdot 10^7}{PCI}$$

onde:

CC	Consumo de Combustível	[kg <sub>combustível</sub> ]
CC <sub>tOE</sub>	Consumo de Combustível em tOE	[tOE]
10 <sup>7</sup>	Fator de conversão de tOE para kcal	[kcal.tOE <sup>-1</sup> ]
PCI	Poder calorífico inferior	[kcal.(kg <sub>combustível</sub> ) <sup>-1</sup> ]

Os dados de consumo de combustível durante os voos domésticos, obtidos no Balanço Energético do Estado de São Paulo BEESP (SÃO PAULO, 2009a) para o período de 1999 a 2008, estão disponibilizados em litros<sup>10</sup> de combustível e precisaram ser convertidos para tonelada. Para esta conversão de unidade, utilizou-se a densidade do combustível, conforme Equação 11.

**Equação 11** Conversão do Consumo de Combustível de m<sup>3</sup> para t

$$CC_T = \frac{CC \cdot Dens}{10^3}$$

onde:

CC <sub>T</sub>	Consumo de combustível total durante os voos	[t <sub>combustível</sub> ]
CC	Consumo de combustível	[m <sup>3</sup> <sub>combustível</sub> ]
Dens	Densidade do combustível	[kg <sub>combustível</sub> .(m <sup>3</sup> <sub>combustível</sub> ) <sup>-1</sup> ]
10 <sup>3</sup>	Fator de conversão de toneladas para kg	[kg.t <sup>-1</sup> ]

## 2.5 Determinação de uma Série Temporal Consistente

Conforme apresentado anteriormente, no subitem 2.1. Escolha do Grau de Rigor (*Tier*), para que fosse possível estimar as emissões de GEE diretos e indiretos do Estado de São Paulo para o período de 1990 a 2008, foi necessário aplicar o *Tier 1* e *Tier 2 b*. Neste caso, de acordo com o IPCC (2006), para formar uma

série temporal consistente, deve-se combinar estes dois graus de rigor. Assim, escolheu-se a técnica de sobreposição (Equação 12), por ser considerada a mais adequada para esta situação.

**Equação 12** Compatibilização das Emissões de GEE Diretos ou Indiretos

$$EA_n = E_n \cdot k$$

onde:

EA	Emissões ajustadas	[t <sub>GEE</sub> ]
E	Emissões	[t <sub>GEE</sub> ]
k	Constante de ajuste	[adimensional]
n	Ano	

A constante de ajuste é obtida através da Equação 13.

**Equação 13** Constante de Ajuste

$$k = \frac{1}{b - a + 1} \sum_{i=a}^b \frac{\text{Emissão Tier } 2b_i}{\text{Emissão Tier } 1_i}$$

onde:

a	Ano inicial do período em que é possível estimar as emissões pelos dois <i>Tiers</i>
b	Ano final do período em que é possível estimar as emissões pelos dois <i>Tiers</i>

Aplicou-se esta técnica para os anos de 1990 a 1998 a fim de ajustar as emissões obtidas pelo *Tier 1*, aproximando-as das obtidas através do *Tier 2*, para todos os GEE diretos e indiretos estimados.

## 2.6 Premissas Adotadas

Fez-se necessário adotar algumas premissas para suprir a falta de informações específicas e a inexistência de recomendações para inventários estaduais, uma vez que as orientações do IPCC são voltadas para inventários nacionais. Futuramente, espera-se que algumas dessas premissas possam ser descartadas à medida que a obtenção dos dados seja aperfeiçoada.

10 1M3 = 1000 litros

### 2.6.1 Voos Interestaduais

Para o cálculo das emissões de GEE diretos e indiretos do Estado de São Paulo originadas por voos domésticos regulares para o período de 1999 a 2008, foram utilizados dados de origem e destino dentro do Estado de São Paulo e sobre os voos interestaduais, ou seja, com apenas a origem ou o destino no Estado de São Paulo. Estes dados foram empregados para estimar o consumo de combustível para os voos domésticos.

Para quantificar o combustível consumido durante os voos interestaduais, assumiu-se que metade do combustível utilizado nos voos com origem ou destino em São Paulo pertence ao Estado de São Paulo.

Essa decisão foi baseada no relatório publicado pela Agência de Avaliação Ambiental dos Países Baixos (PBL) (FABER et al., 2007), que analisa meios de incorporar as emissões internacionais da aviação e marítimas nas políticas climáticas, visto que essas emissões não estão incluídas nos objetivos das políticas climáticas conforme disposto no Protocolo de Quioto. Apesar desse relatório se referir às emissões internacionais, adotou-se aqui este conceito para os voos interestaduais por analogia.

A justificativa para isso está relacionada ao fato dos estados de origem e destino dos voos serem os “beneficiados” com essas viagens, pois a necessidade desses voos se deve à finalidade de suprir a demanda de levar ou trazer passageiros ou cargas dos locais de origem para os de destino. Assim sendo, estes estados devem dividir a responsabilidade por essas emissões. Além disso, de acordo com Faber et al. (2007), essa forma de diferenciação do pertencimento das emissões é mais próxima dos pressupostos básicos da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) do que a diferenciação baseada na nacionalidade das companhias, registros das aeronaves ou país de venda do combustível utilizado, permitindo também uma repartição igualitária das emissões.

Essa decisão foi tomada em relação às emissões de GEE dos voos interestaduais devido à inexistência de uma diretriz do IPCC para estas estimativas, uma vez que ele é voltado para inventários nacionais, conforme explicado anteriormente. Já em relação às emissões de voos internacionais, este critério não foi aplicado, pois as diretrizes do IPCC (2000a) sugerem reportar tais emissões separadamente.

### 2.6.2 Etapas Domésticas de Voos Internacionais

Conforme IPCC (2000a) é considerada boa prática classificar os voos em domésticos e internacionais, sendo que voos com escalas devem ter cada uma de suas etapas classificadas em doméstica ou internacional.

A distinção entre doméstico e internacional consiste no seguinte princípio: se um voo possuir origem e destino em um mesmo país, com embarque e desembarque de passageiros ou cargas, é considerado doméstico. Se o voo possuir origem em um país e destino em outro, é considerado internacional. Desta forma, quando houve escalas nos voos, efetuou-se esse tipo de classificação para cada trecho da viagem.

Em voos internacionais com escala dentro do mesmo país, esta etapa foi considerada doméstica apenas para voos realizados por empresas brasileiras. Essa restrição foi adotada com base no artigo 216 do Código Brasileiro de Aeronáutica, Lei n. 7.565 de 1986 (BRASIL, 1986), que define que a prestação de serviços aéreos de transporte público doméstico é reservada às pessoas jurídicas brasileiras, ou seja, as empresas estrangeiras não podem realizar voos domésticos.

### 2.6.3 Aviação Não Regular

Nos Anuários do Transporte Aéreo, Vol. II - Dados econômicos da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) de 1997 a 2008 são apresentados os consumos de combustível para a aviação não regular (táxi aéreo, serviços aéreos especializados e aviação

suplementar<sup>11</sup>), divididos por regiões, bem como as sedes das empresas, discriminadas por Unidade da Federação. Esses dados correspondem ao consumo declarado pelas empresas.

Admitiu-se, para a aviação não regular, que o consumo de combustível é equivalente ao declarado pelas empresas com sede no Estado de São Paulo, devido à inexistência de dados sobre o consumo de combustível utilizado exclusivamente dentro do Estado de São Paulo.

Não foi possível identificar a parcela do combustível utilizada em voos internacionais, porém estima-se que seja relativamente pequena. Dessa maneira, todo o consumo de combustível correspondente à aviação não regular foi considerado como tendo sido utilizado apenas no Estado de São Paulo.

#### 2.6.4 Aviação Militar

De acordo com IPCC (2000a), as emissões de GEE da aviação militar devem ser reportadas separadamente das emissões da aviação civil. Porém, não foi possível levantar os dados referentes à aviação militar no Estado de São Paulo.

#### 2.6.5 Gasolina de Aviação (AVGAS)

Devido à inexistência de dados mais detalhados em relação ao consumo de AVGAS, adotou-se a premissa que toda a AVGAS consumida no Estado de São Paulo é utilizada em voos domésticos, pois, de acordo com IPCC (1996), a AVGAS é utilizada apenas em pequenas aeronaves com motor a pistão. Além disso, conforme MCT (BRASIL, 2010), o alcance dessas aeronaves é limitado.

---

11 Considera-se aviação suplementar os serviços aéreos não regulares e fretamentos (BRASIL, 2010).

### 3 Dados

#### 3.1 Consumo de Combustível para Aviação no Estado de São Paulo

O Balanço Energético do Estado de São Paulo (BEESP) (SÃO PAULO, 2009a) disponibiliza o consumo de QAV e AVGAS. Esses dados são apresentados na Tabela 2. Os dados de venda de combustível QAV serão utilizados para quantificar o combustível consumido em voos internacionais (Equação 8) e os dados de AVGAS serão utilizados para estimar diretamente as emissões dos GEE através do *Tier* 1 (Equação 1).

**Tabela 2** Consumo de Combustível para Aviação de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	AVGAS	QAV
	[10 <sup>3</sup> tOE]	
1990	10	497
1991	10	627
1992	9	680
1993	9	843
1994	10	977
1995	12	1249
1996	16	1515
1997	21	1612
1998	21	1870
1999	20	1731
2000	20	1543
2001	22	1299
2002	13	1382
2003	8	1564
2004	10	1617
2005	13	1699
2006	14	1621
2007	9	1746
2008	9	1887

Fonte: São Paulo (2009a)

A seguir, na Tabela 3, são apresentados os dados de consumo de combustível no estado após conversão das unidades de medida, obtidos utilizando-se a Equação 10 e os dados da Tabela 2.

**Tabela 3** Consumo de Combustível para Aviação de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	AVGAS	QAV
	[10 <sup>3</sup> t]	
1990	9	480
1991	9	606
1992	8	657
1993	8	814
1994	9	944
1995	11	1.207
1996	15	1.464
1997	20	1.557
1998	20	1.807
1999	19	1.672
2000	19	1.491
2001	21	1.255
2002	12	1.335
2003	8	1.511
2004	9	1.562
2005	12	1.642
2006	13	1.566
2007	8	1.687
2008	8	1.823

Fonte: Adaptado São Paulo (2009a)

#### 3.2 Consumo de Combustível Durante Voos Domésticos

A ANAC (2010)<sup>12</sup> disponibilizou os dados de consumo de combustível (Cd) de empresas brasileiras por tipo de aeronave para o período de 1999 a 2008. Os dados de consumo de combustível disponíveis são para voos com origem e destino dentro do Estado de São Paulo e voos interestaduais com origem ou destino no Estado de São Paulo, apresentados no Anexo 1. Consumo de Combustível.

12 As informações sobre o consumo de combustível das empresas aéreas brasileiras, por tipo de aeronave, para o período de 1999 a 2008, foram fornecidos pela ANAC (Agência Nacional da Aviação Civil) ao IMT (Instituto Mauá de Tecnologia), mas não haviam sido publicados pela instituição até a data desta publicação, portanto não constam das suas referências.

Os dados referentes aos anos anteriores a 1999 não estão disponíveis, assim como os dados de pousos e decolagens. Por esse motivo, foi necessário estimar o consumo de combustível para voos domésticos conforme apresentado no subitem 2.2. Escolha das Atividades para o Levantamento de Dados para os anos anteriores a 1999.

A seguir, no Gráfico 1 é apresentado o consumo de combustível para o período de 1990 a 2008.

O consumo de QAV segregado por tipo de uso é apresentado na Tabela 4, devendo-se ressaltar que, para os anos de 1990 a 1998, essa segregação foi estimada conforme explicado anteriormente na seção 2.2. Escolha das Atividades para o Levantamento de Dados.

### 3.3 Pousos e Decolagens

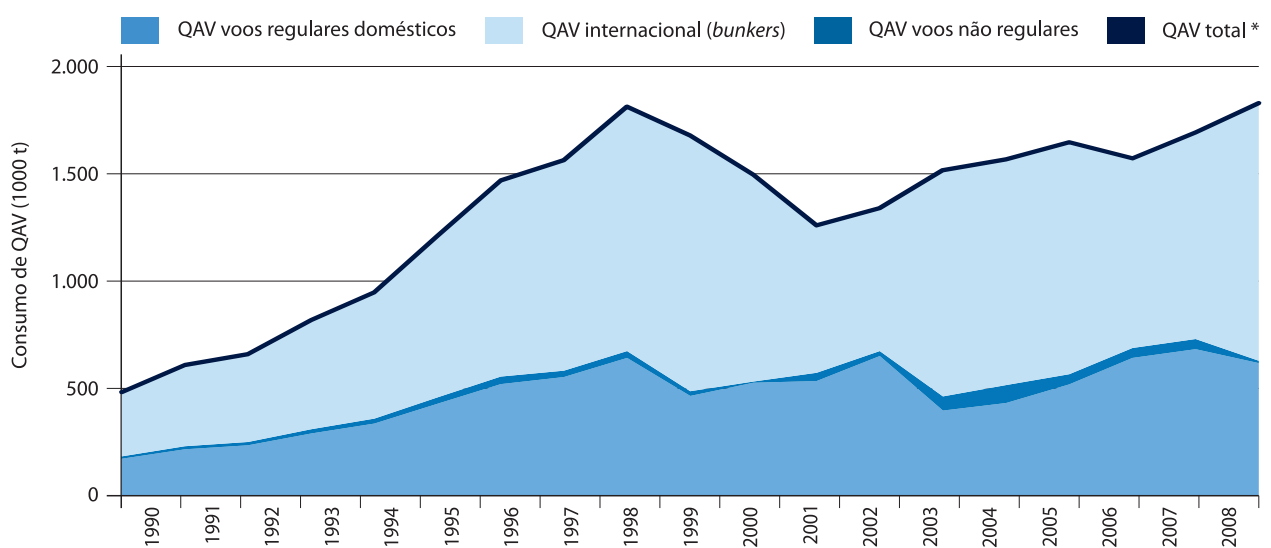
Os dados de pousos e decolagens para o período de 1999 a 2008 foram obtidos através do contato com a ANAC e são apresentados no Anexo 2. Pousos e Decolagens por Tipo de Aeronave. Os dados estatísticos da ANAC, inclusive os de consumo de combustível, foram gerados a partir de informações fornecidas pelas próprias companhias

**Tabela 4** Consumo de QAV por Tipo de Uso de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	QAV Voos Regulares Domésticos	QAV Suplementares e Táxi Aéreo <sup>12</sup>	QAV Internacional <sup>13</sup> (bunkers)
	[10 <sup>3</sup> t]		
1990	170	12	299
1991	214	15	377
1992	232	16	409
1993	288	20	507
1994	334	23	588
1995	426	29	751
1996	517	35	911
1997	550	29	979
1998	638	32	1.137
1999	462	22	1.189
2000	524	5	962
2001	532	38	686
2002	647	23	664
2003	394	65	1.051
2004	429	84	1.049
2005	516	47	1.079
2006	639	47	881
2007	679	48	960
2008	615	10	1.198

Fonte: Adaptado São Paulo (2009a)

**Gráfico 1** Consumo de QAV de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



13 Dados disponibilizados pela ANAC.

14 O consumo de QAV internacional foi obtido conforme Equação 8

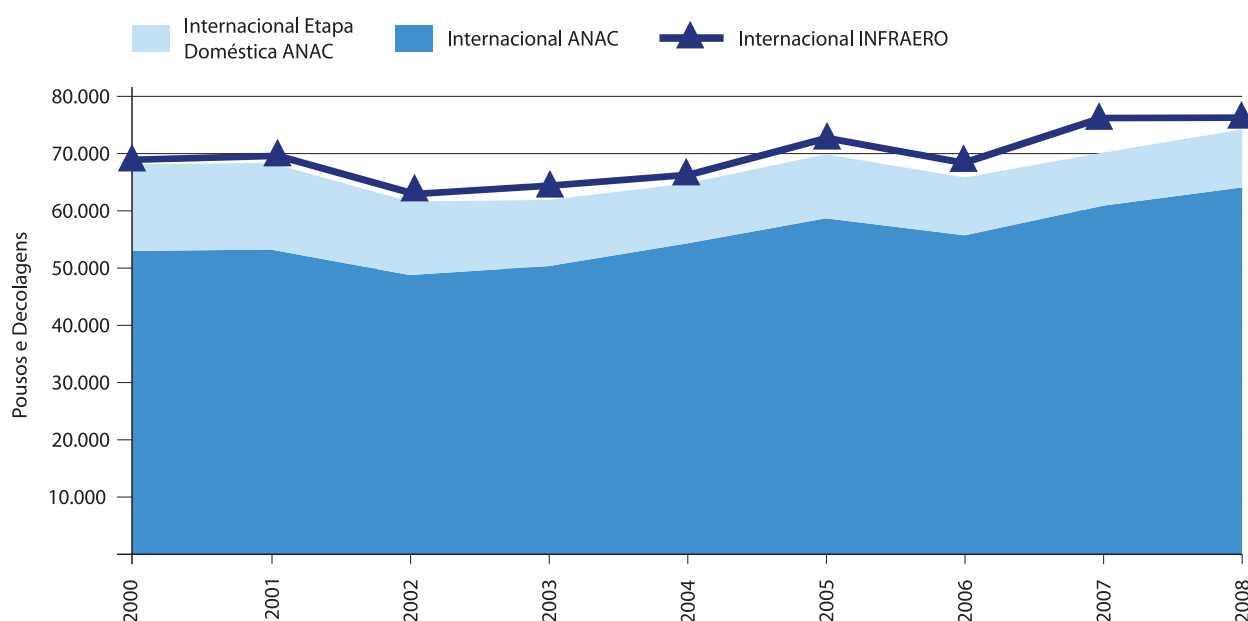
aéreas. No intuito de se obter os dados para o período de 1990 a 1998, contatou-se a Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO) e o Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo (DAESP). Ambas as instituições forneceram os dados disponíveis, porém, durante sua análise, não foi possível distinguir os pousos e decolagens de acordo com o tipo de combustível utilizado, inviabilizando dessa forma a sua utilização. Apesar da não utilização dos dados da INFRAERO e do DAESP para as estimativas das emissões de GEE diretos e indiretos, foi possível observar a compatibilidade com os dados de voos internacionais da ANAC, conforme Gráfico 2.

Vale ressaltar novamente que se deve considerar que um pouso e uma decolagem equivalem a um ciclo de LTO. Os dados da ANAC referem-se à soma dos pousos e decolagens e não ao número de LTO. Assim sendo, para a

estimativa de emissão de GEE diretos e indiretos durante estágio de LTO (Equação 3), foi necessário dividir esses dados por dois para se obter os dados de LTO (Equação 4).

Durante a análise dos dados de pousos e decolagens internacionais no período de 2000 a 2008, constatou-se que os voos internacionais de empresas brasileiras, quando possuíam escalas dentro do país sem alteração do número do voo, eram contabilizados como voos internacionais. Porém, de acordo com a recomendação do IPCC (2000a), essa etapa deve ser considerada como doméstica, conforme explicado anteriormente, no subitem 2.6.2. Etapas Domésticas de Voos Internacionais. Logo, foi feita uma triagem dos dados de voos internacionais da ANAC de acordo com sua origem e destino, os quais foram reclassificados, quando necessário, como tendo uma etapa doméstica, conforme apresentado no Gráfico 2.

**Gráfico 2** Comparativo dos Pousos e Decolagens Internacionais



### 3.4 Fatores de Emissão

Os fatores de emissão (FE) adotados são os valores recomendados pelo IPCC. A Tabela 5 apresenta os valores de consumo de combustível e os fatores de emissão para CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO e NMVOC específicos

por tipo de aeronave para o estágio de LTO. Estes dados foram utilizados para estimar as emissões de GEE diretos e indiretos, de acordo com o Tier 2 b, durante o estágio de LTO para voos domésticos e internacionais, no período de 1999 a 2008.

**Tabela 5** Fatores de Emissão e Consumo de Combustível durante Estágio de LTO por Tipo de Aeronave

Aeronave IPCC	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOC	Consumo de Combustível Durante LTO
	[kg.LTO-1]						
707	5.890	9,75	0,2	10,96	92,37	87,71	1.860
727-100	3.970	0,69	0,1	9,23	24,44	6,25	1.260
727-200	4.610	0,81	0,1	11,97	27,16	7,32	1.460
737-200	2.740	0,45	0,1	6,74	16,04	4,06	870
737-300	2.480	0,08	0,1	7,19	13,03	0,75	780
737-400	2.480	0,08	0,1	7,19	13,03	0,75	780
737-500	2.480	0,08	0,1	7,19	13,03	0,75	780
737-600	2.280	0,10	0,1	7,66	8,65	0,91	720
737-700	2.460	0,09	0,1	9,12	8,00	0,78	780
737-800	2.780	0,07	0,1	12,30	7,07	0,65	880
747-100	10.140	4,84	0,3	49,17	114,59	43,59	3.210
747-200	11.370	1,82	0,4	49,52	79,78	16,41	3.600
747-300	11.080	0,27	0,4	65,00	17,84	2,46	3.510
747-400	10.240	0,22	0,3	42,88	26,72	2,02	3.240
757-200	4.320	0,02	0,1	23,43	8,08	0,20	1.370
757-300	4.630	0,01	0,1	17,85	11,62	0,10	1.460
767-200	4.620	0,33	0,1	23,76	14,80	2,99	1.460
767-300	5.610	0,12	0,2	28,19	14,47	1,07	1.780
767-400	5.520	0,10	0,2	24,80	12,37	0,88	1.750
777-200	8.100	0,07	0,3	52,81	12,76	0,59	2.560
777-300	8.100	0,07	0,3	52,81	12,76	0,59	2.560
A300	5.450	0,12	0,2	25,86	14,80	1,12	1.720
A310	4.760	0,63	0,2	19,46	28,30	5,67	1.510
A319	2.310	0,06	0,1	8,73	6,35	0,54	730
A320	2.440	0,06	0,1	9,01	6,19	0,51	770
A321	3.020	0,14	0,1	16,72	7,55	1,27	960
A330-200	7.050	0,13	0,2	35,57	16,20	1,15	2.230
A330-300	7.050	0,13	0,2	35,57	16,20	1,15	2.230
A340-200	5.890	0,42	0,2	28,31	26,19	3,78	1.860
A340-300	6.380	0,39	0,2	34,81	25,23	3,51	2.020
A340-500	10.660	0,01	0,3	64,45	15,31	0,13	3.370
A340-600	10.660	0,01	0,3	64,45	15,31	0,13	3.370
ATR 72-500	620	0,03	0,02	1,82	2,33	0,26	200

Continua

Continuação

Aeronave IPCC	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NM VOC	Consumo de Combustível Durante LTO
	[kg.LTO-1]						
<i>Beech King Air</i>	230	0,06	0,01	0,30	2,97	0,58	70
DC-10	7.290	0,24	0,2	35,65	20,59	2,13	2.310
DC-8	5.360	0,15	0,2	15,62	26,31	1,36	1.700
DC-9	2.650	0,46	0,1	6,16	16,29	4,17	840
DHC8-100	640	0,00	0,02	1,51	2,24	0,00	200
ERJ145	990	0,06	0,03	2,69	6,18	0,50	310
F100	2.390	0,14	0,10	5,75	13,84	1,29	760
L-1011	7.300	7,40	0,2	31,64	103,33	66,56	2.310
MD11	7.290	0,24	0,20	35,65	20,59	2,13	2.310
MD80	3.180	0,19	0,1	11,97	6,46	1,69	1.010
Default	2.680	0,30	0,10	10,20	8,10	2,60	850

Fonte: Adaptado IPCC (2006)

São apresentados na Tabela 6 os fatores de emissão para NO<sub>x</sub> durante o estágio de cruzeiro por tipo de aeronave empregados nas estimativas conforme o Tier 2 b. Estes fatores de emissão específicos foram aplicados apenas para calcular a estimativa de emissão de voos domésticos, conforme explicado anteriormente no subitem 2.3. Escolha dos Fatores de Emissão.

**Tabela 6** Fator de Emissão do NO<sub>x</sub> durante Estágio de Cruzeiro por Tipo de Aeronave

Aeronave IPCC	NO <sub>x</sub>
	[g·(kgcombustível) <sup>-1</sup> ]
707	5,9
727-100	8,7
727-200	9,5
737-200	8,7
737-300	11,0
737-400	11,0
737-500	11,0
737-700	12,4
737-800	14,0
747-300	15,2
757-200	11,8
767-200	13,3
767-300	14,3
777-200	14,1
777-300	14,1
A300	14,8

Continua

Continuação

Aeronave IPCC	NO <sub>x</sub>
	[g·(kgcombustível) <sup>-1</sup> ]
A310	12,2
A319	11,6
A320	12,9
A321	16,1
A330-200	13,8
A330-300	13,8
ATR 72-500	14,2
<i>Beech King Air</i>	8,5
DC-10	13,9
DC-8	10,8
DHC8-100	12,8
ERJ145	7,9
F100	8,4
MD11	13,2
Default	11,0

Fonte: Adaptado IPCC (2006)

A Tabela 7 apresenta os fatores de emissão default do IPCC (1996). Esses FEs foram utilizados nas estimativas do período entre 1999 e 2008, para calcular as emissões de GEE diretos e indiretos durante o estágio de cruzeiro, com exceção do NO<sub>x</sub>, que possui FEs específicos por tipo de aeronave para o estágio cruzeiro, conforme explicado anteriormente no subitem 2.3 Escolha dos Fatores de Emissão, e também das aeronaves enquadradas como default, quando não foi possível identificá-las.

**Tabela 7** Fatores de Emissão Default e Consumo de Combustível

Voos Domésticos	Consumo de Combustível	Fator de Emissão					
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOC
LTO frota idade média [kg.LTO <sup>-1</sup> ]	850	2680	0,3	0,1	10,2	8,1	2,6
LTO frota antiga [kg.LTO <sup>-1</sup> ]	1000	3150	0,4	0,1	9,0	17,0	3,7
Cruzeiro [kg.t <sup>-1</sup> ]		3150	0	0,1	11,0	7,0	0,7
Voos Internacionais	Consumo de Combustível	Fator de Emissão					
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOC
LTO frota idade média [kg.LTO <sup>-1</sup> ]	2500	7900	1,5	0,2	41	50	15
LTO frota antiga [kg.LTO <sup>-1</sup> ]	2400	7560	7	0,2	23,6	101	66
Cruzeiro [kg.t <sup>-1</sup> ]		3150	0	0,1	17	5	2,7

Fonte: Adaptado IPCC (1996)

A Tabela 8 apresenta os fatores de emissão *default* do IPCC para os combustíveis AVGAS e QAV. Estes fatores foram utilizados para estimar as emissões de GEE diretos e indiretos originados do uso desses combustíveis quando aplicado o *Tier 1*.

**Tabela 8** Fatores de Emissão Default por Combustível Utilizado

Combustível	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO	NO <sub>x</sub>	NMVOC
	[kg.TJ <sup>-1</sup> ]					
AVGAS	69.300	0,5	2	100	250	50
QAV	71.500					

Fonte: Adaptado IPCC (2006)

Os FEs utilizados para estimar as emissões de GEE diretos e indiretos provenientes da queima de gasolina de aviação, após conversão de unidade aplicando-se os dados da Tabela 8 à Equação 9, são apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9** Fatores de Emissão Default para AVGAS

CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO	NO <sub>x</sub>	NMVOC
[kg.t <sup>-1</sup> ]					
3,074	0,022	0,089	4,435	11,088	2,218

Os FEs, após a conversão de unidades de medida obtidos através da Tabela 8 e Equação 9, utilizados para estimar as emissões de GEE diretos e indiretos provenientes da combustão do QAV, estão dispostos na Tabela 10.

**Tabela 10** Fatores de Emissão Default para QAV

CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO	NO <sub>x</sub>	NMVOC
[kg.t <sup>-1</sup> ]					
3,096	0,022	0,087	10,826	4,331	2,165

### 3.5 Conversão de Unidades de Medidas

Devido à diferença em relação às unidades de medidas dos dados de fatores de emissão, consumo de combustível no Estado de São Paulo e consumo de combustível durante os voos domésticos, foi necessário convertê-los a uma unidade de medida adequada, calculados conforme Equação 9, Equação 10 e Equação 11, respectivamente. Para isto, foram utilizados os dados de densidade do QAV e o poder calorífico inferior (PCI) do QAV e AVGAS apresentados na Tabela 11, assim como a relação entre as unidades de medidas apresentada na Tabela 12.

**Tabela 11** Dados de Conversão de Unidades de Medidas

Densidade de QAV	PCI do QAV	PCI da AVGAS
[kg.(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> ]	[kcal.kg <sup>-1</sup> ]	[kcal.kg <sup>-1</sup> ]
799	10.350	10.600

Fonte: Adaptado ANP (2009)

**Tabela 12** Relação entre Unidades de Medidas

Unidade	Relação
1 J	0,239 cal
1 tOE	107 kcal
1 t	1.000 kg

Fonte: São Paulo (2009a)

## 4 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos pelas estimativas das emissões de GEE diretos e indiretos serão apresentados separadamente, de acordo com grau de rigor adotado, com o tipo de combustível utilizado (AVGAS e QAV) e com o tipo de classificação (doméstico e internacional).

### 4.1 Tier 1

#### 4.1.1 Aeronaves Movidas a Gasolina de Aviação (AVGAS)

As estimativas das emissões de GEE diretos e indiretos provenientes da queima de AVGAS, para o período de 1990 a 2008, foram calculadas a partir do emprego do Tier 1 (Equação 1), aplicando os fatores de emissão apresen-

tados na Tabela 9 e o consumo de combustível da Tabela 3. Estas estimativas são apresentadas na Tabela 13, a seguir. Neste caso, não existe a diferenciação entre doméstico e internacional, pois o consumo foi considerado como sendo exclusivamente do Estado de São Paulo.

**Tabela 13** Emissões dos GEE Diretos e Indiretos da Combustão de AVGAS pelo Tier 1 de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO	NO <sub>x</sub>	NM VOC
	[t]					
1990	29.000	0,208	0,840	42	105	21
1991	29.000	0,208	0,840	42	105	21
1992	26.100	0,187	0,756	38	94	19
1993	26.100	0,187	0,756	38	94	19
1994	29.000	0,208	0,840	42	105	21
1995	34.800	0,249	1,008	50	126	25
1996	46.400	0,332	1,343	67	167	33
1997	60.900	0,436	1,763	88	220	44
1998	60.900	0,436	1,763	88	220	44
1999	58.000	0,415	1,679	84	209	42
2000	58.000	0,415	1,679	84	209	42
2001	63.800	0,457	1,847	92	230	46
2002	37.700	0,270	1,092	54	136	27
2003	23.200	0,166	0,672	33	84	17
2004	29.000	0,208	0,840	42	105	21
2005	37.700	0,270	1,092	54	136	27
2006	40.600	0,291	1,175	59	146	29
2007	26.100	0,187	0,756	38	94	19
2008	26.100	0,187	0,756	38	94	19

#### 4.1.2 Aeronaves Movidas a Querosene de Aviação (QAV)

##### Aviação Não Regular

Para o período de 1990 a 2008, estimou-se as emissões de GEE diretos e indiretos da aviação não regular seguindo o *Tier 1* (Equação 1). Utilizaram-se os dados de consumo de combustível, apresentados na Tabela 4, e os fatores de emissão default para QAV, apresentados na Tabela 10. São apresentadas, na Tabela 14, as estimativas das emissões de GEE diretos e indiretos correspondentes à parcela da aviação não regular no Estado de São Paulo.

##### Aviação Regular

As estimativas das emissões de GEE da aviação regular para o período de 1990 a 2008, apre-

sentadas a seguir, foram calculadas empregando-se o *Tier 1* (Equação 1). Utilizaram-se os dados de consumo de combustível, apresentados na Tabela 4, e os fatores de emissão default para QAV, apresentados na Tabela 10.

##### Voos Domésticos

A seguir, na Tabela 15, são apresentadas as estimativas das emissões de GEE diretos e indiretos provenientes da combustão do QAV utilizado em voos domésticos durante o período de 1990 a 2008.

##### Voos Internacionais

A Tabela 16 apresenta as estimativas das emissões dos GEE diretos e indiretos referentes à utilização de QAV em voos internacionais, reportadas como bunkers<sup>15</sup>, de acordo com a especificação do IPCC.

**Tabela 14** Emissões dos GEE Diretos e Indiretos da Combustão de QAV da Aviação não Regular pelo *Tier 1* de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NM VOC
[t]						
1990	35.882	0,255	1,008	126	50	25
1991	45.268	0,322	1,272	158	63	32
1992	49.095	0,349	1,380	172	69	34
1993	60.863	0,432	1,710	213	85	43
1994	70.537	0,501	1,982	247	99	49
1995	90.175	0,641	2,534	315	126	63
1996	109.380	0,777	3,074	383	153	77
1997	88.860	0,631	2,497	311	124	62
1998	98.082	0,697	2,756	343	137	69
1999	66.938	0,476	1,881	234	94	47
2000	15.666	0,111	0,440	55	22	11
2001	116.448	0,827	3,272	407	163	81
2002	72.508	0,515	2,038	254	101	51
2003	202.278	1,437	5,684	707	283	142
2004	261.070	1,855	7,336	913	365	183
2005	146.759	1,043	4,124	513	205	103
2006	144.025	1,023	4,047	504	202	101
2007	147.810	1,050	4,154	517	207	103
2008	32.443	0,231	0,912	113	45	23

<sup>15</sup> Emissões por voos internacionais, reportadas separadamente das nacionais, devido à inexistência de diretrizes que apontem o pertencimento dessas emissões.

**Tabela 15** Emissões dos GEE Diretos e Indiretos da Combustão de QAV dos Voos Domésticos pelo Tier 1 de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO	NO <sub>x</sub>	NMVOC
	[t]					
1990	525.266	3,733	14,760	735	1.837	367
1991	662.659	4,709	18,621	927	2.317	463
1992	718.673	5,107	20,195	1.005	2.513	503
1993	890.943	6,331	25,036	1.246	3.115	623
1994	1.032.564	7,337	29,016	1.444	3.611	722
1995	1.320.034	9,380	37,094	1.847	4.616	923
1996	1.601.162	11,378	44,994	2.240	5.599	1.120
1997	1.703.678	12,106	47,875	2.383	5.957	1.191
1998	1.976.352	14,044	55,537	2.765	6.911	1.382
1999	1.430.806	10,167	40,207	2.002	5.003	1.001
2000	1.621.771	11,524	45,573	2.269	5.671	1.134
2001	1.645.818	11,695	46,249	2.302	5.755	1.151
2002	2.004.545	14,244	56,329	2.804	7.009	1.402
2003	1.220.809	8,675	34,306	1.708	4.269	854
2004	1.327.382	9,432	37,300	1.857	4.642	928
2005	1.596.410	11,344	44,860	2.233	5.582	1.116
2006	1.976.974	14,048	55,554	2.766	6.913	1.382
2007	2.102.086	14,937	59,070	2.941	7.351	1.470
2008	1.904.019	13,530	53,504	2.664	6.658	1.331

**Tabela 16** Emissões dos GEE Diretos e Indiretos da Combustão de QAV dos Voos Internacionais pelo Tier 1 de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO	NO <sub>x</sub>	NMVOC
	[t]					
1990	925.530	6,577	26,008	1.295	3.236	647
1991	1.167.621	8,297	32,811	1.633	4.083	817
1992	1.266.319	8,998	35,585	1.771	4.428	886
1993	1.569.863	11,155	44,114	2.196	5.489	1.098
1994	1.819.403	12,929	51,127	2.545	6.362	1.272
1995	2.325.930	16,528	65,360	3.254	8.133	1.626
1996	2.821.285	20,048	79,280	3.947	9.865	1.973
1997	3.029.444	21,527	85,130	4.238	10.593	2.118
1998	3.519.305	25,008	98,895	4.923	12.306	2.461
1999	3.680.203	26,151	103,417	5.148	12.869	2.574
2000	2.978.145	21,163	83,688	4.166	10.414	2.083
2001	2.123.438	15,089	59,670	2.970	7.425	1.485
2002	2.056.930	14,616	57,801	2.877	7.193	1.438
2003	3.255.313	23,132	91,477	4.554	11.383	2.276
2004	3.248.488	23,084	91,285	4.544	11.359	2.272
2005	3.339.057	23,727	93,830	4.671	11.676	2.335
2006	2.727.906	19,384	76,656	3.816	9.539	1.908
2007	2.972.921	21,125	83,541	4.159	10.396	2.079
2008	3.708.129	26,350	104,201	5.187	12.966	2.593

## 4.2 Tier 2 b

### 4.2.1 Aviação Doméstica Regular

A seguir, são apresentadas as estimativas de emissão dos GEE diretos e indiretos da aviação regular doméstica para aeronaves movidas a QAV, para o período de 1999 a 2008. Estas estimativas foram obtidas seguindo o Tier 2 b (Equação 2 até Equação 8), com base nos fatores de emissão apresentados na Tabela 5 e no consumo de combustível por tipo de aeronave apresentado no Anexo 1.

Para se estimar as emissões de GEE diretos e indiretos provenientes de aeronaves movidas a QAV, no período de 1999 a 2008, foi necessário desagregar o combustível consumido durante os voos domésticos por estágio de voo, conforme apresentado na Tabela 17.

**Tabela 17** Consumo de QAV por Estágio de Voo da Aviação Doméstica Regular de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Estágio de LTO	Estágio de Cruzeiro
	[t]	
1999	130.766	331.381
2000	130.195	393.633
2001	144.893	386.702
2002	133.015	514.448
2003	99.122	295.196
2004	100.843	327.898
2005	114.976	400.661
2006	115.008	523.549
2007	117.001	562.143
2008	120.518	494.475

A Tabela 18 apresenta as estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> para voos domésticos regulares, no período de 1999 a 2008, separadas em estágio de LTO e de cruzeiro para aeronaves movidas a QAV.

**Tabela 18** Emissões de CO<sub>2</sub> da Combustão de QAV dos Voos Domésticos Regulares pelo Tier 2 b de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissão de CO <sub>2</sub> no Estágio de LTO	Emissão de CO <sub>2</sub> no Estágio de Cruzeiro	Emissão Total de CO <sub>2</sub>
	[t]		
1999	413.246	1.043.850	1.457.096
2000	411.368	1.239.943	1.651.311
2001	457.575	1.218.110	1.675.685
2002	420.737	1.620.511	2.041.248
2003	313.939	929.869	1.243.807
2004	319.314	1.032.879	1.352.193
2005	363.864	1.262.081	1.625.945
2006	363.928	1.649.180	2.013.109
2007	370.295	1.770.751	2.141.046
2008	381.274	1.557.597	1.938.871

A Tabela 19 apresenta as estimativas de emissão de CH<sub>4</sub> para voos domésticos regulares, separadas nos estágios de LTO e cruzeiro, no período de 1999 a 2008. Durante o estágio de cruzeiro, as emissões de CH<sub>4</sub> são consideradas nulas, conforme IPCC (1996).

**Tabela 19** Emissões de CH<sub>4</sub> da Combustão de QAV dos Voos Domésticos Regulares pelo Tier 2 b de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissão de CH <sub>4</sub> no Estágio de LTO	Emissão de CH <sub>4</sub> no Estágio de Cruzeiro	Emissão Total de CH <sub>4</sub>
	[t]		
1999	21	0	21
2000	21	0	21
2001	25	0	25
2002	20	0	20
2003	14	0	14
2004	16	0	16
2005	15	0	15
2006	15	0	15
2007	13	0	13
2008	12	0	12

Na Tabela 20 são apresentadas as emissões de N<sub>2</sub>O para aviões movidos a QAV durante voos domésticos regulares, no período de 1999 a 2008, calculadas com base no Tier 2 b.

**Tabela 20** Emissões de N<sub>2</sub>O da Combustão de QAV dos Voos Domésticos Regulares pelo Tier 2 b no Estado de São Paulo

Ano	Emissão de N <sub>2</sub> O no Estágio de LTO	Emissão de N <sub>2</sub> O no Estágio de Cruzeiro	Emissão Total de N <sub>2</sub> O
	[t]		
1999	16	33	49
2000	16	39	55
2001	18	39	56
2002	16	51	68
2003	12	30	42
2004	12	33	45
2005	14	40	54
2006	14	52	67
2007	15	56	71
2008	15	49	64

A Tabela 21 apresenta as estimativas de emissões de NO<sub>x</sub> para voos domésticos regulares, no período de 1999 a 2008, separadas em estágio de LTO e de cruzeiro.

**Tabela 21** Emissões de NO<sub>x</sub> da Combustão de QAV dos Voos Domésticos Regulares pelo Tier 2 b de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissão de NO <sub>x</sub> no Estágio de LTO	Emissão de NO <sub>x</sub> no Estágio de Cruzeiro	Emissão Total de NO <sub>x</sub>
	[t]		
1999	1.304	3.684	4.988
2000	1.292	4.394	5.686
2001	1.062	4.439	5.500
2002	1.384	6.088	7.472
2003	1.065	3.470	4.535
2004	1.087	3.826	4.913
2005	1.269	4.751	6.020
2006	1.261	6.243	7.504
2007	1.322	6.954	8.276
2008	1.457	6.319	7.776

Na Tabela 22 são apresentadas as estimativas de emissões de CO originadas de voos domésticos regulares no período de 1999 a 2008.

**Tabela 22** Emissões de CO da Combustão de QAV dos Voos Domésticos Regulares pelo Tier 2 b de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissão de CO no Estágio de LTO	Emissão de CO no Estágio de Cruzeiro	Emissão Total de CO
	[t]		
1999	1.939	2.320	4.259
2000	1.879	2.755	4.635
2001	1.846	2.707	4.553
2002	1.769	3.601	5.370
2003	1.255	2.066	3.321
2004	1.282	2.295	3.577
2005	1.434	2.805	4.239
2006	1.367	3.665	5.032
2007	1.294	3.935	5.230
2008	1.177	3.461	4.639

A Tabela 23 apresenta as estimativas de emissões de NMVOC para aeronaves movidas a QAV, no período de 1999 a 2008.

**Tabela 23** Emissões de NMVOC da Combustão de QAV dos Voos Domésticos Regulares pelo Tier 2 b de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissão de NMVOC no Estágio de LTO	Emissão de NMVOC no Estágio de Cruzeiro	Emissão Total de NMVOC
	[t]		
1999	191	232	423
2000	191	276	467
2001	200	271	470
2002	176	360	536
2003	122	207	329
2004	143	230	373
2005	136	280	416
2006	135	366	502
2007	115	394	508
2008	107	346	453

#### 4.2.2 Aviação Internacional Regular

A seguir, são apresentadas as estimativas de emissão dos GEE da aviação regular internacional para o período de 1999 a 2008, obtidas pelo emprego do Tier 2 b (Equação 2 até Equação 8), com base nos fatores de emissão apresentados na Tabela 5 e no consumo de combustível apresentado na Tabela 4.

Na Tabela 24, são apresentadas as estimativas das emissões dos GEE diretos provenientes da combustão de QAV pela aviação regular internacional.

**Tabela 24** Emissões dos GEE Diretos da Combustão de QAV da Aviação Internacional pelo Tier 2 b de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Emissão de CO <sub>2</sub>	Emissão de CH <sub>4</sub>	Emissão de N <sub>2</sub> O
	[t]		
1999	3.744.674	4	119
2000	3.030.406	5	96
2001	2.160.764	8	69
2002	2.093.130	4	67
2003	3.312.458	5	105
2004	3.305.564	5	105
2005	3.397.779	5	108
2006	2.775.900	5	88
2007	3.025.230	5	96
2008	3.773.309	5	120

A Tabela 25 apresenta as estimativas das emissões dos GEE indiretos provenientes da queima de QAV utilizado pela aviação regular internacional.

