

SP/P5510/R0256/2012 Versão Consulta Pública

Relatório Técnico - Produto 5:

Quantificação de emissões de GEE pelo setor

ENERGIA

São Paulo – SP

PMSP / SVMA

Novembro/2012

CONSULTA PÚBLICA

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO VERDE E MEIO AMBIENTE

PROGRAMA SBQ NO 007/2011

Atividade C 05: Sustainable Transport and Air Quality Program (STAQ)

Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP

Banco Mundial

Washington, D.C.

PRODUTO 5

QUANTIFICAÇÃO DE EMISSÕES DE GEE PELO SETOR DE ENERGIA

Equipe

Ambrogi, Vinicius

Castro, João

Grimoni, José Aquiles - Dr.

Ohata, Jaime (coordenador executivo)

Rodrigues, Délcio

Tachibana, Erica

Vilela, Marcio Maia – Prof. Dr. (coordenador técnico)

INSTITUTO EKOS BRASIL

&

GEOKLOCK CONSULTORIA E ENGENHARIA AMBIENTAL

2012

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|---|----|
| Equação 1 – Emissão de CO ₂ proveniente do consumo de eletricidade..... | 11 |
| Equação 2– Fator de emissão de CO ₂ para geração de eletricidade | 13 |
| Equação 3 – Emissão da UTE a biogás..... | 16 |
| Equação 4 – Conversão de volume para energia | 17 |
| Equação 5 – Emissão de GEE por combustão em fonte estacionária..... | 19 |
| Equação 6– Conversão (volume) para uma unidade comum de energia | 21 |
| Equação 7 – Conversão (massa) para uma unidade comum de energia | 25 |
| Equação 8 – Emissão de CO ₂ do transporte rodoviário | 31 |
| Equação 9 – Fator de emissão de CO ₂ | 34 |
| Equação 10 – Emissão de CH ₄ e N ₂ O do transporte rodoviário | 36 |
| Equação 11 – Emissão de GEE do transporte aéreo | 44 |
| Equação 12 – Emissões de GEE dos sistemas de gás natural..... | 50 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Estrutura do setor de Energia..... | 8 |
| Figura 2 – Emissões de CO ₂ da geração de eletricidade..... | 14 |
| Figura 3 – Consumo de eletricidade e Emissões de CO ₂ | 15 |
| Figura 4 – Emissões totais de GEE do gás natural | 24 |
| Figura 5 – Emissões das Indústrias de Transformação e Construção e Outros Setores..... | 30 |
| Figura 6 – Emissões de GEE do transporte rodoviário..... | 42 |
| Figura 7 – Consumo de combustível e as emissões de GEE | 43 |
| Figura 8 – Perfil das emissões do setor Energia por subsetor em 2003 e 2009 | 54 |
| Figura 9 – Perfil das emissões do subsetor queima de combustíveis em 2003 e 2009..... | 54 |
| Figura 10 – Perfil das emissões do transporte por combustível em 2003 e 2009..... | 55 |
| Figura 11 – Evolução das emissões de GEE do setor de Energia..... | 55 |
| Figura 12 – Emissão Relativa x Consumo Relativo | 56 |
| Figura 13 – Consumo de Combustível..... | 57 |
| Figura 14 – Emissões de GEE do setor de Energia em 2003..... | 61 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Consumo de eletricidade no Município | 11 |
| Tabela 2 – Fatores de emissão do SIN | 12 |
| Tabela 3 – Geração de energia elétrica no Brasil..... | 13 |
| Tabela 4 – Emissões de CO ₂ da geração de eletricidade | 14 |
| Tabela 5 – Eletricidade Despachada pelas Usinas de Biogás | 16 |
| Tabela 6 – Biogás queimado na geração de eletricidade | 17 |
| Tabela 7 – Fatores de emissão do biogás para geração de eletricidade | 18 |
| Tabela 8 – Emissões de CO ₂ das UTE a biogás..... | 18 |
| Tabela 9 – Emissões de CH ₄ das UTE a biogás..... | 18 |
| Tabela 10 – Emissões de N ₂ O das UTE a biogás | 19 |
| Tabela 11 – Consumo de Gás Natural no Município..... | 20 |
| Tabela 12 – Fatores de emissão GN em fontes estacionárias | 21 |
| Tabela 13 – Emissões de CO ₂ pela combustão de Gás Natural | 22 |
| Tabela 14 – Emissão de CH ₄ do gás natural em fontes fixas..... | 22 |
| Tabela 15 – Emissões de N ₂ O do gás natural em fontes fixas..... | 23 |
| Tabela 16 – Emissões totais de GEE do GN..... | 23 |
| Tabela 17 - Consumo de Combustíveis em fonte estacionária | 25 |
| Tabela 18 – Densidade energética dos combustíveis..... | 26 |
| Tabela 19 – Fatores de emissão de CO ₂ | 26 |
| Tabela 20 – Fatores de emissão de CH ₄ e N ₂ O..... | 27 |
| Tabela 21 – Emissões de CO ₂ de outros combustíveis | 27 |
| Tabela 22 – Emissões de CH ₄ de outros combustíveis | 28 |
| Tabela 23 – Emissões de N ₂ O de outros combustíveis | 28 |
| Tabela 24 – Emissões de GEE totais de outros combustíveis..... | 29 |
| Tabela 25 – Emissões das Indústrias de Transformação e Construção e Outros Setores | 29 |
| Tabela 26 – Consumo de combustível do transporte rodoviário | 32 |
| Tabela 27 – Porcentagem de biocombustível na gasolina e no diesel | 33 |
| Tabela 28 – densidade energética dos combustíveis..... | 33 |
| Tabela 29 – Fatores de emissão de CO ₂ para transporte rodoviário | 34 |
| Tabela 30 – Fator de emissão de CO ₂ para etanol | 35 |
| Tabela 31 – Emissões de CO ₂ do transporte rodoviário | 35 |
| Tabela 32 – Fatores de emissão de CH ₄ e N ₂ O para transporte rodoviário | 37 |

| | |
|--|----|
| Tabela 33 – Distribuição da frota nacional de automóveis de 2009 por idade | 37 |
| Tabela 34 – Intensidade de uso por idade | 39 |
| Tabela 35 – Combustível consumido em relação à idade do automóvel | 40 |
| Tabela 36 – Emissões de CH ₄ do transporte rodoviário | 40 |
| Tabela 37 – Emissões de N ₂ O do transporte rodoviário | 41 |
| Tabela 38 – Emissões totais de GEE do transporte rodoviário..... | 41 |
| Tabela 39 – Consumo de combustível do transporte aéreo | 46 |
| Tabela 40 – Fator de emissão de CO ₂ para aviação..... | 46 |
| Tabela 41 – Fatores de emissão de CH ₄ e N ₂ O da aviação..... | 47 |
| Tabela 42 – Emissões de CO ₂ da aviação | 47 |
| Tabela 43 – Emissões de CH ₄ da aviação | 47 |
| Tabela 44 – Emissões de N ₂ O da aviação..... | 48 |
| Tabela 45 – Emissões totais do transporte aéreo | 48 |
| Tabela 46 – Perdas na distribuição de gás natural | 51 |
| Tabela 47 – Composição do gás natural | 51 |
| Tabela 48 - Densidade..... | 52 |
| Tabela 49 – Emissões fugitivas da distribuição de GN | 52 |
| Tabela 50 – Emissões do Setor Energia..... | 53 |
| Tabela 51 – Emissões do setor Energia por GEE | 53 |
| Tabela 52 – Indicadores do consumo de eletricidade | 62 |