**Tabela 25** Emissões dos GEE Indiretos da Combustão de QAV da Aviação Internacional pelo Tier 2 b de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

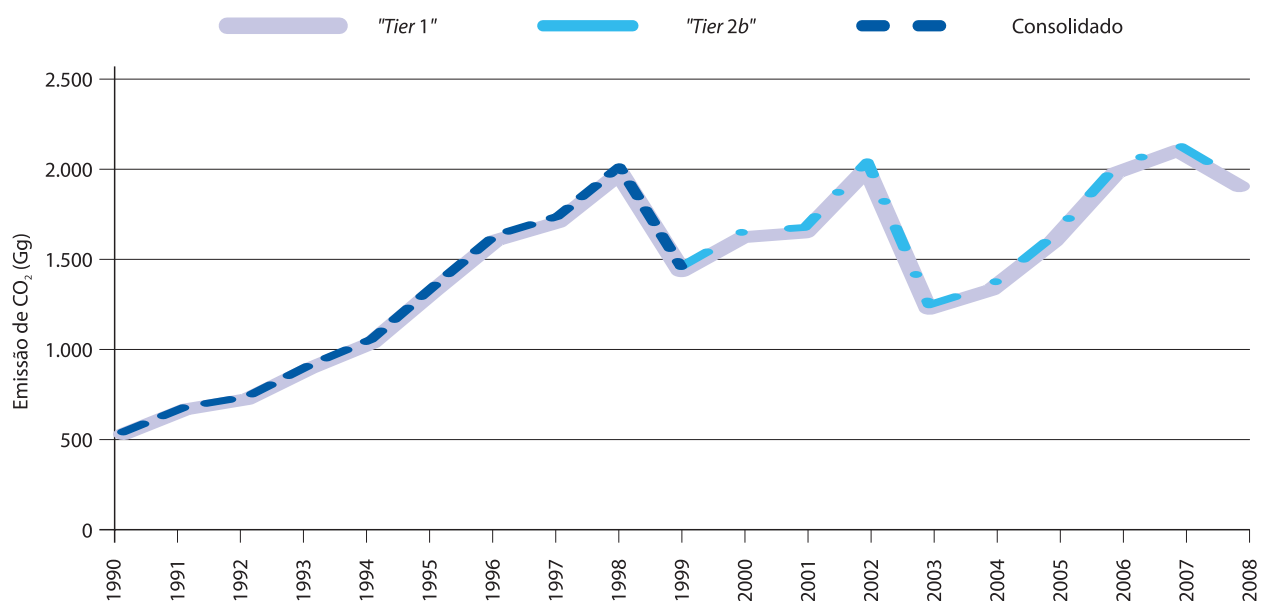
Ano	Emissão de NOx	Emissão de CO	Emissão de NMVOC
	[t]		
1999	13.259	8.401	839
2000	10.764	6.832	683
2001	7.735	4.874	479
2002	7.501	4.719	473
2003	11.762	7.442	746
2004	11.765	7.438	746
2005	12.121	7.623	760
2006	9.906	6.254	625
2007	10.785	6.807	677
2008	13.432	8.458	843

### 4.3 Consolidação dos Resultados

Para obter uma série temporal consistente, foi necessário consolidar os resultados da aviação regular. Para tanto, as estimativas das emissões de GEE diretos e indiretos obtidas pelos graus de rigor *Tier 1* e *Tier 2 b* foram comparadas e seus resultados compatibilizados, conforme apresentado no subitem 2.5. Determinação de uma Série Temporal Consistente.

A seguir, o Gráfico 3 apresenta a comparação dos dois graus de rigor, assim como a compatibilização das estimativas de emissão do CO<sub>2</sub>. Observa-se que as emissões de CO<sub>2</sub> pelo *Tier 1* e pelo *Tier 2 b* foram bem similares.

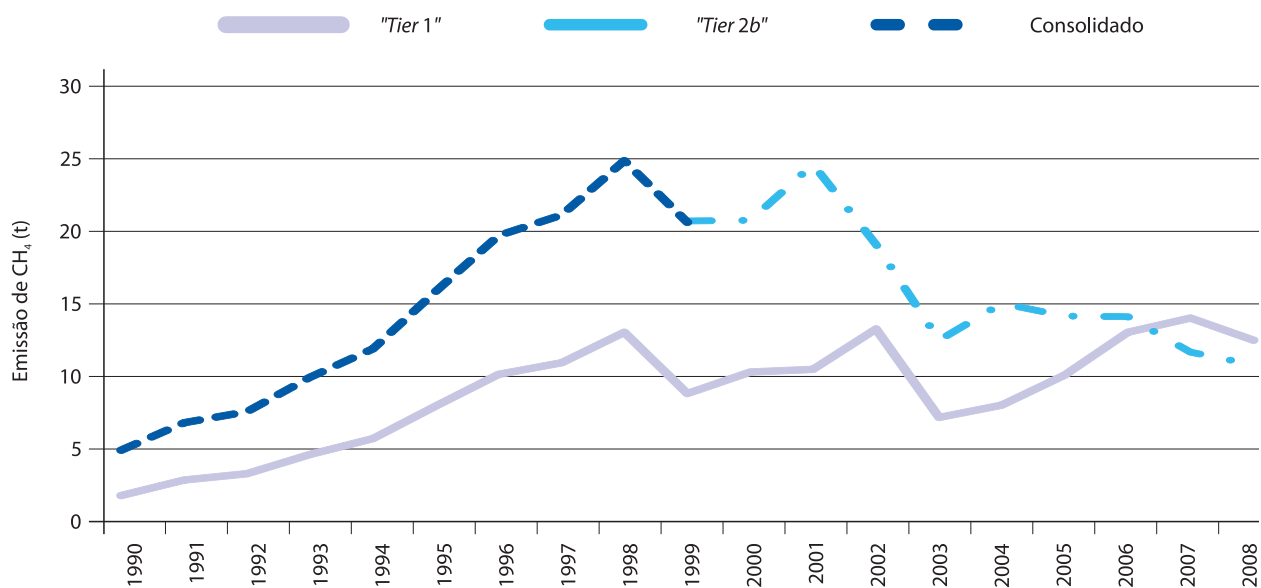
**Gráfico 3** Consolidação das Estimativas de CO<sub>2</sub> da Aviação Regular Doméstica de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



Para consolidar as emissões de CH<sub>4</sub>, foram utilizadas apenas as estimativas preliminares para o período de 1999 a 2004, devido à inconsistência para os anos posteriores a esse período. Para os anos posteriores a 2004, desconsiderou-se as estimativas obtidas através do *Tier 1*. Para os anos de 1990 a 1998, as estimativas foram obtidas através da consolidação das emissões.

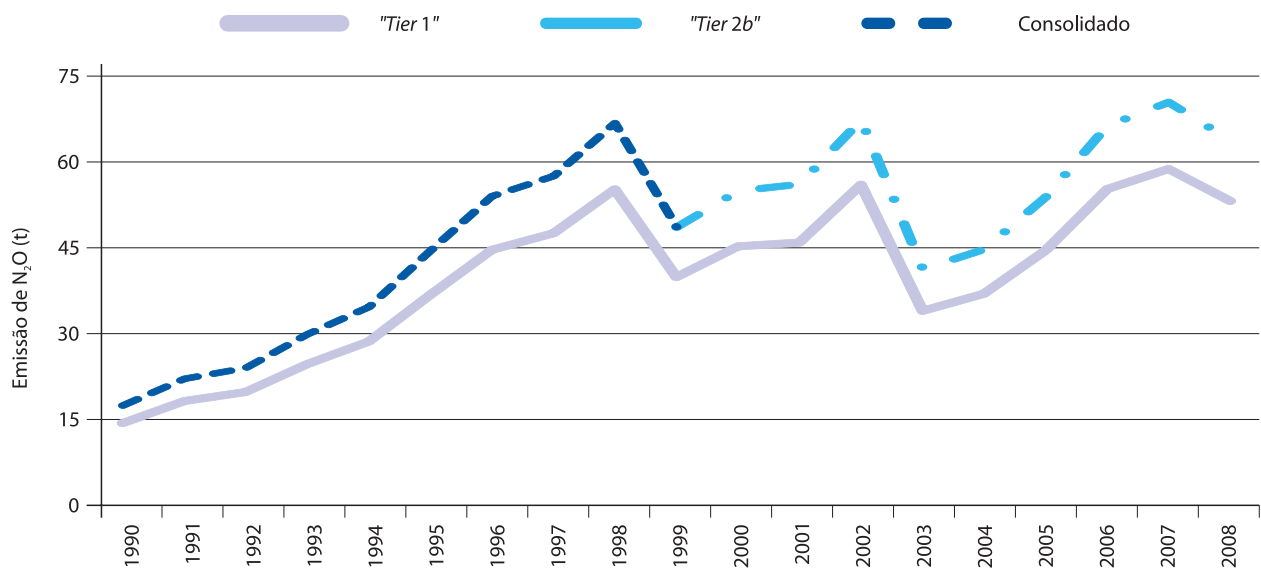
A consolidação das estimativas de CH<sub>4</sub> foi a única para a qual não foi possível calcular o coeficiente de ajuste utilizando os resultados obtidos para todo o período. Pode-se verificar no Gráfico 4 que houve uma queda na emissão de CH<sub>4</sub> pela estimativa preliminar do *Tier 2 b* a partir de 2004.

**Gráfico 4** Consolidação das Estimativas de CH<sub>4</sub> da Aviação Regular Doméstica de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



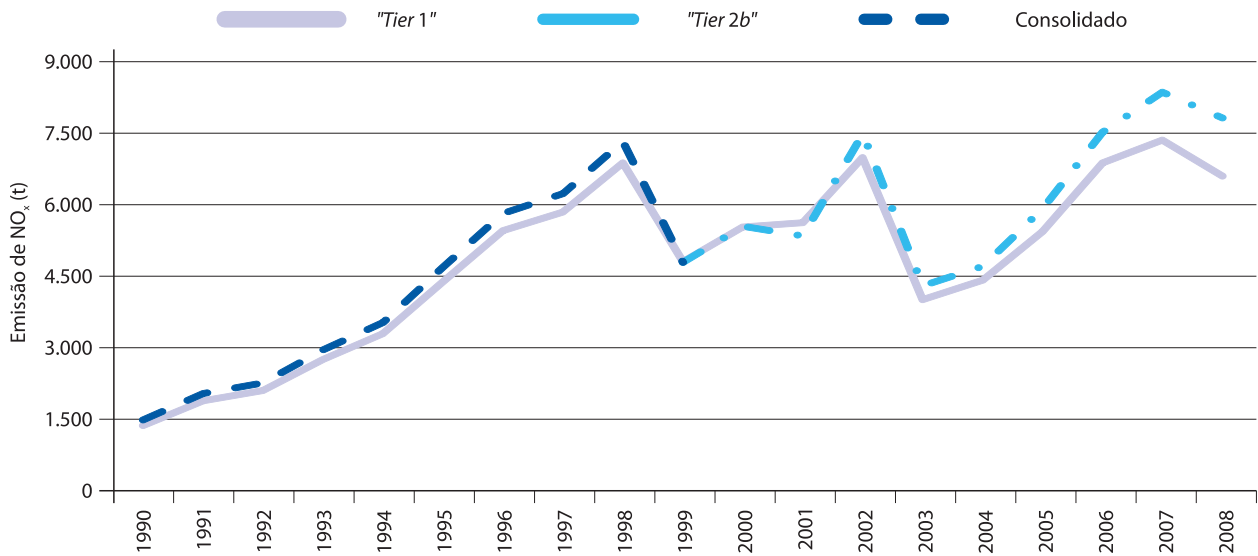
O Gráfico 5 apresenta a consolidação das estimativas de emissão de N<sub>2</sub>O proveniente da aviação regular doméstica. Verificou-se que as estimativas em ambos os *Tiers* apresentaram valores próximos e seguiram um mesmo padrão.

**Gráfico 5** Consolidação das Estimativas de N<sub>2</sub>O da Aviação Regular Doméstica de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



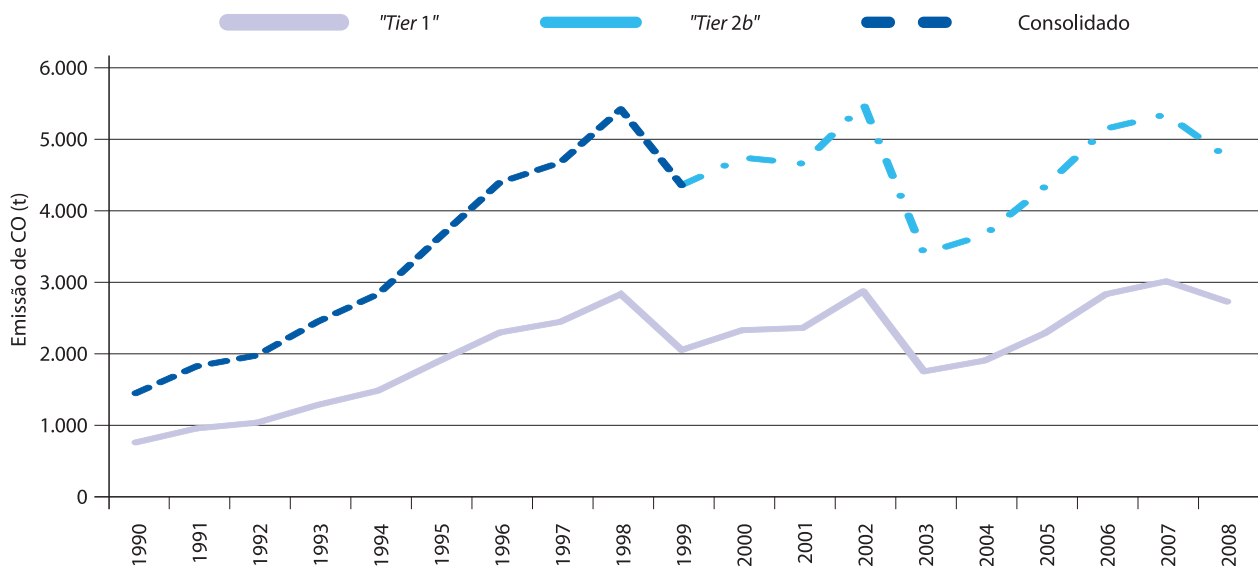
A comparação das estimativas de emissão de NO<sub>x</sub> para a aviação regular doméstica, assim como a compatibilização destas estimativas, é apresentada no Gráfico 6.

**Gráfico 6** Consolidação das Estimativas de NO<sub>x</sub> da Aviação Regular Doméstica de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



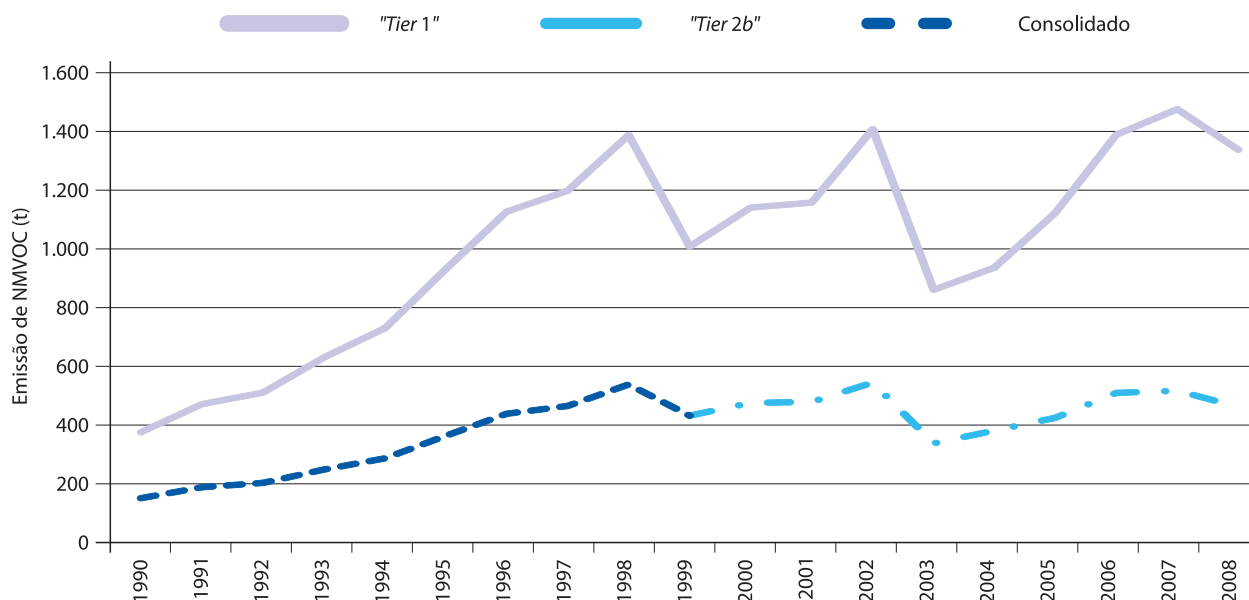
O Gráfico 7 apresenta a comparação das estimativas de emissão de CO obtidas através do Tier 1 e Tier 2 b, bem como os resultados consolidados para o período de 1990 a 1998. Pode-se verificar que existem diferenças entre as estimativas do CO por diferentes Tiers.

**Gráfico 7** Consolidação das Estimativas de CO da Aviação Regular Doméstica de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



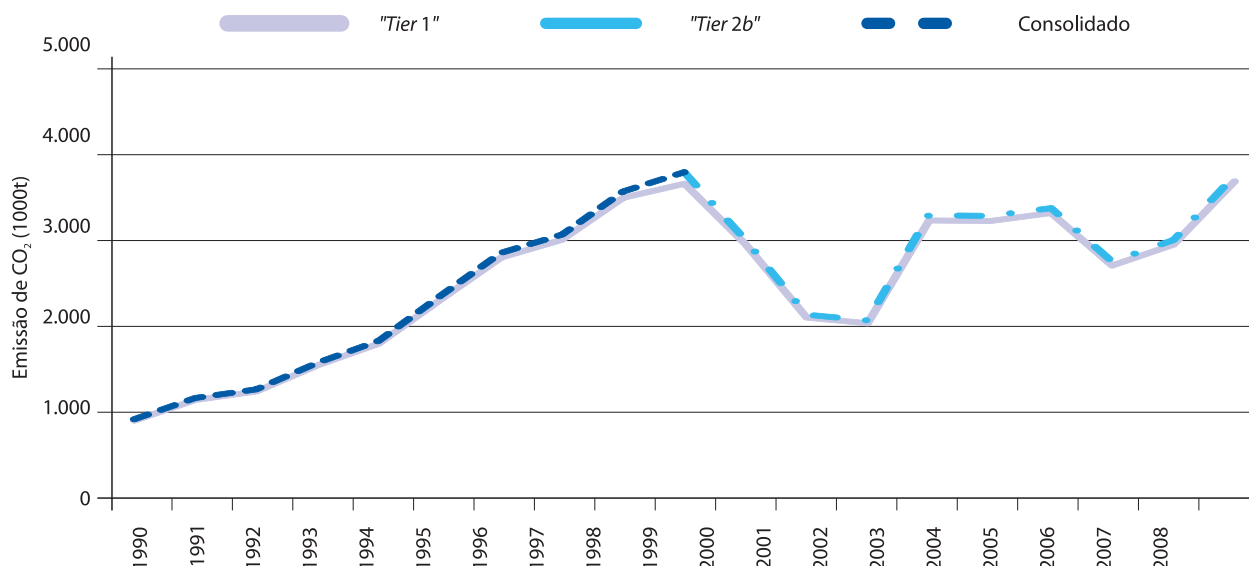
No Gráfico 8 são apresentadas as estimativas de emissões de NMVOC obtidas pelo *Tier 1* e *Tier 2 b* para a aviação regular doméstica do Estado de São Paulo, podendo-se observar que, apesar de os valores das emissões não serem próximos, apresentam um padrão de comportamento similar.

**Gráfico 8** Consolidação das Estimativas de NMVOC da Aviação Regular Doméstica de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



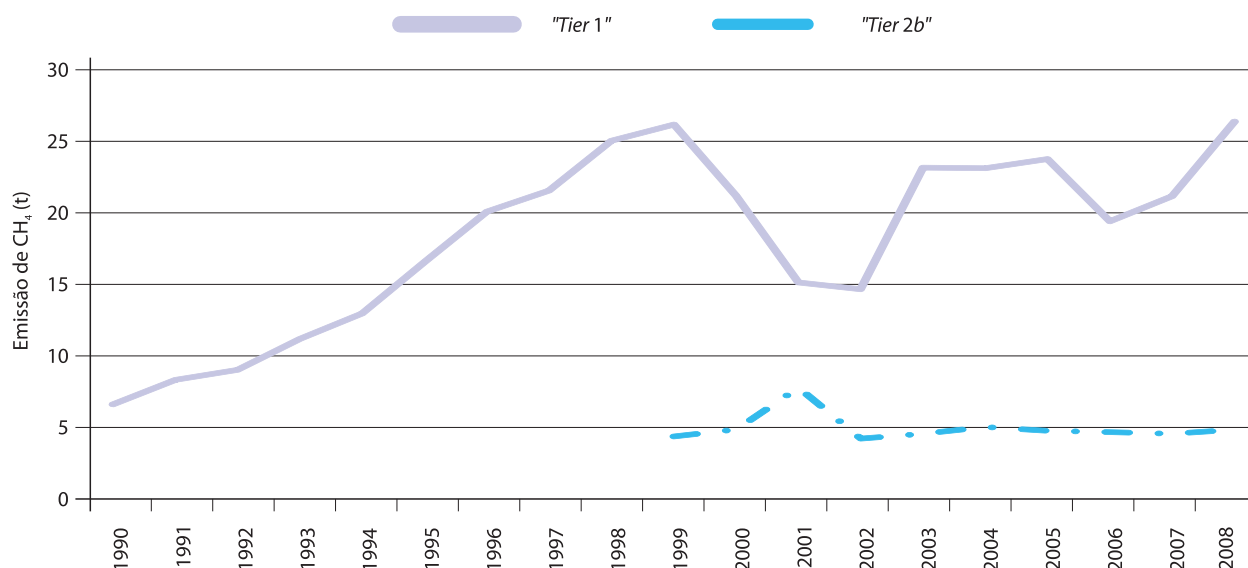
A seguir serão apresentadas as estimativas de emissão dos GEE pela aviação regular internacional, obtidas pelo *Tier 1* e *Tier 2 b*, bem como a consolidação das suas estimativas. O Gráfico 9 apresenta as estimativas para o CO<sub>2</sub>.

**Gráfico 9** Consolidação das Estimativas de CO<sub>2</sub> da Aviação Regular Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



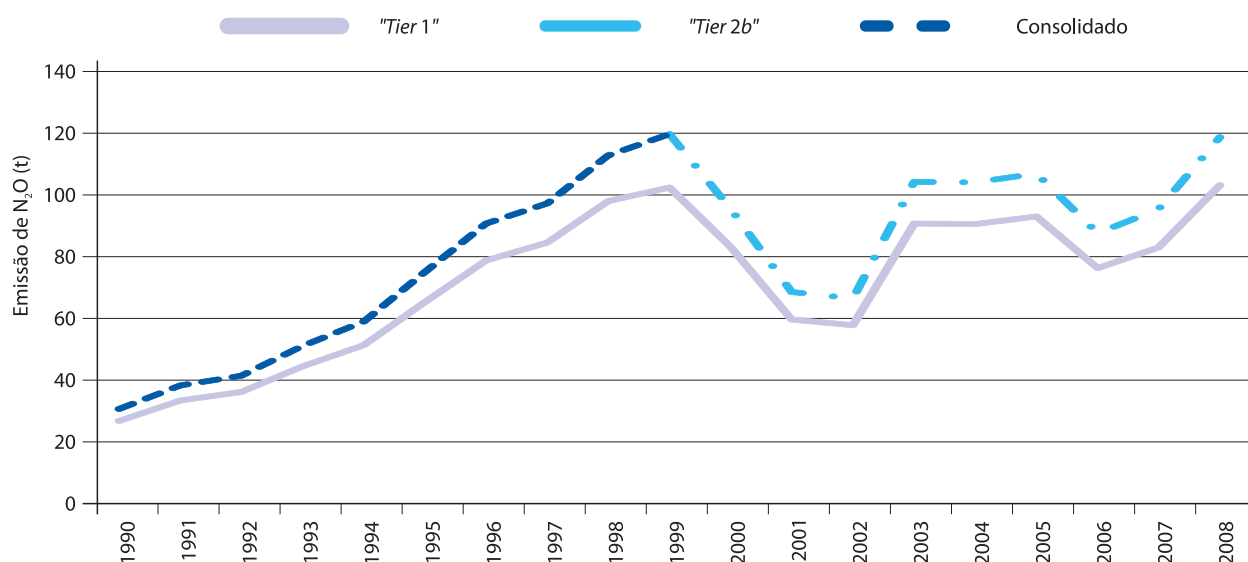
Para o  $\text{CH}_4$ , não foi possível verificar um padrão de comportamento semelhante entre as estimativas obtidas pelo *Tier 1* e *Tier 2 b*, conforme Gráfico 10, impossibilitando, portanto, consolidar as estimativas de emissão de  $\text{CH}_4$  para o período de 1990 a 1998. Por essa razão, consideraram-se as estimativas de emissão de  $\text{CH}_4$  apenas para o período de 1999 a 2008, calculadas pelo *Tier 2 b*.

**Gráfico 10** Estimativas de  $\text{CH}_4$  da Aviação Regular Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



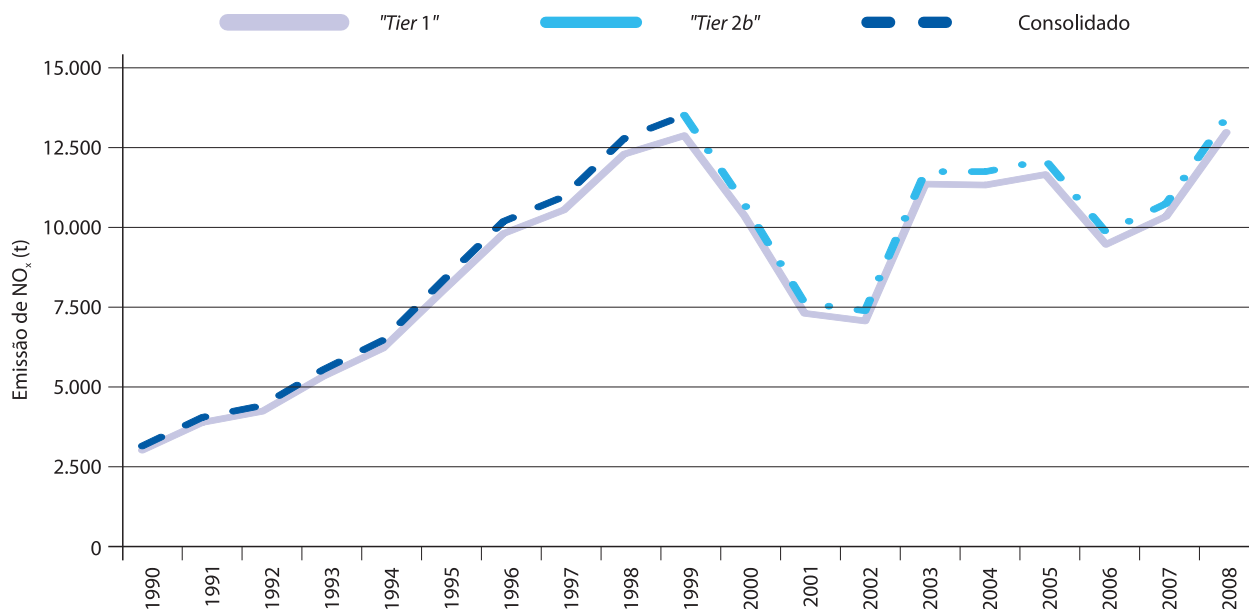
A seguir, no Gráfico 11 são apresentadas as estimativas de emissão do  $\text{N}_2\text{O}$  pela aviação regular internacional, obtidas pelo *Tier 1* e *Tier 2 b*, bem como a consolidação das suas estimativas.

**Gráfico 11** Consolidação das Estimativas de  $\text{N}_2\text{O}$  da Aviação Regular Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



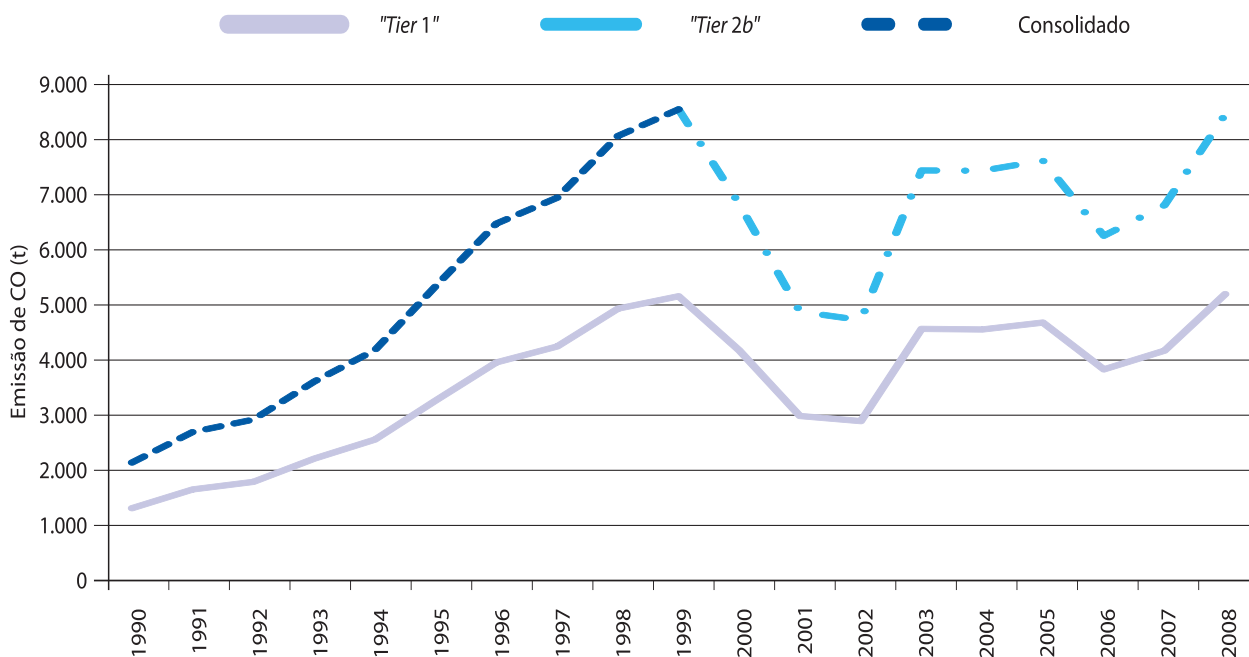
O Gráfico 12 apresenta as estimativas de emissão dos NO<sub>x</sub> pela aviação regular internacional, obtidas pelo Tier 1 e Tier 2 b, bem como a consolidação das suas estimativa

**Gráfico 12** Consolidação das Estimativas de NO<sub>x</sub> pela Aviação Regular Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



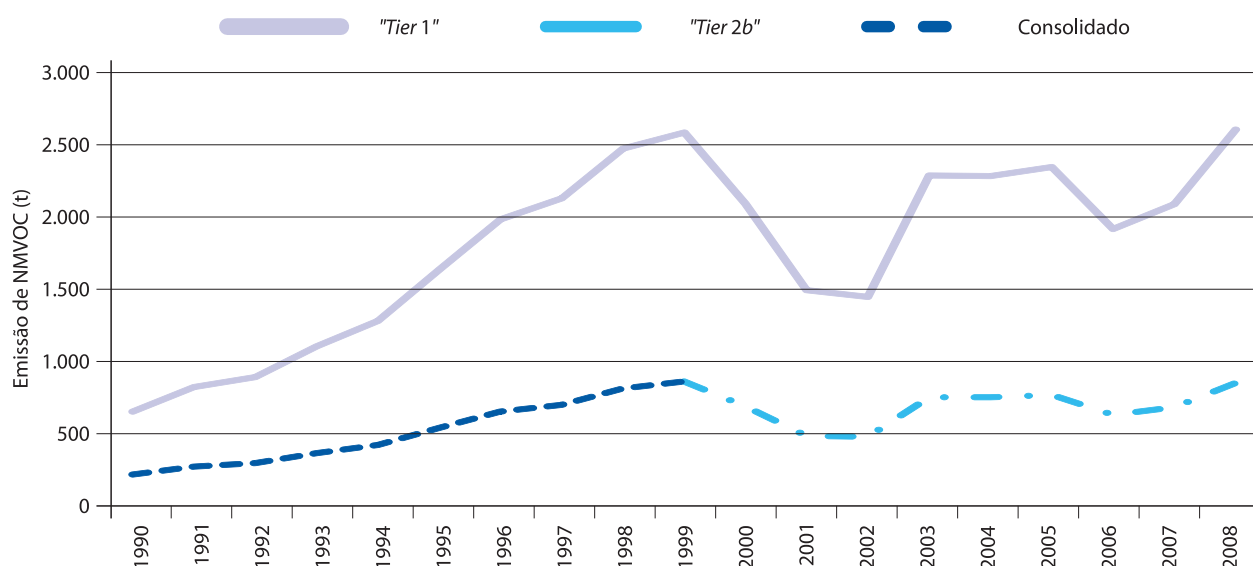
A seguir, no Gráfico 13 são apresentadas as estimativas de emissão de CO pela aviação regular internacional, obtidas pelo Tier 1 e Tier 2 b, bem como a consolidação das suas estimativas.

**Gráfico 13** Consolidação das Estimativas de CO pela Aviação Regular Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



A seguir, no Gráfico 14 são apresentadas as estimativas de emissão de NMVOC pela aviação regular internacional, obtidas pelo *Tier 1* e *Tier 2 b*, bem como a consolidação das suas estimativas. Podendo-se observar que, apesar de os valores das emissões não serem próximos, apresentam um padrão de comportamento similar.

**Gráfico 14** Consolidação das Estimativas de NMVOC pela Aviação Regular Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



Essa compatibilização dos resultados foi aplicada apenas para a aviação regular, pois para a aviação não regular, devido à inexistência de dados de pouso e decolagem segregados por tipo de combustível, só foi possível estimar as emissões de GEE pelo *Tier 1*.

#### 4.4 Resultados Finais

A seguir, na Tabela 26 são apresentadas as estimativas das emissões dos GEE totais, diretos e indiretos, provenientes do setor de transporte aéreo doméstico para o período de 1990 a 2008 do Estado de São Paulo. Estão incluídas as emissões correspondentes tanto ao uso do QAV quanto do AVGAS.

**Tabela 26** Emissões dos GEE Diretos e Indiretos da Aviação Doméstica de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOC
	[t]					
1990	599.823	7,076	20	2.114	1.564	187
1991	749.133	8,872	25	2.656	1.945	230
1992	807.105	9,584	27	2.873	2.090	246
1993	994.317	11,836	33	3.553	2.569	300
1994	1.151.121	13,709	38	4.116	2.973	347
1995	1.469.323	17,509	48	5.258	3.792	442
1996	1.786.434	21,268	59	6.384	4.615	539
1997	1.884.820	22,517	62	6.713	4.913	563
1998	2.171.737	26,015	72	7.756	5.657	642
1999	1.582.034	21,954	53	5.306	4.562	512

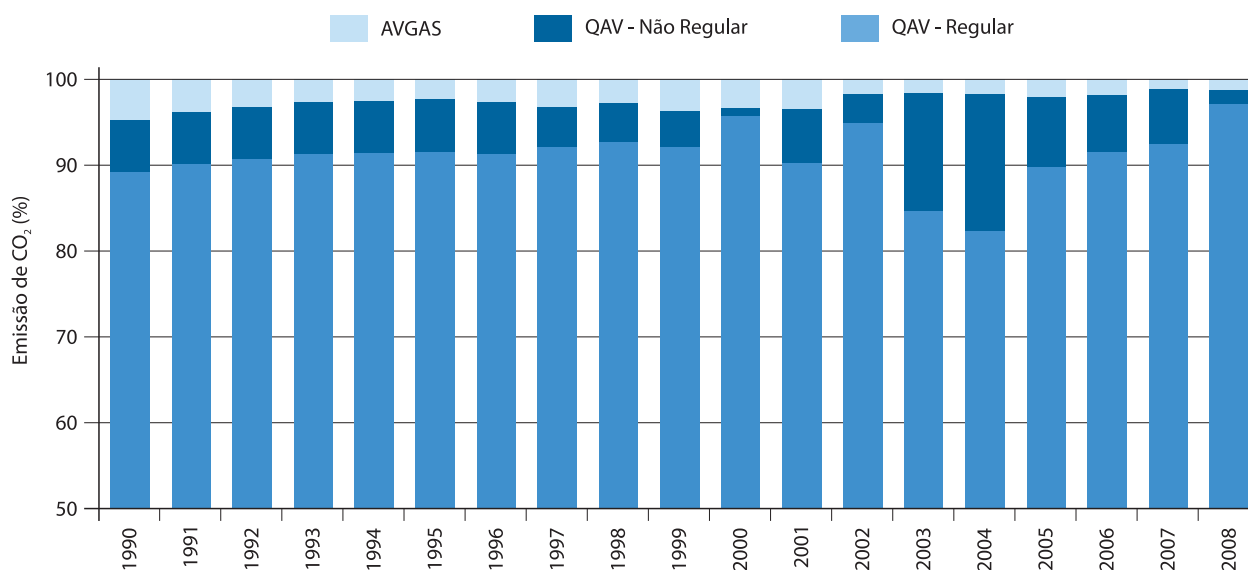
Continua

Continuação

Ano	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NM <sub>VOC</sub>
	[t]					
2000	1.724.977	21,633	57	5.824	4.866	519
2001	1.855.933	25,932	62	6.000	4.946	598
2002	2.151.456	20,373	71	7.780	5.607	614
2003	1.469.286	15,154	48	5.276	3.688	487
2004	1.642.263	17,935	53	5.868	4.047	576
2005	1.810.403	16,389	59	6.588	4.580	546
2006	2.197.734	16,334	72	8.066	5.380	632
2007	2.314.956	14,030	76	8.830	5.530	630
2008	1.997.414	12,414	66	7.928	4.778	494

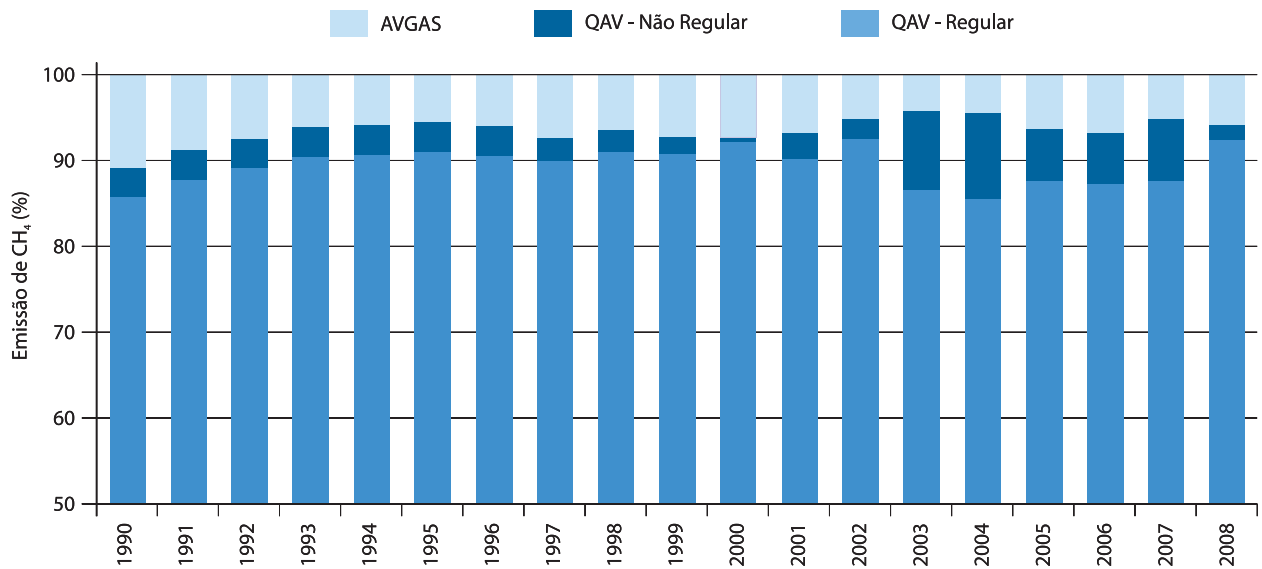
A seguir, no Gráfico 15 são apresentadas as emissões de CO<sub>2</sub> da aviação doméstica no Estado de São Paulo de acordo com o tipo de combustível utilizado.

**Gráfico 15** Representatividade das Emissões Domésticas de CO<sub>2</sub> por Tipo de Combustível de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



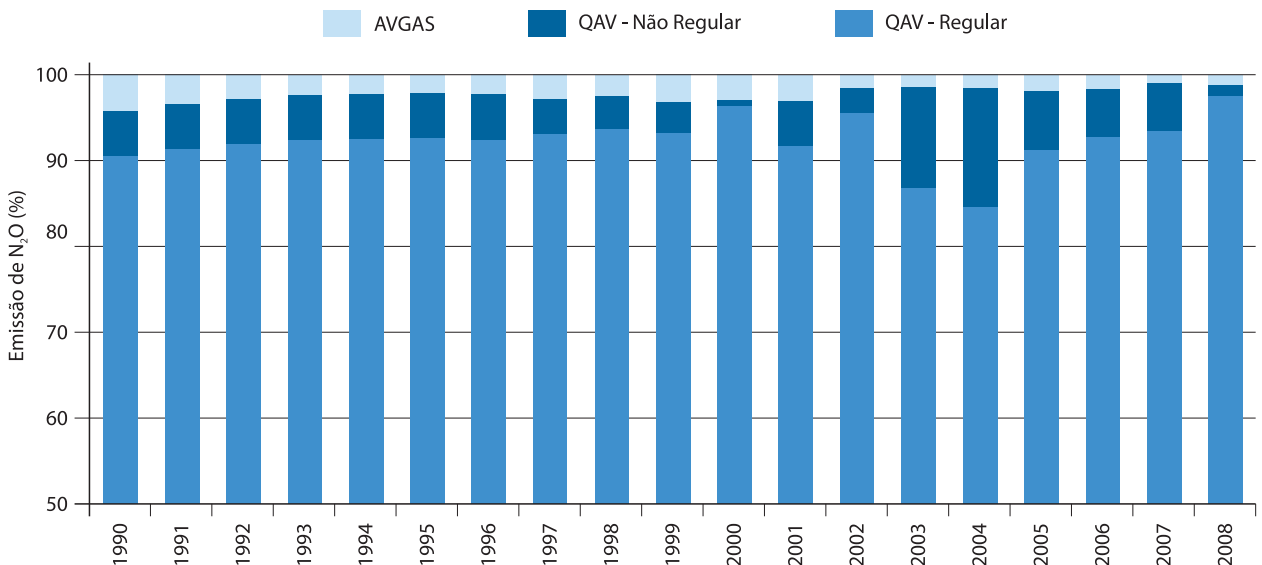
O Gráfico 16 apresenta as emissões de CH<sub>4</sub> da aviação doméstica no Estado de São Paulo de acordo com o tipo de combustível utilizado.