ABREVIATURAS E SIGLAS

| | | |
|----|-------------------|---|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | ANP | Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis |
| 4 | CO ₂ e | Dióxido de Carbono Equivalente |
| 5 | COMGÁS | Companhia de Gás de São Paulo |
| 6 | COPPE | Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia |
| 7 | COV | Composto Orgânico Volátil |
| 8 | FISPQ | Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico |
| 9 | GAV | Gasolina de Aviação |
| 10 | GEE | Gás de Efeito Estufa |
| 11 | GEF | <i>Global Environment Facility</i> |
| 12 | GLP | Gás Liquefeito de Petróleo |
| 13 | GN | Gás Natural |
| 14 | GNV | Gás Natural Veicular |
| 15 | HFCs | Hidrofluorcarbonos |
| 16 | ICLEI | <i>Local Governments for Sustainability</i> |
| 17 | IPCC | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> |
| 18 | MCTI | Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação |
| 19 | MWh | Megawatt-hora |
| 20 | ONS | Operador Nacional do Sistema Elétrico |
| 21 | PAG | Potencial de Aquecimento Global |
| 22 | PFCs | Perfluorcarbonos |
| 23 | PMSP | Prefeitura do Município de São Paulo |
| 24 | QAV | Querosene de aviação |
| 25 | SIN | Sistema Interligado Nacional |
| 26 | SNIS | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |
| 27 | STAQ | <i>Sustainable Transport and Air Quality</i> |
| 28 | TEP | Toneladas equivalentes de Petróleo |
| 29 | UTE | Usinas Termoelétricas |
| 30 | | |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. Introdução | 8 |
| 2. Métodos e Dados..... | 9 |
| 2.1. Queima de Combustíveis..... | 9 |
| 2.1.1. Fontes Estacionárias..... | 10 |
| 2.1.2. Fontes Móveis | 30 |
| 2.2. Emissões Fugitivas | 49 |
| 2.2.1. Sistemas de petróleo e gás natural | 50 |
| 3. Resultados Consolidados | 53 |
| 4. Incertezas | 58 |
| 5. Comparativo 1º Inventário de GEE do Município..... | 61 |
| 6. Referências..... | 63 |

1. INTRODUÇÃO

Este relatório é parte integrante dos serviços especializados de consultoria contratados para elaboração de Inventário Municipal de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (GEE) e outros Produtos, no Município de São Paulo, um subprojeto da janela 5 – Gestão da Demanda do Transporte Individual, do Programa *Sustainable Transport and Air Quality* (STAQ), patrocinado pelo *Global Environment Facility* (GEF), por meio do Banco Mundial, visando à quantificação e remoção das emissões dos gases de efeito estufa.

O setor de energia geralmente é o setor mais representativo nos inventários de GEE, dada a grande participação da queima de combustíveis fósseis nas matrizes energéticas. Para este setor são estimadas as emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Seguindo as diretrizes do IPCC (2006), os gases HFCs, PFCs e SF₆ não são contabilizados neste setor.

No setor de Energia, as emissões e remoções de GEE contabilizadas são as oriundas das atividades de queima de combustíveis, emissões fugitivas de combustíveis e de injeção e armazenamento geológico de CO₂. A estrutura do setor de Energia é apresentada na Figura 1.

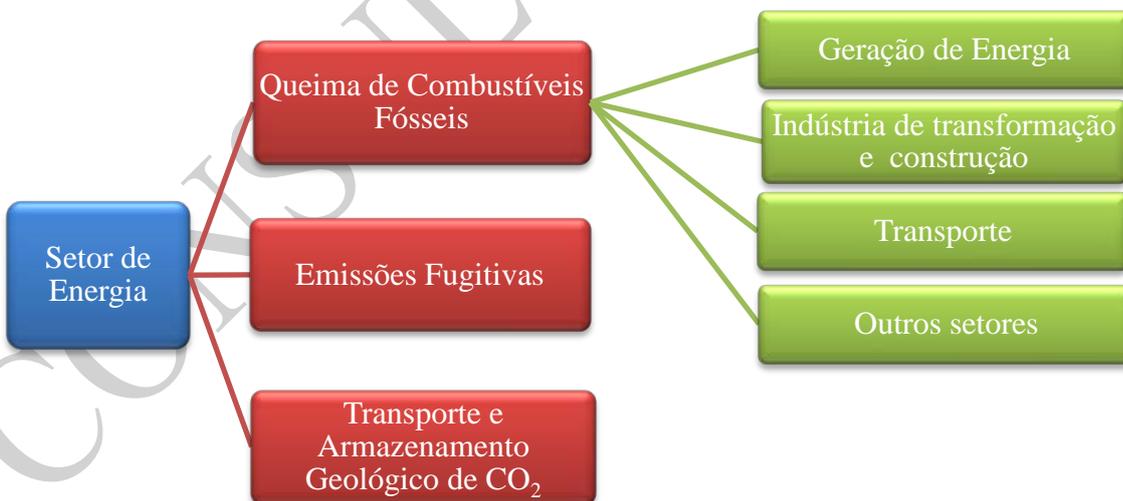


Figura 1 – Estrutura do setor de Energia

Neste relatório são apresentadas as metodologias, as bases de dados e as estimativas das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O do setor de energia para o Município de São Paulo no período de 2003 a 2009.

2. MÉTODOS E DADOS

O IPCC (2006) apresenta diretrizes para estimar as emissões e remoções de GEE do setor de energia segregadas em: queima de combustíveis, emissões fugitivas e armazenamento geológico de dióxido de carbono.

No Município de São Paulo não foram contabilizadas as remoções devido à prática de armazenamento geológico de dióxido de carbono (CO₂), pois esta atividade não é realizada no Município. Desta forma, as emissões de GEE contabilizadas para o setor de energia do Município são apresentadas em dois itens: queima de combustíveis e emissões fugitivas.

2.1. QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS

A queima de vários tipos de combustíveis fósseis implica na emissão de GEE como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), assim como na emissão de outros poluentes que contribuem com a poluição do ar (IPCC, 2006).

O IPCC (2006) apresenta duas abordagens para a contabilização das emissões da queima de combustíveis, que são denominadas “*top-down*” e “*bottom-up*”. A abordagem “*top-down*”¹, também conhecida como abordagem de referência, prevê a contabilização das emissões de GEE pela queima dos principais combustíveis fósseis sem diferenciação de como e onde são utilizados. A abordagem “*bottom-up*”, ou abordagem setorial, como o próprio nome já diz, quantifica as emissões de GEE para cada setor de consumo dos combustíveis com finalidades energéticas, levando-se em consideração características específicas de cada setor. Neste inventário foi adotada a abordagem setorial.

Para a abordagem setorial (“*bottom-up*”), o IPCC (2006) apresenta três graus de detalhamento (*Tiers*) da metodologia. O método do *Tier 1* é baseado nas quantidades de combustíveis e fatores de emissão médios padrão. O *Tier 2* também baseia-se nas quantidades de combustíveis, mas utiliza fatores de emissão específicos locais. Já o *Tier 3* utiliza modelos detalhados de emissão

¹ Esta abordagem contabiliza os combustíveis de acordo com a produção, importação, exportação, reservas e reservas internacionais, voltadas para a contabilização nacional. Como no Município não há produção, exportação, reservas internacionais e não foram consideradas reservas de um ano para o outro, a adaptação desta abordagem para o Município não traria resultados diferenciados.

1 ou monitoramento por medição das emissões, além de dados individuais para cada planta ou
2 processo.

3
4 As emissões da queima dos combustíveis foram segregadas em fontes estacionárias e fontes
5 móveis. Segundo classificação do IPCC (2006), a geração de energia, as indústrias de
6 transformação e construção e os outros setores são considerados como fontes estacionárias, pois
7 as emissões da queima dos combustíveis nestes segmentos ocorrem em equipamentos fixos. Já as
8 diferentes modalidades de transporte são consideradas como fontes móveis.

9 10 **2.1.1. Fontes Estacionárias**

11 12 **2.1.1.1. Geração de energia**

13
14 O IPCC (2006) considera como emissões da categoria de geração de energia² as provenientes da
15 queima de combustíveis na geração de energia elétrica e na extração de combustíveis. Neste
16 inventário não foram contabilizadas as emissões referentes à extração de combustíveis fósseis,
17 pois não foram encontrados registros desta atividade no Município de São Paulo.

18
19 Em relação à geração de energia elétrica no Município, verificou-se a existência de duas usinas
20 termoelétricas movidas a gás natural, as usinas Piratininga e Fernando Gasparian. A eletricidade
21 gerada por estas usinas são despachadas para o Sistema Interligado Nacional – SIN, que distribui
22 para grande parte do País a energia elétrica gerada por várias usinas espalhadas pelo território
23 brasileiro.

24
25 A energia elétrica consumida no Município de São Paulo é proveniente do SIN. Isto significa
26 que a energia consumida no Município foi gerada em diversas regiões do Brasil para suprir a
27 demanda do Município. A contabilização das emissões na geração de energia elétrica foi baseada
28 na quantidade de eletricidade consumida pelo Município e no fator de emissão médio do sistema
29 SIN, o qual é composto por diferentes fontes (hidrelétricas, termoelétricas, eólicas, entre outras
30 fontes).

31

² Categoria de geração de energia – O IPCC (2006) utiliza o termo “Indústria de energia”, neste inventário este termo foi substituído por “Geração de energia” por ser mais comumente utilizado e de fácil compreensão.