**Gráfico 16** Representatividade das Emissões Domésticas de CH<sub>4</sub> por Tipo de Combustível de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



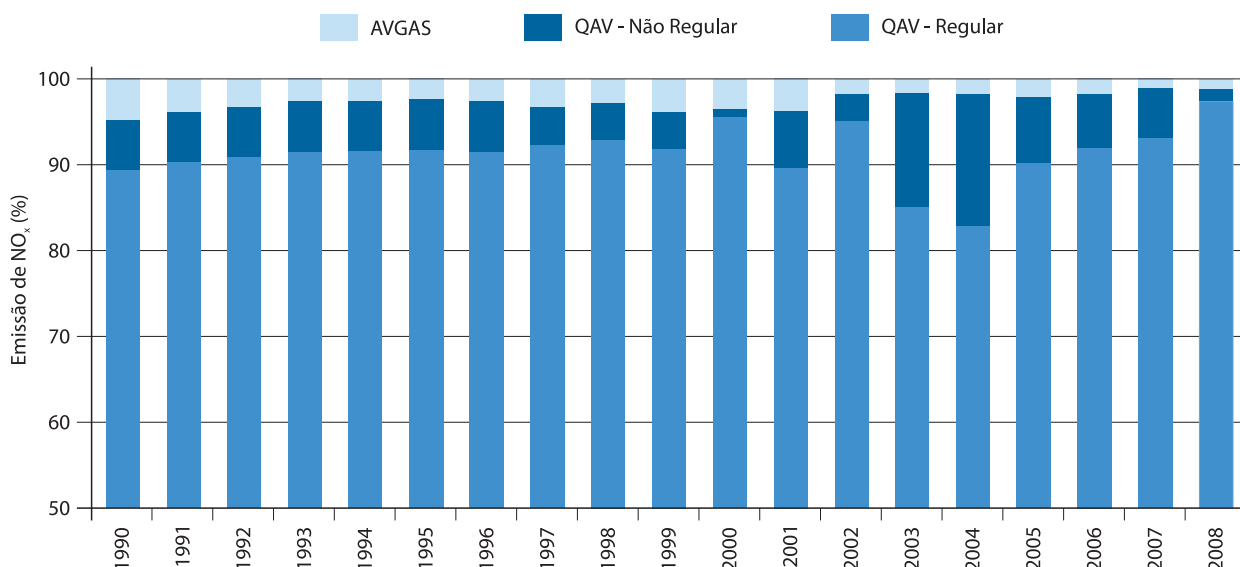
A seguir, no Gráfico 17 são apresentadas as emissões de N<sub>2</sub>O referentes à aviação doméstica no Estado de São Paulo de acordo com o tipo de combustível utilizado.

**Gráfico 17** Representatividade das Emissões Domésticas de N<sub>2</sub>O por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo



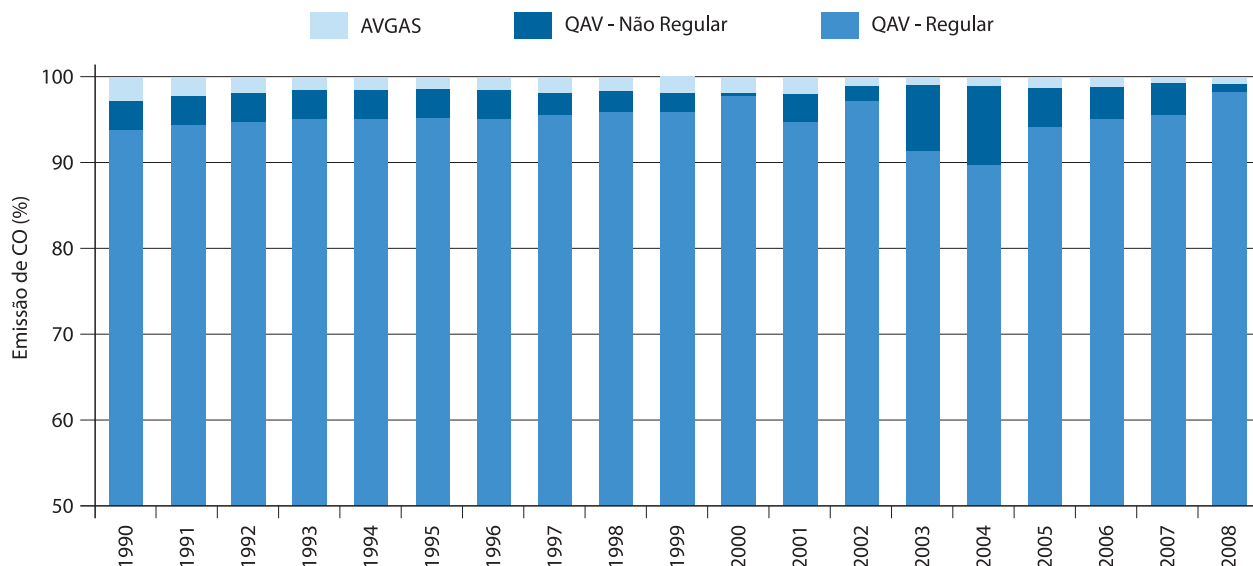
O Gráfico 18 apresenta as emissões de NOx da aviação doméstica no Estado de São Paulo de acordo com o tipo de combustível utilizado.

**Gráfico 18** Representatividade das Emissões Domésticas de NOx por Tipo de Combustível de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



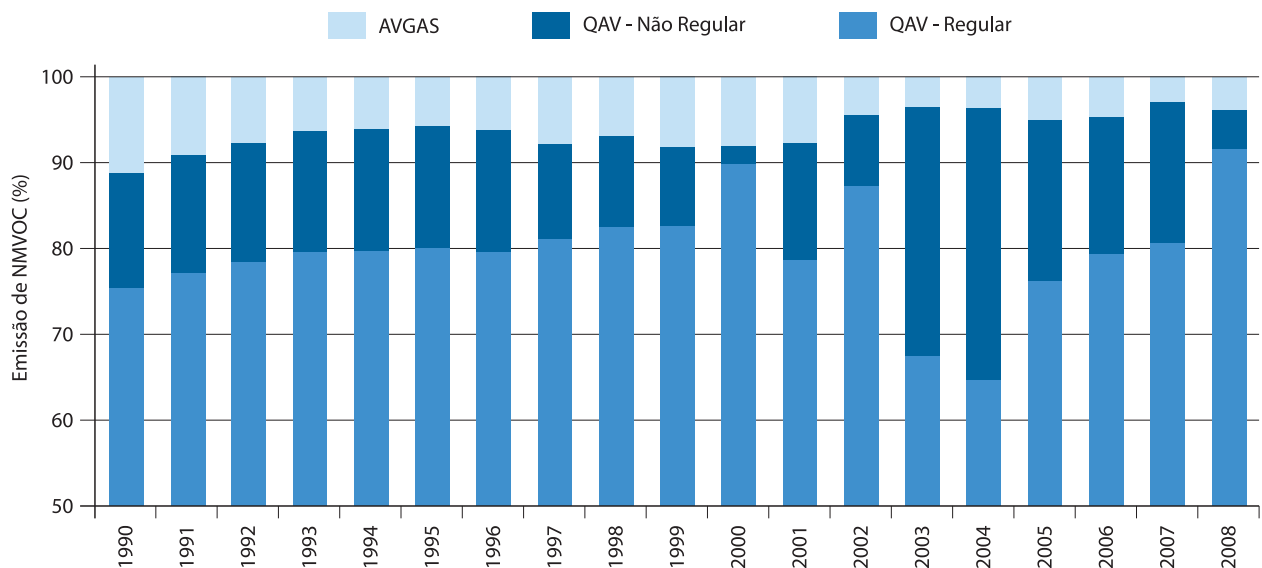
No Gráfico 19 são apresentadas as emissões de CO referentes à aviação doméstica no Estado de São Paulo de acordo com o tipo de combustível utilizado.

**Gráfico 19** Representatividade das Emissões Domésticas de CO por Tipo de Combustível de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



A seguir, no Gráfico 20, são apresentadas as emissões de NMVOC da aviação doméstica no Estado de São Paulo de acordo com o tipo de combustível utilizado.

**Gráfico 20** Representatividade das Emissões Domésticas de NMVOC por Tipo de Combustível de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



Na Tabela 27 são apresentadas as estimativas de emissão anuais de GEE diretos e indiretos, para o período de 1990 a 2008, provenientes da aviação internacional do Estado de São Paulo.

**Tabela 27** Emissões dos GEE Diretos e Indiretos da Aviação Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NOx	CO	NMVOC
	[t]					
1990	943.499		30	3.361	2.122	212
1991	1.190.289		38	4.240	2.677	267
1992	1.290.903		41	4.599	2.904	290
1993	1.600.341		51	5.701	3.600	359
1994	1.854.724		59	6.608	4.172	416
1995	2.371.086		75	8.447	5.333	532
1996	2.876.057		91	10.246	6.469	645
1997	3.088.257		98	11.002	6.946	693
1998	3.587.629		114	12.781	8.070	805
1999	3.744.674	4,341	119	13.259	8.401	839
2000	3.030.392	4,835	96	10.764	6.832	683
2001	2.160.764	7,761	69	7.735	4.874	479
2002	2.093.127	4,189	67	7.501	4.719	473
2003	3.312.453	4,527	105	11.762	7.442	746
2004	3.305.486	5,002	105	11.765	7.438	746
2005	3.397.741	4,736	108	12.121	7.623	760
2006	2.775.876	4,649	88	9.906	6.254	625
2007	3.025.220	4,529	96	10.785	6.807	677
2008	3.773.297	4,806	120	13.432	8.458	843

A Tabela 28 apresenta as emissões em CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2eq</sub>) para os gases de efeito estufa diretos referentes à aviação doméstica e internacional, de acordo com o potencial de aquecimento global (GWP) do IPCC (2000b), no qual o GWP do CH<sub>4</sub> equivale a 21 vezes o do CO<sub>2</sub> e o GWP do N<sub>2</sub>O equivale a 310 vezes.

**Tabela 28** Emissões dos GEE Diretos da Aviação Doméstica e Internacional de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Doméstica	Internacional
	[GgCO <sub>2eq</sub> ]	
1990	606	953
1991	757	1.202
1992	816	1.304
1993	1.005	1.616
1994	1.163	1.873
1995	1.485	2.394
1996	1.805	2.904
1997	1.905	3.119
1998	2.194	3.623
1999	1.599	3.850
2000	1.743	3.060
2001	1.876	2.182
2002	2.174	2.114
2003	1.484	3.345
2004	1.659	3.338
2005	1.829	3.431
2006	2.220	2.803
2007	2.339	3.055
2008	2.018	3.811

Avaliando o GWP dos gases de efeito estufa emitidos em voos domésticos e internacionais, estimados através dos dados da ANAC e do BEESP (SÃO PAULO, 2009a) e aplicando os métodos do IPCC (1996), pôde-se concluir que o CO<sub>2</sub> é o gás de efeito estufa mais emitido, sendo responsável por 99% das emissões. O N<sub>2</sub>O, apesar da equivalência de 310 vezes do seu GWP em relação ao do CO<sub>2</sub>, representa apenas 0,99% das emissões em CO<sub>2eq</sub>. O CH<sub>4</sub> representa 0,01% das emissões de GEE em CO<sub>2eq</sub>.

## 5 Conclusão e Recomendações

Neste trabalho, pôde-se concluir que as emissões dos gases de efeito estufa pelos voos internacionais são aproximadamente 1,6 vezes superiores às provenientes de voos domésticos, com exceção da emissão do CH<sub>4</sub>. Da mesma forma, o consumo de combustível pelos voos internacionais foi aproximadamente 1,7 vezes maior que pelos voos domésticos para o período de estudo.

Considerando as fases de LTO, ou seja, de decolagem e aterrissagem, e de cruzeiro da aviação regular doméstica, verificou-se que as emissões da fase de cruzeiro são, em média, 2,8 vezes superiores às emissões, em massa, às da fase de LTO, com exceção, novamente, do CH<sub>4</sub>, que, para o estágio de cruzeiro, tem emissão considerada nula.

Com relação ao consumo de combustível, verificou-se que o QAV representou, em massa, aproximadamente 99% do combustível utilizado durante todo o período de estudo. A AVGAS representou pouco menos de 1% do consumo de combustível no Estado de São Paulo, conforme previsto pelo IPCC.

Devido à inexistência de alguns dados, tais como a quantidade de combustível utilizado em voos internacionais, pousos e decolagens de voos não regulares desagregados de acordo com o tipo de combustível e o consumo de combustível dos voos não regulares, fez-se necessário adotar algumas premissas para a realização deste trabalho. Espera-se que, futuramente, o aperfeiçoamento na obtenção dos dados facilite e melhore a qualidade das estimativas, aproximando-as cada vez mais da realidade.

## Referências

ANAC. Anuário do transporte aéreo: volume II – dados econômicos. Brasil, 1997 - 2008. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/estatistica/anuarios.asp>>. Acesso em: jul.2014.

ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis 2009**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <[http://www.anuario\\_anp\\_2009.pdf](http://www.anuario_anp_2009.pdf)>. Acesso em: jun. 2014.

BRASIL. **Lei n. 7.565, de 19 de dezembro de 1986**. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aero-náutica. Brasília, DF, 1986. Com alterações posteriores. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l7565.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7565.htm)>. Acesso em: jun. 2014.

BRASIL. MCT. **Emissões de gases de efeito estufa no setor energético por fontes móveis**. Brasília, 2006. (Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: relatórios de referência: energia). Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8848.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8848.pdf)>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Emissões de gases de efeito estufa no transporte aéreo**. Brasília, 2010. (Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa: relatórios de referência: emissões de gases de efeito estufa no setor energia). Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0228/228957.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0228/228957.pdf)>. Acesso em: jun. 2014.

FABER, J. et al. **Aviation and maritime transport in a post 2012 climate policy regime**. Delft, NL: CE, 2006. Disponível em: <[http://www.cedelft.eu/publicatie/aviation\\_and\\_maritime\\_transport\\_in\\_a\\_post-2012\\_climate\\_policy\\_regime/501](http://www.cedelft.eu/publicatie/aviation_and_maritime_transport_in_a_post-2012_climate_policy_regime/501)>. Acesso em: jun. 2014.

IPCC. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: reporting instructions**. Bracknell, UK, 1996. v. 1. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.html>>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories**. Hayama, JP, 2000a. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Mudança do clima 1995: a ciência da mudança do clima - sumário para formuladores de políticas e sumário técnico do relatório do grupo de trabalho I**. Traduzido pelo MCT. Brasília, DF: MCT, 2000b. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17653/Sumario\\_Tecnico\\_do\\_Relatorio\\_do\\_Grupo\\_de\\_Trabalho\\_I.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17653/Sumario_Tecnico_do_Relatorio_do_Grupo_de_Trabalho_I.html)>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama, JP: IGES: IPCC, 2006. 5 v. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: jun. 2014.

SÃO PAULO (Estado). SSE. **Balço energético do estado de São Paulo 2009: ano base 2008**. São Paulo, 2009a. (Série Informações Energéticas, 2). Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/43.pdf>>. Acesso em: jun. 2014.

## Anexos

### Anexo 1 Consumo de Combustível

Consumo de QAV em Voos Interestaduais por Tipo de Aeronave (L).

Aeronave Referência IPCC	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	[L]									
707	0	462.882	0	0	231.705	14.805.652	8.535.565	21.953.676	7.973.550	0
727-100	0	2.510.457	0	0	5.805.066	6.591.027	6.529.201	6.127.272	0	0
727-200	43.598.946	37.331.962	35.093.874	30.118.817	19.648.031	26.515.583	23.055.024	32.617.598	20.981.592	22.059.849
737-200	52.863.391	64.834.398	58.573.473	56.163.816	50.125.203	40.951.141	968.300	9.486	0	0
737-300	162.519.538	159.869.051	38.968.438	124.804.184	222.421.090	198.489.513	216.193.309	298.961.860	298.045.173	131.811.203
737-400	31.285.278	7.305.534	0	1.498.661	0	12.899.212	36.380.055	25.821.540	10.358.165	0
737-500	158.068.300	92.729.307	32.054.386	101.128.610	90.872.934	101.075.296	85.083.326	18.468.101	0	0
737-700	134.461.042	250.666.804	524.025.794	640.783.412	80.961.780	99.787.218	183.265.118	360.894.208	341.021.529	265.889.918
737-800	0	0	2.163.442	16.420.318	36.090.376	36.444.507	66.398.327	128.855.857	267.379.835	312.713.625
747-300	15.127.877	0	36.102.280	0	0	0	0	0	0	0
757-200	0	0	0	0	0	657.705	27.832.428	10.706.641	4.148.768	16.522.394
767-200	0	3.064.610	0	0	0	0	0	181.030	2.183.613	0
767-300	83.230.734	100.661.124	0	20.882.534	20.588.560	23.230.492	18.172.598	9.677.109	11.358.825	15.212.033
777-200	0	0	395.920	5.747.960	14.132.794	11.294.119	8.853.880	9.549.742	0	0
777-300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.137.594
A300	23.021.194	28.869.026	17.696.803	18.467.857	9.768.416	11.141.222	0	0	0	0
A310	9.811.978	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A319	5.305.667	41.773.833	56.955.836	52.534.615	73.547.795	78.174.898	108.412.179	132.931.361	126.853.132	139.829.002
A320	0	16.874.870	77.851.239	154.132.497	180.552.299	186.134.645	217.504.663	275.970.459	374.704.200	421.281.717
A319	5.305.667	41.773.833	56.955.836	52.534.615	73.547.795	78.174.898	108.412.179	132.931.361	126.853.132	139.829.002
A320	0	16.874.870	77.851.239	154.132.497	180.552.299	186.134.645	217.504.663	275.970.459	374.704.200	421.281.717
A321	0	0	0	0	0	0	0	0	11.886.682	46.241.736
A330-200	9.266.209	8.974.873	25.848.843	46.652.786	7.331.748	9.692.290	22.366.295	18.234.881	29.678.427	30.112.434
A340-300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31.217
ATR 72-500	6.995.249	919.315	0	0	116.908	492.855	881.404	1.166.447	2.163.583	1.817.903
Beech King Air	1.024.825	212.692	53.363	15.656	0	0	48.410	43.410	2.065	94.980
DC-10	16.949.060	21.756.451	21.091.041	23.622.460	16.692.520	20.714.046	13.166.120	19.686.540	26.343.220	23.032.433
DC-8	7.965.109	0	0	0	437.393	32.848.991	37.527.030	26.321.892	19.486.818	9.630.600
DHC8-100	15.635.144	24.090.194	16.114.373	7.410.399	4.671.766	6.530.533	5.777.119	4.772.199	6.127.255	13.457.961
ERJ145	17.187.043	25.996.847	21.996.734	25.762.416	19.199.617	9.433.163	0	0	0	0
F100	202.530.407	246.774.703	200.257.796	131.044.721	28.185.108	42.675.782	74.732.299	89.219.151	50.564.714	22.332.774
MD11	70.599.979	75.052.294	51.986.310	60.612.862	53.883.053	53.000.310	67.271.496	39.969.667	9.647.700	1.617.911
Default	5.369.282	0	0	0	0	93.052	0	18.869	0	22.139
<b>Total</b>	<b>1.072.816.252</b>	<b>1.210.731.227</b>	<b>1.217.229.945</b>	<b>1.517.804.581</b>	<b>935.264.162</b>	<b>1.023.673.252</b>	<b>1.228.954.146</b>	<b>1.532.158.996</b>	<b>1.620.908.846</b>	<b>1.474.845.871</b>

Fonte: Adaptado ANAC (2010)<sup>16</sup>

16 Dados não publicados disponibilizados pela ANAC

## Consumo de QAV em Voos com Origem e Destino por Tipo de Aeronave no Estado de São Paulo (L)

Aeronave Referência IPCC	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	[L]									
707	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
727-100	0	0	0	0	16.076	42.242	0	2.461	0	0
727-200	27.844	155.025	16.119	3.050	17.269	13.278	3.888	24.326	21.623	31.140
737-200	759.286	2.410.513	2.429.009	2.480.374	2.288.444	1.595.968	0	0	0	0
737-300	142.957	166.174	397.295	455.919	245.953	281.940	1.858.641	1.921.898	3.015.074	71.597
737-400						1.488	100.688	115.081	566.399	0
737-500	1.334.927	618.869	2.111.637	2.069.504	93.718	304.542	13.943	3.359	0	0
737-700	3.424.189	3.910.688	5.403.084	1.632.060	27.784	412.779	4.185.908	7.479.532	6.155.246	3.608.140
737-800	0	0	0	0	2.635	2.482	8.197	22.699	351.747	86.325
747-300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
757-200	0	0	0	0	0	0	4.667	4.606	40.074	144.861
767-200	0	0	0	0	0	0	0	0	144.307	
767-300	5.875	17.623	0	0	28.741	0	0	0	6.633	24.685
777-200	0	0	0	0	0	0	5.684	0	0	0
777-300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A300	15.807	0	0	824	3.669	0	0	0	0	0
A310	28.777	0	1.490.973	0	0	0	8.153.000	0	0	0
A319	174.484	660.198	4.925.313	2.014.641	2.415.958	4.129.428		7.561.065	7.329.651	9.391.784
A320	0	96.830	0	9.226.285	11.101.209	8.772.196	6.443.594	5.888.331	9.470.791	7.896.439
A321	0	0	0	0	0	0	0	0	2.087	4.629
A330-200	0	4.301	0	0	0	8.031	0	11.653	6.950	4.216
A340-300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ATR 72-500	2.008.973	202.081	0	0	40.803	41.453	76.567	80.729	7.005	67.162
Beech King Air	630.515	22.011	0	0	0	0	600	600	0	0
DC-10	132.440	408.376	133.961	878.181	652.661	1.517.477	283.318	59.389	343.999	8.787
DC-8	0	0	0	0	0	0	7.310	48.318		
DHC8-100	6.420.072	7.202.300	9.279.984	11.292.500	6.174.561	6.388.997	6.060.158	6.469.155	8.573.058	10.409.623
ERJ145	835.218	1.424.442	1.564.672	2.364.818	658.273	0	0	0	0	0
F100	25.856.263	32.939.340	28.934.671	18.925.886	2.111.186	1.152.256	3.032.898	3.366.504	3.132.700	314.666
MD11	5.684	0	23.520	95.060	3.430	95.648	635.984	56.558	370.713	214.962
Default	194.950	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>41.998.261</b>	<b>50.238.771</b>	<b>56.710.238</b>	<b>51.439.102</b>	<b>25.882.370</b>	<b>24.760.205</b>	<b>30.875.045</b>	<b>33.116.264</b>	<b>39.538.057</b>	<b>32.279.016</b>

Fonte: Adaptado ANAC (2010)<sup>17</sup>

17 Dados não publicados disponibilizados pela ANAC

## Anexo 2 Pousos e Decolagens por Tipo de Aeronave

Pousos e Decolagens de Voos Internacionais, com Origem ou Destino no Estado de São Paulo, por Tipo de Aeronave.

Aeronave Referência IPCC	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	[número de pousos e decolagens]									
707	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
727-100	0	0	0	0	1	74	67	0	0	0
727-200	794	1.123	836	1.193	1.058	579	820	651	97	202
737-200	796	227	0	0	2.004	2.416	1.882	1.943	1.255	856
737-300	314	3.662	0	1.327	4.259	4.334	2.809	1.531	1.104	116
737-400	182	242	0	139	0	59	245	296	21	0
737-500	3.611	0	0	0	0	119	860	1.358	2.612	2.586
737-600	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
737-700	3.422	6.890	10.148	6.259	1.513	1.303	2.272	1.929	2.086	1.582
737-800	0	0	0	271	1.002	1.251	1.435	1.983	3.522	4.711
747-100	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
747-200	2	253	209	151	216	650	267	178	91	113
747-300	561	13	0	0	0	36	4	18	14	0
747-400	3.968	4.528	2.913	2.203	2.625	2.465	3.620	3.944	4.021	3.318
757-200	852	911	696	157	156	858	1.911	1.453	1.127	733
757-300	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0
767-200	0	258	510	1.290	1.357	1.656	1.562	1.479	1.196	1.205
767-300	19.347	15.985	13.649	9.840	12.551	11.467	11.077	11.618	12.892	13.240
767-400	0	1	147	128	342	352	722	705	811	1.305
777-200	1.840	1.601	3.706	6.182	5.745	7.463	7.937	5.450	4.491	5.843
777-300	1	0	0	0	0	0	0	61	209	888
A300	336	461	0	0	0	0	0	0	0	0
A310	45	6	0	1	2	33	16	10	4	5
A319	4	184	727	647	443	520	231	274	552	1.186
A320	96	2	2.343	1.406	3.579	4.745	5.719	5.254	8.048	8.436
A321	0	0	0	0	0	0	1	112	376	157
A330-200	1.041	1.908	2.522	2.986	2.252	2.171	2.699	4.609	6.062	7.382
A330-300	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2
A340-200	0	0	0	0	198	176	60	206	582	693
A340-300	56	884	828	652	1.278	2.137	2.288	3.652	4.020	4.478
A340-500	0	0	0	0	0	1	0	0	0	61
A340-600	0	0	0	0	0	0	1.716	444	260	169
ATR 72-500	0	0	0	0	84	230	298	496	227	0
DC-10	1.995	1.914	1.044	963	899	1.129	1.005	546	505	292
DC-8	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0
DC-9	0	0	52	30	0	0	0	0	0	0
DHC8-100	234	65	0	0	0	0	0	0	1	0
F100	960	886	1.990	3.189	1.049	1.351	1.600	2.699	2.035	811
L-1011	2	9	2	0	2	0	0	4	2	0
MD11	7.748	9.352	8.792	7.370	6.584	6.229	5.532	2.601	2.657	2.039
MD80	1.350	799	738	858	641	579	164	50	76	58
Default	1.359	1.405	0	1.696	616	0	58	347	0	1.833
<b>Total</b>	<b>50.933</b>	<b>53.570</b>	<b>51.853</b>	<b>48.938</b>	<b>50.500</b>	<b>54.383</b>	<b>58.877</b>	<b>55.904</b>	<b>60.956</b>	<b>64.300</b>

Fonte: Adaptado ANAC (2010)<sup>18</sup>

18 Dados não publicados disponibilizados pela ANAC

## Pousos e Decolagens de Voos Domésticos, com Origem e/ou Destino no Estado de São Paulo, por Tipo de Aeronave.

Aeronave Referência IPCC	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	[número de pousos e decolagens]									
707	0	42	0	0	4	498	153	378	135	0
727-100	0	271	0	0	683	739	947	821	0	0
727-200	5.573	4.328	4.906	4.682	2.663	3.989	3.554	4.880	3.356	3.421
737-200	16.231	20.631	19.039	18.675	15.592	12.347	285	2	0	0
737-300	45.565	42.633	16.532	35.003	54.914	45.296	45.218	49.646	52.303	24.504
737-400	6.393	1.528	0	266	0	1.970	5.679	4.600	1.768	0
737-500	35.401	19.889	12.439	31.263	17.996	24.392	23.831	4.444	0	0
737-700	46.443	67.338	105.352	56.303	27.685	31.757	41.874	50.623	47.633	53.918
737-800	0	0	271	2.074	9.043	9.041	12.313	14.319	27.771	44.474
747-300	596	0	5.152	0	0	0	0	0	0	0
757-200	0	0	0	0	0	148	2.909	1.482	1.859	1.765
767-200	0	630	0	0	0	0	0	25	152	0
767-300	9.777	10.463	0	3.348	2.329	1.901	2.079	612	1.017	1.134
777-200	0	0	62	692	696	967	656	898	0	0
777-300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62
A300	2.896	3.106	2.165	2.166	987	981	0	0	0	0
A310	702	0	1.782	0	0	0	6.468	0	0	0
A319	3.922	20.684	23.983	20.575	25.883	27.526	31.397	43.570	40.161	46.051
A320	0	4.865	19.281	47.094	47.377	44.053	47.594	58.720	77.050	84.939
A321	0	0	0	0	0	0	0	0	1.356	4.937
A330-200	1.266	918	1.568	3.013	488	608	1.180	1.037	1.770	1.728
A340-300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
ATR 72-500	14.281	1.823	0	0	536	1.034	1.636	1.468	2.476	1.063
Beech King Air	6.160	721	90	34	0	0	172	143	6	996
DC-10	794	1.203	896	1.116	790	1.010	592	690	948	490
DC-8	588	0	0	0	10	1.188	1.428	1.186	382	443
DHC8-100	44.194	69.692	58.304	50.126	31.321	34.825	33.115	33.693	32.450	29.650
ERJ145	14.575	21.786	18.348	23.882	15.247	6.328	0	0	0	4.984
F100	95.324	117.305	94.086	61.889	11.802	13.576	26.608	30.226	20.257	4.730
MD11	4.922	8.090	4.161	3.813	3.248	3.264	3.871	2.109	559	4.386
Default	461	0	0	0	0	210	0	4	0	181
<b>Total</b>	<b>356.064</b>	<b>417.946</b>	<b>388.417</b>	<b>366.014</b>	<b>269.294</b>	<b>267.648</b>	<b>293.559</b>	<b>305.576</b>	<b>313.409</b>	<b>313.856</b>

Fonte: Adaptado ANAC (2010)<sup>19</sup>

19 Dados não publicados disponibilizados pela ANAC



# PARTE II



# TRANSPORTE AQUAVIÁRIO

## **Ficha Técnica**

### **Coordenação Técnica**

João Wagner Silva Alves

### **Elaboração**

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Bruna Patrícia de Oliveira – Consultora Técnica

### **Revisão Técnica**

João Wagner Silva Alves – CETESB

### **Colaboração**

Camila Bernardo de Faria

Daniel Soler Huet

Denise Soletto

Francisco do Espírito Santo Filho

Gisele dos Anjos Passareli

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Ligia Prangutti Orlandi

Mariana Pedrosa Gonzalez

Marcelo Poci Bandeira

Natacha Nogueira Britschka

Omar de Almeida Cardoso

Renata Monteiro Siqueira

Esse Relatório de Referência foi realizado pela CETESB em 2009, com recursos do contrato entre a Embaixada Britânica e a CETESB, para colaborar com o “Projeto Apoio à Política Climática do Estado de São Paulo”.

# SUMÁRIO

<b>PARTE II - TRANSPORTE AQUAVIÁRIO</b>	<b>81</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>85</b>
1.1 Rios Navegáveis e com Potencial de Navegação	86
1.1.1 Hidrovia Tietê-Paraná	86
1.2 Portos	86
1.2.1 Porto de Santos	86
1.2.2 Porto de São Sebastião	87
1.3 Travessias	88
1.4 Tipos de Navegação	88
<b>2 Método</b>	<b>90</b>
2.1 Escolha do Método	90
2.1.1 <i>Tier 1</i>	90
<b>3 Dados</b>	<b>92</b>
3.1 Dados para Empregar o <i>Tier 1</i>	92
3.1.1 Consumo de Combustível para o <i>Tier 1</i>	92
3.1.2 Fatores de Emissão para <i>Tier 1</i>	93
<b>4 Resultados</b>	<b>94</b>
<b>5 Conclusão e Considerações Finais</b>	<b>95</b>
<b>Referências</b>	<b>96</b>
<b>Anexo</b>	<b>97</b>
Escolha do Método - <i>Tier 2</i>	97
Dados para empregar o <i>Tier 2</i>	97

## TABELAS

Tabela 1 Consumo de Combustível no Subsetor de Transporte Aquaviário de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	92
Tabela 2 Fatores de Emissão Default para CO <sub>2</sub> .....	93
Tabela 3 Fatores de Emissão Default para CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O .....	93
Tabela 4 Emissões de CO <sub>2</sub> por Tipo de Combustível do Transporte Aquaviário no Estado de São Paulo .....	94
Tabela 5 Emissões de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O do Transporte Aquaviário no Estado de São Paulo .....	94

## GRÁFICOS

Gráfico 1 Emissões de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O do Transporte Aquaviário de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo .....	94
---	----

## FIGURAS

Figura 1 Rios Navegáveis e com Potencial de Navegação .....	86
Figura 2 Localização dos Portos Marítimos Paulistas .....	87
Figura 3 Emissões Aquaviárias .....	88
Figura 4 Árvore de Decisão para as Emissões da Navegação .....	91

## EQUAÇÕES

Equação 1 Emissão de GEE pelo Tier 1 .....	90
--	----

## 1 Introdução

Os principais aspectos e impactos ambientais do transporte aquaviário estão relacionados aos empreendimentos portuários e às embarcações. Neste estudo, foram abordadas as emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes da queima de combustíveis fósseis que, ao serem introduzidos na atmosfera, podem contribuir para o aumento da temperatura global.

As Convenções da Organização Marítima Internacional (IMO), das quais o Brasil é signatário, traçam linhas gerais de regulação para que os países membros possam instituir regras para internalizar a proteção ambiental, segundo seus princípios e diretrizes (ANTAQ, 2007).

De acordo com a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2011), o Brasil possui uma faixa costeira de aproximadamente 8.698 km de extensão e 50.000 km de rios navegáveis, e que cerca de 98% do comércio exterior brasileiro circula por meio de portos. Além da grande importância econômica já existente, há um potencial de ampliação das atividades, em decorrência, principalmente, da grande extensão hidroviária e da necessidade de alternativas mais econômicas de escoamento da produção agrícola, extrativista e industrial.

O Estado de São Paulo apresenta transporte hidroviário por navegação interior (hidrovias e terminais), lacustres e fluviais, travessias e dois portos marítimos (SÃO PAULO, 2007).

A atividade aquaviária no Estado de São Paulo é dividida conforme Quadro 1:

**Quadro 1** Atividade Aquaviária no Estado de São Paulo

	Fluvial	Marítima
Linhas Longitudinais	Hidrovia Tietê-Paraná	Hidrovias Litorâneas
	Hidrovia Metropolitana*	Cabotagem
Travessias	Interiores	Litorâneas
	Metropolitanas	
Portos e Terminais	Terminais na Hidrovia Tietê Paraná – HTP	Santos
		São Sebastião

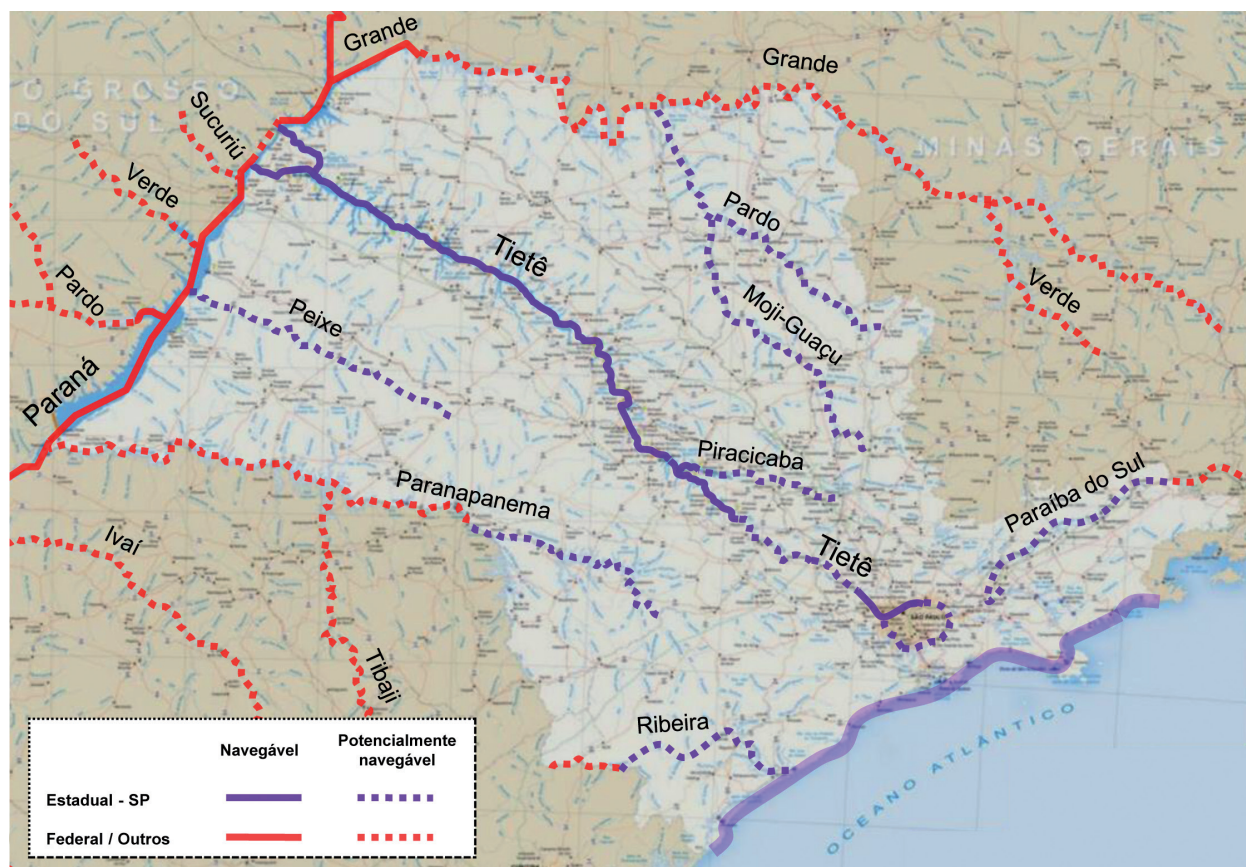
\*Trecho metropolitano da Hidrovia Tietê-Paraná  
Fonte: São Paulo (2007)

Este inventário apresenta as emissões de GEE diretos, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), decorrentes do consumo de combustíveis fósseis pelo Subsetor de Transporte Aquaviário.

## 1.1 Rios Navegáveis e com Potencial de Navegação

Os principais rios navegáveis e com potencial de navegação estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 Rios Navegáveis e com Potencial de Navegação



Fonte: São Paulo (2009b)

### 1.1.1 Hidrovia Tietê-Paraná

Segundo o Departamento Hidroviário da Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo<sup>1</sup> (SÃO PAULO, 2009b), a atividade predominante no setor da navegação é o transporte de cargas na Hidrovia Tietê-Paraná, compreendida no trecho paulista pelos rios Paraná, Tietê e Piracicaba. Outros rios interiores e de divisas do estado integram a rede hidroviária potencial totalizando 4.166 km de extensão.

Segundo a Secretaria de Estado dos Transportes (SÃO PAULO, 2009b), a Hidrovia Tietê-Paraná integra um sistema de transporte multimodal, apresentando-se como alternativa de corredor de exportação, abrangendo os estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais, uma região de

76 milhões de hectares, onde é gerada quase metade do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro.

## 1.2 Portos

Conforme apresentado na Figura 2, no Estado de São Paulo estão localizados dois portos marítimos: o Porto de Santos e o Porto de São Sebastião.

### 1.2.1 Porto de Santos

O Porto de Santos foi inaugurado em 1892 e é considerado o maior porto do Hemisfério Sul, com área útil total de 7,8 milhões de m<sup>2</sup>. Localiza-se a menos de 100 km da Região Metropolitana de São Paulo, sendo admi-

1 A nomenclatura atual da secretaria foi modificada para Secretaria de Logística e Transportes do Estado de São Paulo.



Esse porto encontra-se no município de São Sebastião, a 220 km de São Paulo, 100 km do Vale do Paraíba, 145 km de Santos e 390 km do Rio de Janeiro. Sua administração é realizada pela Companhia Docas de São Sebastião, empresa vinculada à Secretaria de Estado dos Transportes de São Paulo (SÃO PAULO, 2009b).

Segundo o Balanço Anual 2009 (SÃO PAULO, 2009b), o Porto movimentou 527 mil toneladas no cais público, representando um aumento da ordem de 8% em relação aos dados históricos até 2007 (489 mil toneladas). As cinco principais cargas movimentadas foram:

- Barrilha: 240 mil toneladas;
- Tubos de aço: 31 mil toneladas;
- Sulfato de sódio: 98 mil toneladas;
- Malte e cevada: 125 mil toneladas;
- Ulexita: 10 mil toneladas.

Na área portuária também se localiza o Terminal Privativo da Petrobras, Terminal Marítimo Almirante Barroso (TEBAR), para óleo e derivados. Para armazenamento são utilizados 43 tanques, representando 2.100.000 t de capacidade estática (SÃO PAULO, 2007).

### 1.3 Travessias

Algumas travessias são realizadas em reservatórios das geradoras de energia, sendo implantadas a fim de estabelecer ligações interrompidas pelo enchimento de reservatórios. Essas travessias são operadas, direta ou indiretamente, por diferentes agentes públicos ou privados (SÃO PAULO, 2007).

### 1.4 Tipos de Navegação

De acordo com a Lei n. 9.432 de 1997 (BRASIL, 1997), os tipos de navegação são:

- Navegação de apoio portuário: realizada exclusivamente nos portos e terminais aquaviários, para atendimento a embarcações e instalações portuárias;
- Navegação de apoio marítimo: realizada

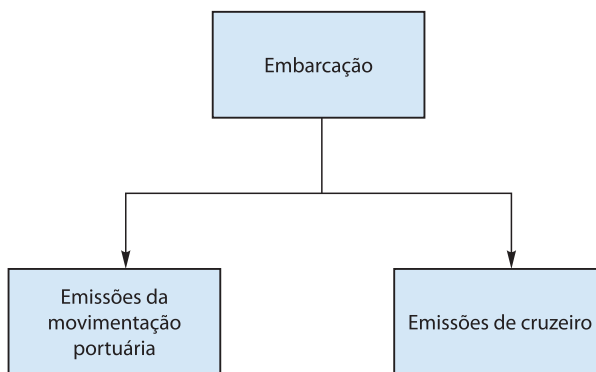
para o apoio logístico a embarcações e instalações em águas territoriais nacionais e na Zona Econômica, que atuem nas atividades de pesquisa e lavra de minerais e hidrocarbonetos;

- Navegação de cabotagem: realizada entre portos ou pontos do território brasileiro, utilizando a via marítima ou esta e as vias navegáveis interiores;
- Navegação interior: realizada em hidrovias interiores, em percurso nacional ou internacional;
- Navegação de longo curso: realizada entre portos brasileiros e estrangeiros.

A seguir, no Quadro 2 são apresentadas as categorias de transporte que poderiam ser consideradas para o inventário.

Como apresentado na Figura 3, as emissões atmosféricas de GEE e demais poluentes na navegação são decorrentes, principalmente, da queima de combustíveis nos motores principais e auxiliares das embarcações que são utilizados nas movimentações portuárias (EEA, 2009).

Figura 3 Emissões Aquaviárias



**Quadro 2** Categorias Sugeridas para o Transporte Aquaviário

Navegação	As emissões dos combustíveis utilizados para a propulsão dos navios pela água, incluindo hovercraft e hydrofoils, e excluindo os navios de pesca. A divisão internacional/nacional deve ser determinada com base no porto de partida e porto de chegada, e não pela bandeira ou nacionalidade do navio.
Navegação internacional (origem ou destino no Estado de São Paulo)	A navegação internacional pode ocorrer no mar, em lagos e águas costeiras. Inclui as emissões de embarcações que partem de um país e chegam a um país diferente. Em uma abordagem estadual poderiam ser consideradas viagens com origem ou destino no Estado de São Paulo. Exclui-se o consumo por embarcação de pesca. Emissões da navegação militar internacional pela água podem ser incluídas como uma subcategoria de navegação internacional, desde que os dados estejam disponíveis.
Navegação doméstica interestadual (origem ou destino no Estado de São Paulo)	A navegação doméstica interestadual ocorre no país, entre diferentes estados. Inclui as emissões de embarcações que partem em um estado e chegam a um estado diferente. Em uma abordagem estadual poderiam ser consideradas viagens com origem ou destino no Estado de São Paulo. Exclui-se o consumo por embarcação de pesca e militares.
Navegação doméstica estadual (origem e destino no Estado de São Paulo)	A navegação doméstica estadual ocorre no mesmo estado. Inclui as emissões de embarcações que partem e chegam ao mesmo estado. Considera-se neste inventário as emissões das viagens com origem e destino no Estado de São Paulo. Exclui-se o consumo por embarcação de pesca e militares.
Pesca	Emissões de combustíveis queimados na pesca em direção ao interior, ao litoral e em alto mar. A pesca deve cobrir as embarcações de todas as bandeiras que tenham sido reabastecidas no estado (incluindo a pesca internacional).
Operações de transporte pela água	Todas as demais emissões de transporte pela água, originadas da queima de combustíveis fósseis que não se enquadram em nenhuma outra fonte. Incluem-se emissões de navegação militar dentro ou fora do Estado de São Paulo, com origem ou destino no estado e que não estão envolvidas em operações multilaterais.
Operações multilaterais	Emissões de combustíveis utilizados para a navegação em operações multilaterais conforme a Carta das Nações Unidas. Incluem-se as emissões do combustível entregue aos militares do país e de outros países.

Fonte: Adaptado IPCC (2006)

## 2 Método

### 2.1 Escolha do Método

A escolha do método se deu através do emprego da árvore de decisão apresentada na Figura 4. As emissões foram estimadas seguindo as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) e adaptadas para este inventário. Nas estimativas, foi empregado o *Tier 1* do método IPCC de 2006.

#### 2.1.1 Tier 1

O *Tier 1* é o nível de rigor mais simples e pode ser empregado utilizando fatores de emissão default ou informações específicas de cada país. Esse nível de rigor não considera a tecnologia de combustão, condições de funcionamento e tecnologias de controle de emissões (IPCC, 2006).

A estimativa é baseada no produto entre a quantidade de combustível queimado e o respectivo fator de emissão, referente ao tipo de combustível, conforme apresentado na Equação 1.

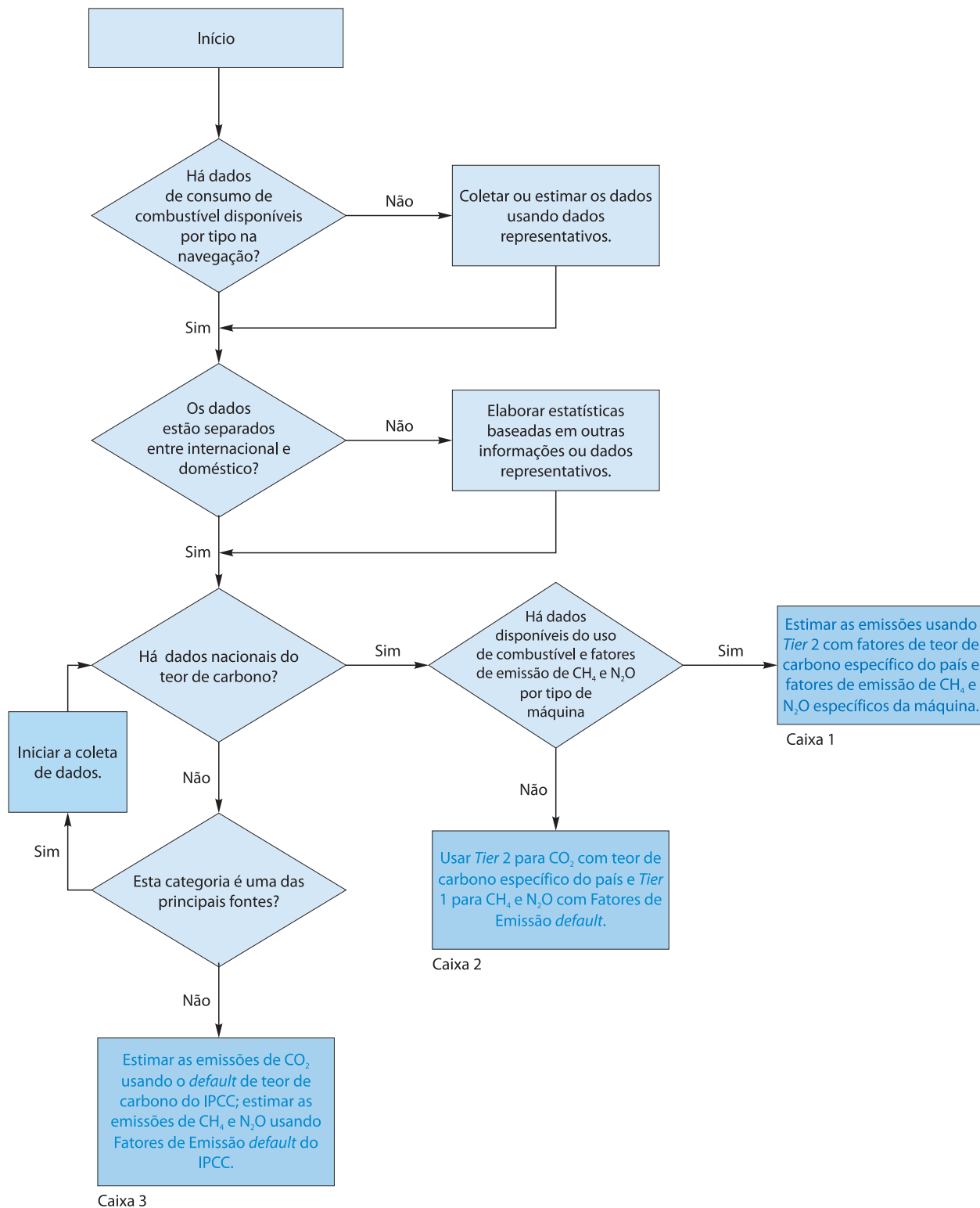
**Equação 1** Emissão de GEE pelo *Tier 1*

$$E = \sum C_i \cdot FE_i$$

onde:

E	Emissão de GEE	[t <sub>GEE</sub> ·ano <sup>-1</sup> ]
C	Consumo de combustível	[t <sub>combustível</sub> ·ano <sup>-1</sup> ]
FE	Fator de emissão	[t <sub>GEE</sub> ·t <sub>combustível</sub> <sup>-1</sup> ]
i	Tipo de combustível	

Figura 4 Árvore de Decisão para as Emissões da Navegação



Fonte: IPCC (2006)

### 3 Dados

Os dados empregados neste inventário são os determinados pelo Tier 1 (Equação 1). As informações de navegação estadual, interestadual e internacional devem ser relatadas separadamente e são independentes da bandeira da transportadora (IPCC, 2006).

Segundo o IPCC (2006), os dados sobre o uso de combustível podem ser obtidos por diversos modos. A abordagem mais viável depende das circunstâncias locais, porém algumas das abordagens podem fornecer resultados mais precisos do que outros. Abaixo, estão listadas algumas formas de se obter esses dados:

- Estatísticas locais de energia ou de agências de estatística;
- Informações estatísticas da Agência Internacional de Energia (IEA, sigla em inglês);
- Pesquisas de empresas de navegação;
- Pesquisa com os fornecedores de combustível;
- Pesquisa com os portos e com as autoridades marítimas;
- Pesquisas com empresas de pesca;
- Contagens de equipamentos;
- Registros de importação e exportação;
- Dados e planejamentos de viagens de embarcações;
- Dados de passageiros e de carga;
- Dados da IMO, fabricantes de motores, ou dados da Jane's Military Ships Database;
- Dados de viagens de navio da Lloyds Register.

Pode ser necessário combinar e comparar essas fontes de dados para obter uma informação mais precisa. Os motores a diesel são a unidade principal de energia utilizada na indústria naval para propulsão e auxiliares de geração de energia. Alguns navios são movidos por usinas a vapor (EEA, 2005 *apud* IPCC, 2006), mas os combustíveis podem ser usados em motores auxiliares de alimentação, por exemplo, instalações de refrigeração, bombas de carga e caldeiras a bordo.

#### 3.1 Dados para Empregar o Tier 1

##### 3.1.1 Consumo de Combustível para o Tier 1

Na Tabela 1, são apresentados dados de consumo de combustível no Estado de São Paulo para o Subsetor de Transporte Aquaviário, no período de 1990 a 2008.

**Tabela 1** Consumo de Combustível no Subsetor de Transporte Aquaviário de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo

Ano	Óleo Diesel	Óleo Combustível
	[10 <sup>9</sup> kcal]	
1990	2.720	5.722
1991	2.833	5.245
1992	2.322	5.274
1993	2.452	5.446
1994	2.512	6.247
1995	2.599	5.617
1996	2.686	6.714
1997	2.755	8.564

Continua

Continuação

Ano	Óleo Diesel	Óleo Combustível
	[10 <sup>9</sup> kcal]	
1998	2.504	9.108
1999	2.686	9.537
2000	2.426	8.583
2001	3.032	5.837
2002	1.992	5.245
2003	1.759	5.093
2004	1.594	5.169
2005	1.455	4.692
2006	866	4.864
2007	814	4.406
2008	849	3.748

Nota: Para as estimativas, consideraram-se os dados de consumo de combustível em TJ<sup>2</sup>.

Fonte: São Paulo (2009b)

### 3.1.2. Fatores de Emissão para Tier 1

Os fatores de emissão default para o CO<sub>2</sub> são apresentados na Tabela 2, e são baseados no tipo de combustível e teor de carbono considerando todo o carbono oxidado. Os fatores de emissão empregados na estimativa foram os de óleo diesel e de residual fuel oil<sup>3</sup>, sendo esse último, equivalente ao óleo combustível.

**Tabela 2** Fatores de Emissão Default para CO<sub>2</sub>

Combustível	Default	Mínimo	Máximo	
	[kg.TJ <sup>-1</sup> ]			
Gasolina	69.300	67.500	73.000	
Other Kerosene	71.900	70.800	73.600	
Gás/Óleo Diesel	74.100	72.600	74.800	
Residual Fuel Oil	77.400	75.500	78.800	
Gases Liquefeitos de Petróleo	63.100	61.600	65.600	
Outros Óleos	Gás Refinado	57.600	48.200	69.000
	Ceras de Parafina	73.300	72.200	74.400
	White Spirit & SBP	73.300	72.200	74.400
	Outros Produtos de Petróleo	73.300	72.200	74.400
Gás Natural	56.100	54.300	58.300	

Fonte: IPCC (2006)

Os fatores de emissão default para CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O são apresentados na Tabela 3 abaixo.

**Tabela 3** Fatores de Emissão Default para CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O

Embarcação	CH <sub>4</sub> *	N <sub>2</sub> O*
	[kg.TJ <sup>-1</sup> ]	
Navios	7	2
	± 50%	+140% -40%

Fonte: Lloyd's Register (1995); EC (2002) *apud* IPCC (2006)

\*Default para os motores diesel, utilizando óleo combustível pesado.

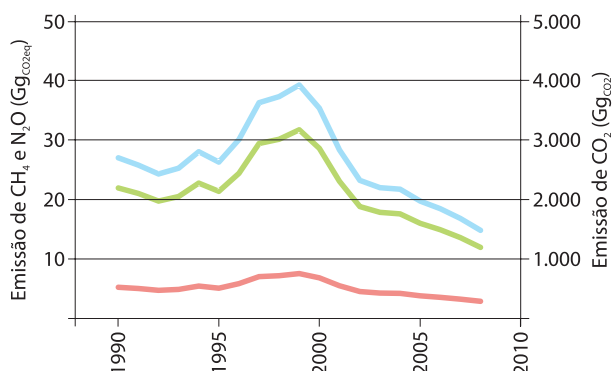
2 TJ = 1012 Joules. Para efetuar a conversão de caloria para Joule, empregou-se a relação 1 cal = 4,1868 J. Essa conversão foi empregada para compatibilizar a unidade de consumo da Tabela 1 com os fatores de emissão da Tabela 2 e Tabela 3.

3 O fator de emissão de residual fuel oil foi empregado para as estimativas de emissões por óleo combustível.

## 4 Resultados

Considerando o período inventariado, o estado apresentou um consumo máximo de óleo diesel em 2001, de  $3.032 \times 10^9$  kcal, e um consumo máximo de óleo combustível em 1999, de  $9.537 \times 10^9$  kcal. Quanto às emissões de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , observa-se no Gráfico 1, uma maior emissão em 1999 e, a partir desse ano, uma diminuição anual das emissões. Em 2005, as emissões de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  diminuíram 50% em relação a 1999.

**Gráfico 1** Emissões de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  do Transporte Aquaviário de 1990 a 2008 no Estado de São Paulo



A Tabela 4 apresenta as estimativas de  $\text{CO}_2$  por tipo de combustível utilizado no transporte aquaviário.

**Tabela 4** Emissões de  $\text{CO}_2$  por Tipo de Combustível do Transporte Aquaviário no Estado de São Paulo

Ano	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Total
	[ $\text{Gg}_{\text{CO}_2}$ ]		
1990	844	1.854	2.698
1991	879	1.700	2.579
1992	720	1.709	2.429
1993	761	1.765	2.526
1994	779	2.024	2.804
1995	806	1.820	2.627
1996	833	2.176	3.009
1997	855	2.775	3.630
1998	777	2.952	3.728
1999	833	3.091	3.924
2000	753	2.781	3.534
2001	941	1.892	2.832
2002	618	1.700	2.318
2003	546	1.650	2.196
2004	495	1.675	2.170
2005	451	1.520	1.972
2006	269	1.576	1.845
2007	253	1.428	1.680
2008	263	1.215	1.478

**Tabela 5.** Emissões de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  do Transporte Aquaviário no Estado de São Paulo

**Tabela 5** Emissões de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  do Transporte Aquaviário no Estado de São Paulo

Ano	$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{N}_2\text{O}$	Total
	[ $\text{Gg}_{\text{CO}_2\text{eq}}$ ]			
1990	2.698	5	22	2.725
1991	2.579	5	21	2.605
1992	2.429	5	20	2.454
1993	2.526	5	21	2.551
1994	2.804	5	23	2.832
1995	2.627	5	21	2.653
1996	3.009	6	24	3.039
1997	3.630	7	29	3.666
1998	3.728	7	30	3.766
1999	3.924	8	32	3.963
2000	3.534	7	29	3.569
2001	2.832	5	23	2.861
2002	2.318	4	19	2.341
2003	2.196	4	18	2.218
2004	2.170	4	18	2.191
2005	1.972	4	16	1.992
2006	1.845	4	15	1.863
2007	1.680	3	14	1.697
2008	1.478	3	12	1.493

## 5 Conclusão e Considerações Finais

O método aplicado para as estimativas foi o IPCC (2006). Esse é recomendado para a elaboração de inventários nacionais de emissões de GEE e foi adaptado para a elaboração do inventário estadual.

A estratégia de quantificação mais precisa de elaboração deste inventário inclui os dados desagregados de consumo de combustível. As viagens também seriam desagregadas, classificadas em internacionais, interestaduais e estaduais, conforme é apresentado no Quadro 2 deste documento, considerando assim, com menor incerteza, a responsabilidade das emissões.

Para obter a estimativa apresentada, os dados empregados foram os de consumo de combustível no Estado de São Paulo. Sabe-se que as embarcações podem ser abastecidas em um estado ou país e que estas podem transpor as suas fronteiras. Da mesma forma, embarcações podem ser abastecidas em outra unidade territorial, podendo dirigir-se para outro estado ou país. Esses fatos geram uma incerteza quanto à alocação das emissões. Os dados de consumo, da forma como foram empregados nesta estimativa, não levam essas questões em consideração, atribuindo as emissões à unidade territorial onde ocorreu o abastecimento, da mesma forma como recomenda o IPCC (2000) para as estimativas das fontes móveis rodoviárias.

Adotando-se um critério de alocação baseado nos tipos de viagens descritos no Quadro 2, seria necessário atribuir uma emissão às viagens com origem ou destino internacionais e alocá-las como *bunkers*, mas o Balanço Energético do Estado de São Paulo (BEESP) (SÃO PAULO, 2009a) aloca parte desse combustível (o combustível utilizado para abastecer embarcações com destino internacional) nos dados de exportação e não nos dados de consumo. No caso das emissões interestaduais, uma alternativa poderia ser, por exemplo, arbitrar uma divisão de parte das emissões das viagens transfronteiriças.

A estimativa apresentada pode tanto superestimar quanto subestimar as emissões do subsetor. Estudos futuros, que contemplem dados de consumo, carga e dados de origem e destino, poderão refletir com maior precisão a realidade do subsetor.

Os resultados da Tabela 5 não consideram dados de origem e destino das viagens e, consequentemente, não apresentam detalhes da alocação das emissões do Estado de São Paulo. Nas estimativas das emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$ , foram empregados fatores de emissão default do IPCC (2006), determinados para motores diesel utilizando óleo combustível pesado. Mais dados da realidade estadual são necessários para a redução das incertezas desta estimativa.

## Referências

ANTAQ. **Meio Ambiente: Gestão Ambiental: Introdução**. Disponível em: <[www.antaq.gov.br/Portal/MeioAmbiente\\_GA\\_Introducao.asp](http://www.antaq.gov.br/Portal/MeioAmbiente_GA_Introducao.asp)>. Acesso em: 4 abr. 2011.

\_\_\_\_\_. **Relatório de Gestão Ambiental**. Brasília: 2007.

BRASIL. Lei n. 9.432, de 8 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a ordenação do transporte aquaviário e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, v. 135, n. 6, Seção I, 9 jan. 1997, p. 467-470.

EEA. **EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2009**. Technical Guidance to Prepare National Emission Inventories. Copenhagen: EEA, 2009.

IPCC. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Vol. 2 - Energy. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme [Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds)]. Hayama: IGES, 2006.

\_\_\_\_\_. **Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories**. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Hayama: IGES, 2000.

PORTO DE SANTOS. **Oportunidades**. Disponível em: <[www.portodesantos.com.br/mercado.php?pagina=04](http://www.portodesantos.com.br/mercado.php?pagina=04)>. Acesso em: 13 out. 2010.

SÃO PAULO (Estado). Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. **Frente parlamentar das hidrovias**. Relatório 2006/2007. São Paulo, 2007.

\_\_\_\_\_. SSE. **Balço energético do Estado de São Paulo 2009 - Ano base: 2008**. São Paulo: SSE, 2009a.

\_\_\_\_\_. ST. **Balço anual 2009**. São Paulo, 2009b. 238p.

## Anexo

A seguir, para o mesmo método IPCC (2006), é apresentado o nível de rigor *Tier 2*, que demanda informações como o tipo de embarcação. A ausência de dados específicos estaduais das embarcações inviabilizou o emprego do mesmo para a realização das estimativas.

### Escolha do Método - *Tier 2*

O *Tier 2* utiliza o consumo de combustível por tipo, mas requer fatores de emissão com maior especificidade considerando, por exemplo, o tipo de embarcação e o tipo de motor.

Equação. Emissão de GEE pelo *Tier 2*

$$E = \sum C_{ij} \cdot FE_{ij}$$

onde:

E	Emissão de GEE	[t <sub>GEE</sub> ·ano <sup>-1</sup> ]
C	Consumo de combustível	[t <sub>combustível</sub> ·ano <sup>-1</sup> ]
FE	Fator de emissão	[t <sub>GEE</sub> ·t <sub>combustível</sub> <sup>-1</sup> ]
i	Tipo de combustível	
j	Tipo de embarcação	

Segundo o IPCC (2000), não há um método distinto para o cálculo das emissões militares. O método a ser empregado é o mesmo para as outras categorias, porém a navegação militar pode considerar as emissões de operações exclusivas (por exemplo, porta-aviões, grandes usinas auxiliares, e os tipos de motores originais). Portanto, os inventariadores devem consultar os peritos militares para determinar os fatores de emissão mais adequados.

### Dados para empregar o *Tier 2*

Para empregar o *Tier 2*, os fatores de emissão, se possível, devem ser específicos de cada país ou estado, obtidos em testes de combustíveis e de motores de combustão utilizado na navegação. Fontes de fatores de emissão devem ser documentadas em conformidade com as disposições destas diretrizes (IPCC, 2006).

Segundo o IPCC, o EMEP/*Corinair Emission Inventory Guidebook* (EEA, 2005 *apud* IPCC, 2006) pode ser usado como fonte de fatores de emissão de óxidos de nitrogênio (NOx), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis não metanos (NMVOC) para ambos os níveis de rigor *Tier 1* e *Tier 2*.

Muitos petroleiros consomem mais combustível ao descarregar suas cargas nos portos ao operar as bombas do que em navegação. A Tabela abaixo apresenta o percentual médio de combustível consumido pelos motores principais e auxiliares. Isso permite que o compilador do inventário aplique fatores de emissão mais apropriados. Quando disponíveis esses fatores de emissão devem diferir, principalmente, entre os motores principais e auxiliares.

Consumo Médio de Combustível por Tipo de Motor (embarcações > 500 GRT) (%)

Tipo de Embarcação	Consumo do Motor Principal	Número Médio de Motores Auxiliares por Navio	Consumo do Motor Auxiliar
	[%]		[%]
Bulk Carriers	98	1,5	2
Combination Carriers	99	1,5	1
Container Vessels	99	2,0	1
Dry Cargo Vessels	95	1,5	5
Offshore Vessels	98	1,0	2
Ferrie/ Passenger Vessels	98	2,0	2
Reefer Vessels	97	2,0	3
Ro-Ro Vessels	99	1,5	1
Tankers	99	1,5	1
Miscellaneous Vessels	98	1,0	2
Totals	98		2

Fonte: Fairplay Database of Ships (2004) *apud* IPCC (2006)

A Tabela a seguir fornece fatores de consumo de combustível para vários tipos de navios, conforme categoria e capacidade de carga.

Fatores de Consumo de Combustível e Capacidade Máxima

Tipo de Embarcação	Consumo Médio	Consumo a Plena Potência em Função da Capacidade de Carga Bruta
	[t.dia-1]	[GRT]
Bulk Carriers		
Solid Bulk	33,8	$20,1860 + 0,00049 \cdot \text{GRT}$
Liquid Bulk	41,8	$14,6850 + 0,00079 \cdot \text{GRT}$
General Cargo	21,3	$9,8197 + 0,00143 \cdot \text{GRT}$
Container	65,9	$8,0552 + 0,00235 \cdot \text{GRT}$
Passenger/Ro-Ro/Cargo	32,3	$12,8340 + 0,00156 \cdot \text{GRT}$
Passenger	70,2	$16,9040 + 0,00198 \cdot \text{GRT}$
High Speed Ferry	80,4	$39,4830 + 0,00972 \cdot \text{GRT}$
Inland Cargo	21,3	$9,8197 + 0,00143 \cdot \text{GRT}$
Sail Ships	3,4	$0,4268 + 0,00100 \cdot \text{GRT}$
Tugs	14,4	$5,6511 + 0,01048 \cdot \text{GRT}$
Fishing	5,5	$1,9387 + 0,00448 \cdot \text{GRT}$
Other Ships	26,4	$9,7126 + 0,00091 \cdot \text{GRT}$
All Ships	32,8	$16,2630 + 0,00100 \cdot \text{GRT}$

Fonte: Techne (1997) *apud* IPCC (2006)



# PARTE III

## TRANSPORTE FERROVIÁRIO



## **Ficha Técnica**

### **Coordenação Técnica**

João Wagner Silva Alves

### **Elaboração**

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Bruna Patrícia de Oliveira – Consultora Técnica

### **Revisão Técnica**

João Wagner Silva Alves – CETESB

### **Colaboração**

Camila Bernardo de Faria

Calvin Stefan Iost

Daniel Soler Huet

Gabriela Pacheco Rotondaro

Gisele dos Anjos Passareli

Ligia Prangutti Orlandi

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Matheus Fernando Kelson Batinga de Mendonça

Marcelo Poci Bandeira

Natacha Nogueira Britschka

Omar de Almeida Cardoso

Renata Monteiro Siqueira

## SUMÁRIO

<b>PARTE III – TRANSPORTE FERROVIÁRIO</b> .....	<b>99</b>
<b>1 Introdução</b> .....	<b>103</b>
1.1 Histórico.....	103
1.2 O Inventário das Emissões de GEE do Setor Ferroviário.....	105
1.3 Geração de GEE e Demais Poluentes Atmosféricos pelo Setor Ferroviário.....	106
<b>2 Método</b> .....	<b>107</b>
2.1 Tier 1.....	108
<b>3 Dados</b> .....	<b>110</b>
3.1 A Escolha dos Fatores de Emissão.....	110
3.2 Consumo de Energia no Estado de São Paulo.....	110
<b>4 Resultados</b> .....	<b>111</b>
<b>5 Conclusão e Considerações Finais</b> .....	<b>112</b>
<b>Referências</b> .....	<b>113</b>
<b>Anexo</b> .....	<b>114</b>

## TABELAS

Tabela 1	Fatores de Emissão (FE) Default ( <i>Tier 1</i> ) .....	110
Tabela 2	Dados de Consumo de Energia no Setor Ferroviário de 1990 a 2008, no Estado de São Paulo .....	110
Tabela 3	Resultado das Emissões por <i>Tier 1</i> , de 1990 a 2008, no Estado de São Paulo .....	111
Tabela 4	Resultado das Emissões por <i>Tier 1</i> em CO <sub>2eq</sub> de 1990 a 2008, no Estado de São Paulo .....	111

## GRÁFICOS

Gráfico1	Consumo de Energia no Setor Ferroviário no Ano de 2005 .....	110
Gráfico2	Emissões de GEE em CO <sub>2eq</sub> no Transporte Ferroviário pelo Consumo de Combustível .....	111

## FIGURAS

Figura 1	Malha do Transporte Metropolitano Paulista .....	104
Figura 2	Malha Ferroviária do Estado de São Paulo .....	105
Figura 3	Diagrama de Emissões de GEE e Poluentes no Transporte Ferroviário .....	106
Figura 4	Árvore de Decisões para Estimar Emissões de CO <sub>2</sub> do Transporte Ferroviário .....	107
Figura 5	Árvore de Decisões para a Estimativa das Emissões de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O do Transporte Ferroviário .....	108

## QUADROS

Quadro 1	Categorias Sugeridas para o Transporte Ferroviário .....	106
----------	--	-----

## EQUAÇÕES

Equação 1	Emissão de GEE por <i>Tier 1</i> Segundo o IPCC .....	108
Equação 2	Emissão de GEE por <i>Tier 1</i> (Adaptada) .....	108

# 1 Introdução

## 1.1 Histórico

A Revolução Industrial, na Europa e principalmente na Inglaterra, a partir do século XIX, surgiu quando os meios de produção foram concentrados em grandes fábricas e as máquinas foram empregadas na produção de mercadorias. Concomitantemente ao aumento da produção, surgiu também a necessidade de transportá-las com rapidez para os mercados consumidores. Diante dessa necessidade, os empresários ingleses apoiaram o engenheiro George Stephenson (1781-1848), que apresentou sua primeira locomotiva em 1814 (DNIT, 2010).

No Brasil, o empreendedor Irineu Evangelista de Souza (1813-1889), mais tarde Barão de Mauá, recebeu, em 1852, a concessão do Governo Imperial para a construção e exploração de uma linha férrea, no Rio de Janeiro. A ele se devem os primeiros trilhos, a Estrada de Ferro Mauá e a primeira locomotiva denominada "Baroneza", que foi construída no mesmo ano por Willian Fair Bairns & Sons, em Manchester, Inglaterra. A Estrada de Ferro Mauá permitiu a integração das modalidades de transporte hidroviário e ferroviário, introduzindo a primeira operação intermodal (DNIT, 2010).

Um dos fatos mais importantes na história do desenvolvimento da ferrovia no Brasil foi a ligação Rio-São Paulo, unindo as duas mais importantes cidades do país, em 1877, quando os trilhos da Estrada de Ferro São Paulo se uniram com os da Estrada de Ferro D. Pedro II (DNIT, 2010).

A política de incentivos à construção de ferrovias, adotada pelo Governo Imperial, trouxe algumas consequências negativas ao sistema ferroviário do país, que perduram até hoje, como a grande diversidade de bitolas que dificulta a integração operacional entre as ferrovias, estradas de ferro excessivamente sinuosas e a localização dispersa e isolada (DNIT, 2010).

Em São Paulo, as estradas de ferro foram decorrência natural das exportações agrícolas. Pode-se afirmar que existe uma relação entre a expansão da produção cafeeira do Vale do Paraíba e a construção de estradas de ferro naquela região. A construção de ferrovias em São Paulo se iniciou após a primeira metade do século XIX, formando uma verdadeira rede de captação do café por meio de eixos radiais em direção ao Porto de Santos. De 1867 até a década de 1930 existiam 18 ferrovias, sendo que, deste total, metade, com extensões inferiores a 100 km, serviam de ramais de captação de cargas para as grandes e médias companhias (DNIT, 2010).

Em 1971, o governo do Estado de São Paulo unificou as estradas de ferro de sua propriedade: Companhia Paulista de Estradas de Ferro, Estrada de Ferro Sorocabana, Estradas de Ferro Araraquara, Companhia Mogiana de Estrada de Ferro e Estrada de Ferro São Paulo - Minas. O produto dessa unificação foi a criação da FEPASA, pela Lei n. 10.410, em 1971, para gerir aproximadamente 5.000km de vias férreas (ANTT, 2010; DNIT, 2010).

Em 1997, após uma crise, o Estado de São Paulo entregou a FEPASA para o Governo Federal. Na corrida pelas privatizações, a União inseriu a empresa nos planos de privatização do Conselho Nacional de Desestatização (CND) em 1998. A malha paulista foi vendida ao consórcio Ferrovias que, na época, era liderado pela FERROPASA (FERROBAN, 200-?, *apud* BRASIL, 2003).

Atualmente, o sistema ferroviário do Estado de São Paulo apresenta uma malha de aproximadamente 5.000km, ligando regiões do interior e de outros estados à região metropolitana de São Paulo e ao Porto de Santos. A malha ferroviária paulista representa 17% das ferrovias em operação no Brasil. Embora tenha uma malha relativamente extensa de ferrovia, menos de 20% das cargas movimentadas no Porto de Santos são transportadas

por ferrovia, sendo a maioria do transporte realizado por rodovia (SÃO PAULO, 2009a).

Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas a malha ferroviária do transporte metropolitano e a malha ferroviária das concessionárias que operam no transporte de carga do Estado de São Paulo.

Como é possível observar na Figura 1, as linhas do Metrô e da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) são integradas e

disponibilizam um percurso de 329 quilômetros de vias férreas para o transporte metropolitano (CPTM, 200-? *apud* BRASIL, 2007). Ressalta-se que para este inventário não serão estimadas as emissões de Gases de Efeito Estufa do transporte metropolitano, uma vez que este setor consome apenas eletricidade do sistema interligado. As emissões decorrentes do consumo de eletricidade são apresentadas no inventário do setor de Energia.

Figura 1 Malha do Transporte Metropolitano Paulista

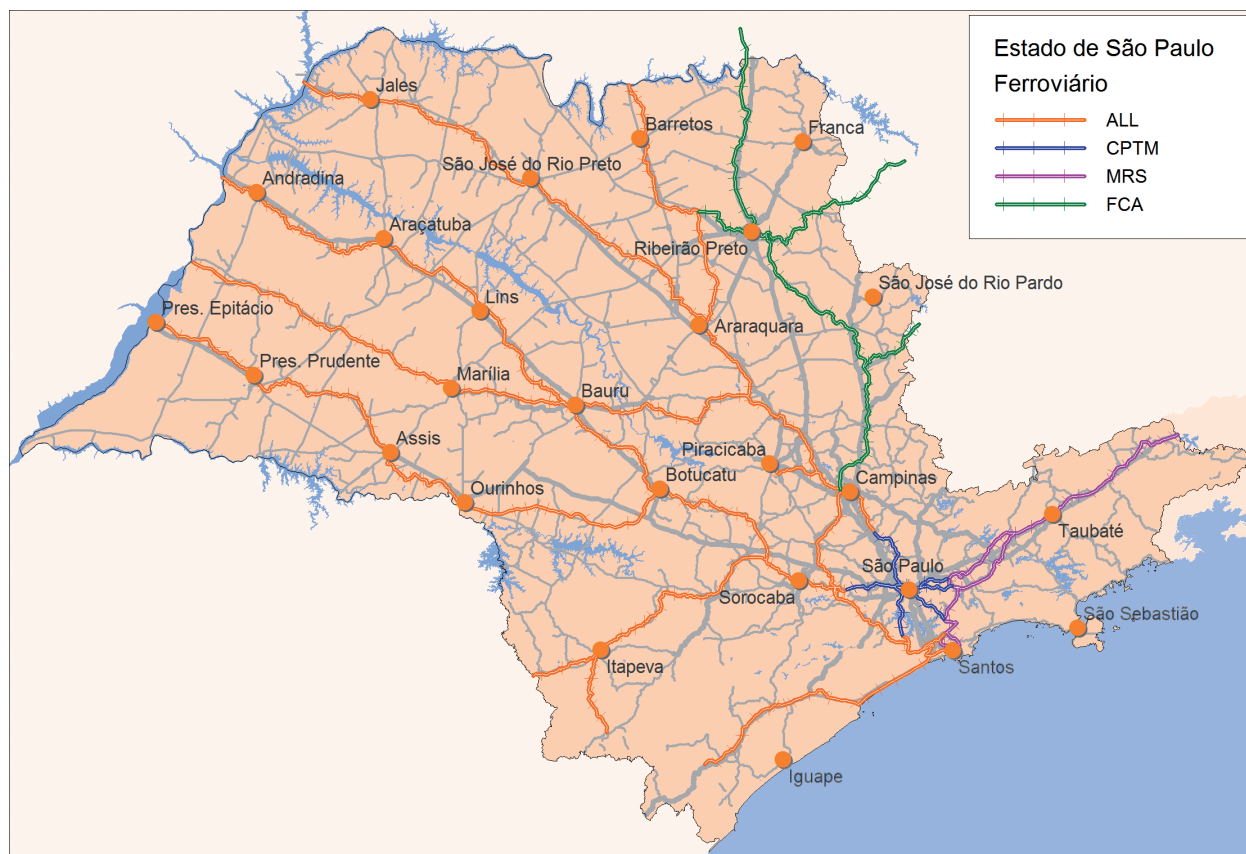


Segundo a Secretaria de Transportes do Estado de São Paulo, em 2009, a malha ferroviária para o transporte de carga estava privatizada, porém sob um controle federal e tendo o governo do Estado de São Paulo uma ação muito limitada sobre o setor. As empresas concessionárias do transporte ferroviário no Estado de São Paulo são a América Latina Logística do Brasil S.A. (ALL), a Ferrovia Centro-Atlântica S.A. (FCA), a MRS Logística S.A. (MRS) e a Companhia Paulista

de Trens Metropolitanos (CPTM). Na Figura 2 é apresentada a malha ferroviária do Estado.

Atualmente, as principais cargas transportadas são: aço, açúcar, adubo, álcool, alumínio, amônia, arroz, bauxita, cal, carvão, cimento, cítricos, clínquer, contêineres, coque, diesel, escória, farelo, feijão, ferro, fosfato, gasolina, madeira, milho, minério, óleo vegetal, óleos combustíveis, papel, *pallets*, soja e trigo.

Figura 2 Malha Ferroviária do Estado de São Paulo



Fonte: São Paulo (2009a)

O governo do Estado de São Paulo busca uma maior participação na gestão do sistema ferroviário no seu território. Os estudos desenvolvidos pela Secretaria dos Transportes, como o Plano Diretor de Desenvolvimento dos Transportes (PDDT) apresentam, dentre outros elementos, a execução prioritária de um anel ferroviário na RMSP, o Ferroanel. Este é um projeto que possibilitará o fechamento completo de um anel ferroviário no entorno da RMSP por meio de duas conexões ferroviárias: uma ao norte e a outra ao sul, conectando as malhas leste e oeste já existentes (SÃO PAULO, 2009a).

## 1.2 O Inventário das Emissões de GEE do Setor Ferroviário

Para um grau de rigor mais elevado, o Tier 3 do método do IPCC (IPCC, 2006) aloca as emissões para diferentes tipos de viagens no setor ferroviário.

Adaptando o método do IPCC (2006) para a

sua aplicação em um inventário estadual, uma alternativa poderia ser a divisão das emissões em domésticas estaduais, domésticas interestaduais e internacionais. Conforme o Quadro 1, onde são apresentadas as categorias do transporte ferroviário que poderiam ser consideradas para o inventário.

Sabe-se que as locomotivas podem ser abastecidas em um Estado ou país e que essas podem transpor as suas fronteiras, gerando incertezas quanto à alocação das emissões. Por falta de dados disponíveis não foi possível considerar a segregação apresentada no Quadro 1.

Segundo o IPCC (2006), o transporte ferroviário, geralmente, é realizado por três tipos de locomotivas: a diesel, elétricas ou, menos frequentemente, a vapor. Locomotivas a diesel geralmente usam motores diesel em combinação com um alternador ou gerador para produzir a eletricidade necessária para alimentar os motores de tração. Essas estão classificadas em três grandes categorias -

Quadro 1 Categorias Sugeridas para o Transporte Ferroviário

Ferrovário internacional (origem ou destino no Estado de São Paulo)	As emissões do transporte ferroviário internacional representam as emissões das locomotivas que partem de um país e chegam a um país diferente. Para este inventário, devem ser consideradas as emissões das viagens internacionais com origem ou destino no Estado de São Paulo.
Ferrovário doméstico interestadual (origem ou destino no Estado de São Paulo)	O transporte doméstico e interestadual ocorre em um mesmo país, porém entre diferentes estados. Inclui as emissões das locomotivas que partem de um Estado e chegam a um Estado diferente. Para este inventário poderiam ser consideradas as emissões das viagens com origem ou destino no Estado de São Paulo.
Ferrovário doméstico estadual (origem e destino no Estado de São Paulo)	O transporte doméstico estadual inclui as emissões das locomotivas que partem do Estado e chegam ao mesmo Estado, sem sair do seu território. Para este inventário poderiam ser consideradas as emissões das viagens com origem e destino no Estado de São Paulo sem que saiam do seu território.

*shunting or yard locomotives, railcars, and line haul*. Abaixo estão descritas os três tipos de locomotivas, conforme EEA (2009):

- *Shunting ou yard locomotives*<sup>1</sup>: estas locomotivas são utilizadas para vagões de manobra. Elas são equipadas com motores diesel cuja potência é geralmente na faixa de 200 e 2000 kW;

- *Railcars*<sup>1</sup>: vagões são usados principalmente para tração ferroviária de curta distância, por exemplo, tráfego urbano/suburbano. Eles são equipados com motores diesel com uma potência de cerca de 150 a 1000 kW;

- *Line haul*<sup>1</sup>: utilizados para tração ferroviário de longa distância, tanto para mercadorias e passageiros. São equipados com motores diesel com uma potência de cerca de 400 a 4.000 kW.

As locomotivas elétricas são alimentadas pela eletricidade distribuída pelo Sistema Interligado Nacional (SIN). Essas emissões são consideradas indiretas e devem ser reportadas no setor de Energia.

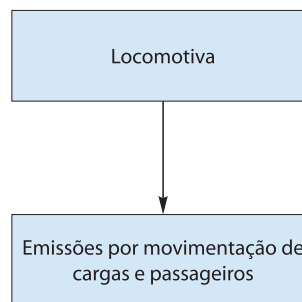
Atualmente, locomotivas a vapor são utilizadas para operações muito específicas, principalmente como atrativos turísticos, e sua contribuição para as emissões de Gases de Efeito Estufa é muito pequena. No entanto, para alguns países, até a década de 90, o carvão foi usado em uma fração significativa

de locomotivas. Suas emissões devem ser estimadas utilizando uma abordagem semelhante às caldeiras a vapor convencionais (IPCC, 2006).

### 1.3 Geração de GEE e Demais Poluentes Atmosféricos pelo Setor Ferroviário

As emissões de GEE e demais poluentes atmosféricos para os quais o transporte ferroviário pode ser relevante são: CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e material particulado. Outras emissões atmosféricas de menor importância podem ser contabilizadas, como as de CO, NMVOC e alguns metais (EEA, 2009). Este inventário apresentará as emissões de GEE diretos, ou seja, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. As emissões do setor ferroviário ocorrem, principalmente, em decorrência do movimento de cargas e passageiros.

Figura 3 Diagrama de Emissões de GEE e Poluentes no Transporte Ferroviário



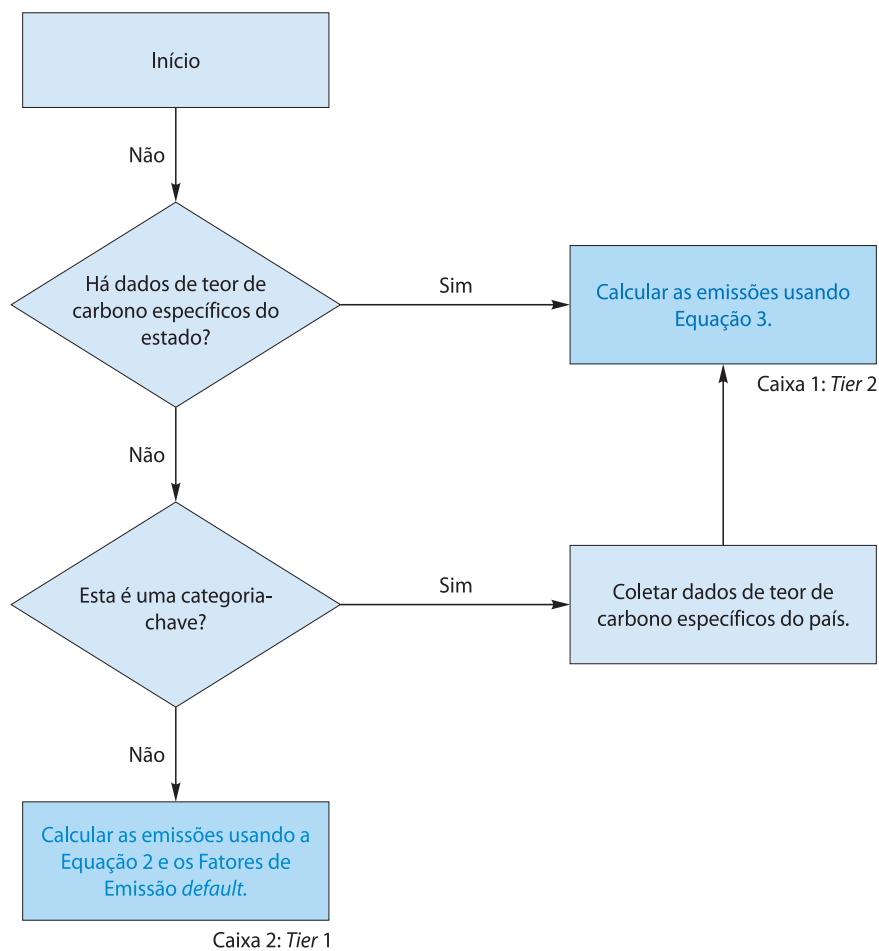
1 Neste documento foram mantidos os nomes originais dos equipamentos ferroviários como são descritos no método do IPCC 2006.

## 2 Método

O método das estimativas de transporte ferroviário de 2006 não apresentou grandes alterações em relação ao método de 1996 e ao Guia de Boas Práticas de 2000 (IPCC, 1996, 2000), porém a estimativa das emissões de CO<sub>2</sub> em 2006 é baseada no teor de carbono dos combustíveis. Para este inventário considerou-se o método e os fatores apresentados no método do IPCC (2006).