1 As emissões das usinas instaladas no Município já estão contabilizadas pelo fator da rede SIN.
 2 Entretanto, estas emissões foram determinadas e são apresentadas no capítulo 2.1.1.2 na seção de
 3 Gás Natural como informação adicional ao inventário, não sendo somadas no total do setor.

4
 5 Para quantificar as emissões de dióxido de carbono (CO₂) provenientes da geração de energia
 6 elétrica consumida no Município de São Paulo foi utilizada a Equação 1, adaptada do IPCC
 7 (2006) conforme a base de dados nacional, que equivaleria ao *Tier 2*, pois utiliza fatores de
 8 emissão específicos para o Brasil.

$$E_{CO_2} = Cons \cdot FE$$

Equação 1 – Emissão de CO₂ proveniente do consumo de eletricidade³

10
 11 onde

| | | |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <i>E_{CO2}</i> | Emissão de GEE | [tCO ₂ /ano] |
| <i>Cons</i> | Consumo de Eletricidade | [MWh/ano] |
| <i>FE</i> | Fator de emissão do SIN | [tCO ₂ /MWh] |

13
 14 Os dados do consumo de eletricidade no Município de São Paulo para o período de 2003 a 2009
 15 são apresentados por setor de consumo na Tabela 1.

16
 17 **Tabela 1 – Consumo de eletricidade no Município**

| Ano | Residencial | Comercial | Rural | Industrial | Iluminação Pública | Poder Público* | Serviço Público** | Consumo Próprio |
|-------|-------------|-----------|-------|------------|--------------------|----------------|-------------------|-----------------|
| (MWh) | | | | | | | | |
| 2003 | 7.805.405 | 7.513.526 | 3.969 | 4.107.595 | 536.308 | 760.023 | 1.187.125 | 32.587 |
| 2004 | 8.175.559 | 7.579.164 | 4.549 | 4.275.239 | 540.993 | 766.663 | 1.197.496 | 32.872 |
| 2005 | 8.612.702 | 7.779.404 | 4.104 | 4.208.730 | 555.286 | 786.918 | 1.229.133 | 33.740 |
| 2006 | 9.189.637 | 8.094.012 | 3.829 | 4.195.049 | 594.694 | 813.815 | 1.275.980 | 27.839 |
| 2007 | 9.736.162 | 8.400.941 | 4.013 | 4.272.924 | 606.177 | 856.651 | 1.326.143 | 34.644 |
| 2008 | 10.355.049 | 8.578.990 | 4.031 | 4.284.655 | 608.785 | 860.779 | 1.389.782 | 41.991 |
| 2009 | 10.754.774 | 8.871.081 | 3.699 | 3.871.954 | 613.304 | 902.431 | 1.371.355 | 42.749 |

18 * Unidades da administração direta.
 19 ** Água, esgoto, saneamento e transporte.
 20 Fonte: INFOCIDADE, 2012; SÃO PAULO (Estado), 2007; 2008; 2009

21

³ Fonte: IPCC (2006), V.2, Ch.2, p.2.11, Equação 2.1 - adaptado para estimar as emissões provenientes da geração de energia elétrica que foi consumida no Município

1 As emissões advindas da geração de energia elétrica das usinas ligadas ao SIN são contabilizadas
 2 pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, que disponibiliza fatores de emissão
 3 médios mensais e anuais baseados na quantidade de energia despachada para o SIN por fonte de
 4 geração. Isto implica em fatores de emissão maiores quando há a necessidade de gerar energia
 5 em usinas termoeletricas. Esta necessidade é controlada pelo Operador Nacional do Sistema
 6 Elétrico – ONS, que verifica a disponibilidade para a geração de energia nas usinas hidrelétricas
 7 e a demanda nacional para determinar o funcionamento ou não das usinas termoeletricas.

8
 9 Na quantificação das emissões de CO₂ na geração da energia elétrica consumida no Município
 10 de São Paulo, foram utilizados os fatores de emissão anuais do SIN para do período inventariado.
 11 Estes fatores são apresentados na Tabela 2.