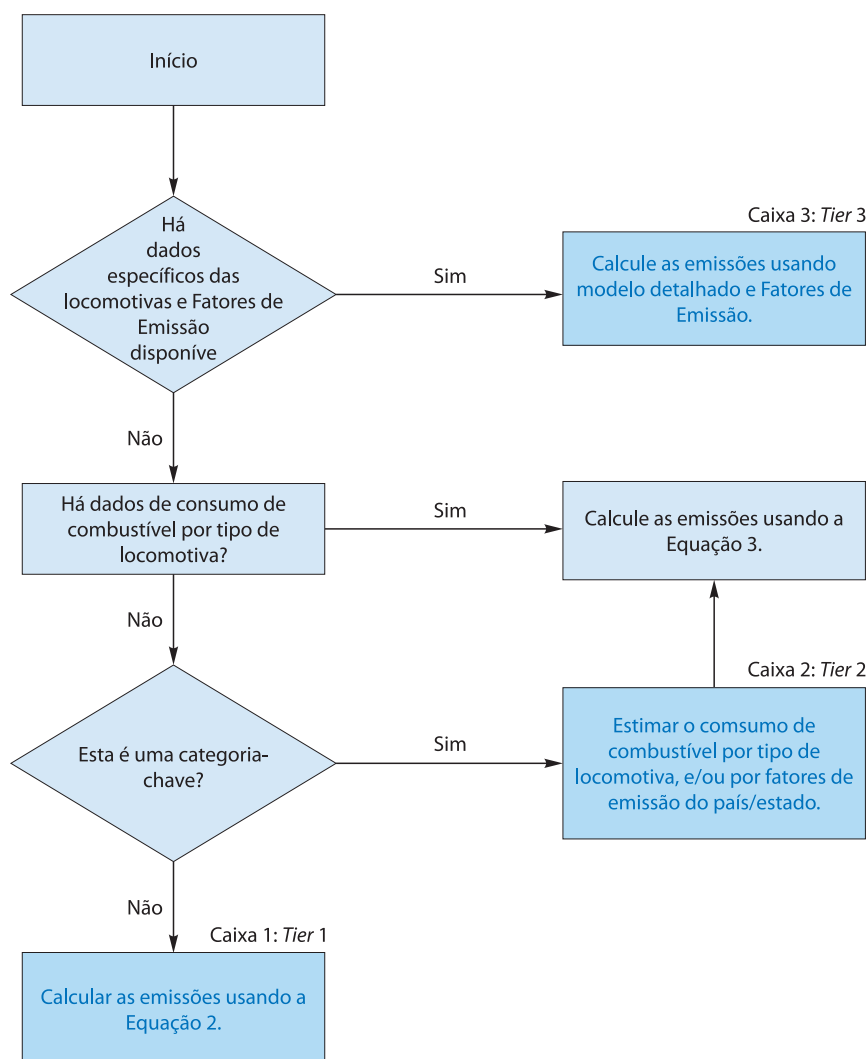
O Tier a ser empregado para as emissões de CO<sub>2</sub> depende da disponibilidade dos dados e deve ser adotado conforme a árvore de decisões apresentada na Figura 4.

**Figura 4** Árvore de Decisões para Estimar Emissões de CO<sub>2</sub> do Transporte Ferroviário



O Tier a ser empregado para as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O depende da disponibilidade dos dados e pode ser adotado conforme a árvore de decisões apresentada na Figura 5.

Figura 5 Árvore de Decisões para a Estimativa das Emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O do Transporte Ferroviário



## 2.1 Tier 1

Para o Tier 1, as emissões são estimadas usando fatores de emissão default para os tipos de combustível, considerando que este é consumido por um único tipo de locomotiva. A Equação 1 apresenta o método de estimativa pelo Tier 1 do IPCC em 2006.

**Equação 1** Emissão de GEE por Tier 1 Segundo o IPCC

$$E = \sum C_i \cdot FE_i$$

onde:

E	Emissão de GEE	[kg <sub>GEE</sub> .ano <sup>-1</sup> ]
C	Consumo de combustível	[TJ.ano <sup>-1</sup> ]
FE	Fator de emissão	[kg <sub>GEE</sub> .TJ <sup>-1</sup> ]
I	Tipo de combustível	

No Estado de São Paulo, as informações de consumo de combustível do setor ferroviário, publicadas no BEESP em 2009, são apresentadas em 109 kcal.ano<sup>-1</sup>. Para que fosse possível aplicar os fatores de emissão default, que são apresentados em kg<sub>GEE</sub>.TJ<sup>-1</sup>, foi necessária a conversão de cal para J. Por conveniência, optou-se por apresentar os resultados em Gg.ano<sup>-1</sup>. A Equação 2, abaixo, considera as particularidades das informações disponíveis e do que se deseja apresentar, porém é equivalente à Equação 1.

**Equação 2** Emissão de GEE por Tier 1 (Adaptada)

$$E = \sum C_i \cdot FE_i \cdot 4,18 \cdot 10^{-6}$$

onde:

E	Emissão de GEE	$[Gg_{GEE} \cdot ano^{-1}]$
C	Consumo de combustível	$[109kcal \cdot ano^{-1}]$
FE	Fator de emissão	$[kg_{GEE} \cdot TJ^{-1}]$
4,18	Fator de conversão de kcal para kJ	$[J \cdot cal^{-1}]$
10-6	Conversão de unidade de kg para Gg	$[G \cdot k^{-1}]$
I	Tipo de combustível	

### 3 Dados

#### 3.1 A Escolha dos Fatores de Emissão

Os fatores de emissão default de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O para o emprego do Tier 1 provenientes da queima de diesel e óleo combustível são apresentados na Tabela 1. Embora o IPCC (2006) apresente fatores de emissão default para diesel e carvão sub-betuminoso no setor ferroviário, o Estado de São Paulo, segundo a Secretaria de Saneamento e Energia (SSE) em 2009, empregou no transporte ferroviário o óleo diesel e o óleo combustível no período de 1990 a 2008 (SÃO PAULO, 2009b).

Tabela 1 Fatores de Emissão (FE) Default (Tier 1)

GEE Emitido	Diesel**	Óleo Combustível
kg.TJ <sup>-1</sup> ***		
CO <sub>2</sub>	74.100	77.400
CH <sub>4</sub> *	4,15	n.d.
N <sub>2</sub> O*	28,6	n.d.

Fonte: Adaptado IPCC (2006)

\* Para um consumo específico médio de 0,47L.(kWh)-1 para locomotivas de 2.983 kW de potência (DUNN, 2001 *apud* IPCC, 2006).

\*\* Os fatores de emissão para diesel são derivados do EEA (2005) *apud* IPCC (2006).

\*\*\*Tera (T) = 10<sup>12</sup>

Para estimar as emissões de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, compiladores de inventário são incentivados a utilizar, se disponíveis, os fatores de emissão específicos das locomotivas do país ou estado.

#### 3.2 Consumo de Energia no Estado de São Paulo

Na Tabela 2 são apresentados dados de consumo de energia no Estado de São Paulo para o setor ferroviário, no período de 1990 a 2008. Segundo os dados apresentados no BEESP (SÃO PAULO, 2009b), o setor ferroviário consumiu energia elétrica e óleo diesel durante todo o período e óleo combustível apenas de 1990 a 2000.

Tabela 2 Dados de Consumo de Energia no Setor Ferroviário de 1990 a 2008, no Estado de São Paulo

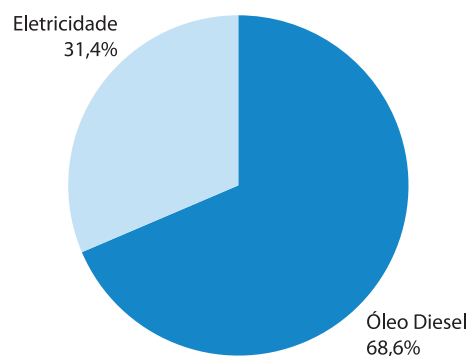
Ano	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Eletricidade
	109kcal		
1990	1.057	10	637
1991	875	10	665
1992	780	10	679
1993	788	10	716
1994	832	10	612
1995	814	10	630
1996	849	10	635
1997	910	10	594
1998	719	10	533
1999	658	10	531
2000	736	10	541
2001	1.074	0	550
2002	1.178	0	555
2003	1.282	0	568
2004	1.230	0	574
2005	1.299	0	595
2006	1.291	0	632
2007	1.299	0	685
2008	1.490	0	730

Fonte: São Paulo (2009b)

\* 1cal = 4,1868J

A seguir, no Gráfico 1 é apresentado o consumo de energia no ano de 2005. A partir do ano 2000 não houve consumo de óleo combustível, sendo consumidos apenas eletricidade e óleo diesel.

Gráfico 1 Consumo de Energia no Setor Ferroviário no Ano de 2005



Fonte São Paulo (2009b)

## 4 Resultados

A Tabela 3, a seguir, apresenta os resultados das emissões de GEE, considerando a Equação 2, apresentada neste documento, os dados da Tabela 2, de consumo energético de óleo diesel e óleo combustível no setor de transporte ferroviário, publicados no BEESP em 2009, e os fatores de emissão default apresentados na Tabela 1.

**Tabela 3** Resultado das Emissões por Tier 1, de 1990 a 2008, no Estado de São Paulo

Ano	Óleo Diesel			Óleo Combustível
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
	[Gg]			
1990	328	0,02	0,13	3
1991	271	0,02	0,10	3
1992	242	0,01	0,09	3
1993	244	0,01	0,09	3
1994	258	0,01	0,10	3
1995	253	0,01	0,10	3
1996	263	0,01	0,10	3
1997	282	0,02	0,11	3
1998	223	0,01	0,09	3
1999	204	0,01	0,08	3
2000	228	0,01	0,09	3
2001	333	0,02	0,13	-
2002	365	0,02	0,14	-
2003	398	0,02	0,15	-
2004	382	0,02	0,15	-
2005	403	0,02	0,16	-
2006	401	0,02	0,15	-
2007	403	0,02	0,16	-
2008	462	0,03	0,18	-

OBS: As emissões totais de CO<sub>2</sub> são referentes ao consumo de óleo combustível e óleo diesel.

Na Tabela 4 são apresentadas, em GgCO<sub>2eq</sub>, as emissões da Tabela 3.

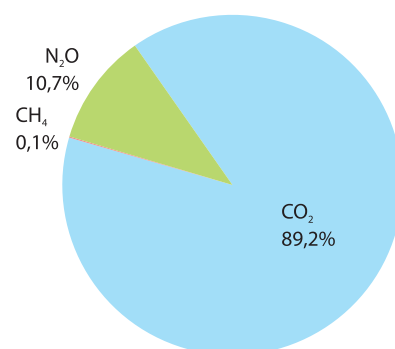
O Gráfico 2 apresenta as emissões percentuais de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O provenientes do consumo de óleo diesel no transporte ferroviário em 2005 em CO<sub>2eq</sub>.

**Tabela 4** Resultado das Emissões por Tier 1 em CO<sub>2eq</sub> de 1990 a 2008, no Estado de São Paulo

Ano	Óleo Diesel			Óleo Combustível	Emissões Totais
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	
	[GgCO <sub>2eq</sub> ]				
1990	328	0,39	39	3	370
1991	271	0,32	32	3	307
1992	242	0,28	29	3	274
1993	244	0,29	29	3	277
1994	258	0,30	31	3	292
1995	253	0,30	30	3	286
1996	263	0,31	32	3	298
1997	282	0,33	34	3	319
1998	223	0,26	27	3	253
1999	204	0,24	24	3	232
2000	228	0,27	27	3	259
2001	333	0,39	40	-	373
2002	365	0,43	44	-	409
2003	398	0,47	48	-	445
2004	382	0,45	46	-	427
2005	403	0,47	48	-	451
2006	401	0,47	48	-	448
2007	403	0,47	48	-	451
2008	462	0,54	55	-	517

OBS: As emissões totais de CO<sub>2</sub> são referentes ao consumo de óleo combustível e óleo diesel.

**Gráfico 2** Emissões de GEE em CO<sub>2eq</sub> no Transporte Ferroviário pelo Consumo de Combustível



## 5 Conclusão e Considerações Finais

O método aplicado para as estimativas foi o do IPCC de 2006. Este é recomendado para a elaboração de inventários nacionais de emissões de GEE e foi adaptado para a elaboração do inventário estadual.

A estratégia de quantificação mais precisa de elaboração deste inventário inclui os dados desagregados de consumo de combustível. Assim, as viagens seriam classificadas em internacionais, domésticas interestaduais e domésticas estaduais, conforme é apresentado no Quadro 1 deste documento, considerando com menor incerteza a responsabilidade das emissões.

Para obter a estimativa apresentada, os dados empregados foram os de consumo de combustível no Estado de São Paulo. Sabe-se que as locomotivas podem ser abastecidas em um estado ou país e que estas podem transpor as suas fronteiras. Isso gera uma incerteza quanto à alocação das emissões. Os dados de consumo, da forma como foram empregados nesta estimativa, não levam esses fatos em consideração, atribuindo as emissões à unidade territorial onde ocorreu o abastecimento, da mesma forma como recomenda o IPCC (2000) para as estimativas das fontes móveis rodoviárias.

A estimativa apresentada tanto pode estar superestimando quanto subestimando as emissões do setor. Estudos futuros, se puderem contar com dados de consumo, carga e de origem e destino, poderão refletir com maior precisão a realidade do setor.

Adaptando o método do IPCC (2006) para a sua aplicação em um inventário estadual, uma alternativa poderia ser a divisão das emissões em domésticas estaduais, domésticas interestaduais e internacionais assim como realizado para os setores aeroviário e o aquaviário. Nesses setores, por exemplo, para as emissões de viagens que transpõem as fronteiras territoriais, o método não nomeia um responsável, alocando-as como bunkers<sup>2</sup>. No caso das emissões interestaduais, uma alternativa seria arbitrar uma divisão de parte das emissões das viagens transfronteiriças como é apresentado no Quadro 1.

Diante dessas considerações, dados de origem e destino, assim como fatores específicos de frota seriam necessários para se realizar uma estimativa mais fiel e representativa.

Os resultados apresentados na Tabela 4, além de não considerarem dados de origem e destino das viagens e, conseqüentemente, detalhes de definição da alocação das emissões do Estado de São Paulo, também não consideram as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O provenientes da queima de óleo combustível. Esse fato ocorreu por não terem sido encontrados os fatores de emissão específicos do estado ou do país. Não foram encontrados, nem mesmo, os fatores de emissão default do IPCC, conforme a Tabela 1 deste documento.

As incertezas das estimativas são decorrentes do método, dos fatores de emissão e dos dados de atividades, sendo estes os dados de consumo de combustível no Estado de São Paulo.

---

2 Emissões por viagens internacionais, reportadas separadamente das nacionais, devido à não existência de uma diretriz que revele o pertencimento dessas emissões.

## Referências

ANTT. **Transporte ferroviário de cargas**. Brasília, DF, c2013. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/4735.html>>. Acesso em: jun. 2014.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Ferrovias Bandeirantes S.A.**: resumo informativo da ferrovia. [Brasília, DF], 2003. Disponível em: <<http://www2.transportes.gov.br/bit/03-ferro/3-princ-ferro/1-princ-emp-ferro/ferroban/links/inf-ferroban.htm>>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Companhia de Trens Metropolitanos - CPTM**: resumo informativo do sistema ferroviário urbano. [Brasília, DF], 2007. Disponível em: <<http://www2.transportes.gov.br/bit/03-ferro/3-princ-ferro/2-Emp-Ferro-Urb/cptm/links/inf-cptm.htm>>. Acesso em: jun. 2014.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria dos Transportes Metropolitanos. **Mapa do transporte metropolitano = Metropolitan transport network**. São Paulo, 2014. 1 mapa temático, color. Sem escala. Disponível em: <[http://www.cptm.sp.gov.br/E\\_IMAGES/geral/Mapa\\_popup.asp](http://www.cptm.sp.gov.br/E_IMAGES/geral/Mapa_popup.asp)>. Acesso em: jun. 2014.

DNIT. **Ferrovário**: histórico. Brasília, DF, [1999?]. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/ferrovias/historico.asp>>. Acesso em: jun. 2014.

EEA. **EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2009**: technical guidance to prepare national emission inventories. Copenhagen, 2009. (EEA technical report, 9/2009). Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>>. Acesso em: jun. 2014.

IPCC. **Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories**. Hayama, JP, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama, JP: IGES: IPCC, 2006a. 5 v. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: energy**. Hayama, JP: IGES: IPCC, 2006b. v. 2. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>>. Acesso em: jun. 2014.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Transportes. **Balanco anual 2009**. São Paulo, 2009b. 238 p. Disponível em: <<http://www.fazenda.sp.gov.br/balanco/2009/2009/rel2009.pdf>>. Acesso em: jul. 2014

SÃO PAULO (Estado). SSE. **Balanco energético do estado de São Paulo 2009**: ano base 2008. São Paulo, 2009b. (Série Informações Energéticas, 2). Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/43.pdf>>. Acesso em: jun. 2014.

## Anexo

A seguir, são apresentados os níveis de rigor *Tier 2* e *Tier 3*, que demandam informações mais detalhadas por tipos de locomotivas. A ausência de dados específicos estaduais inviabilizaram o emprego destes níveis para a realização das estimativas.

### Tier 2

O *Tier 2* é apresentado pela equação abaixo. Há pouca ou nenhuma vantagem em ir além do *Tier 2* para estimar as emissões de CO<sub>2</sub>. Para as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, o *Tier 2* requer fatores de emissão de combustível específicos. Os fatores de emissão, se disponíveis, devem ser específicos ao tipo de tecnologia dos motores das locomotivas.

**Equação 1** Emissão de GEE por *Tier 2*

$$E = \sum C_{ij} \cdot FE_{i,j}$$

onde:

E	Emissão de GEE	[kg <sub>GEE</sub> ·ano <sup>-1</sup> ]
C	Consumo de combustível	[TJ·ano <sup>-1</sup> ]
FE	Fator de emissão	[kg <sub>GEE</sub> ·TJ <sup>-1</sup> ]
i	Tipo de combustível	
j	Tipo de locomotiva	

Os fatores de emissão *default* para gases não CO<sub>2</sub> podem ser modificados dependendo das características do motor conforme a equação abaixo.

**Equação 2** Ponderação de Fator de Emissão para Aplicar *Tier 2*

$$FE_{diesel,j} = PWF_j \cdot FE_{diesel,default}$$

onde:

FE <sub>diesel,j</sub>	Fator de emissão específico	[kg·TJ <sup>-1</sup> ]
PWF	Ponderação para o fator de emissão <i>default</i>	[adimensional]
FE <sub>diesel default</sub>	Fator de emissão <i>default</i> para <i>diesel</i> (aplicável em CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O)	[kg·TJ <sup>-1</sup> ]
j	Tipo de locomotiva	

### Tier 3

O *Tier 3* é o mais detalhado e é baseado, principalmente no método da USEPA para estimar emissões no transporte não rodoviário. O *Tier 3* é apresentado pela equação abaixo.

**Equação 3** Emissão de GEE por *Tier 3*

$$E = \sum N_j \cdot H_j \cdot P_j \cdot FC_j \cdot FE_j$$

onde:

E	Emissão de GEE	[kg <sub>GEE</sub> ·ano <sup>-1</sup> ]
N	Número de locomotivas	[locomotiva]
H	Horas de uso	[h·ano <sup>-1</sup> ]
P	Potência nominal média	[kW·locomotiva <sup>-1</sup> ]
FC	Fração de carga	[%]
FE	Fator de emissão	[kg <sub>GEE</sub> ·(kW <sup>-1</sup> ·h) <sup>-1</sup> ]
j	Tipo de locomotiva	

### Dados para o Emprego de *Tier 2*

O IPCC (2006) apresenta alguns dados default para a o emprego do *Tier 2*. Para estimar as emissões empregando-se *Tier 2*, deve-se considerar a Tabela 1 deste documento. Os fatores de emissão default para gases não CO<sub>2</sub> apresentados na Tabela 1, podem ser modificados dependendo das características do motor, empregando-se os dados da Tabela abaixo, conforme a Equação Emissão de GEE por *Tier 3*, acima.

Conforme EEA (2005) *apud* IPCC (2006), os fatores de emissão podem ser alterados de acordo com a idade dos motores e estes podem ser aumentados em 1,5% ao ano para CH<sub>4</sub>, enquanto que para N<sub>2</sub>O esta deterioração é insignificante.

**Tabela 1** Ponderação para os Fatores de Emissão em Função das Especificidades dos Motores

Tipo de Motor	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Aspirado com injeção direta	0,80	1,0
Turbo com injeção direta e ou turbo com injeção direta e resfriamento <i>inter-cooled</i>	0,80	1,0
Aspirado com injeção em pré-câmara	1,00	1,0
Turbo com injeção em pré-câmara	0,95	1,0
Turbo com injeção em pré-câmara e resfriamento <i>inter-cooled</i>	0,90	1,0

Fonte: Adaptado IPCC (2006)

### Dados para o Emprego de Tier 3

O IPCC (2006) apresenta alguns dados *default* para a o emprego do Tier 3. A Tabela abaixo, serve como exemplo para se aplicar o Tier 3. Nesta tabela são apresentados os fatores de

emissão para algumas locomotivas acima de 3.000 hp. Os fatores de emissão também podem ser fornecidos em [g.(passageiro.km)<sup>-1</sup>] em trens de passageiros e [g.(tonelada.km)<sup>-1</sup>] em trens de carga (HAHN, 1989; UNECE, 2002 *apud* IPCC, 2006).

Empregando-se dados de número de locomotivas, horas de operação no ano e os dados da Tabela abaixo, é possível realizar uma estimativa com grau de rigor 3 (Tier 3).

As informações das locomotivas EMD e GE são baseadas em Dunn (2001) *apud* IPCC (2006). Para níveis de rigor mais baixos, as estimativas para CO e HC de *line haul locomotives* são 6,7g/kWh e 1,3g/kWh respectivamente.

Para os modelos TE e 2M62, as estimativas são baseadas em GSTU (1994) *apud* IPCC (2006).

**Tabela 2** Fatores de Emissão Atmosférica por Tipo de Modelo, Motor e Potência da Locomotiva

Modelo	Motor	Potência		Consumo Específico de Diesel [g.kWh <sup>-1</sup> ]	Fatores de Emissão [g.kWh <sup>-1</sup> ]			
		hp	kW		NOx	CO	HC	CO <sub>2</sub>
EMD SD-40	645E3B	3.000	2.237	246	15,82	2,01	0,36	440
EMD SD-60	710G3	3.800	2.834	219	13,81	2,68	0,35	391
EMD SD-70	710G3C	4.000	2.983	213	17,43	0,80	0,38	380
EMD SD-75	710G3EC	4.300	3.207	206	17,84	1,34	0,40	367
GE Dash 8	7FDL	3.800	2.834	219	16,63	6,44	0,64	391
GE Dash 9	7FDL	4.400	3.281	215	15,15	1,88	0,28	383
GE Dash 9	7FDL (Tier0)	4.400	3.281	215	12,74	1,88	0,28	383
Evolution	GEVO 12	4.400	3.281	NA	10,86	1,21	0,40	NA
2TE116	1A-5Д49	6.035	4.500	214	16,05	10,70	4,07	382
2TE10M	10Д100	5.900	4.400	226	15,82	10,62	4,07	403
TEII60	11Д45	2.950	2200	236	16,05	10,62	3,84	421
TEII70	2A-5Д49	3.420	2550	211	15,83	10,55	4,01	377
2M62	14Д40	3.943	2.940	231	13,40	9,01	3,23	412

Fonte: Adaptado IPCC (2006)



An aerial photograph of a cityscape. In the foreground, a multi-lane highway runs parallel to a river. The highway has several lanes of traffic, including cars and trucks. To the right of the highway is a railway track. The background features several tall buildings, including a prominent white one with many windows. The sky is clear and blue.

# PARTE IV

## TRANSPORTE RODOVIÁRIO

## **Ficha Técnica**

### **Coordenação da Parceria CETESB / IMT**

João Wagner Silva Alves  
Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

### **Elaboração**

Instituto Mauá de Tecnologia – IMT  
Érica Marie Tachibana  
Gabriela Sá Leitão de Mello  
Roberto de Aguiar Peixoto

### **Revisão Técnica**

Bruna Patrícia de Oliveira  
Cristiane Dias  
João Wagner Silva Alves  
Marcelo Pereira Bales  
Mariana Rezende Ayrosa  
Vanderlei Borsari

### **Colaboração**

Instituto de Energia e Meio Ambiente – IEMA  
Bruna Patrícia de Oliveira  
Calvin Stefan Iost  
Camila Bernardo de Faria  
Daniel Soler Huet  
Denise Soletto  
Francisco do Espírito Santo Filho  
Gabriela Pacheco Rotondaro  
Gisele dos Anjos Passareli  
Ligia Prangutti Orlandi  
Mariana Pedrosa Gonzalez  
Matheus Fernando Kelson Batinga de Mendonça  
Natacha Nogueira Britschka  
Omar de Almeida Cardoso  
Renata Monteiro Siqueira

Esse Relatório de Referência é produto da parceria entre a CETESB e o Instituto Mauá de Tecnologia, com recursos do contrato entre a Embaixada Britânica e a CETESB, para apoiar o “Projeto Apoio à Política Climática do Estado de São Paulo”.

# SUMÁRIO

<b>PARTE IV – Transporte Rodoviário</b>	<b>117</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>125</b>
<b>2 Método</b>	<b>126</b>
2.1 Emissões de CO <sub>2</sub>	126
2.2 Emissões de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O	126
2.3 Emissões dos GEE Indiretos: NMVOC, CO e NOx	127
2.4 Segregação dos Tipos de Veículos	128
2.5 Determinação de Fatores de Emissão	128
2.5.1 CO <sub>2</sub>	128
2.5.2 GEE não CO <sub>2</sub>	128
2.6 Determinação da Frota de Veículos	130
2.7 Desagregação dos Veículos Leves	131
2.7.1 Veículos Flex Fuel	131
2.8 Tecnologia de Controle de Poluição	132
2.9 Desagregação da Frota de Ônibus	132
2.10 Desagregação dos Caminhões por Peso Bruto Total (PBT)	132
2.11 Biocombustíveis	133
2.12 Veículos Convertidos a GNV	133
2.13 Ajuste da Intensidade de Uso	133
2.14 Adequação das Grandezas	134
<b>3 Dados</b>	<b>135</b>
3.1 Consumo de Combustível no Estado de São Paulo	135
3.2 Fatores de Emissão	136
3.2.1 CO <sub>2</sub>	136
3.2.2 GEE não CO <sub>2</sub> e Poluentes	137
3.3 Veículos Novos Licenciados	144
3.4 Intensidade de Uso Preliminar	146
3.5 Autonomia dos Veículos	148
3.6 Adequação de Grandezas	149
<b>4 Resultados e Discussão</b>	<b>150</b>
4.1 Emissões de CO <sub>2</sub>	150

4.2 Emissões de CH <sub>4</sub> .....	153
4.3 Emissões de N <sub>2</sub> O .....	154
4.4 Emissões de CO .....	157
4.5 Emissões de NO <sub>x</sub> .....	159
4.6 Emissões de NMVOC.....	161
<b>5 Conclusões e Recomendações.....</b>	<b>164</b>
<b>Referências .....</b>	<b>165</b>

## TABELAS

Tabela 1	Constantes da Taxa de Sobrevivência para Veículos Leves .....	130
Tabela 2	Constantes da Taxa de Sobrevivência para Veículos Pesados .....	130
Tabela 3	Taxa Anual de Sucateamento de Motocicletas .....	131
Tabela 4	Proporção de Veículos Leves com Conversor Catalítico .....	132
Tabela 5	Categorias de Desagregação dos Caminhões por PBT .....	133
Tabela 6	Consumo de Combustível no Estado de São Paulo .....	135
Tabela 7	Dados para o Cálculo dos Fatores de Emissão de CO <sub>2</sub> .....	136
Tabela 8	Fatores de Emissão de CO <sub>2</sub> Baseados no Teor de Carbono .....	136
Tabela 9	Fatores de Emissão Zero-km de CO, HC e NOx para Automóveis e Comerciais Leves do Ciclo Otto .....	137
Tabela 11	Fatores de Emissão Zero-km de CH <sub>4</sub> e NMHC <sub>escap</sub> para Automóveis e Comerciais Leves do Ciclo Otto .....	138
Tabela 10	Proporção entre CH <sub>4</sub> e HC para Veículos Leves e Motocicletas .....	138
Tabela 12	Emissões Evaporativas para Automóveis e Comerciais Leves do Ciclo Otto .....	139
Tabela 13	Fatores de Emissão de N <sub>2</sub> O para Veículos a Etanol e GNV .....	139
Tabela 14	Fatores de Emissão de N <sub>2</sub> O para Veículos a Gasolina com Conversor Catalítico e sem Conversor Catalítico .....	140
Tabela 15	Fatores de Emissão de CH <sub>4</sub> , CO, NOx E NMVOC para Veículos a GNV .....	140
Tabela 16	Fatores de Emissão de N <sub>2</sub> O após Conversão de Unidade .....	140
Tabela 17	Incremento por Deterioração do Veículo .....	141
Tabela 18	Fatores de Emissão de HC, CO e NOx para Motocicletas .....	141
Tabela 19	Fatores de Emissão de CH <sub>4</sub> e NMVOC para Motocicletas .....	141
Tabela 20	Fases do PROCONVE para Ônibus .....	141
Tabela 21	Fases do PROCONVE para Comerciais Leves e Caminhões .....	142
Tabela 22	Fatores de Emissão de HC, CO e NOx para Veículos Pesados a Diesel .....	142
Tabela 23	Fatores de Emissão de HC, CO e NOx para Comercial Leve a Diesel após Adequação de Grandezas .....	142
Tabela 24	Fatores de Emissão de HC, CO e NOx para Ônibus após Adequação de Grandezas .....	143
Tabela 25	Fatores de Emissão de HC, CO e NOx para Caminhão após Adequação de Grandezas .....	143
Tabela 26	Fatores de Emissão de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O para Veículos a Diesel .....	143
Tabela 27	Veículos Novos Licenciados no Estado de São Paulo de 1980 a 2008 .....	144
Tabela 28	Veículos Novos Licenciados por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo de 2005 a 2009 .....	145
Tabela 29	Proporção de Caminhões Novos Licenciados por PBT .....	145
Tabela 30	Motocicletas Novas Licenciadas no Brasil de 1975 a 2009 .....	145
Tabela 31	Proporção de Motocicletas Novas Licenciadas no Estado de São Paulo em Relação ao Brasil de 2000 a 2009 .....	146
Tabela 32	Intensidade de Uso dos Veículos .....	146
Tabela 33	Autonomia dos Veículos Leves e Motocicletas Novos .....	148
Tabela 34	Autonomia dos Veículos Pesados Novos para o Período de 1957 a 2008 .....	149

Tabela 35	Dados para Adequação das Grandezas .....	149
Tabela 36	Fatores de Conversão .....	149
Tabela 37	Consumo Específico de Diesel por Fase do PROCONVE .....	149
Tabela 38	Emissões de CO <sub>2</sub> do Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008 .....	150
Tabela 39	Emissões de CH <sub>4</sub> do Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008 .....	153
Tabela 40	Emissões de N <sub>2</sub> O do Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo , de 1990 a 2008 .....	155
Tabela 41	Emissões Totais de GEE .....	157
Tabela 42	Emissões de CO do Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo , de 1990 a 2008 .....	158
Tabela 43	Emissões de NOx do Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008 .....	160
Tabela 44	Emissões de NMVOC do Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008 .....	162

## GRÁFICOS

Gráfico 1	Taxas de Sobrevivência por Tipo de Veículo .....	131
Gráfico 2	Fração da Frota de Veículos Flex que Utilizam Etanol Hidratado como Combustível em Função do Preço do Combustível (%) .....	132
Gráfico 3	Emissões de CO <sub>2</sub> por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo de 1990 a 2008 .....	152
Gráfico 4	Emissões de CO <sub>2</sub> por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo de 1990 a 2008 .....	152
Gráfico 5	Emissões de CH <sub>4</sub> por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008 .....	154
Gráfico 6	Emissões de CH <sub>4</sub> por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo , de 1990 a 2008 .....	154
Gráfico 7	Emissões de N <sub>2</sub> O por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo , de 1990 a 2008 .....	156
Gráfico 8	Emissões de N <sub>2</sub> O por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo , de 1990 a 2008 .....	156
Gráfico 9	Emissões de CO por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo , de 1990 a 2008 .....	159
Gráfico 10	Emissões de CO por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo , de 1990 a 2008 .....	159
Gráfico 11	Emissões de NOx por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008 .....	161
Gráfico 12	Emissões de NOx por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008 .....	161
Gráfico 13	Emissões de NMVOC por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008 .....	163
Gráfico 14	Emissões de NMVOC por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008 .....	163
Gráfico 15	Emissões de GEE do Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo em 2005 .....	164

## EQUAÇÕES

Equação 1	Combustível Consumido por Tipo de Veículo e Combustível .....	126
Equação 2	Estimativa da Emissão de CO <sub>2</sub> .....	126
Equação 3	Estimativa da Emissão de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O .....	126
Equação 4	Estimativa da Emissão de NMVOC .....	127
Equação 5	Estimativa da Emissão de NMVOC <sub>evap</sub> .....	127

Equação 6 Número de Viagens .....	127
Equação 7 Fator de Emissão de CO <sub>2</sub> .....	128
Equação 8 Fatores de Emissão de NMHC <sub>escap</sub> .....	128
Equação 9 Fator de Emissão com Deterioração.....	129
Equação 10 Coeficiente Angular .....	129
Equação 11 Estimativa da Frota Circulante.....	130
Equação 12 Taxa de Sobrevivência para Veículos Leves.....	130
Equação 13 Taxa de Sobrevivência para Veículos Pesados.....	130
Equação 14 Estimativa da Emissão de GNV .....	133
Equação 15 Consumo de Combustível Estimado .....	133
Equação 16 Ajuste do Consumo de Combustível.....	133
Equação 17 Intensidade de Uso Ajustada .....	134
Equação 18 Conversão do Consumo de Combustível de kcal para litros .....	134
Equação 19 Conversão do Fator de Emissão de g.kg <sup>-1</sup> para g.km <sup>-1</sup> .....	134
Equação 20 Conversão dos Fatores de Emissão de g.(kWh) <sup>-1</sup> para g.km <sup>-1</sup> .....	134



## 1 Introdução

O transporte rodoviário, subsetor objeto da estimativa das emissões de gases de efeito estufa (GEE) deste relatório, inclui todos os tipos de veículos equipados com motor a combustão passíveis de licenciamento para circular nas vias públicas: automóveis, motocicletas, caminhões e ônibus. Não fazem parte do escopo as máquinas e equipamentos de construção, agrícolas e de uso especial.

Tais veículos operam basicamente com os seguintes combustíveis, que foram considerados no cálculo das emissões: gasolina, etanol e gás natural veicular (GNV) nos automóveis, gasolina nas motocicletas e diesel nos caminhões e ônibus. Os veículos que operam com combustíveis diferentes dos listados acima não foram contabilizados por serem considerados pouco significativos.

A frota circulante no Estado de São Paulo em 2008 foi estimada em 11.395.630 veículos, divididos em 7.747.284 automóveis, 1.170.386 comerciais leves, 2.023.713 motocicletas, 364.227 caminhões e 90.020 ônibus. Tal frota tem características de emissão delineadas pelo PROCONVE, Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, implementado no Brasil em 1986 e que resultou na redução média de mais de 94% da emissão de poluentes regulamentados dos veículos leves novos de 2007, em relação ao início do programa (CETESB, 2008). Basicamente, os fatores de emissão de poluentes utilizados para as estimativas deste relatório foram obtidos a partir de resultados de ensaios efetuados para atendimento ao PROCONVE.

Os GEE inventariados neste subsetor são os chamados diretos: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ); e indiretos: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e os compostos orgânicos voláteis não metanos (NMVOC). O método empregado neste relatório foi o mesmo adotado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (BRASIL, 2011), acatando-se algumas premissas e alguns fatores de emissão apresentados no Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 1996) e Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2000a).

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2006), as emissões de  $\text{CO}_2$  dos biocombustíveis não devem ser contabilizadas no total de emissões do Setor de Transporte por serem consideradas carbono neutro. Porém, devem ser reportadas separadamente, com fins informativos, para evitar a dupla contagem, pois estas devem ser tratadas no Setor de Agropecuária. Isto inclui a parcela de 22% de etanol anidro (AEAC) que compõe a chamada "gasolina C", a parcela estimada em 2,5% de biodiesel misturado ao diesel no ano de 2008 e todas as emissões originadas do etanol hidratado (AEHC).

## 2 Método

Para o cálculo das estimativas das emissões de GEE e poluentes provenientes do transporte rodoviário, foram utilizados os métodos apresentados no Revised 1996 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 1996), no *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2000a) e no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (BRASIL, 2011). O 2006 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2006) também foi utilizado como referência, pois trata da questão dos biocombustíveis.

### 2.1 Emissões de CO<sub>2</sub>

Para a estimativa das emissões de CO<sub>2</sub> do Subsetor de Transporte Rodoviário, aplicou-se o Tier 2<sup>1</sup>, de acordo com o *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2000a).

O Tier 2, ou abordagem *bottom-up*<sup>2</sup>, determina duas etapas para se estimar a emissão de CO<sub>2</sub>. Primeiramente, estima-se o combustível consumido por tipo de veículo e combustível, conforme apresentado na Equação 1.

**Equação 1** Combustível Consumido por Tipo de Veículo e Combustível

$$C_{ij} = F_{ij} \cdot d_{ajustij} \cdot q_{ij}$$

onde:

i	Tipo de veículo	[adimensional]
j	Tipo de combustível	[adimensional]
C	Combustível consumido	[L <sub>combustível</sub> ]
F	Frota de veículos	[veículos]
d <sub>ajust</sub>	Intensidade de uso ajustada	[km.veículo <sup>-1</sup> ]
q	Consumo médio de combustível por km rodado <sup>3</sup>	[L <sub>combustível</sub> .km <sup>-1</sup> ]

Em seguida, o total de CO<sub>2</sub> emitido é estimado multiplicando-se o combustível consumido por um fator de emissão apropriado para cada tipo de veículo e combustível (Equação 2).

**Equação 2** Estimativa da Emissão de CO<sub>2</sub>

$$E_{CO_2} = \sum_i \sum_j FE_{ij} \cdot C_{ij}$$

onde:

E <sub>CO<sub>2</sub></sub>	Emissão de CO <sub>2</sub>	[g <sub>CO<sub>2</sub></sub> ]
FE	Fator de emissão	[g <sub>CO<sub>2</sub></sub> .(L <sub>combustível</sub> ) <sup>-1</sup> ]
C	Combustível consumido	[L <sub>combustível</sub> ]
i	Tipo de veículo	[adimensional]
j	Tipo de combustível	[adimensional]

### 2.2 Emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O

As emissões de CH<sub>4</sub> e de N<sub>2</sub>O requerem um maior grau de detalhamento, pois os fatores de emissão dependem do tipo de tecnologia de controle de poluição do veículo, do combustível utilizado e das características de operação (IPCC, 2000a), informações nem sempre disponíveis.

Para estimar as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, optou-se por aplicar o Tier 3 (Equação 3), que estima as emissões a partir de dados de atividade que variam conforme o tipo de veículo, combustível e tecnologia empregada.

**Equação 3** Estimativa da Emissão de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O

$$E = \sum_i \sum_j \sum_k FE_{ijk} \cdot F_{ijk} \cdot d_{ajustij}$$

onde:

1 Grau de rigor do método adotado para estimar as emissões de GEE ou poluentes.

2 Estimativa de emissões de GEE ou poluentes através da utilização de dados mais específicos no intuito de obter as emissões totais de forma mais detalhada.

3 O consumo médio de combustível por km rodado (q) é inversamente proporcional à autonomia dos veículos, que é dada em km/L.

i	Tipo de veículo	[adimensional]
j	Tipo de combustível	[adimensional]
k	Tipo de tecnologia de controle de poluição	[adimensional]
E	Emissão de GEE	[g <sub>GEE</sub> ]
FE	Fator de emissão	[g <sub>GEE</sub> ·km <sup>-1</sup> ]
F	Frota de veículos	[veículos]
d <sub>ajust</sub>	Intensidade de uso ajustada	[km.veículo <sup>-1</sup> ]

O índice referente ao tipo de tecnologia de controle de poluição foi considerado apenas para os automóveis e comerciais leves do Ciclo Otto. Para as motocicletas, comerciais leves do Ciclo Diesel, caminhões e ônibus não foi feita essa diferenciação, ou seja, para esses veículos o índice referente ao tipo de tecnologia de controle de poluição foi desconsiderado.

Para as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O provenientes da combustão de biocombustíveis, é recomendado que sejam utilizados fatores de emissão específicos e que sejam reportadas nas emissões totais (IPCC, 2006).

### 2.3 Emissões dos GEE Indiretos: NMVOC, CO e NOx

Para estimar as emissões de NMVOC<sup>4</sup> utilizou-se o método apresentado pelo MMA (BRASIL, 2011), conforme a Equação 4.

**Equação 4** Estimativa da Emissão de NMVOC

$$NMVOC = NMHC_{escap} + NMVOC_{evap}$$

onde:

NMVOC	Emissão total de NMVOC	[g <sub>NMVOC</sub> ]
NMH <sub>Cescap</sub>	Emissão de NMHC do escapamento	[g <sub>NMH<sub>Cescap</sub></sub> ]
NMVOC <sub>evap</sub>	Emissão de NMVOC evaporativa	[g <sub>NMVOC<sub>evap</sub></sub> ]

Deve-se destacar que a emissão total de NMVOC é formada pela soma das emissões de hidrocarbonetos não metanos (NMHC) que saem pelo escapamento do veículo; e das emissões evaporativas de NMVOC.

As emissões referentes aos NMVOC<sub>evap</sub> foram estimadas de acordo com o método utilizado pelo MMA (BRASIL, 2011), conforme a Equação 5.

**Equação 5** Estimativa da Emissão de NMVOC<sub>evap</sub>

$$NMVOC_{evap} = (D \cdot e_d + V \cdot (e_s + e_r)) \cdot F$$

onde:

NMVOC <sub>evap</sub>	Emissão de NMVOC evaporativa	[g <sub>NMVOC<sub>evap</sub></sub> ]
D	Número de dias de emissões evaporativas por veículo	[dia.veículo <sup>-1</sup> ]
e <sub>d</sub>	Emissão evaporativa durante o dia	[g.dia <sup>-1</sup> ]
V	Viagens por veículo	[viagem.veículo <sup>-1</sup> ]
e <sub>s</sub>	Emissão evaporativa na partida	[g.viagem <sup>-1</sup> ]
e <sub>r</sub>	Emissão evaporativa em movimento	[g.viagem <sup>-1</sup> ]
F	Frota de veículos	[veículos]

Uma vez que uma viagem equivale a 8 km percorridos, a quantidade de viagens foi obtida conforme a Equação 6.

**Equação 6** Número de Viagens

$$V = \frac{d_{ajust}}{8}$$

onde:

V	Viagens por veículo	[viagem.veículo <sup>-1</sup> ]
d <sub>ajust</sub>	Distância anual percorrida ajustada	[km.veículo <sup>-1</sup> ]
8	Equivalência de 1 viagem em km	[km.viagem <sup>-1</sup> ]

4 Apesar das estimativas das emissões de NMVOC terem sido baseadas no método apresentado pelo MMA (BRASIL, 2011), que considera essas emissões como NMHC<sub>total</sub>, optou-se por manter a nomenclatura NMVOC, utilizada pelo IPCC (1996). Os métodos do IPCC sugerem a realização de estimativas de emissões de NMVOC. Neste documento considera-se que NMVOC (Non-Methane Volatile Organic Compounds) é igual a VOC (Volatile Organic Compounds) pois, os VOC são precursores de gases de efeito estufa e o metano (CH<sub>4</sub>) é um gás de efeito estufa pouco reativo. A especificação NM representa apenas uma garantia de que as substâncias estimadas são somente os precursores, pois o metano é reportado separadamente. Esse método foi aplicado apenas para estimar as emissões de NMVOC de automóveis comerciais leve do Ciclo Otto, devido a falta de informações mais detalhadas para os outros tipos de veículos.

Para estimar as emissões de  $NMHC_{\text{escap}}$ , CO e NOx, empregou-se o mesmo método utilizado para estimar as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, conforme a Equação 3.

## 2.4 Segregação dos Tipos de Veículos

Para estimar as emissões de GEE e poluentes do Subsetor de Transporte Rodoviário, os veículos foram classificados em: leves, veículos com Peso Bruto Total (PBT) inferior a 3,5 t; pesados, com PBT superior a 3,5 t; e motocicletas. Os veículos leves foram subdivididos em automóveis e comerciais leves do Ciclo Otto e os veículos pesados foram subdivididos em ônibus, caminhões e comerciais leves do Ciclo Diesel.

## 2.5 Determinação de Fatores de Emissão

### 2.5.1 CO<sub>2</sub>

Para obter o fator de emissão do CO<sub>2</sub>, utilizou-se o método adaptado do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem Top-Down (BRASIL, 2006a). Esse método calcula o fator de emissão em função da quantidade de carbono contida no combustível por unidade de energia, densidade energética, porcentagem de oxidação do carbono e balanço de massa (Equação 7).

**Equação 7** Fator de Emissão de CO<sub>2</sub>

$$FE = d_{\text{energ}} \cdot 10^{-3} \cdot FC \cdot IC \cdot Ox \cdot \frac{44}{12}$$

onde:

FE	Fator de emissão	[kg <sub>CO2</sub> ·(L <sub>combustível</sub> ) <sup>-1</sup> ]
d <sub>energ</sub>	Densidade energética do combustível	[tep·(m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> ]
10 <sup>-3</sup>	Fator de adequação das grandezas	[m <sup>3</sup> ·L <sup>-1</sup> ]

FC	Fator de conversão de 10 <sup>3</sup> tep para TJ	[TJ·(10 <sup>3</sup> tep) <sup>-1</sup> ]
IC	Intensidade de carbono do combustível	[tC·(TJ) <sup>-1</sup> ]
Ox	Porcentagem de oxidação de carbono	[%]
44/12	Balanço de massa de C para CO <sub>2</sub>	[kg <sub>CO2</sub> ·(kgC) <sup>-1</sup> ]

### 2.5.2 GEE não CO<sub>2</sub>

#### Veículos Leves e Motocicletas

Foram adotados os fatores de emissão médios publicados no Relatório de Qualidade do Ar de 2009 (CETESB, 2010) para os seguintes gases: CO, HC e NOx.

Para o CH<sub>4</sub> aplicou-se a proporção apresentada por Borsari (2005), que relaciona a emissão de CH<sub>4</sub> e hidrocarbonetos totais (HC) para veículos leves com conversor catalítico. Para veículos sem conversor catalítico e motocicletas, adotou-se a proporção de 15% CH<sub>4</sub>/HC, conforme MMA (BRASIL, 2011).

Os fatores de emissão de N<sub>2</sub>O, para veículos a etanol ou GNV, fabricados com conversor catalítico, são os propostos por Borsari (2009). Para os veículos a gasolina e veículos sem conversor catalítico, foram utilizados os fatores de emissão do IPCC (2000a).

Para estimar as emissões de NMVOC para automóveis e veículos comerciais leves do Ciclo Otto, necessitou-se dos fatores de emissão de NMHC<sub>escap</sub> e de NMVOC<sub>evap</sub>, conforme apresentado anteriormente na Equação 4.

Os fatores de emissão de NMHC<sub>escap</sub><sup>5</sup>, foram obtidos a partir dos fatores de emissão de HC da CETESB (2010) e MMA (BRASIL, 2011), conforme apresentado na Equação 8.

**Equação 8** Fatores de Emissão de NMHC<sub>escap</sub>

$$HC = NMHC_{\text{escap}} + CH_4$$

5 Em alguns casos como, por exemplo, para motocicletas, considerou-se o fator de emissão de NMVOC sendo referente apenas às emissões de escapamento (NMHC<sub>escap</sub>)

onde:

HC	Fator de emissão de hidrocarbonetos totais	[g.km <sup>-1</sup> ]
NMHC <sub>escap</sub>	Fator de emissão de hidrocarbonetos não metanos	[g.km <sup>-1</sup> ]
CH <sub>4</sub>	Fator de emissão de CH <sub>4</sub>	[g.km <sup>-1</sup> ]

Os fatores de emissão de NMVOC<sub>evap</sub> foram calculados utilizando-se as informações apresentadas no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários do MMA (BRASIL, 2011).

Para estimar as emissões de NMVOC de motocicletas e veículos leves a GNV foram consideradas apenas as emissões de escapamentos, utilizando-se os fatores de emissão da CETESB, obtidos da mesma forma que o NMHC<sub>escap</sub><sup>6</sup> de automóveis e comerciais leves do Ciclo Otto (Equação 8).

### Deterioração dos Veículos

Em relação aos automóveis e comerciais leves do Ciclo Otto, para os gases CO, NOx e NMHC<sub>escap</sub> foi considerado um incremento nos fatores de emissão devido à deterioração desses veículos, conforme o inventário nacional publicado pelo MMA (BRASIL, 2011). Para os veículos com conversor catalítico, adicionou-se ao fator de emissão de veículos zero-km, um incremento a cada 80.000 km percorridos.

Para os veículos sem conversor catalítico<sup>7</sup>, considerou-se que ao atingir 160.000 km rodados, o fator de emissão zero-km apresenta um incremento de 20% do seu valor inicial para o CO e NMHC, e que após atingir os 160.000 km o fator de emissão permaneça constante. Para o NOx emitido por veículos sem conversor catalítico foi considerado que não há deterioração.

Em ambos os casos, considerou-se que os veículos apresentavam uma deterioração linear ao longo dos quilômetros percorridos. Dessa forma, pode-se obter a equação de 1º grau que fornece o incremento por deterioração para cada gás de acordo com o tipo de veículo, tipo de combustível e ano de fabricação do veículo. Então, para cada ano, calculou-se a quilometragem acumulada para cada veículo e acrescentou-se aos fatores de emissão um incremento por deterioração, conforme a Equação 9.

#### Equação 9 Fator de Emissão com Deterioração

$$Det = a \cdot km_{acum} + b$$

onde:

Det	Fator de emissão com deterioração	[g.km <sup>-1</sup> ]
A	Coefficiente angular	[g.(km <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ]
km <sub>acum</sub>	Quilometragem acumulada	[km]
B	Coefficiente linear	[g.km <sup>-1</sup> ]

Os coeficientes a e b são calculados para cada tipo de combustível e ano de fabricação do veículo. O coeficiente angular (a) é obtido conforme a Equação 10 e o coeficiente linear (b) é dado pelo fator de emissão zero-km.

#### Equação 10 Coeficiente Angular

$$a = \frac{FE_{zero-km} + I_{80.000}}{80.000}$$

onde:

a	Coefficiente angular	[g.(km <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ]
FE <sub>zero-km</sub>	Fator de emissão zero-km	[g <sub>GEE</sub> .km <sup>-1</sup> ]
I	Incremento por deterioração do veículo	[g <sub>GEE</sub> .km <sup>-1</sup> ]
80.000	Quilometragem percorrida	[km]

6 Cabe ressaltar mais uma vez que para este inventário optou-se por adotar a nomenclatura NMVOC ao invés de NMHC-total, adotado pelo MMA (BRASIL, 2011); considerando-se essa diferença apenas uma questão de nomenclatura.

7 Sabendo-se que o conversor catalítico foi introduzido no mercado brasileiro a partir de 1992 e que em 1997 todos os veículos novos fabricados possuíam essa tecnologia de controle de poluição, optou-se por adotar a premissa de que veículos fabricados anteriormente a 1994 não possuíam conversor catalítico e que veículos fabricados a partir de 1994 possuíam essa tecnologia, conforme MMA (BRASIL, 2011).

## Veículos Pesados

Para os veículos pesados a diesel, foram adotados os fatores de emissão determinados pela CETESB (2010), em  $g.(kWh)^{-1}$ , para CO, THC e NOx. Esses fatores de emissão são dados de acordo com as fases do PROCONVE<sup>8</sup> para veículos pesados. Dessa forma, esses fatores foram aplicados adotando-se as proporções das fases do PROCONVE que estavam em vigor em cada ano.

Para o CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, foram utilizados os valores default do IPCC (1996) para veículos europeus. Para esses fatores de emissão default, adotou-se que os comerciais leves enquadravam-se na categoria light-duty diesel truck e os caminhões leves, médios, pesados e ônibus enquadravam-se na categoria heavy-duty diesel vehicles, seguindo-se a descrição em relação ao PBT apresentada pelo IPCC (1996).

Para estimar as emissões de NMVOC dos veículos pesados, calculou-se primeiramente a emissão de HC no escapamento, utilizando-se os fatores de emissão de HC da CETESB (2010), e subtraiu-se desse montante a emissão estimada de CH<sub>4</sub>.

## 2.6 Determinação da Frota de Veículos

Para determinar a frota de veículos circulante no Estado de São Paulo, aplicou-se aos veículos novos licenciados anualmente uma taxa de sobrevivência em função da sua idade. A Equação 11 demonstra como foi determinada a frota de veículos do Estado de São Paulo.

**Equação 11** Estimativa da Frota Circulante

$$F_j = \sum_{n=j}^{j-50} V_n \cdot S_{(t)}$$

onde:

F <sub>j</sub>	Frota circulante no ano j	[veículos]
V <sub>n</sub>	Veículos novos licenciados no ano n	[veículos]

St	Taxa de Sobrevivência de Veículos com idade t	[%]
----	---	-----

Para cada tipo de veículo foi aplicada uma taxa de sobrevivência correspondente. A Equação 12 apresenta a taxa de sobrevivência apresentada pelo IPCC em 2006 para automóveis e comerciais leves do Ciclo Otto.

**Equação 12** Taxa de Sobrevivência para Veículos Leves

$$S_{(t)} = 1 - e^{-(a+(b \cdot t))}$$

Onde t é a idade do veículo e a e b são constantes que dependem do tipo de veículo, conforme mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1** Constantes da Taxa de Sobrevivência para Veículos Leves

Tipo de Veículo	a	b
Automóveis	1,798	-0,137
Comerciais Leves Otto	1,618	-0,141

Fonte: Brasil (2006b).

A taxa de sobrevivência aplicada para estimar a frota dos comerciais leves do Ciclo Diesel, ônibus e caminhões, foi a mesma utilizada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) (BRASIL, 2006b), apresentada na Equação 13.

**Equação 13** Taxa de Sobrevivência para Veículos Pesados

$$S(t) = \frac{1}{(1 + e^{a \cdot (t+t_0)})} + \frac{1}{(1 + e^{a \cdot (t+t_0)})}$$

Onde t é a idade do veículo e a e t<sub>0</sub> são constantes que dependem do tipo de veículo, conforme mostrado na Tabela 2.

**Tabela 2** Constantes da Taxa de Sobrevivência para Veículos Pesados

Tipo de Veículo	a	t <sub>0</sub>
Comercial Leve - Diesel	0,17	15,3
Ônibus	0,16	19,1
Caminhões	0,10	17,0

Fonte: Adaptado Brasil (2006b)

<sup>8</sup> As fases do PROCONVE para veículos pesados regulamentam os limites máximos de emissões de poluentes, como CO, HC, NOx, entre outros.

Para determinar a frota circulante de motocicletas, adotou-se o estudo feito pelo Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (SINDIPEÇAS, 2008), que considera o sucateamento de motocicletas equipadas com motor com deslocamento volumétrico de até 200 cilindradas<sup>9</sup>, conforme apresentado na Tabela 3. Neste caso, essa informação de sucateamento de motocicletas de até 200 cilindradas foi extrapolada para toda a frota de motocicletas, que inclui motocicletas com deslocamento volumétrico superior a 200 cilindradas.

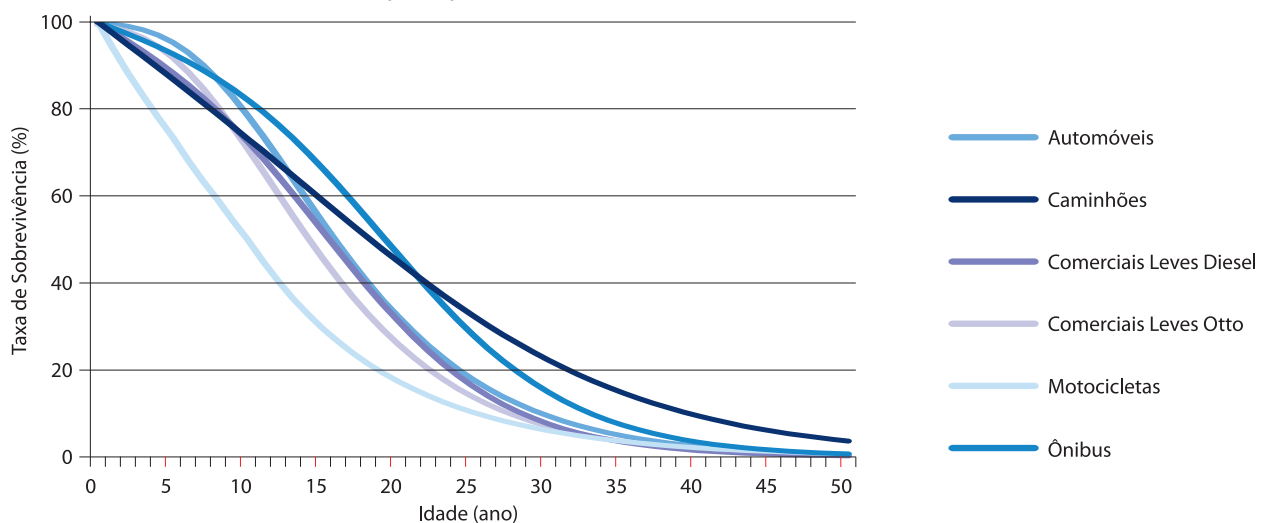
**Tabela 3** Taxa Anual de Sucateamento de Motocicletas

Idade da Motocicleta	Motocicletas Sucateadas Anualmente
	[%]
Até 5 anos	6
6 a 8 anos	7
9 a 10 anos	8
Mais de 11 anos	10

Fonte: SINDIPEÇAS (2008)

A seguir, no Gráfico 1, são apresentadas as taxas de sobrevivência utilizadas neste inventário por tipo de veículo e em função da idade dos mesmos.

**Gráfico 1** Taxas de Sobrevivência por Tipo de Veículo



9 A cilindrada corresponde ao deslocamento do volume durante o ciclo de um motor

## 2.7 Desagregação dos Veículos Leves

Para o período de 2005 a 2009, foram empregados dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) de veículos licenciados no Estado de São Paulo por tipo de combustível, verificando-se para esse período uma compatibilidade, em porcentagem, dos dados de veículos leves utilizados no inventário nacional de acordo com o tipo de combustível, conforme MMA (BRASIL, 2011). Dessa forma, decidiu-se aplicar para o Estado de São Paulo a mesma proporção de veículos leves por tipo de combustível do inventário nacional para os demais anos.

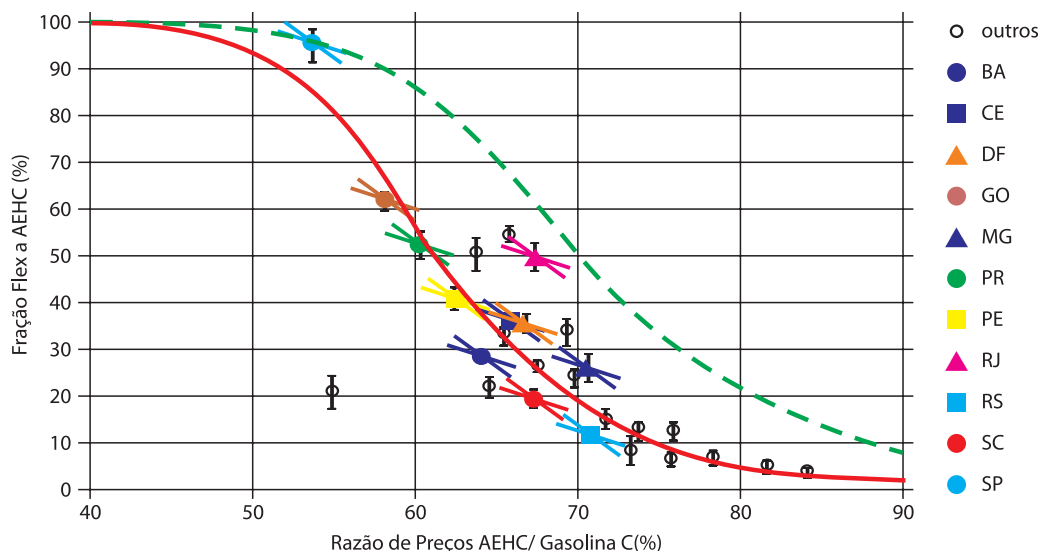
### 2.7.1 Veículos Flex Fuel

De acordo com os dados de licenciamento de automóveis novos obtidos através da ANFAVEA, os veículos flex entraram no mercado brasileiro a partir de 2003. Para determinar a quantidade de veículos flex que rodam com etanol e com gasolina, adotou-se a proporção apresentada por Goldemberg, Nigro e Coelho (2008) para o Estado de São Paulo, a qual varia em função do preço dos combustíveis. Os preços desses combustíveis para o Estado de São Paulo, no período de

2003 a 2008, são apresentados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2009).

A seguir, o Gráfico 2 apresenta a fração da frota de veículos flex que utilizam etanol hidratado como combustível em função da razão dos preços entre etanol hidratado e gasolina C.

**Gráfico 2** Fração da Frota de Veículos Flex que Utilizam Etanol Hidratado como Combustível em Função do Preço do Combustível (%)



Fonte: Goldemberg; Nigro; Coelho (2008)

## 2.8 Tecnologia de Controle de Poluição

Com base no período de introdução do conversor catalítico no mercado brasileiro, no licenciamento de veículos leves das marcas automotivas representativas no mercado, bem como nas tecnologias de controle de poluição adotadas por essas marcas, foram adotadas as proporções apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4** Proporção de Veículos Leves com Conversor Catalítico

Ano de Fabricação dos Veículos	Veículos com Conversor Catalítico	Veículos sem Conversor Catalítico
	[%]	
Pré-1994	0	100
A partir de 1994	100	0

Fonte: Brasil (2011).

## 2.9 Desagregação da Frota de Ônibus

A inexistência de informações sobre a participação dos ônibus rodoviários na frota do Estado de São Paulo fez com que fossem adotadas as mesmas proporções utilizadas no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (BRASIL, 2011), o qual segue a seguinte divisão: 10% dos ônibus novos licenciados por ano são ônibus rodoviários e 90% são urbanos.

## 2.10 Desagregação dos Caminhões por Peso Bruto Total (PBT)

Os caminhões foram desagregados em três categorias em relação ao PBT, seguindo a classificação adotada pelo MMA (BRASIL, 2011). Essas categorias são apresentadas na Tabela 5.

Devido à indisponibilidade de informações de vendas de caminhões novos por PBT no Estado de São Paulo para o período de estudo,

**Tabela 5** Categorias de Desagregação dos Caminhões por PBT

Categoria	Descrição
Caminhões Leves	3,5 t < PBT < 10 t
Caminhões Médios	10 t < PBT < 15 t
Caminhões Pesados	PBT > 15 t

Fonte: Brasil, 2011

assumiu-se a mesma proporção das vendas nacionais anuais de caminhões novos desagregados por PBT. Para o período em que as informações estaduais estavam disponíveis, de 2005 a 2009, verificou-se que as proporções estaduais e nacionais são semelhantes.

## 2.11 Biocombustíveis

Os biocombustíveis considerados neste estudo foram o etanol anidro, misturado à gasolina, o etanol hidratado e o biodiesel.

Para o etanol anidro e hidratado, existem dados de consumo para o período de estudo, bem como fatores de emissão específicos para os GEE e poluentes. Porém para o biodiesel, a informação de consumo não está disponível no Balanço Energético do Estado de São Paulo (BEESP) (SÃO PAULO, 2009). Dessa forma, adotaram-se as mesmas premissas do MMA (BRASIL, 2011), em relação ao consumo de combustível, que foi uma proporção de 2,5% de biodiesel no total de diesel consumido no estado em 2008. Em relação aos fatores de emissão, adotaram-se os mesmos empregados para o diesel.

## 2.12 Veículos Convertidos a GNV

Devido à indisponibilidade de informações mais detalhadas referentes aos veículos convertidos a GNV, tais como a distribuição dos veículos convertidos por tipo, combustível e idade ou, tampouco, a frota de veículos a GNV no Estado de São Paulo, optou-se por aplicar a abordagem *top-down* para esse tipo de combustível, conforme apresentado na Equação 14.

**Equação 14** Estimativa da Emissão de GNV

$$E = FE \cdot C$$

onde:

E	Emissão de GEE ou poluente	[g <sub>gás</sub> ]
FE	Fator de emissão	[g <sub>gás</sub> ·(m <sup>3</sup> <sub>GNV</sub> ) <sup>-1</sup> ]
C	Consumo de Combustível	[m <sup>3</sup> ]

## 2.13 Ajuste da Intensidade de Uso

Os dados preliminares de intensidade de uso, ou distância média anual percorrida, utilizados para estimar as emissões de GEE e poluentes do Estado de São Paulo foram os mesmos utilizados no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (BRASIL, 2011). Como esses dados são fixos por tipo de veículo, sem considerar o tipo de combustível, foi feito um ajuste de acordo com o consumo de combustível no Estado de São Paulo, para que a intensidade de uso fosse a mais próxima da realidade do estado.

Para ajustar a intensidade de uso, aplicou-se o método apresentado pelo MMA (BRASIL, 2011). Primeiramente, estima-se o consumo de combustível de acordo com a intensidade de uso preliminar para cada tipo de veículo e combustível, conforme a Equação 15.

**Equação 15** Consumo de Combustível Estimado

$$C_{est_{ij}} = \sum F_{ijt} \cdot d_{ijt} \cdot q_{ijt}$$

onde:

C <sub>est</sub>	Consumo de combustível estimado	[L <sub>combustível</sub> ]
F	Frota de veículos	[veículos]
d	Distância anual percorrida	[km·veículo <sup>-1</sup> ]
q	Consumo médio de combustível por km rodado	[L <sub>combustível</sub> ·km <sup>-1</sup> ]
i	Tipo de veículo	[adimensional]
j	Tipo de combustível	[adimensional]
t	Idade do veículo	[anos]

A seguir obtém-se o consumo total de cada tipo de combustível, conforme descrito na Equação 16.

**Equação 16** Ajuste do Consumo de Combustível

$$C_{est_j} = \sum_i C_{est_{ij}}$$

onde:

$C_{est}$	Consumo de combustível estimado	[L <sub>combustível</sub> ]
$i$	Tipo de veículo	[adimensional]
$i$	Tipo de combustível	[adimensional]

Em seguida, ajusta-se a intensidade de uso de cada veículo, levando em consideração o tipo de combustível e a idade do veículo, como apresentado na Equação 17. Essa intensidade de uso ajustada é então aplicada na Equação 1 e na Equação 3 para se estimar as emissões dos GEE e poluentes.

**Equação 17** Intensidade de Uso Ajustada

$$d_{ajust} = d_t + \left[ d_t \cdot \left( \frac{C_{BEESP_j}}{C_{est_j}} \right) \right]$$

onde:

$d_{ajust}$	Intensidade de uso ajustada	[km.veículo <sup>-1</sup> ]
$d$	Intensidade de uso preliminar	[km.veículo <sup>-1</sup> ]
$C_{BEESP}$	Consumo de combustível do BEESP	[l]
$C_{est}$	Consumo de combustível estimado	[l]
$t$	Idade do veículo	[anos]
$j$	Tipo de combustível	[adimensional]

## 2.14 Adequação das Grandezas

Os dados de consumo de combustível do BEESP (SÃO PAULO, 2009) são apresentados em quilocaloria (kcal) e precisam ser convertidos para litros (L) de combustível. Para isto, utilizou-se o fator multiplicador apresentado no BEESP, conforme apresentado na Equação 18.

**Equação 18** Conversão do Consumo de Combustível de kcal para litros

$$C = \frac{C_{kcal}}{FM} \cdot 10^6$$

onde:

$C$	Consumo de combustível em litros	[L]
-----	----------------------------------	-----

$C_{kcal}$	Consumo de combustível em quilocaloria	[10 <sup>9</sup> kcal]
$FM$	Fator multiplicador de 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> para 10 <sup>9</sup> kcal	[10 <sup>9</sup> kcal.(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> ]
10 <sup>6</sup>	Fator de conversão de 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> para litros	[L.(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> ]

Os fatores de emissão de N<sub>2</sub>O, obtidos para veículos leves, foram disponibilizados em g de N<sub>2</sub>O por kg de combustível e precisaram ser convertidos em g de N<sub>2</sub>O por km. Essa conversão foi feita conforme a Equação 19.

**Equação 19** Conversão do Fator de Emissão de g.kg<sup>-1</sup> para g.km<sup>-1</sup>

$$FE = \frac{(FE_{g/kg} \cdot Dens)}{Aut}$$

onde:

$FE$	Fator de emissão	[g.km <sup>-1</sup> ]
$FE_{g/kg}$	Fator de emissão em g.kg <sup>-1</sup>	[g <sub>N2O</sub> .(kg <sub>combustível</sub> ) <sup>-1</sup> ]
$Dens$	Densidade do combustível	[kg.(L <sub>combustível</sub> ) <sup>-1</sup> ]
$Aut$	Autonomia do veículo	[km.(L <sub>combustível</sub> ) <sup>-1</sup> ]

Foram convertidas as grandezas dos fatores de emissão de CO e NO<sub>x</sub> para veículos pesados a diesel, de g.(kWh)<sup>-1</sup> para g.km<sup>-1</sup>, conforme a Equação 20.

**Equação 20** Conversão dos Fatores de Emissão de g.(kWh)<sup>-1</sup> para g.km<sup>-1</sup>

$$FE = \left( \frac{FE_{g/kWh}}{C_{esp}} \right) \cdot \frac{Dens}{Aut}$$

onde:

$FE$	Fator de emissão	[g <sub>poluente</sub> .km <sup>-1</sup> ]
$FE_{g/kWh}$	Fator de emissão em g.(kWh) <sup>-1</sup>	[g <sub>poluente</sub> .(kWh) <sup>-1</sup> ]
$C_{esp}$	Consumo específico de diesel	[g <sub>diesel</sub> .(kWh) <sup>-1</sup> ]
$Dens$	Densidade do diesel	[g.(L <sub>combustível</sub> ) <sup>-1</sup> ]
$Aut$	Autonomia do veículo	[km.(L <sub>combustível</sub> ) <sup>-1</sup> ]

## 3 Dados

### 3.1 Consumo de Combustível no Estado de São Paulo

A Secretaria de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo (SSE) apresenta no BEESP (SÃO PAULO, 2009) o consumo de combustível para o transporte rodoviário. Esses dados são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6** Consumo de Combustível no Estado de São Paulo

Ano	Gasolina A	Etanol Anidro	Etanol Hidratado	Diesel	GNV
	[10 <sup>9</sup> kcal]				
1990	25.124	2.475	19.694	39.217	0
1991	27.944	3.346	19.766	40.422	0
1992	28.209	3.817	18.775	41.487	24
1993	28.637	5.421	18.794	41.210	89
1994	34.620	5.983	19.468	42.951	154
1995	37.837	6.970	19.270	44.918	122
1996	44.280	7.942	19.251	50.306	105
1997	47.178	8.190	16.576	56.006	114
1998	48.004	7.735	11.592	57.210	162
1999	49.242	9.643	13.412	58.042	260
2000	45.565	7.790	9.113	60.494	519
2001	44.732	8.125	6.330	62.391	908
2002	41.990	8.529	7.755	63.924	1.614
2003	39.855	8.084	6.706	61.221	2.806
2004	40.003	8.109	10.244	63.032	3.301
2005	41.522	8.423	11.111	63.760	3.885
2006	41.694	8.555	17.403	61.759	4.631
2007	42.348	8.691	26.694	66.532	5.004
2008	41.561	8.529	34.906	72.189	4.583

Fonte: Adaptado São Paulo (2009)

## 3.2 Fatores de Emissão

### 3.2.1 CO<sub>2</sub>

Na Tabela 7, são apresentadas as informações necessárias para obter o fator de emissão de CO<sub>2</sub>, de acordo com a Equação 7, apresentada anteriormente.

**Tabela 7** Dados para o Cálculo dos Fatores de Emissão de CO<sub>2</sub>

Combustível	Densidade Energética	Intensidade de Carbono	Oxidação do Carbono	Fator de Conversão
	[10 <sup>9</sup> kcal.(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> ]	[tC.TJ <sup>-1</sup> ]	[%]	[TJ.(10 <sup>3</sup> tep) <sup>-1</sup> ]
Gasolina A	0,770	18,90	99,0	42,96
Etanol Anidro	0,534	14,81	99,0	42,96
Etanol Hidratado	0,510	14,81	99,0	42,96
Diesel	0,848	20,20	99,0	42,96
Combustível	Densidade Energética	Intensidade de Carbono	Oxidação do Carbono	Fator de Conversão
	[10 <sup>9</sup> kcal.(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> ]	[tC.TJ <sup>-1</sup> ]	[%]	[TJ.(10 <sup>3</sup> tep) <sup>-1</sup> ]
GNV	0,880	15,30	99,5	40,70

Fonte: Adaptado Brasil (2006a) e EPE (2010)

Na Tabela 8, são apresentados os fatores de emissão de CO<sub>2</sub>, obtidos empregando-se os dados apresentados na Tabela 7 e aplicando-os à Equação 7.

**Tabela 8** Fatores de Emissão de CO<sub>2</sub> Baseados no Teor de Carbono

Combustível	FE CO <sub>2</sub>	Unidade
Gasolina A	2,269	kg.(L <sub>Gasolina A</sub> ) <sup>-1</sup>
Etanol Anidro	1,233	kg.(L <sub>Etanol Anidro</sub> ) <sup>-1</sup>
Etanol Hidratado	1,178	kg.(L <sub>Etanol Hidratado</sub> ) <sup>-1</sup>
Diesel	2,671	kg.(L <sub>Diesel</sub> ) <sup>-1</sup>
GNV	1,999	kg.(m <sup>3</sup> <sub>GNV</sub> ) <sup>-1</sup>

### 3.2.2 GEE não CO<sub>2</sub> e Poluentes

#### Veículos Leves

Os fatores de emissão zero-km de CO, HC e NOx para veículos leves são apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9** Fatores de Emissão Zero-km de CO, HC e NOx para Automóveis e Comerciais Leves do Ciclo Otto

		1980 - 1983	1984 - 1985	1986 - 1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
		[g.km <sup>-1</sup> ]											
Veículos a gasolina	CO	33,000	28,000	22,000	18,500	15,200	13,300	11,500	6,200	6,300	6,000	4,700	3,800
	HC	3,000	2,400	2,000	1,700	1,600	1,400	1,300	0,600	0,600	0,600	0,600	0,400
	NOx	1,400	1,600	1,900	1,800	1,600	1,400	1,300	0,600	0,800	0,700	0,600	0,500
Veículos a etanol	CO	18,000	16,900	16,000	13,300	12,800	10,800	8,400	3,600	4,200	4,600	4,600	3,900
	HC	1,600	1,600	1,600	1,700	1,600	1,300	1,100	0,600	0,700	0,700	0,700	0,600
	NOx	1,000	1,200	1,800	1,400	1,100	1,200	1,000	0,500	0,600	0,700	0,700	0,700
Veículos flex	CO	Gasolina											
		Etanol											
	HC	Gasolina											
		Etanol											
	NOx	Gasolina											
		Etanol											
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
		[g.km <sup>-1</sup> ]											
Veículos a gasolina	CO	1,200	0,790	0,740	0,730	0,480	0,430	0,400	0,350	0,340	0,330	0,330	0,370
	HC	0,200	0,140	0,140	0,130	0,110	0,110	0,110	0,110	0,100	0,080	0,080	0,042
	NOx	0,300	0,230	0,230	0,210	0,140	0,120	0,120	0,090	0,090	0,080	0,080	0,039
Veículos a etanol	CO	0,900	0,670	0,600	0,630	0,660	0,740	0,770	0,820	0,820	0,670	nd	nd
	HC	0,300	0,190	0,170	0,180	0,150	0,160	0,160	0,170	0,170	0,120	nd	nd
	NOx	0,300	0,240	0,220	0,210	0,080	0,080	0,090	0,080	0,080	0,050	nd	nd
Veículos flex	CO	Gasolina						0,500	0,390	0,450	0,480	0,480	0,510
		Etanol						0,510	0,460	0,390	0,470	0,470	0,710
	HC	Gasolina						0,050	0,080	0,110	0,100	0,100	0,069
		Etanol						0,150	0,140	0,140	0,110	0,110	0,052
	NOx	Gasolina						0,040	0,050	0,050	0,050	0,050	0,041
		Etanol						0,140	0,140	0,100	0,070	0,070	0,048

Fonte: Adaptado CETESB (2010)

Nota: Considerou-se que os veículos Flex Fuel foram inseridos no mercado a partir de 2003.

n.d. - Não disponível

As proporções entre os dados emissão de CH<sub>4</sub> e HC, utilizadas para determinar o fator de emissão de CH<sub>4</sub> e NMHC<sub>escap</sub> para veículos leves e motocicletas, são apresentadas na Tabela 10.

**Tabela 10** Proporção entre CH<sub>4</sub> e HC para Veículos Leves e Motocicletas

Combustível	Tipo de Veículo	Proporção CH <sub>4</sub> /HC
		[%]
Gasolina C	Automóveis e comerciais leves com catalisador	24,9
	Automóveis e comerciais leves sem catalisador	15,0
	Motocicletas	15,0
Etanol	com catalisador	26,6
	sem catalisador	15,0
GNV		89,5

Fonte: Adaptado Brasil (2011)

Os fatores de emissão de CH<sub>4</sub> e NMHC<sub>escap</sub>, obtidos a partir da Equação 8 e das proporções entre CH<sub>4</sub>/HC (Tabela 10), são apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11** Fatores de Emissão Zero-km de CH<sub>4</sub> e NMHC<sub>escap</sub> para Automóveis e Comerciais Leves do Ciclo Otto

			Pré-1984	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
			[g.km <sup>-1</sup> ]												
FE CH <sub>4</sub>	Gasolina	Gasolina C	0,45	0,36	0,36	0,3	0,3	0,255	0,24	0,21	0,195	0,09	0,09	0,15	0,15
	Etanol	Etanol	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,255	0,24	0,195	0,165	0,09	0,11	0,19	0,19
	Flex	Gasolina C													
Etanol															
FE NMHC <sub>escap</sub>	Gasolina	Gasolina C	2,55	2,04	2,04	1,7	1,7	1,445	1,36	1,19	1,105	0,51	0,51	0,45	0,45
	Etanol	Etanol	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,445	1,36	1,105	0,935	0,51	0,60	0,51	0,51
	Flex	Gasolina C													
Etanol															
			1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
			[g.km <sup>-1</sup> ]												
FE CH <sub>4</sub>	Gasolina	Gasolina C	0,10	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,14
	Etanol	Etanol	0,16	0,08	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,03		
	Flex	Gasolina C									0,01	0,02	0,03	0,02	0,02
Etanol										0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02
FE NMHC <sub>escap</sub>	Gasolina	Gasolina C	0,30	0,15	0,11	0,11	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,04
	Etanol	Etanol	0,44	0,22	0,14	0,12	0,13	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,09		
	Flex	Gasolina C									0,04	0,06	0,08	0,08	0,08
Etanol										0,11	0,10	0,10	0,08	0,08	0,05

Nota: Considerou-se que os veículos Flex Fuel foram inseridos no mercado a partir de 2003

Os dados utilizados na obtenção dos fatores de emissão de NMVOCevap foram os dados de emissão evaporativa médios anuais publicados pelo MMA (BRASIL, 2011), que são apresentados na Tabela 12 a seguir:

**Tabela 12** Emissões Evaporativas para Automóveis e Comerciais Leves do Ciclo Otto

Ano de Fabricação do Veículo	Gasolina		Etanol		Flex			
	ed	er+es	ed	er+es	Gasolina C		Etanol Hidratado	
					ed	er+es	ed	er+es
[g.dia <sup>-1</sup> ]	[g.viagem <sup>-1</sup> ]	[g.dia <sup>-1</sup> ]	[g.viagem <sup>-1</sup> ]	[g.dia <sup>-1</sup> ]	[g.viagem <sup>-1</sup> ]	[g.dia <sup>-1</sup> ]	[g.viagem <sup>-1</sup> ]	
Pré-1990	4,90	27,70	2,13	12,04				
1990	0,49	1,56	0,33	1,04				
1991	0,49	1,56	0,33	1,04				
1992	0,63	1,08	0,28	0,49				
1993	0,53	0,95	0,34	0,61				
1994	0,51	0,89	0,29	0,50				
1995	0,51	0,89	0,29	0,50				
1996	0,39	0,70	0,26	0,47				
1997	0,33	0,60	0,36	0,66				
1998	0,27	0,51	0,44	0,84				
1999	0,26	0,50	0,54	1,04				
2000	0,24	0,47	0,45	0,88				
2001	0,23	0,45	0,44	0,87				
2002	0,20	0,42	0,44	0,87				
2003	0,24	0,49	0,44	0,87	0,20	0,47	0,41	0,97
2004	0,23	0,46	0,44	0,87	0,20	0,47	0,41	0,97
2005	0,29	0,55	0,44	0,87	0,20	0,47	0,41	0,97
2006	0,15	0,35	0,44	0,87	0,20	0,47	0,41	0,97
2007	0,15	0,35						
2008	0,21	0,45			0,13	0,28	0,35	0,74

Nota: Considerou-se que os veículos Flex Fuel foram inseridos no mercado a partir de 2003.

Fonte: Adaptado Brasil, 2011

Legenda: ed – Emissão durante o dia;

er – Emissão evaporativa em movimento;

er – Emissão evaporativa durante a partida.

Na Tabela 13 são apresentados os fatores de emissão de N<sub>2</sub>O para veículos a etanol e GNV com conversor catalítico, ou seja, veículos fabricados a partir de 1994. Adotou-se para este estudo, que carros sem conversor catalítico não foram convertidos a GNV.

**Tabela 13** Fatores de Emissão de N<sub>2</sub>O para Veículos a Etanol e GNV

Combustível	FE de N <sub>2</sub> O
	[g.km <sup>-1</sup> ]
Etanol	0,017
GNV	0,033

Fonte: Adaptado Borsari (2009).

Os fatores de emissão de N<sub>2</sub>O empregados nas estimativas das emissões de veículos a gasolina com conversor catalítico e veículos, a gasolina ou etanol, sem catalisador, foram os do IPCC (2000a), que são discriminados de acordo com a tecnologia de controle de poluição dos automóveis e são apresentados na Tabela 14. Deve-se salientar que esses dados foram utilizados de acordo com a premissa de que veículos fabricados anteriormente a 1994 não possuíam conversor catalítico e que a partir de 1994, todos os veículos leves fabricados foram equipados com esse tipo de tecnologia. A partir de 1994 empregou-se então, os fatores de emissão

**Tabela 14** Fatores de Emissão de N<sub>2</sub>O para Veículos a Gasolina com Conversor Catalítico e sem Conversor Catalítico

Tecnologia de Controle de Poluição	FE de N <sub>2</sub> O
	[g.(kg <sub>combustível</sub> ) <sup>-1</sup> ]
Sem conversor catalítico	0,062
Gasolina com conversor catalítico	0,320

Fonte: Adaptado IPCC (2000a)

apresentados na Tabela 13, para os veículos movidos a etanol e a GNV, ambos com conversor catalítico. Para veículos movidos a gasolina e para veículos sem conversor catalítico, foram empregado os fatores de emissão apresentados da Tabela 15.

Os fatores de emissão para N<sub>2</sub>O, obtidos após a conversão de unidade para veículos a gasolina e para veículos sem catalisador, são apresentados na Tabela 15. O fator de emissão de N<sub>2</sub>O, em g.(kg<sub>combustível</sub>)<sup>-1</sup>, foi aplicado à Equação 19 e resultou em diferentes fatores de emissão, pois estes fatores são calculados utilizando-se a autonomia de cada veículo, que varia de acordo com o ano de fabricação.

Para os veículos a GNV, os fatores de emissão de CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>x</sub> e NMVOC utilizados são os mesmos do 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (BRASIL, 2011), apresentados na Tabela 16. Os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O para GNV foram apresentados na Tabela 8 e na Tabela 13, respectivamente.

**Tabela 15** Fatores de Emissão de CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>x</sub> E NMVOC para Veículos a GNV

CH <sub>4</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	NMVOC
[g.km <sup>-1</sup> ]			
0,22	0,56	0,29	0,026

Fonte: Brasil (2011)

**Tabela 16** Fatores de Emissão de N<sub>2</sub>O após Conversão de Unidade

Ano Fabricação Veículos	FE N <sub>2</sub> O		
	[g.km <sup>-1</sup> ]		
	Gasolina		Etanol
	Gasolina C		Etanol Hidratado
	(1)	(2)	(2)
Pré-1983		0,005	0,007
1983		0,005	0,006
1984		0,004	0,006
1985		0,004	0,006
1986		0,004	0,006
1987		0,004	0,006
1988		0,004	0,006
1989		0,004	0,006
1990		0,004	0,006
1991		0,004	0,006
1992		0,004	0,006
1993		0,004	0,006
1994	0,022		0,006
1995	0,022		0,006
1996	0,022		0,007
1997	0,022		0,007
1998	0,022		0,007
1999	0,022		0,007
2000	0,022		0,007
2001	0,022		0,007
2002	0,022		0,007
2003	0,021		0,007
2004	0,021		0,006
2005	0,021		0,006
2006	0,021		0,007
2007	0,021		0,007
2008	0,024		0,007

Notas: (1) com conversor catalítico; (2) sem conversor catalítico

## Incremento por Deterioração

Para os automóveis e comerciais leves do Ciclo Otto foi considerado um incremento no fator de emissão de acordo com a quilometragem percorrida acumulada para o CO, NOx e NMHC<sub>escap</sub>, conforme apresentado anteriormente. As informações utilizadas para calcular o incremento do fator de emissão para cada veículo são apresentadas na Tabela 17.

**Tabela 17** Incremento por Deterioração do Veículo

Combustível	CO	NOx	NMVOc
	[g.(80.000km) <sup>-1</sup> ]		
Gasolina	0,263	0,030	0,023
Etanol	0,224	0,020	0,024

Fonte: Brasil (2011)

## Motocicletas

Os fatores de emissão de HC, CO e NOx para motocicletas, utilizados para estimar as emissões, são apresentados na Tabela 18.

**Tabela 18** Fatores de Emissão de HC, CO e NOx para Motocicletas

Ano de Fabricação	HC	CO	NOx
	[g.km <sup>-1</sup> ]		
Pré-2003	2,60	19,70	0,10
2003	0,84	6,36	0,18
2004	0,78	6,05	0,18
2005	0,58	3,12	0,16
2006	0,32	2,21	0,17
2007	0,35	1,83	0,16
2008	0,21	1,12	0,09

Fonte: Adaptado Brasil (2011)

Utilizou-se o fator de emissão de N<sub>2</sub>O para motocicletas do IPCC (1996), de 0,002 g.km<sup>-1</sup>, para todo o período de estudo. Já os fatores de emissão de CH<sub>4</sub> e NMVOC<sup>10</sup> foram obtidos a partir dos valores de fatores de emissão do HC, conforme Equação 8 e adotando-se a proporção de 15% de CH<sub>4</sub>/HC, conforme

adotado pelo MMA (BRASIL, 2011). Esses fatores de emissão são apresentados na Tabela 19.