12
 13 **Tabela 2 – Fatores de emissão do SIN**

| Ano | Fatores de Emissão médios |
|------|---------------------------|
| | (tCO ₂ /MWh) |
| 2003 | 0,0394* |
| 2004 | 0,0394* |
| 2005 | 0,0364* |
| 2006 | 0,0323 |
| 2007 | 0,0293 |
| 2008 | 0,0484 |
| 2009 | 0,0246 |

14 *Fatores de emissão estimados a partir da proporção por fonte de geração. Para o ano de 2003 assumiu-se o mesmo
 15 fator de 2004.
 16 Fonte: MCTI, 2012.

17
 18 Os fatores de emissão apresentados na Tabela 2 para o período de 2006 a 2009 são os publicados
 19 pelo MCTI (2012) para inventários de GEE. Para os anos de 2003 a 2005, os fatores de emissão
 20 foram calculados com base nas proporções da oferta interna de energia elétrica por fonte de
 21 geração apresentada no Balanço Energético Nacional – BEN (BRASIL, 2006a): de acordo com a
 22 porcentagem de energia elétrica gerada por fonte (hidráulica e térmica) apresentada por BRASIL
 23 (2006a) aplicou-se os fatores de emissão de CO₂ da geração de eletricidade apresentados no
 24 projeto *Greenhouse Gas Emission Reduction in Brazilian Industry - GERBI apud COPPE*
 25 (2005). Estes fatores são de 0,455 tCO₂/MWh para usinas termoeletricas a gás natural e de 1,126
 26 tCO₂/MWh para usinas a carvão. Desta forma, para os anos em que não estavam disponíveis os
 27 fatores de emissão do MCTI, os fatores foram obtidos conforme apresentado na Equação 2.

28

$$FE = GN \cdot 0,455 + Carvão \cdot 1,126$$

Equação 2– Fator de emissão de CO₂ para geração de eletricidade⁴

1

2 onde

3

| | | |
|---------------|--|-------------------------|
| <i>FE</i> | Fator de emissão | [tCO ₂ /MWh] |
| <i>GN</i> | Energia gerada por usinas termoeletricas a gás natural | [%] |
| <i>0,455</i> | Fator de emissão de usinas a gás natural | [tCO ₂ /MWh] |
| <i>Carvão</i> | Energia gerada por usina termoeletrica a carvão | [%] |
| <i>1,126</i> | Fator de emissão de usinas a carvão | [tCO ₂ /MWh] |

4

5 Conforme apresentado na Equação 2 as demais usinas de energia não são contabilizadas no fator
6 de emissão, pois se considera que não há emissões de CO₂ na geração de eletricidade nestas
7 fontes⁵.

8

9 A Tabela 3 apresenta as porcentagens de energia elétrica gerada no Brasil por fonte de geração
10 para os anos de 2004 e 2005. Para o ano de 2003, foi assumido o mesmo valor de 2004 uma vez
11 que as informações de geração de energia elétrica por fonte não estavam disponíveis.

12

13

Tabela 3 – Geração de energia elétrica no Brasil

| Ano | Hidráulica | Térmica a GN | Térmica a Carvão | Nuclear |
|------|------------|--------------|------------------|---------|
| 2004 | 88,3% | 4,2% | 1,8% | 3,3% |
| 2005 | 89,5% | 3,8% | 1,7% | 2,7% |

14 Fonte: BRASIL, 2006a

15

16 Os fatores de emissão médios utilizados neste inventário são referentes apenas às emissões de
17 CO₂ provenientes da geração da eletricidade consumida no Município de São Paulo, não sendo
18 contabilizadas as emissões de CH₄ e N₂O, conforme contabilização do MCTI.

19

20 As emissões de CO₂ provenientes da geração da eletricidade consumida no Município de São
21 Paulo são apresentadas na Tabela 4 por setor de consumo. As emissões relacionadas ao consumo
22 de energia elétrica para iluminação pública, serviços públicos, poder público e consumo próprio
23 foram agrupadas no setor de consumo público.

⁴ Fonte: elaborado a partir de dados da COPPE (2005), p.52, tabela 14.

⁵ Nos reservatórios das Usinas Hidroelétricas pode ocorrer emissão de CH₄ devido à degradação da matéria orgânica existente previamente no local inundado e quando contabilizada deve ser reportada no setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra, pois se trata de uma alteração no uso da terra.