**Tabela 19** Fatores de Emissão de CH<sub>4</sub> e NMVOC para Motocicletas

Ano de Fabricação	CH <sub>4</sub>	NMVOc
	[g.km <sup>-1</sup> ]	
Pré-2003	0,39	2,21
2003	0,13	0,71
2004	0,12	0,66
2005	0,09	0,49
2006	0,05	0,27
2007	0,05	0,30
2008	0,03	0,18

Fonte: Brasil (2011)

## Veículos Pesados

Para estimar as emissões dos veículos pesados, foram aplicados fatores de emissão específicos para cada fase do PROCONVE. As proporções de implantação das fases do PROCONVE para veículos pesados, de acordo com o ano de fabricação do veículo, são apresentadas na Tabela 20. Esses dados se referem aos ônibus.

**Tabela 20** Fases do PROCONVE para Ônibus

Ano de Fabricação	Fase PROCONVE			
	Pré-PROCONVE + P1 + P2	P3	P4	P5
Pré-1994	100%			
1994 - 1997	20%	80%		
1998 - 2001		20%	80%	
2002 - 2003			100%	
2004 - 2008				100%

Fonte: Brasil (2011)

10 Esse poluente, no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, é tratado com NMHC<sub>total</sub>.

Na Tabela 21 são apresentadas as fases do PROCONVE para caminhões e comerciais leves a diesel, de acordo com o ano de fabricação dos veículos.

**Tabela 21** Fases do PROCONVE para Comerciais Leves e Caminhões

Ano de Fabricação	Fase PROCONVE			
	Pré-PROCONVE + P1 + P2	P3	P4	P5
Pré-1996	100%			
1996 - 1999	20%	80%		
2000 - 2001		20%	80%	
2002 - 2004			100%	
2005			60%	40%
2006 - 2008				100%

Fonte: Brasil (2011)

A seguir, na Tabela 22, são apresentados os fatores de emissão de CO, HC e NOx, para veículos pesados a diesel, de acordo com as fases do PROCONVE. Observa-se que os valores referentes à fase P2 do PROCONVE também foram adotados para todo o período anterior a fase P2, ou seja, para as fases pré-PROCONVE e P1.

**Tabela 22** Fatores de Emissão de HC, CO e NOx para Veículos Pesados a Diesel

Fase PROCONVE	CO	HC	NOx
	[g.kWh <sup>-1</sup> ]		
P2	1,86	0,68	10,70
P3	1,62	0,54	6,55
P4	0,85	0,29	6,16
P5	0,83	0,16	4,67

Fonte: Adaptado CETESB (2010)

Na Tabela 23 são apresentados os fatores de emissão de HC, CO e NOx para comerciais leves, após conversão de grandezas. Esses dados foram obtidos aplicando-se à Equação 20 os fatores de emissão em g.(kWh)<sup>-1</sup>, apresentados na Tabela 22; a densidade do diesel, apresentada na Tabela 35; o consumo de combustível específico, apresentado na Tabela 37; e a autonomia do veículo, Tabela 34.

**Tabela 23** Fatores de Emissão de HC, CO e NOx para Comercial Leve a Diesel após Adequação de Grandezas

Fase PROCONVE	HC	CO	NOx
	[g.km <sup>-1</sup> ]		
Pré-PROCONVE, P1, P2	0,28	0,77	4,45
P3	0,23	0,70	2,81
P4	0,13	0,38	2,75
P5	0,07	0,35	1,99

A Tabela 24 apresenta os fatores de emissão de HC, CO e NO<sub>x</sub>, correspondentes às fases do PROCONVE, para ônibus urbano e rodoviário, obtidos após a conversão da grandeza, realizada conforme apresentado na Equação 20.

**Tabela 24** Fatores de Emissão de HC, CO e NO<sub>x</sub> para Ônibus após Adequação de Grandezas

Fase PROCONVE	HC		CO		NO <sub>x</sub>	
	Urbano	Rodoviário	Urbano	Rodoviário	Urbano	Rodoviário
	[g.km <sup>-1</sup> ]					
Pré-PROCONVE + P1 + P2	1,12	0,85	3,06	2,32	17,60	13,36
P3	0,92	0,70	2,75	2,09	11,12	8,44
P4	0,51	0,39	1,50	1,14	10,85	8,24
P5	0,27	0,20	1,41	1,06	7,85	5,96

A seguir, na Tabela 25, são apresentados os fatores de emissão para caminhões obtidos após sua conversão para a grandeza adequada, utilizando-se a Equação 20.

**Tabela 25** Fatores de Emissão de HC, CO e NO<sub>x</sub> para Caminhão após Adequação de Grandezas

Fase PROCONVE	HC			CO			NO <sub>x</sub>		
	Leve	Médio	Pesado	Leve	Médio	Pesado	Leve	Médio	Pesado
	[g.km <sup>-1</sup> ]								
Pré-PROCONVE + P1+ P2	0,34	0,463	0,81	0,92	1,27	2,22	5,32	7,28	12,77
P3	0,28	0,379	0,66	0,83	1,14	1,99	3,36	4,60	8,07
P4	0,15	0,212	0,37	0,45	0,62	1,09	3,28	4,49	7,87
P5	0,08	0,11	0,20	0,42	0,58	1,01	2,37	3,25	5,70

Os fatores de emissão para CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, apresentados na Tabela 26, são valores default do IPCC (1996) para veículos europeus a diesel.

**Tabela 26** Fatores de Emissão de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O para Veículos a Diesel

GEE	Fator de Emissão [g.km <sup>-1</sup> ]	
	Comercial Leve	Caminhões e Ônibus
CH <sub>4</sub>	0,005	0,060
N <sub>2</sub> O	1,4	10,0

Fonte: Adaptado IPCC (1996)

### 3.3 Veículos Novos Licenciados

Os dados sobre veículos novos licenciados anualmente no Estado de São Paulo foram obtidos a partir dos anuários estatísticos da ANFAVEA para o período de 1980 a 2008 (Tabela 27) e utilizados para estimar a frota de veículos circulantes, aplicando-os à Equação 11.

**Tabela 27** Veículos Novos Licenciados no Estado de São Paulo de 1980 a 2008

Ano	Veículos Leves		Veículos Pesados	
	Automóveis	Comerciais Leves	Caminhões	Ônibus
1980	320.105	29.818	26.300	4.124
1981	174.567	21.624	17.184	3.055
1982	221.268	27.015	12.798	2.704
1983	249.180	23.800	10.725	2.210
1984	212.415	29.308	13.020	2.163
1985	242.282	31.705	16.111	3.287
1986	270.583	38.749	21.934	3.743
1987	164.718	35.337	16.934	3.975
1988	233.971	43.383	16.859	4.611
1989	230.627	48.242	15.151	2.430
1990	211.907	46.415	12.858	3.239
1991	236.645	46.088	14.050	6.587
1992	233.533	46.031	9.201	5.841
1993	349.964	60.426	12.511	3.923
1994	405.834	61.854	15.201	2.501
1995	497.444	78.307	18.646	4.184
1996	541.488	85.212	13.321	3.909
1997	598.931	85.652	15.851	3.225
1998	418.344	64.233	15.171	3.453
1999	450.178	83.016	15.417	2.127
2000	527.260	101.016	21.663	3.402
2001	561.819	85.379	22.229	4.570
2002	431.448	51.398	16.215	5.198
2003	400.921	51.103	16.025	6.228
2004	427.315	61.918	19.978	6.511
2005	459.386	71.732	21.125	4.295
2006	512.441	82.223	21.047	5.676
2007	655.440	113.536	26.656	7.292
2008	723.469	149.862	33.225	7.968

Fonte: Adaptado ANFAVEA (1980-2009)<sup>11</sup>

11 As informações obtidas nos anuários da ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores) relativos ao período 1990 a 2008, não estão mais acessíveis no site da instituição; para obtê-los, é necessário enviar um e-mail ao CEDOC (Centro de Documentação da ANFAVEA), no seguinte endereço: [cedoc@anfavea.com.br](mailto:cedoc@anfavea.com.br).

A Tabela 28 apresenta os automóveis e comerciais leves desagregados por tipo de combustível.

**Tabela 28** Veículos Novos Licenciados por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo de 2005 a 2009

Ano	Automóveis			Comerciais Leves			
	Otto Gasolina	Otto Etanol	Otto Flex Fuel	Otto Gasolina	Otto Etanol	Otto Flex Fuel	Diesel
2005	187.040	21.192	250.840	26.598	1.094	30.554	13.562
2006	98.484	1.032	412.720	21.919	141	44.259	16.061
2007	70.027	43	583.672	25.320	9	68.683	19.711
2008	48.783	29	673.317	36.055	6	85.016	28.785
2009	40.162	31	742.652	39.380	4	91.006	29.689

Fonte: Adaptado ANFAVEA (2010)<sup>12</sup>

Os percentuais para desagregação dos caminhões pelo PBT foram obtidos através de dados da ANFAVEA e são apresentados na Tabela 29.

**Tabela 29** Proporção de Caminhões Novos Licenciados por PBT

Ano	Caminhões		
	[%]		
	Leves	Médios	Pesados
2005	37	10	53
2006	36	11	53
2007	32	11	57
2008	29	9	62
2009	27	10	63

Fonte: Adaptado ANFAVEA (2010)<sup>12</sup>

Na Tabela 30 são apresentados os dados de motocicletas novas licenciadas anualmente no Brasil. Admitiu-se que os dados de venda no mercado interno apresentados pela Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (ABRACICLO) correspondem aos dados de licenciamento.

**Tabela 30** Motocicletas Novas Licenciadas no Brasil de 1975 a 2009

Ano de Fabricação	Motocicletas Licenciadas no Brasil	Ano de Fabricação	Motocicletas Licenciadas no Brasil
1975*	5.220	1993	67.997
1976*	12.800	1994	120.962
1977*	32.791	1995	200.592
1978*	41.492	1996	275.668
1979*	63.636	1997	404.635
1980*	125.000	1998	460.122
1981*	155.572	1999	441.536
1982*	215.767	2000	574.149
1983*	219.000	2001	692.096
1984*	180.000	2002	792.429
1985*	161.378	2003	848.377
1986*	166.160	2004	911.717
1987*	175.613	2005	1.024.203
1988	158.671	2006	1.268.041
1989	153.617	2007	1.600.157
1990	123.169	2008	1.879.695
1991	109.168	2009	1.579.197
1992	53.450		

Fonte: Adaptado ABRACICLO (2011?)

\*Para o período anterior a 1988 não há uma desagregação dos dados de produção apresentados pela ABRACICLO, não existindo uma separação da quantidade destinada ao mercado interno e exportação.

12 Dados não publicados disponibilizados pela ANFAVEA

A Tabela 31 apresenta a proporção de motocicletas novas licenciadas no Estado de São Paulo anualmente em relação às vendas no Brasil.

**Tabela 31** Proporção de Motocicletas Novas Licenciadas no Estado de São Paulo em Relação ao Brasil de 2000 a 2009

Ano de Fabricação	Motocicletas Licenciadas em SP em Relação ao Brasil
	[%]
2000	21,3
2001	22,0
2002	21,0
2003	21,8
2004	22,0
2005	23,6
2006	24,6
2007	23,6
2008	19,6
2009	16,4

Fonte: Adaptado ABRACICLO (2010?)

### 3.4 Intensidade de Uso Preliminar

Os dados de intensidade de uso preliminar utilizados neste inventário, apresentados na Tabela 32, são os publicados pelo MMA (BRASIL, 2011).

**Tabela 32** Intensidade de Uso dos Veículos

Idade do Veículo	Moto	Automóvel e Comercial Leve Otto	Comercial Leve Diesel	Ônibus		Caminhão		
				Urbano	Rodoviário	Leve	Médio	Pesado
[km.veículo <sup>-1</sup> ]								
0	6.000	10.000	10.000	45.000	125.000	8.265	35.000	67.500
1	11.600	19.400	19.600	88.200	245.000	16.199	68.600	132.300
2	11.200	18.800	19.200	86.400	240.000	15.868	67.200	129.600
3	10.800	18.200	18.800	84.600	235.000	15.537	65.800	126.900
4	10.400	17.600	18.400	82.800	230.000	15.207	64.400	124.200
5	10.000	17.000	18.000	81.000	225.000	14.876	63.000	121.500
6	9.600	16.400	17.600	79.200	220.000	14.546	61.600	118.800
7	9.200	15.800	17.200	77.400	215.000	14.215	60.200	116.100
8	8.800	15.200	16.800	75.600	210.000	13.884	58.800	113.400
9	8.400	14.600	16.400	73.800	205.000	13.554	57.400	110.700
10	8.000	14.000	16.000	72.000	200.000	13.223	56.000	108.000
11	7.600	13.400	15.600	70.200	195.000	12.893	54.600	105.300
12	7.200	12.800	15.200	68.400	190.000	12.562	53.200	102.600
13	6.800	12.200	14.800	66.600	185.000	12.232	51.800	99.900
14	6.400	11.600	14.400	64.800	180.000	11.901	50.400	97.200
15	6.000	11.000	14.000	63.000	175.000	11.570	49.000	94.500
16	5.600	10.400	13.600	61.200	170.000	11.240	47.600	91.800

Continua

Continuação

Idade do Veículo	Moto	Automóvel e Comercial Leve Otto	Comercial Leve Diesel	Ônibus		Caminhão		
				Urbano	Rodoviário	Leve	Médio	Pesado
[km.veículo <sup>-1</sup> ]								
17	5.200	9.800	13.200	59.400	165.000	10.909	46.200	89.100
18	4.800	9.200	12.800	57.600	160.000	10.579	44.800	86.400
19	4.400	8.600	12.400	55.800	155.000	10.248	43.400	83.700
20	4.000	8.000	12.000	54.000	150.000	10.000	42.000	81.000
21	3.600	7.400	11.600	52.200	145.000	10.000	40.600	78.300
22	3.200	6.800	11.200	50.400	140.000	10.000	39.200	75.600
23	2.800	6.200	10.800	48.600	135.000	10.000	37.800	72.900
24	2.400	5.600	10.400	46.800	130.000	10.000	36.400	70.200
25	2.000	5.000	10.000	45.000	125.000	10.000	35.000	67.500
26	2.000	4.400	10.000	43.200	120.000	10.000	33.600	64.800
27	2.000	3.800	10.000	41.400	115.000	10.000	32.200	62.100
28	2.000	3.200	10.000	39.600	110.000	10.000	30.800	59.400
29	2.000	2.600	10.000	37.800	105.000	10.000	29.400	56.700
30	2.000	2.000	10.000	36.000	100.000	10.000	28.000	54.000
31	2.000	2.000	10.000	34.200	95.000	10.000	26.600	51.300
32	2.000	2.000	10.000	32.400	90.000	10.000	25.200	48.600
33	-	2.000	10.000	30.600	85.000	10.000	23.800	45.900
34	-	2.000	10.000	28.800	80.000	10.000	22.400	43.200
35	-	2.000	10.000	27.000	75.000	10.000	21.000	40.500
36	-	2.000	10.000	25.200	70.000	10.000	19.600	37.800
37	-	2.000	10.000	23.400	65.000	10.000	18.200	35.100
38	-	2.000	10.000	21.600	60.000	10.000	16.800	32.400
39	-	2.000	10.000	19.800	55.000	10.000	15.400	29.700
40	-	2.000	10.000	18.000	50.000	10.000	14.000	27.000
41	-	2.000	10.000	16.200	45.000	10.000	12.600	24.300
42	-	2.000	10.000	14.400	40.000	10.000	11.200	21.600
43	-	2.000	10.000	12.600	35.000	10.000	10.000	18.900
44	-	2.000	10.000	10.800	30.000	10.000	10.000	16.200
45	-	2.000	10.000	10.000	25.000	10.000	10.000	13.500
46	-	2.000	10.000	10.000	20.000	10.000	10.000	10.800
47	-	2.000	10.000	10.000	15.000	10.000	10.000	10.000
48	-	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
49	-	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
50	-	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000

Fonte: Adaptado Brasil (2011)

### 3.5 Autonomia dos Veículos

Os dados de autonomia dos veículos utilizados neste inventário são os valores propostos pelo MMA (BRASIL, 2011). Para os veículos leves, o MMA (BRASIL, 2011) analisou dados de diferentes fontes, entre elas o Programa de Economia de Combustíveis (PECO) e a CETESB, para o período que esses dados estavam disponíveis. Para o período faltante, foi adotada a interpolação dos dados das extremidades dessa lacuna. Os dados de autonomia das motocicletas foram obtidos através dos fatores de emissão de CO<sub>2</sub> apresentados no Relatório de Qualidade do Ar de 2009 (CETESB, 2010) e aplicando-se o método do balanço de carbono do MMA (BRASIL, 2011).

A seguir, na Tabela 33, são apresentados os dados de autonomia dos veículos leves e motocicletas novos por ano de fabricação.

**Tabela 33** Autonomia dos Veículos Leves e Motocicletas Novos

Ano de Fabricação	Automóveis e Comerciais Leves				Moto
	Tipo de Motor				
	Otto Gasolina	Otto Etanol	Otto Flex Fuel	Otto Flex Fuel	Otto Gasolina
			Gasolina	Etanol	
[km.L <sup>-1</sup> ]					
Pré-1983	8,90	7,10			
1983	9,65	7,90			40,00
1984	10,19	8,25			40,00
1985	10,39	8,54			40,00
1986	10,42	8,46			40,00
1987	10,64	8,52			40,00
1988	10,86	8,58			40,00
1989	11,07	8,65			40,00
1990	11,82	8,65			40,00
1991	11,82	8,65			40,00
1992	10,98	8,01			40,00
1993	10,98	8,54			40,00
1994	10,04	7,54			40,00
1995	10,04	7,54			40,00
1996	11,04	7,17			40,00
1997	11,04	7,17			40,00
1998	11,82	7,41			40,00
1999	11,82	8,01			40,00
2000	11,89	6,96			40,00
2001	11,97	6,96			40,00
2002	10,90	7,20			40,00
2003	11,20	7,50	10,30	6,90	40,00
2004	11,40	8,60	10,80	7,30	40,00
2005	11,30	8,60	11,50	7,70	40,00
2006	11,30	6,90	11,70	7,80	40,00
2007	11,30	6,90	11,70	7,80	40,00
2008	9,74	6,90	11,70	7,38	40,00

Nota: Considerou-se que os veículos Flex Fuel foram inseridos no mercado a partir de 2003.

Fonte: Adaptado Brasil (2011)

Por sua vez, os dados de autonomia dos veículos pesados adotados também foram os propostos pelo MMA (BRASIL, 2011), obtidos em pesquisa informal devido à falta de informações disponíveis. De acordo com o MMA (BRASIL, 2011), os valores de autonomia para caminhões foram especialmente custosos de se obter, pois esses apresentam diferentes variáveis que influenciam diretamente sua autonomia. Na Tabela 34, são apresentados os dados de autonomia dos veículos pesados novos.

Estes dados foram utilizados para obter o consumo de combustível (Equação 1) e na conversão de unidade dos fatores de emissão para veículos pesados (Equação 20).

**Tabela 34** Autonomia dos Veículos Pesados Novos para o Período de 1957 a 2008

Tipo de Veículo	Comercial Leve	Ônibus		Caminhão		
		Urbano	Rodoviário	Leve	Médio	Pesado
	Diesel					
Autonomia [km.L <sup>-1</sup> ]	9,09	2,30	3,03	7,61	5,56	3,17

Fonte: Adaptado Brasil (2011)

### 3.6 Adequação de Grandezas

A seguir, na Tabela 35, são apresentados o Fator Multiplicador (FM) e a densidade dos combustíveis, dados utilizados na conversão da unidade de medida do consumo de combustível.

**Tabela 35** Dados para Adequação das Grandezas

Combustível	FM	Densidade
	[(109kcal).(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> ]**	[g.L <sup>-1</sup> ]*
Gasolina (médio)	7,790	738
Etanol Anidro	5,062	791
Etanol Hidratado	4,814	809
Diesel	8,663	851
Combustível	FM	
	[(10 <sup>9</sup> kcal).(10 <sup>6</sup> ) <sup>-1</sup> ]**	
GNV	8,111	

\*Nas estimativas, empregou-se a densidade do combustível em kg.L<sup>-1</sup>.

\*\*O BEESP apresenta o FM para que seja possível converter o consumo de kcal para m<sup>3</sup>.

Fonte: Adaptado São Paulo (2009)

A Tabela 36 apresenta fatores de conversão:

**Tabela 36** Fatores de Conversão

Unidade	Relação
1J	0,239 cal
1tOE	10 <sup>7</sup> kcal
1 t	10 <sup>6</sup> g
1tep	10 <sup>7</sup> kcal
1tOE	1tep

Fonte: São Paulo (2009)

A Tabela 37 apresenta os valores de consumo específico de diesel por fase do PROCONVE, utilizados na conversão de unidade de medida dos fatores de emissão de GEE e poluentes para veículos pesados (Equação 20), juntamente com os dados de autonomia dos veículos e densidade do diesel, apresentados anteriormente na Tabela 34 e na Tabela 35, respectivamente.

**Tabela 37** Consumo Específico de Diesel por Fase do PROCONVE

Fase	Consumo Específico de Combustível
	[g.(kWh) <sup>-1</sup> ]
Pré-PROCONVE, P1 e P2	225
P3	218
P4	210
P5	220

Fonte: Brasil (2011)

## 4 Resultados e Discussão

### Emissões de GEE Diretos

Os GEE diretos estimados foram o CO<sub>2</sub>, o CH<sub>4</sub> e o N<sub>2</sub>O.

#### 4.1 Emissões de CO<sub>2</sub>

As emissões de CO<sub>2</sub> foram estimadas utilizando-se o Tier 2, conforme a Equação 2, e os fatores de emissão apresentados na Tabela 8.

Na Tabela 38 são apresentadas as estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> no Estado de São Paulo, para o período de 1990 a 2008, segregados de acordo com o tipo de veículo e o tipo de combustível utilizado.

**Tabela 38** Emissões de CO<sub>2</sub> do Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008

Emissões de CO <sub>2</sub>														
[10 <sup>3</sup> t]														
Tipo	Motor	Combustível	Combustível	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
Automóvel	Otto - Gasolina	Gasolina C	Gasolina A	6.506	7.202	7.246	7.347	8.899	9.732	11.357	12.075	12.271	12.559	
			Álcool Anidro	536	721	820	1.163	1.286	1.499	1.704	1.753	1.654	2.057	
	Otto - Álcool	Álcool	Álcool Hidratado	4.356	4.368	4.140	4.133	4.273	4.224	4.218	3.633	2.541	2.940	
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	Gasolina A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Álcool Anidro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otto - Flex Álcool	Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Comercial Leve	Otto - Gasolina	Gasolina C	Gasolina A	657	766	804	839	1.018	1.126	1.360	1.471	1.495	1.542	
			Álcool Anidro	54	77	91	133	147	174	204	214	201	253	
	Otto - Álcool	Álcool	Álcool Hidratado	463	469	455	466	491	491	492	424	296	342	
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	Gasolina A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Álcool Anidro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otto - Flex Álcool	Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel	Diesel	Diesel	489	519	533	547	605	654	734	820	850	904		
		Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Motocicleta	Otto - Gasolina	Gasolina C	Gasolina A	155	171	166	154	166	163	180	195	216	242	
			Álcool Anidro	13	17	19	24	24	25	27	28	29	40	
Ônibus	Diesel - Urbano	Diesel	Diesel	4.356	4.544	4.792	4.780	4.851	4.914	5.415	5.933	5.792	5.895	
			Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	149	0
	Diesel - Rodoviário	Diesel	Diesel	1.020	1.065	1.122	1.120	1.136	1.151	1.269	1.390	1357	1.381	
			Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0
Caminhão	Diesel - Leve	Diesel	Diesel	772	758	729	680	674	672	719	768	738	752	
			Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0
	Diesel - Médio	Diesel	Diesel	1.931	1.937	1.902	1.814	1.846	1.906	2.109	2.327	2315	2.419	
			Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	0
	Diesel - Pesado	Diesel	Diesel	3.524	3.641	3.713	3.765	4.132	4.553	5.266	6.030	6168	6.544	
			Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158	0
GNV	GNV	GNV	GNV	0	0	6	22	38	30	26	28	40	64	
Emissões de origem fóssil				19.409	20.602	21.013	21.069	23.364	24.900	28.433	31.037	31.241	32.302	
Emissões de origem orgânica				5.422	5.652	5.524	5.919	6.221	6.413	6.465	6.051	5.140	5.631	
<b>Emissões Totais</b>				<b>19.409</b>	<b>20.602</b>	<b>21.013</b>	<b>21.069</b>	<b>23.364</b>	<b>24.900</b>	<b>28.433</b>	<b>31.037</b>	<b>31.241</b>	<b>32.302</b>	

Continua

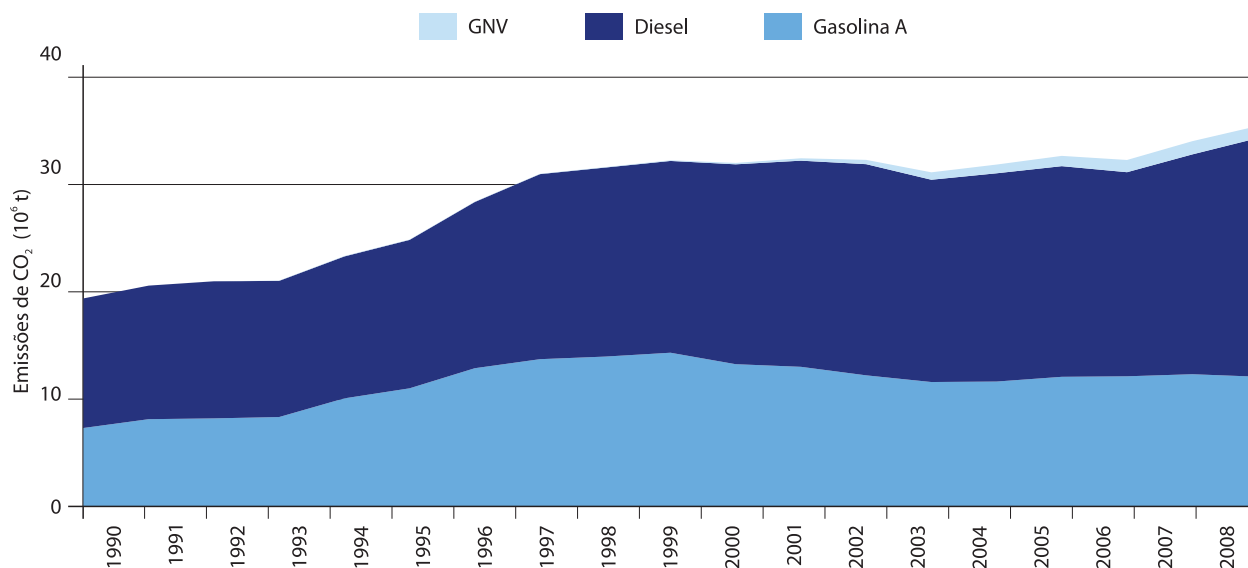
## Continuação

Emissões de CO <sub>2</sub>													
[10 <sup>3</sup> t]													
Tipo	Motor	Combustível	Combustível	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Automóvel	Otto - Gasolina	Gasolina C	Gasolina A	11.583	11.350	10.657	10.114	10.136	10.463	10.282	10.382	9.941	
			Álcool Anidro	1.656	1.724	1.810	1.716	1.718	1.775	1.764	1.782	1.706	
	Otto - Álcool	Álcool	Álcool Hidratado	1.999	1.388	1.697	1.443	1.943	1.528	1.590	1.376	1.100	
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	Gasolina A	0	0	0	2	1	17	163	94	171	
			Álcool Anidro	0	0	0	0	0	3	28	16	29	
Otto - Flex Álcool	Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	21	284	887	2.212	4.470	6.537		
Comercial Leve	Otto - Gasolina	Gasolina C	Gasolina A	1.446	1.416	1.297	1.197	1.177	1.206	1.192	1.228	1.236	
			Álcool Anidro	207	215	220	203	200	205	205	211	212	
	Otto - Álcool	Álcool	Álcool Hidratado	231	161	200	172	228	174	178	153	121	
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	Gasolina A	0	0	0	0	0	2	21	11	20	
			Álcool Anidro	0	0	0	0	0	0	4	2	3	
	Otto - Flex Álcool	Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	5	52	130	279	533	772	
	Diesel	Diesel	Diesel	1.012	1.088	1.102	1.011	986	957	908	957	998	
Biodiesel			0	0	0	0	0	0	0	0	24		
Motocicleta	Otto - Gasolina	Gasolina C	Gasolina A	242	262	276	296	336	404	486	618	737	
			Álcool Anidro	35	40	47	50	57	69	83	106	126	
Ônibus	Diesel - Urbano	Diesel	Diesel	5.947	5.930	5.983	5.737	5.879	5.808	5.491	5.807	5.968	
			Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	153	
	Diesel - Rodoviário	Diesel	Diesel	1.393	1.389	1.402	1.344	1.377	1.377	1.314	1.392	1.418	
			Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	36	
Caminhão	Diesel - Leve	Diesel	Diesel	772	777	769	701	678	653	610	625	618	
			Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	16	
	Diesel - Médio	Diesel	Diesel	2.523	2.510	2.424	2.171	2.055	1.918	1.729	1.717	1.647	
			Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	42	
	Diesel - Pesado	Diesel	Diesel	7.004	7.543	8.030	7.911	8.460	8.944	8.989	10.015	11.052	
			Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	283	
GNV	GNV	GNV	GNV	128	224	398	692	814	957	1.141	1.233	1.130	
Emissões de origem fóssil				32.051	32.489	32.337	31.176	31.899	32.710	32.327	34.081	34.935	
Emissões de origem orgânica				4.127	3.528	3.975	3.610	4.482	4.771	6.342	8.649	11.163	
Emissões Totais				32.051	32.489	32.337	31.176	31.899	32.710	32.327	34.081	34.935	

Nota: Foram contabilizadas como emissões totais apenas as emissões de CO<sub>2</sub> de origem fóssil, conforme recomendação do IPCC (2006).

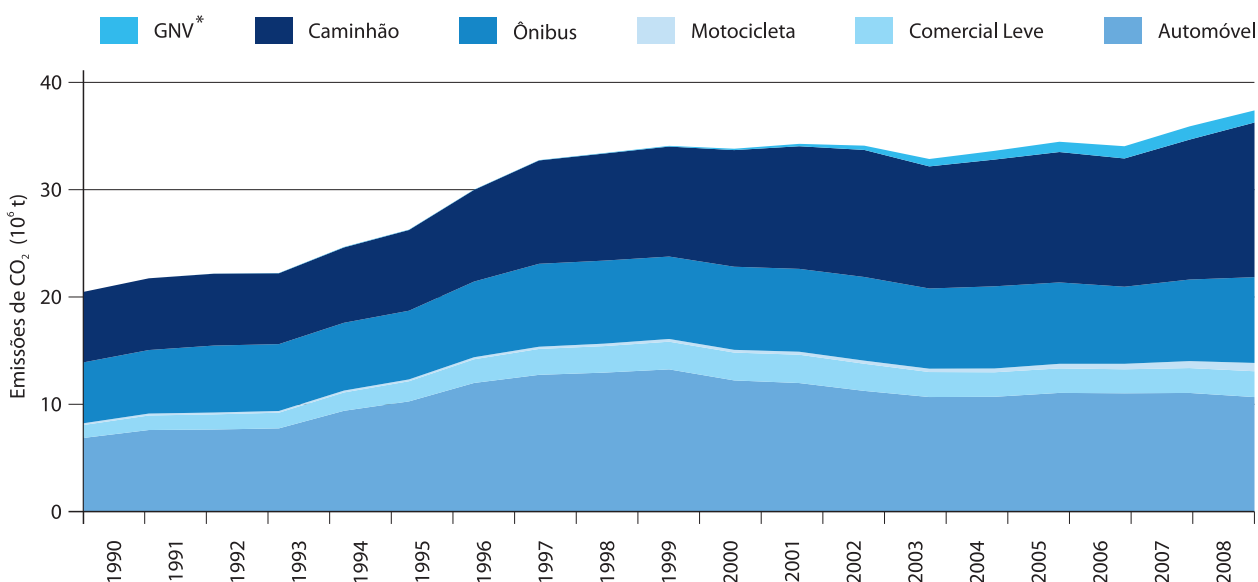
O Gráfico 3 apresenta uma síntese das emissões de CO<sub>2</sub>, segregadas por tipo de combustível utilizado, para o período de 1990 a 2008. As emissões provenientes do etanol anidro, do etanol hidratado e do biodiesel não foram consideradas, mas constam na Tabela 38 como informação, conforme recomendação do IPCC (2006).

**Gráfico 3** Emissões de CO<sub>2</sub> por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo de 1990 a 2008



O Gráfico 4 apresenta as estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> por tipo de veículo, para o período de 1990 a 2008. Neste caso, as emissões dos biocombustíveis também não foram consideradas.

**Gráfico 4** Emissões de CO<sub>2</sub> por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo de 1990 a 2008



\* Corresponde a veículos adaptados ao uso do GNV.

## 4.2 Emissões de CH<sub>4</sub>

As estimativas de emissões de CH<sub>4</sub> foram calculadas seguindo o Tier 3, conforme apresentado na Equação 3, utilizando-se os fatores de emissão apresentados na Tabela 11, para automóveis e comerciais leves do Ciclo Otto, e na Tabela 26, para veículos pesados.

Na Tabela 39 são apresentadas as estimativas de emissões de CH<sub>4</sub> para o Estado de São Paulo, para o período de 1990 a 2008, de acordo com o tipo de veículo e tipo de combustível utilizado.

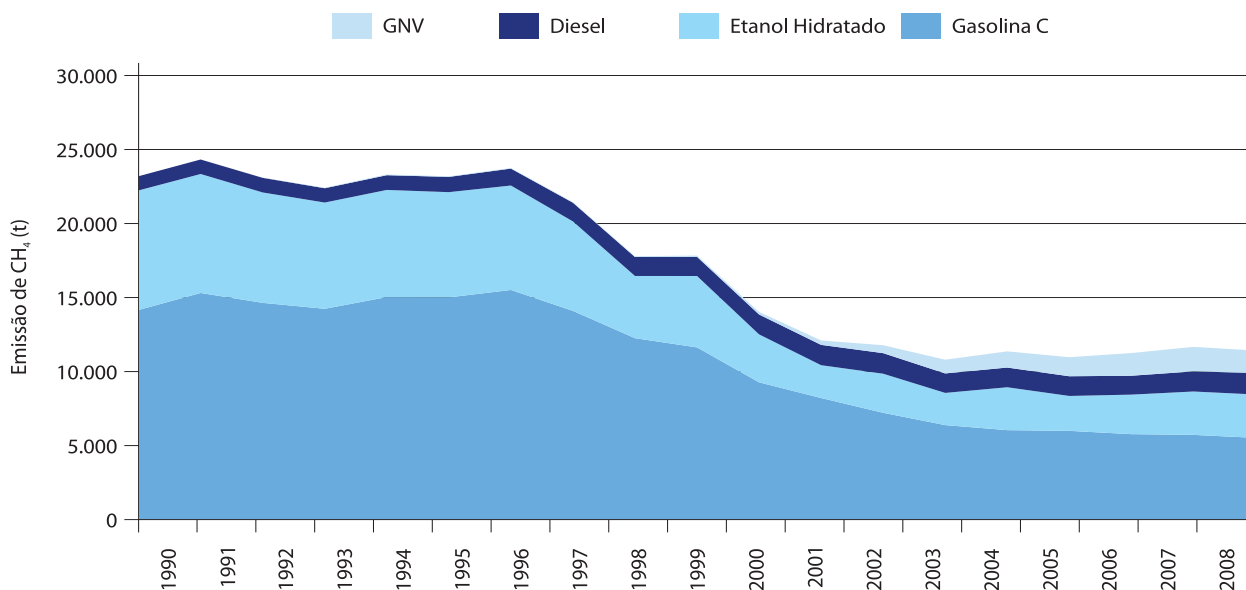
**Tabela 39** Emissões de CH<sub>4</sub> do Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008

Emissões de CH <sub>4</sub>												
[t]												
Tipo	Motor	Combustível	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Automóvel	Otto - Gasolina	Gasolina C	12.611	13.743	13.203	12.849	13.441	13.169	13.463	12.180	10.526	9.943
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	7.382	7.358	6.826	6.581	6.642	6.508	6.462	5.537	3.853	4.426
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Comercial Leve	Otto - Gasolina	Gasolina C	1.230	1.384	1.356	1.334	1.405	1.405	1.486	1.373	1.195	1.138
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	797	799	748	727	741	732	727	621	431	493
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Diesel	Diesel	8	9	9	9	10	11	12	14	14	15
Motocicleta	Otto - Gasolina	Gasolina C	1.229	1.396	1.378	1.369	1.444	1.435	1.578	1.698	1.850	2.162
Ônibus	Diesel - Urbano	Diesel	225	235	248	247	251	254	280	307	307	305
	Diesel - Rodoviário	Diesel	69	72	76	76	77	78	86	95	95	94
Caminhão	Diesel - Leve	Diesel	132	130	125	116	115	115	123	131	129	129
	Diesel - Médio	Diesel	241	242	237	226	230	238	263	290	296	302
	Diesel - Pesado	Diesel	251	259	264	268	294	324	375	429	450	466
GNV	GNV	GNV	0	0	1	2	4	3	3	3	4	7
Emissões Totais			24.176	25.627	24.472	23.805	24.655	24.272	24.859	22.678	19.152	19.478

Emissões de CH <sub>4</sub>												
[t]												
Tipo	Motor	Combustível	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Automóvel	Otto - Gasolina	Gasolina C	7.862	6.871	5.890	5.058	4.650	4.474	4.168	4.013	3.731	
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	2.975	2.036	2.424	1.990	2.581	1.932	1.927	1.622	1.260	
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	3	27	16	28	
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	5	66	211	493	934	1.218	
Comercial Leve	Otto - Gasolina	Gasolina C	909	799	681	580	529	507	473	457	463	
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	330	225	268	220	283	210	208	175	135	
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	0	3	2	3	
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	1	12	31	63	112	146	
Diesel	Diesel	17	19	19	17	17	16	15	16	17		
Motocicleta	Otto - Gasolina	Gasolina C	2.100	2.308	2.491	2.442	2.374	2.428	2.397	2.464	2.405	
Ônibus	Diesel - Urbano	Diesel	307	306	309	296	304	300	284	300	316	
	Diesel - Rodoviário	Diesel	95	95	95	91	94	94	89	95	99	
Caminhão	Diesel - Leve	Diesel	132	133	131	120	116	112	104	107	108	
	Diesel - Médio	Diesel	315	313	302	271	256	239	216	214	211	
	Diesel - Pesado	Diesel	499	537	572	563	602	637	640	713	807	
GNV	GNV	GNV	14	25	44	76	90	105	126	136	124	
Emissões Totais			15.555	13.666	13.227	11.731	11.975	11.300	11.233	11.376	11.073	

No Gráfico 5, são apresentadas as emissões de CH<sub>4</sub> do Estado de São Paulo, para o período de 1990 a 2008, de acordo com o tipo de combustível utilizado.

**Gráfico 5** Emissões de CH<sub>4</sub> por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008



O Gráfico 6 apresenta as emissões de CH<sub>4</sub> do Estado de São Paulo, para o período de 1990 a 2008, por tipo de veículo.

**Gráfico 6** Emissões de CH<sub>4</sub> por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008



\*Corresponde a veículos adaptados ao uso do GNV.

### 4.3 Emissões de N<sub>2</sub>O

As emissões de N<sub>2</sub>O foram estimadas de acordo com o Tier 3, representado pela Equação 3. Para veículos leves a GNV e etanol com conversor catalítico foram utilizados os fatores de emissão apresentados na Tabela 13. Para veículos leves a gasolina ou sem conversor catalítico empregou-se os fatores

da Tabela 14 e para veículos pesados, os fatores da Tabela 26.

As estimativas de emissões de N<sub>2</sub>O provenientes do transporte rodoviário do Estado de São Paulo, para o período de 1990 a 2008, estão dispostas na Tabela 40, desagregadas por tipo de veículo e por tipo de combustível.