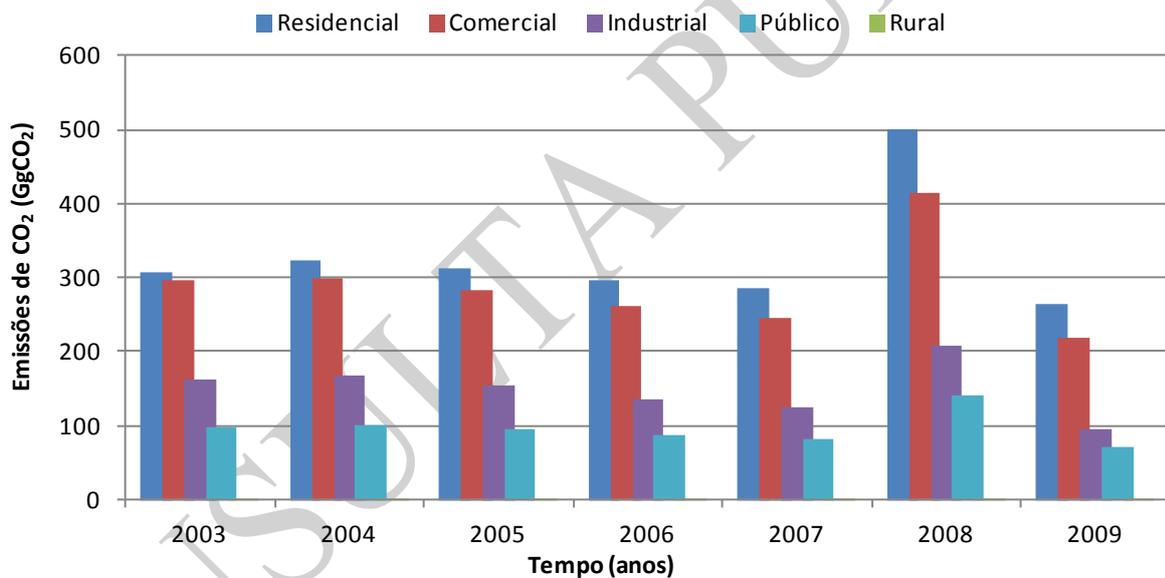
1
2

Tabela 4 – Emissões de CO₂ da geração de eletricidade

| Ano | Residencial | Comercial | Rural | Industrial | Público | Total |
|------|---------------------|-----------|-------|------------|---------|-----------|
| | (tCO ₂) | | | | | |
| 2003 | 307.533 | 296.033 | 156 | 161.839 | 99.132 | 864.694 |
| 2004 | 322.117 | 298.619 | 179 | 168.444 | 99.998 | 889.358 |
| 2005 | 313.502 | 283.170 | 149 | 153.198 | 94.825 | 844.845 |
| 2006 | 296.825 | 261.437 | 124 | 135.500 | 87.608 | 781.494 |
| 2007 | 285.270 | 246.148 | 118 | 125.197 | 82.732 | 739.463 |
| 2008 | 501.184 | 415.223 | 195 | 207.377 | 140.425 | 1.264.405 |
| 2009 | 264.567 | 218.229 | 91 | 95.250 | 72.074 | 650.211 |

3
4
5
6

A Figura 2 ilustra a variação das emissões de CO₂ provenientes da geração da eletricidade consumida no Município de São Paulo no período de 2003 a 2009 por setor de consumo.



7
8
9

Figura 2 – Emissões de CO₂ da geração de eletricidade

10 Como os fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional – SIN variam anualmente, para
11 comparação das emissões são apresentados o consumo de eletricidade no Município de São
12 Paulo e suas emissões de CO₂, ilustrados na Figura 3.