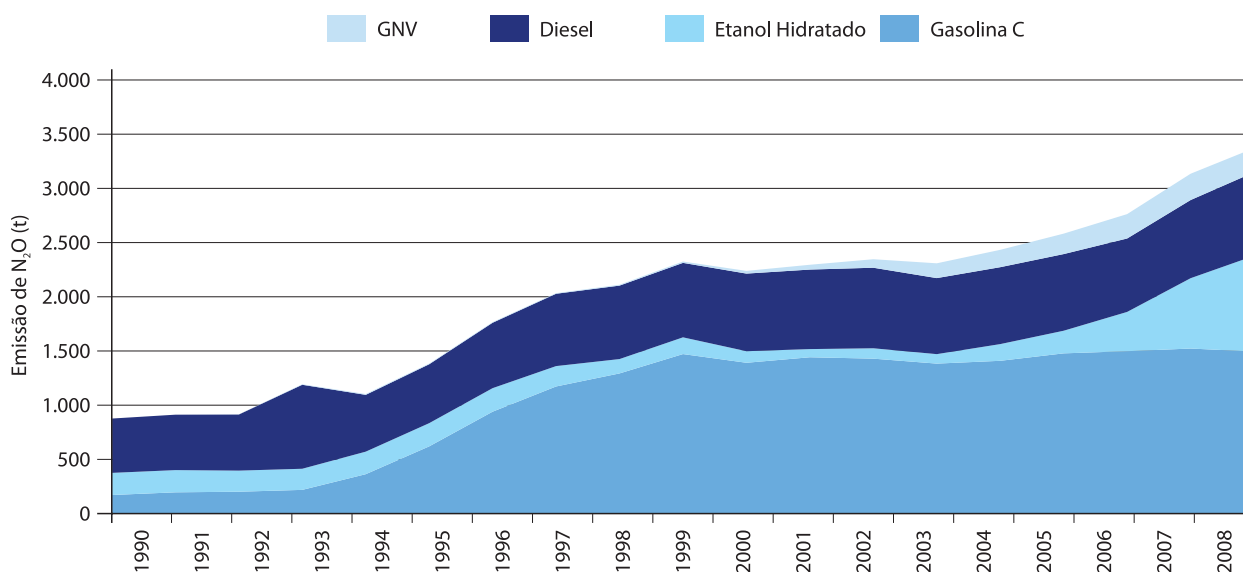
Tabela 40 Emissões de N<sub>2</sub>O do Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008

Emissões de N <sub>2</sub> O												
[t]												
Tipo	Motor	Combustível	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Automóvel	Otto - Gasolina	Gasolina C	151	172	177	191	330	573	858	1.058	1.160	1.313
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	185	186	176	176	187	192	195	169	119	139
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Comercial Leve	Otto - Gasolina	Gasolina C	15	18	20	22	37	66	105	132	144	164
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	20	20	19	20	22	23	24	21	14	17
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Diesel	Diesel	33	35	36	372	41	45	50	56	58	62
Motocicleta	Otto - Gasolina	Gasolina C	6	7	7	7	7	7	8	9	9	11
Ônibus	Diesel - Urbano	Diesel	113	117	124	123	125	127	140	153	153	152
	Diesel - Rodoviário	Diesel	35	36	38	38	39	39	43	47	47	47
Caminhão	Diesel - Leve	Diesel	66	65	62	58	58	57	61	66	65	64
	Diesel - Médio	Diesel	120	121	119	113	115	119	132	145	148	151
	Diesel - Pesado	Diesel	125	130	132	134	147	162	187	215	225	233
GNV	GNV	GNV	0	0	1	4	8	6	5	6	8	13
Emissões Totais			870	908	911	1.259	1.116	1.418	1.808	2.076	2.151	2.365

Emissões de N <sub>2</sub> O												
[t]												
Tipo	Motor	Combustível	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Automóvel	Otto - Gasolina	Gasolina C	1.235	1.277	1.269	1.232	1.256	1.314	1.308	1.331	1.282	
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	96	68	85	76	107	90	99	88	72	
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	2	22	13	23	
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	2	30	96	244	498	723	
Comercial Leve	Otto - Gasolina	Gasolina C	157	161	155	146	146	152	152	158	160	
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	12	8	11	10	13	10	8	10	8	
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	0	3	1	3	
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	0	5	14	14	58	86	
	Diesel	Diesel	69	74	75	69	67	65	62	65	70	
Motocicleta	Otto - Gasolina	Gasolina C	11	12	13	14	16	19	23	29	34	
Ônibus	Diesel - Urbano	Diesel	154	153	155	148	152	150	142	150	158	
	Diesel - Rodoviário	Diesel	47	47	48	46	47	47	45	47	49	
Caminhão	Diesel - Leve	Diesel	66	66	66	60	58	56	52	53	54	
	Diesel - Médio	Diesel	157	157	151	135	128	120	108	107	105	
	Diesel - Pesado	Diesel	249	269	286	282	301	318	320	357	404	
GNV	GNV	GNV	25	44	79	137	161	190	226	244	224	
Emissões Totais			2.278	2.337	2.392	2.357	2.488	2.644	2.827	3.209	3.457	

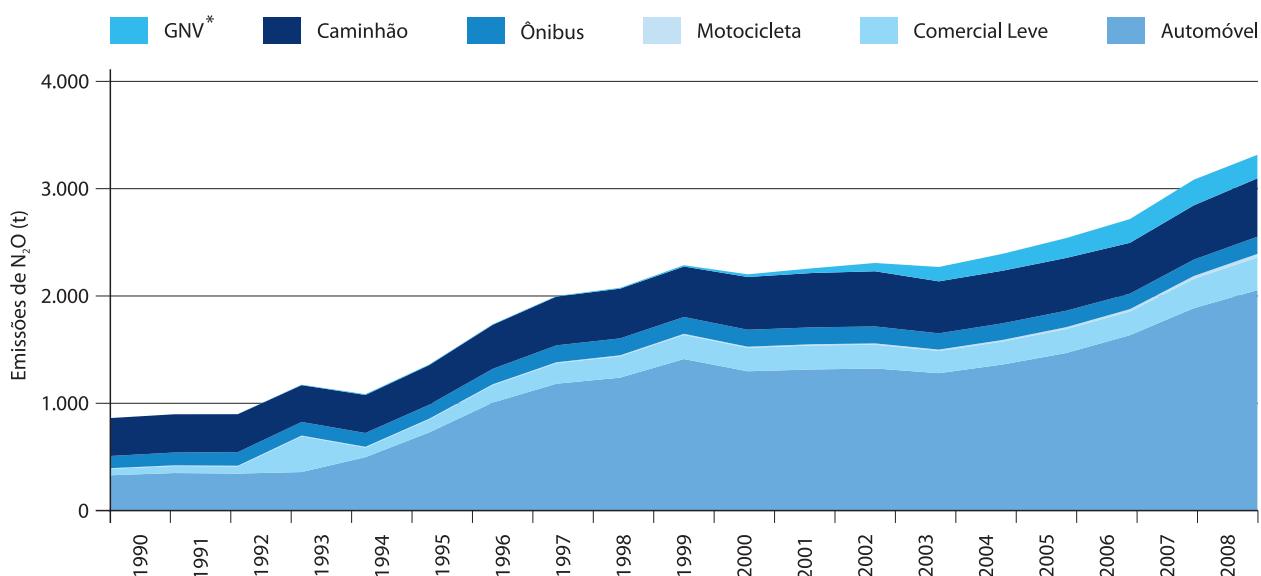
A seguir, no Gráfico 7, são apresentados os resultados das emissões de N<sub>2</sub>O do Estado de São Paulo, de 1990 a 2008, por tipo de combustível.

**Gráfico 7** Emissões de N<sub>2</sub>O por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008



O Gráfico 8 apresenta a comparação das estimativas de emissões de N<sub>2</sub>O por tipo de veículo, para o Estado de São Paulo, no período de 1990 a 2008.

**Gráfico 8** Emissões de N<sub>2</sub>O por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008



\* Corresponde a veículos adaptados ao uso do GNV.

## Emissões Totais de GEE

A Tabela 41 apresenta as emissões totais de GEE do Subsetor de Transportes.

**Tabela 41** Emissões Totais de GEE

Ano	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2eq</sub>
	[Gg]			
1990	19.409	24	1	20.186
1991	20.602	26	1	21.422
1992	21.013	24	1	21.809
1993	21.069	24	1	21.959
1994	23.364	25	1	24.228
1995	24.900	24	1	25.849
1996	28.433	25	2	29.516
1997	31.037	23	2	32.157
1998	31.241	19	2	32.310
1999	32.302	19	2	33.444
2000	32.051	16	2	33.084
2001	32.489	14	2	33.500
2002	32.337	13	2	33.356
2003	31.176	12	2	32.153
2004	31.899	12	2	32.922
2005	32.710	11	3	33.767
2006	32.327	11	3	33.439
2007	34.081	11	3	35.315
2008	34.935	11	3	36.239

## Emissões de GEE Indiretos

Os GEE indiretos estimados foram o CO<sub>2</sub>, o NO<sub>x</sub> e o NMVOC.

## 4.4 Emissões de CO

As estimativas das emissões de CO foram obtidas de acordo com a Equação 3, utilizando-se os fatores de emissão específicos para cada tipo de veículo e combustível. Os fatores de emissão utilizados foram apresentados na Tabela 9, para automóveis e comerciais leves do Ciclo Otto, sendo que, para esses veículos, foi adotado um incremento por deterioração (Tabela 17), que varia de acordo com a quilometragem acumulada do veículo (Equação 9). Para motocicletas, os fatores de emissão foram apresentados na Tabela 18; para comerciais leves do Ciclo Diesel, na Tabela 23; para ônibus, na Tabela 24; e para caminhões, na Tabela 25.

Na Tabela 42 são apresentadas as estimativas de emissões de CO para o Estado de São Paulo, de 1990 a 2008, desagregadas por tipo de veículo e por tipo de combustível.

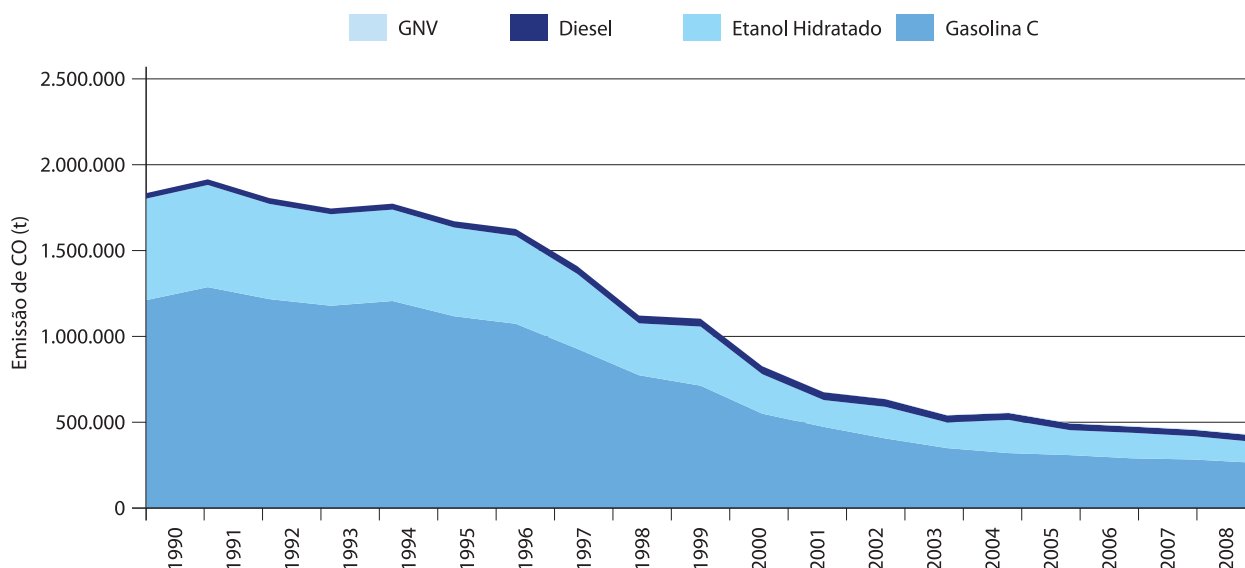
**Tabela 42** Emissões de CO do Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008

Emissões de CO												
[t]												
Tipo	Motor	Combustível	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Automóvel	Otto - Gasolina	Gasolina C	1.085.003	1.162.717	1.104.597	1.070.008	1.084.064	982.689	931.980	798.508	658.793	599.804
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	544.167	548.419	511.392	492.289	491.945	477.378	472.380	403.100	279.181	318.874
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Comercial Leve	Otto - Gasolina	Gasolina C	104.218	114.190	110.201	107.979	110.414	101.476	98.547	85.907	71.371	65.464
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	56.238	57.023	53.519	51.823	52.056	50.651	50.066	42.567	29.355	33.387
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Diesel	Diesel	1.287	1.366	1.404	1.440	1.593	1.723	1.926	2.138	2.201	2.321
Motocicleta	Otto - Gasolina	Gasolina C	62.085	70.500	69.631	69.136	72.940	72.481	79.723	85.767	93.471	109.187
Ônibus	Diesel - Urbano	Diesel	11.473	11.969	12.620	12.590	12.751	12.852	14.082	15.353	15.130	14.685
	Diesel - Rodoviário	Diesel	2.688	2.804	2.956	2.949	2.987	3.011	3.299	3.597	3.544	3.440
Caminhão	Diesel - Leve	Diesel	2.032	1.995	1.921	1.791	1.774	1.770	1.889	2.012	1.976	1.955
	Diesel - Médio	Diesel	5.085	5.103	5.009	4.779	4.861	5.019	5.539	6.076	6.161	6.244
	Diesel - Pesado	Diesel	9.283	9.589	9.780	9.917	10.882	11.991	13.811	15.688	16.336	16.802
GNV	GNV	GNV	0	0	2	6	11	8	7	8	11	18
Emissões Totais			1.883.557	1.985.674	1.883.031	1.824.706	1.846.280	1.721.049	1.673.250	1.460.720	1.177.530	1.172.180

Emissões de CO												
[t]												
Tipo	Motor	Combustível	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Automóvel	Otto - Gasolina	Gasolina C	454.954	380.740	313.050	258.530	228.979	213.737	195.162	185.486	168.462	
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	212.926	144.591	170.523	138.416	177.383	130.678	128.483	107.076	82.265	
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	5	4	54	580	354	678	
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	67	915	2.799	7.660	16.961	28.067	
Comercial Leve	Otto - Gasolina	Gasolina C	50.098	42.210	34.779	28.724	25.435	23.745	21.708	20.695	18.931	
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	22.195	15.009	17.648	14.286	18.240	13.378	13.110	10.906	8.369	
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	1	1	8	73	42	80	
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	15	168	421	980	2.040	3.322	
	Diesel	Diesel	2.496	2.530	2.465	2.195	2.075	1.944	1.768	1.777	1.797	
Motocicleta	Otto - Gasolina	Gasolina C	106.093	116.587	125.822	123.349	120.051	121.416	118.195	119.719	114.562	
Ônibus	Diesel - Urbano	Diesel	14.484	14.001	13.568	12.397	12.063	11.413	10.376	10.483	10.537	
	Diesel - Rodoviário	Diesel	3.393	3.280	3.178	2.904	2.826	2.694	2.464	2.494	2.493	
Caminhão	Diesel - Leve	Diesel	1.969	1.914	1.837	1.633	1.540	1.439	1.300	1.288	1.260	
	Diesel - Médio	Diesel	6.364	6.142	5.802	5.097	4.736	4.334	3.822	3.699	3.534	
	Diesel - Pesado	Diesel	17.452	17.743	17.862	16.679	16.823	16.819	16.082	17.020	18.235	
GNV	GNV	GNV	36	63	111	194	228	268	320	345	316	
Emissões Totais			892.459	744.809	706.645	604.491	611.466	545.147	522.085	500.387	462.909	

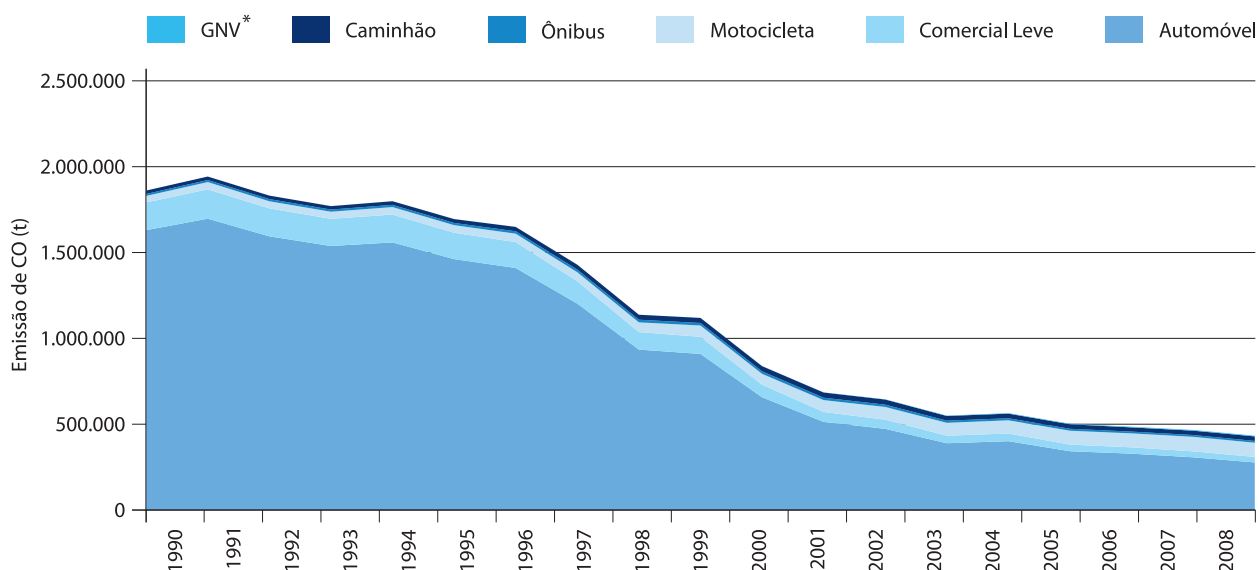
O Gráfico 9 apresenta a comparação das emissões de CO por tipo de combustível utilizado, para o período de 1990 a 2008

**Gráfico 9** Emissões de CO por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008



No Gráfico 10 é apresentada a comparação, em massa, das emissões de CO por tipo de veículo, para o Estado de São Paulo no período de 1990 a 2008.

**Gráfico 10** Emissões de CO por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008



\* Corresponde a veículos adaptados ao uso do GNV.

## 4.5 Emissões de NOx

As emissões de NOx foram estimadas a partir da Equação 3 (Tier 3). Para automóveis e comerciais leves as estimativas foram obtidas empregando-se os fatores de emissão apresentados na Tabela 9. Os incrementos devido à deterioração dos veículos são apresentados na Tabela 17 e variam de acordo com a quilometragem rodada de cada veículo. Para

estimar as emissões de motocicletas, foram utilizados os fatores de emissão apresentados na Tabela 18, já para comerciais leves do Ciclo Diesel, foram utilizados os fatores de emissão apresentados na Tabela 23. Para ônibus, foram utilizados os fatores de emissão apresentados na Tabela 24, para caminhões, os fatores de emissão apresentados na Tabela 25 e para GNV, os apresentados na Tabela 16.

Na Tabela 43, a seguir, são apresentadas as estimativas das emissões de NOx no Estado de São Paulo para o período de 1990 a 2008, desagregadas por tipo de veículo e por tipo de combustível.

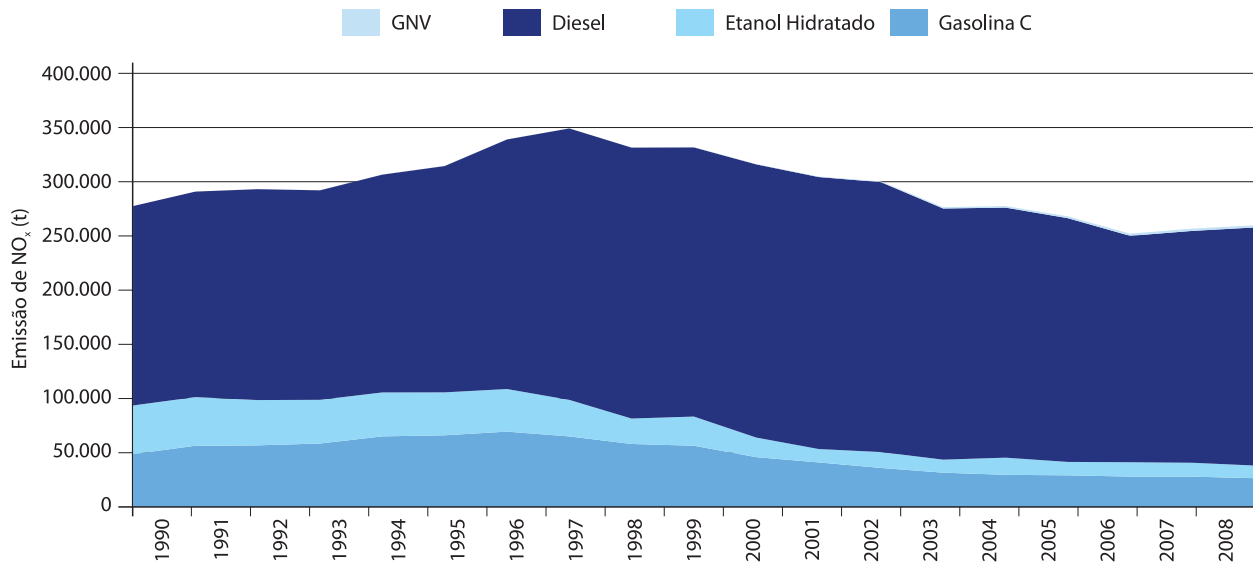
**Tabela 43** Emissões de NOx do Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008

Emissões de NOx												
[t]												
Tipo	Motor	Combustível	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Automóvel	Otto - Gasolina	Gasolina C	43.772	51.097	51.667	53.266	58.817	58.701	61.257	57.472	51.523	50.372
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	40.721	40.763	37.945	36.671	36.919	36.012	35.752	30.661	21.353	24.537
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Comercial Leve	Otto - Gasolina	Gasolina C	4.601	5.690	5.937	6.213	6.866	6.881	7.319	6.947	6.230	6.107
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	4.589	4.618	4.325	4.204	4.252	4.157	4.118	3.514	2.434	2.782
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Diesel	Diesel	7.402	7.858	8.076	8.282	9.166	9.911	10.990	11.973	12.085	12.452
Motocicleta	Otto - Gasolina	Gasolina C	315	358	353	351	370	368	405	435	474	554
Ônibus	Diesel - Urbano	Diesel	65.999	68.852	72.602	72.424	72.975	72.563	78.268	84.180	82.616	80.426
	Diesel - Rodoviário	Diesel	15.461	16.129	17.008	16.966	17.095	16.999	18.335	19.720	19.354	18.841
Caminhão	Diesel - Leve	Diesel	11.691	11.478	11.049	10.305	10.206	10.182	10.820	11.411	11.091	10.848
	Diesel - Médio	Diesel	29.252	29.355	28.817	27.490	27.965	28.874	31.623	34.144	34.047	33.971
	Diesel - Pesado	Diesel	53.400	55.161	56.259	57.048	62.601	68.980	78.574	87.274	89.030	90.058
GNV	GNV	GNV	0	0	1	3	6	4	4	4	6	9
Emissões Totais			277.204	291.360	294.037	293.223	307.238	313.633	337.465	347.737	330.242	330.958

Emissões de NOx												
[t]												
Tipo	Motor	Combustível	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Automóvel	Otto - Gasolina	Gasolina C	41.168	36.940	32.220	28.051	26.057	25.326	23.935	23.426	21.804	
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	16.499	11.285	13.404	10.961	14.155	10.511	10.418	8.752	6.782	
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	6	64	38	70	
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	18	252	701	1.505	2.776	3.699	
Comercial Leve	Otto - Gasolina	Gasolina C	5.023	4.506	3.893	3.348	3.076	2.965	2.786	2.722	2.536	
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	1.860	1.266	1.498	1.220	1.568	1.157	1.141	955	738	
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	1	8	5	8	
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	4	46	106	=	343	451	
	Diesel	Diesel	13.342	13.708	13.505	12.155	11.625	11.012	10.063	10.114	10.226	
Motocicleta	Otto - Gasolina	Gasolina C	539	592	639	753	976	1.264	1.605	2.125	2.443	
Ônibus	Diesel - Urbano	Diesel	79.576	77.317	75.752	70.400	69.100	65.354	59.399	59.982	60.257	
	Diesel - Rodoviário	Diesel	18.641	18.112	17.746	16.492	16.187	15.423	14.102	14.266	14.251	
Caminhão	Diesel - Leve	Diesel	10.892	10.648	10.295	9.225	8.770	8.260	7.487	7.410	7.244	
	Diesel - Médio	Diesel	34.509	33.495	31.808	28.112	26.264	24.151	21.342	20.654	19.731	
	Diesel - Pesado	Diesel	93.434	96.313	98.726	94.257	97.512	99.388	95.418	100.542	107.145	
GNV	GNV	GNV	19	32	58	100	118	139	166	179	164	
Emissões Totais			315.501	304.215	299.543	275.098	275.706	265.762	249.439	254.289	257.549	

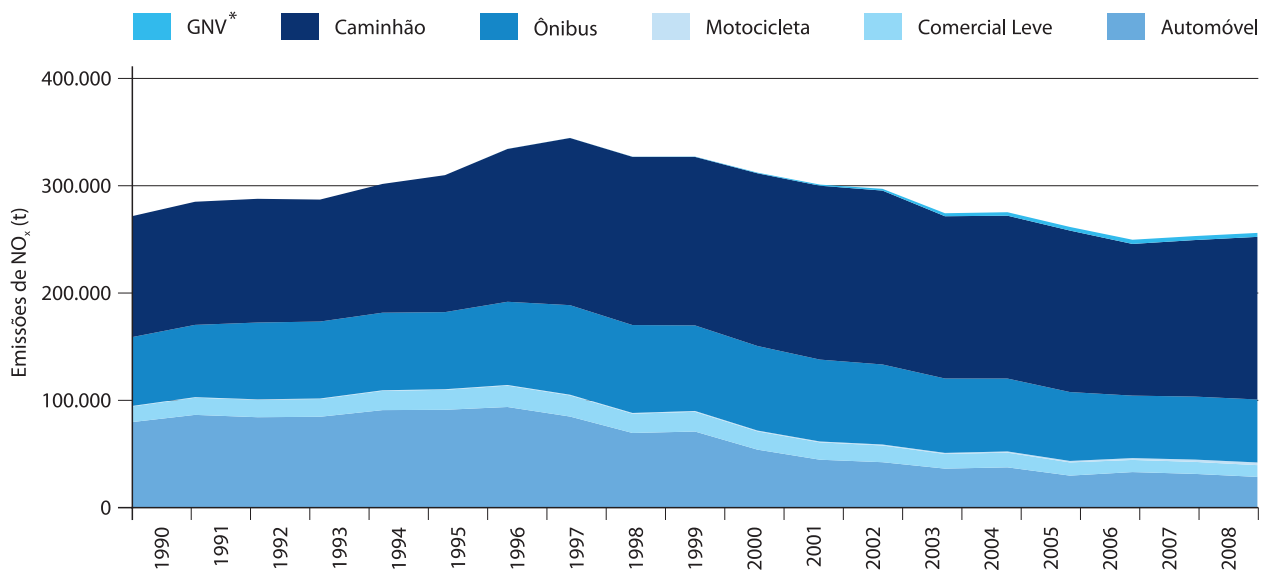
No Gráfico 11 são apresentadas as emissões de NOx de acordo com o tipo de combustível utilizado, para o período de 1990 a 2008.

**Gráfico 11** Emissões de NOx por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008



O Gráfico 12 compara as emissões de NOx por tipo de veículo, para o período de 1990 a 2008.

**Gráfico 12** Emissões de NOx por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008



\* Corresponde a veículos adaptados ao uso do GNV.

#### 4.6 Emissões de NMVOC

As emissões de NMVOC foram estimadas diferenciadamente para cada tipo de veículo. Para os automóveis e comerciais leves do Ciclo Otto, empregou-se a Equação 4, que considera as emissões do escapamento e as emissões evaporativas. Para as emissões do escapamento, considerou-se um incremento nos seus fatores de emissão por dete-

rrioração do veículo, que varia de acordo com a quilometragem acumulada (Equação 9). As emissões evaporativas são estimadas de acordo com a Equação 5 e seus fatores de emissão são obtidos de acordo com os dados fornecidos na Tabela 12.

Os fatores de emissão de NMVOC para motocicletas foram calculados a partir da Equação 8 e são apresentados na Tabela 19. Suas esti-

mativas foram obtidas conforme apresentado na Equação 3.

As estimativas de emissões de NMVOC para veículos do Ciclo Diesel foram calculadas a partir da Equação 3 e da Equação 8, aplicando-se os fatores de emissão apresentados na

Tabela 23 para comerciais leves, na Tabela 24 para ônibus, e na Tabela 25 para caminhões.

As estimativas de emissões de NMVOC por tipo de veículo e por tipo de combustível são apresentadas na Tabela 44 para o período de 1990 a 2008.

**Tabela 44** Emissões de NMVOC do Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008

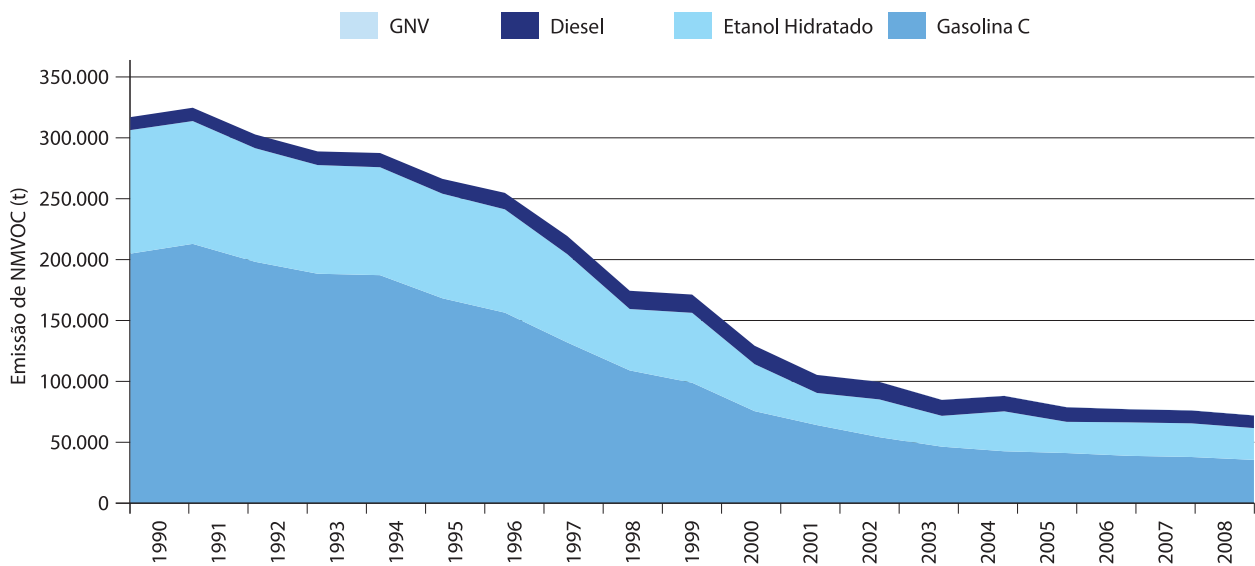
Emissões de MNVOC												
[t]												
Tipo	Motor	Combustível	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Automóvel	Otto - Gasolina	Gasolina C	187.236	196.559	184.004	175.118	172.422	151.952	139.917	117.706	96.935	87.742
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	93.384	92.988	86.066	82.483	82.048	79.396	78.457	67.075	46.718	53.234
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Comercial Leve	Otto - Gasolina	Gasolina C	18.367	19.465	18.352	17.545	17.343	15.427	14.454	12.332	10.239	9.356
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	9.986	9.967	9.255	8.899	8.871	8.581	8.453	7.191	4.981	5.647
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Diesel	Diesel	462	491	504	517	572	619	690	761	779	816
Motocicleta	Otto - Gasolina	Gasolina C	6.965	7.909	7.811	7.756	8.183	8.131	8.944	9.622	10.486	12.249
Ônibus	Diesel - Urbano	Diesel	3.969	4.141	4.366	4.356	4.404	4.419	4.817	5.228	5.131	4.961
	Diesel - Rodoviário	Diesel	913	953	1.004	1.002	1.013	1.016	1.108	1.202	1.179	1.140
Caminhão	Diesel - Leve	Diesel	611	600	578	539	533	532	567	601	588	579
	Diesel - Médio	Diesel	1.618	1.624	1.594	1.521	1.547	1.597	1.757	1.916	1.930	1.944
	Diesel - Pesado	Diesel	3.143	3.246	3.311	3.357	3.684	4.060	4.658	5.250	5.428	5.552
GNV	GNV	GNV	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Emissões Totais			326.655	337.941	316.845	303.093	300.620	275.730	263.821	228.885	184.394	183.220

continuação

Emissões de MNVOC												
[t]												
Tipo	Motor	Combustível	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Automóvel	Otto - Gasolina	Gasolina C	66.670	55.956	46.310	38.575	34.455	32.325	29.580	28.066	25.500	
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	35.792	24.509	28.776	23.465	29.928	22.200	21.843	18.255	14.094	
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	1	1	16	159	97	173	
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	31	418	1.362	3.357	6.971	9.664	
Comercial Leve	Otto - Gasolina	Gasolina C	7.198	6.099	5.062	4.216	3.768	3.546	3.263	3.127	2.888	
	Otto - Álcool	Álcool Hidratado	3.775	2.571	3.011	2.447	3.106	2.288	2.240	1.866	1.437	
	Otto - Flex Gasolina	Gasolina C	0	0	0	0	0	2	20	12	21	
	Otto - Flex Álcool	Álcool Hidratado	0	0	0	7	76	199	424	835	1.155	
	Diesel	Diesel	871	878	852	756	713	663	590	574	555	
Motocicleta	Otto - Gasolina	Gasolina C	11.902	13.079	14.115	13.838	13.454	13.761	13.582	13.965	13.628	
Ônibus	Diesel - Urbano	Diesel	4.874	4.687	4.514	4.096	3.899	3.577	3.157	3.069	2.950	
	Diesel - Rodoviário	Diesel	1.119	1.075	1.034	937	891	818	723	702	671	
Caminhão	Diesel - Leve	Diesel	578	555	527	464	434	400	352	336	316	
	Diesel - Médio	Diesel	1.966	1.881	1.767	1.545	1.428	1.297	1.129	1.070	997	
	Diesel - Pesado	Diesel	5.725	5.760	5.743	5.316	5.308	5.207	4.789	4.781	4.770	
GNV	GNV	GNV	2	3	5	9	11	12	15	16	15	
Emissões Totais			140.472	117.053	111.715	95.704	97.890	87.673	85.223	83.741	78.833	

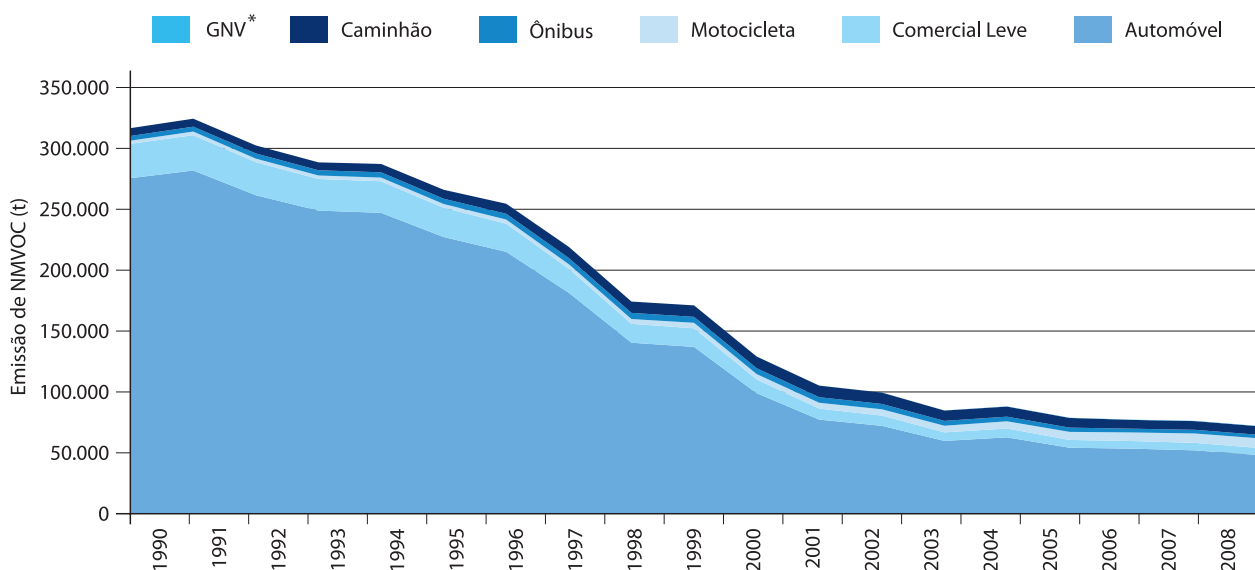
A seguir, no Gráfico 13 é apresentada a comparação das emissões de NMVOC do Estado de São Paulo, de 1990 a 2008, por tipo de combustível.

**Gráfico 13** Emissões de NMVOC por Tipo de Combustível no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008



O Gráfico 14 apresenta a comparação das emissões de NMVOC do Estado de São Paulo, para o período de 1990 a 2008, por tipo de veículo.

**Gráfico 14** Emissões de NMVOC por Tipo de Veículo no Estado de São Paulo, de 1990 a 2008



\* Corresponde a veículos adaptados ao uso do GNV.

## 5 Conclusões e Recomendações

A partir dos resultados obtidos, utilizando-se os métodos do IPCC (1996; 2000a) e do MMA (BRASIL, 2011), pode-se observar que o diesel e a gasolina C são responsáveis pela maior parte das emissões dos gases de efeito estufa, o que já era de se esperar devido ao maior consumo desses combustíveis.

Em uma visão geral, verificou-se que os automóveis representam uma parte expressiva das emissões de gases de efeito estufa; sendo que, em massa, correspondem a 35% das emissões de CO<sub>2</sub>, 77% das emissões de CH<sub>4</sub>, 56% das emissões de N<sub>2</sub>O, 82% das emissões de CO, 22% das emissões de NOx e 81% das emissões de NMVOC.

Pôde-se concluir que as emissões de CH<sub>4</sub> e CO dos caminhões e ônibus são pequenas, se comparadas às emissões dos automóveis. Porém, em relação ao CO<sub>2</sub> e ao NOx, as emissões de ônibus e caminhões juntas correspondem a aproximadamente 57% e 72% das emissões, em massa, respectivamente.

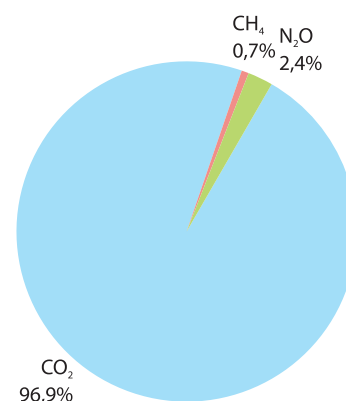
Neste trabalho foi possível verificar também que, apesar das emissões de NOx terem começado a diminuir a partir de meados de 1997, o mesmo não ocorreu em relação às emissões do N<sub>2</sub>O, que apresentou um aumento das suas emissões ao longo do período de estudo.

Em relação ao CH<sub>4</sub>, pode-se dizer que, em geral, as emissões desse gás de efeito estufa vêm diminuindo significativamente. De 1990 para 2008, verificou-se uma redução das emissões de CH<sub>4</sub> de aproximadamente 47%, em massa. Da mesma forma, as emissões de CO apresentaram uma redução de 77%, em massa, para o mesmo período. Essas reduções provavelmente estão relacionadas à evolução tecnológica que inclui a utilização do conversor catalítico.

Analisando-se as emissões e o GWP dos GEE emitidos pelo transporte rodoviário, pôde-se concluir que o CO<sub>2</sub><sup>13</sup> é o principal gás de efeito estufa, tanto de veículos leves quanto de pesados, sendo responsável em 2005, por aproximadamente 96,9% das emissões. Em relação ao mesmo ano, o N<sub>2</sub>O, apesar de ter GWP 310 vezes superior ao do CO<sub>2</sub>, representou pouco mais de 2,4% das emissões em CO<sub>2eq</sub> e o CH<sub>4</sub>, que possui GWP 21 vezes superior ao do CO<sub>2</sub>, representou 0,7% das emissões em CO<sub>2eq</sub>. O Gráfico 15 apresenta as emissões desses GEE em CO<sub>2eq</sub>.

A inexistência de alguns dados, tais como a frota real de veículos circulantes no Estado de São Paulo, a conversão de veículos para GNV, os fatores de emissão específicos, intensidade de uso, entre outros, fez com que fosse necessário adotar algumas premissas, que podem não representar exatamente a realidade do Estado. Espera-se que, no futuro, com o aperfeiçoamento da obtenção e coleta das informações, as estimativas possam ser aprimoradas para se aproximar cada vez mais da realidade.

Gráfico 15 Emissões de GEE do Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo em 2005



13 Neste caso, considerou-se apenas as emissões de origem fóssil, para os demais GEE foram consideradas as emissões totais.

## Referências

ABRACICLO. **Distribuição geográfica de vendas 2009**. [São Paulo, 2010?]. 1 tabela. Disponível em: < [http://abraciclo.com.br/images/stories/dados\\_setor/motocicletas/distribuicao/distribuicao\\_geografica\\_estado\\_2009.pdf](http://abraciclo.com.br/images/stories/dados_setor/motocicletas/distribuicao/distribuicao_geografica_estado_2009.pdf)>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Retrospecto setor motocicletas**. São Paulo, [2011?]. 1 tabela. Disponível em: <[http://abraciclo.com.br/images/stories/dados\\_setor/motocicletas/retrospectiva/retrospecto%20motociclos%202010\\_2011.pdf2.pdf](http://abraciclo.com.br/images/stories/dados_setor/motocicletas/retrospectiva/retrospecto%20motociclos%202010_2011.pdf2.pdf)>. Acesso em: jun. 2014.

ANFAVEA. **Anuário da indústria automobilística brasileira**. São Paulo, 1980-2009.

ANFAVEA. **Anuário da indústria automobilística brasileira** = Brazilian automotive industry yearbook 2014. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>>. Acesso em: jun. 2014.

ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis 2009**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: < [www.anp.gov.br/?dw=14162](http://www.anp.gov.br/?dw=14162)>. Acesso em: jun. 2014.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 3.ed. Porto Alegre: Bookmam, 2006.

AZUAGA, D. **Danos ambientais causados por veículos leves no Brasil**. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/dazuaga.pdf>>. Acesso em: jun. 2014

BARBOSA, L.C.A. **Introdução à química orgânica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

BORSARI, V. **As emissões veiculares e os gases do efeito estufa**. São Paulo: Sociedade de Engenheiros da Mobilidade, 2005. (SAE Technical Paper 2005-01-4002).

\_\_\_\_\_. **Caracterização das emissões de gases de efeito estufa por veículos automotores leves no Estado de São Paulo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-21092009-115044/pt-br.php>>. Acesso em: jun. 2014.

BRASIL. MCT. **Emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis: abordagem top-down**. Brasília, 2006a. (Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: relatórios de referência: energia). Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8812.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8812.pdf)>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Emissões de gases de efeito estufa no setor energético por fontes móveis**. Brasília, 2006b. (Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: relatórios de referência: energia). Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0008/8848.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8848.pdf)>. Acesso em: jun. 2014.

BRASIL. MMA. **1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários: relatório final**. Brasília, 2011. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/163/\\_publicacao/163\\_publicacao27072011055200.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf)>. Acesso em: jun. 2014.

CETESB **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2009**. São Paulo, 2010. (Série Relatórios). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em: jun. 2014.

EPE. **Balanço energético nacional 2010**: ano base 2009 = *Brazilian energy balance*: year 2009. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2010.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf)>. Acesso em: jun. 2014.

GOLDEMBERG, J.; NIGRO, F. E. B.; COELHO, S. T. **Bioenergia no Estado de São Paulo**: situação atual, perspectivas, barreiras e propostas. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2008. Disponível em: <[http://www.iea.sp.gov.br/out/bioenergia/textos/bio\\_05\\_2008.pdf](http://www.iea.sp.gov.br/out/bioenergia/textos/bio_05_2008.pdf)>. Acesso em: jun. 2014.

HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engine fundamentals**. New York: McGraw Hill, 1988. (McGraw Hill series in mechanical engineering).

IPCC. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**: reporting instructions. Bracknell, UK, 1996. v. 1. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.html>>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories**. Hayama, JP, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Methodological and technological issues in technology transfer**. Geneva, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/tectran/index.php?idp=0>>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Mudança do clima 1995**: a ciência da mudança do clima - sumário para formuladores de políticas e sumário técnico do relatório do grupo de trabalho I. Traduzido pelo MCT. Brasília, DF: MCT, 2000b. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17653/Sumario\\_Tecnico\\_do\\_Relatorio\\_do\\_Grupo\\_de\\_Trabalho\\_I.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17653/Sumario_Tecnico_do_Relatorio_do_Grupo_de_Trabalho_I.html)>. Acesso em: jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama, JP: IGES: IPCC, 2006. 5 v. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: jun. 2014.

MURGEL, E.M. et. al. Inventário da emissão veicular: metodologia de cálculo. **Engenharia Sanitária**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 3, p. 292-296, jul./set. 1987.

SANTOS, A. C. **A influência do uso do etanol combustível nas emissões dos gases do efeito estufa nos motores do ciclo otto**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2008. Disponível em: <[file:///C:/Documents%20and%20Settings/danielsh/Meus%20documentos/Downloads/a-influencia-do-uso-do-etanol-combustivel-nas-emissoes-dos-gases-do-efeito-estufa%20\(2\).pdf](file:///C:/Documents%20and%20Settings/danielsh/Meus%20documentos/Downloads/a-influencia-do-uso-do-etanol-combustivel-nas-emissoes-dos-gases-do-efeito-estufa%20(2).pdf)>. Acesso em: jun. 2014.

SÃO PAULO (Estado). SSE. **Balanço energético do estado de São Paulo 2009**: ano base 2008. São Paulo, 2009. (Série Informações Energéticas, 2). Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/43.pdf>>. Acesso em: jun. 2014.

SINDIPEÇAS. **Estudo da frota circulante brasileira**. São Paulo, 2008.

TEIXEIRA, E. C.; FELTES, S.; SANTANA, E. R. R. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 244-248, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v31n2/a10v31n2.pdf>>. Acesso em: jun. 2014.

Apoio



Embaixada Britânica  
Brasília

Realização



SECRETARIA DO  
MEIO AMBIENTE



GOVERNO DO ESTADO  
DE SÃO PAULO

ISBN 978-85-61405-63-2