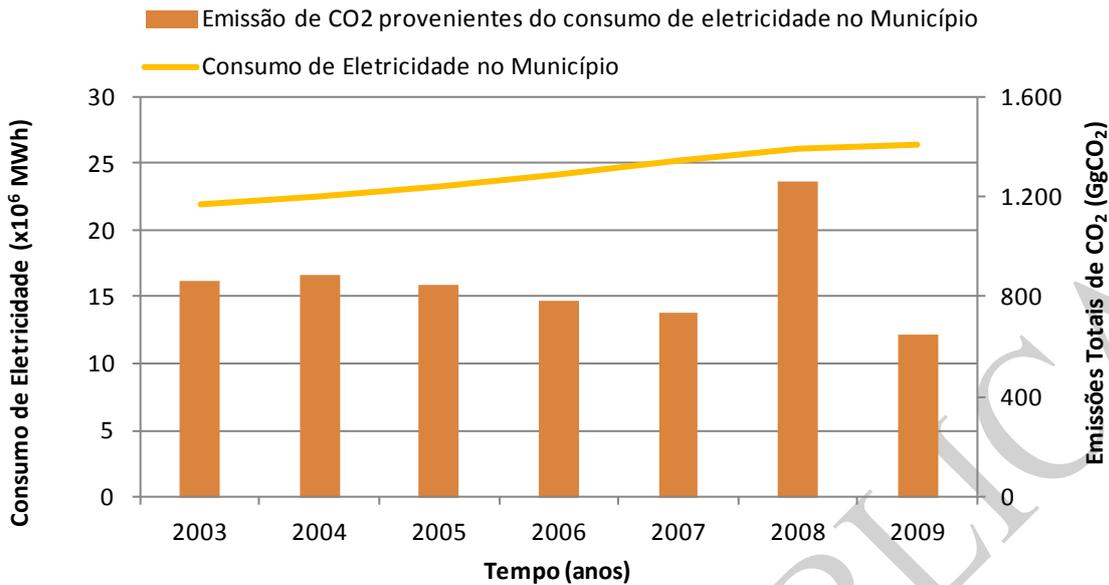


Figura 3 – Consumo de eletricidade e Emissões de CO₂

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24

Como pode ser verificado na Figura 3, no ano de 2008 houve um pico nas emissões de CO₂ da geração da eletricidade consumida no Município de São Paulo. Esse pico está relacionado com o aumento no fator de emissão do SIN que é baseado na quantidade de energia despachada para o SIN por fonte de geração. No ano de 2007 o fator de emissão era de 0,0293 tCO₂/MWh e em 2008 passou para 0,0484 tCO₂/MWh. Esta diferença entre os fatores de emissão deve-se a um aumento na geração de eletricidade em usinas termoelétricas no ano de 2008.

Para o Município de São Paulo são apresentados dois indicadores: o do consumo relativo de energia elétrica e o de emissões relativas. Estes indicadores são bastante utilizados para mensurar as emissões de forma comparativa entre as nações, podendo também auxiliar na gestão das emissões.

O consumo de energia elétrica relativo no Município foi de 2,06 MWh/habitante em 2003, considerando-se que neste ano a população do Município era de 10.667.019 habitantes, conforme IBGE *apud* SNIS (2012). No ano de 2009 este consumo passou para 2,39 MWh/habitante, considerando-se uma população de 11.037.593 habitantes (IBGE *apud* SNIS, 2012). Já a emissão relativa foi de 81 kgCO₂/habitante em 2003 e de 59 kgCO₂/habitante em 2009. Desta forma, pode-se verificar que o consumo de energia elétrica por habitante aumentou no Município, porém houve uma redução nas emissões provenientes da geração da energia elétrica consumida.

1 Além das usinas termoeletricas a gás natural, o Município de São Paulo conta também com duas
 2 usinas termoeletricas movidas a biogás⁶, localizadas no aterro Bandeirantes e no São João. A
 3 usina do aterro Bandeirantes entrou em operação em 2004 e a do aterro São João em 2008.
 4 Ambas despacham energia para o SIN. As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O da energia gerada nestas
 5 usinas são calculadas e reportadas como informação adicional, não sendo contabilizadas no total
 6 de emissões do setor, conforme diretrizes do IPCC (2006).

7
 8 Para quantificar as emissões de GEE da eletricidade gerada pelas usinas movidas a Biogás
 9 aplicou-se o método do *Tier 1*, apresentado na Equação 3, que utiliza dados da quantidade de
 10 biogás queimado com finalidade de gerar energia elétrica e os fatores de emissão padrão do
 11 IPCC (2006).

$$E = \text{Biogás} * FE$$

$$\text{Equação 3 – Emissão da UTE a biogás}^7$$

12
 13 onde

| | | |
|---------------|--|-----------|
| <i>E</i> | Emissão de GEE (CO ₂ , CH ₄ ou N ₂ O) | [tGEE] |
| <i>Biogás</i> | Biogás queimado para gerar energia | [TJ] |
| <i>FE</i> | Fator de Emissão | [tGEE/TJ] |

14
 15
 16 A quantidade de biogás queimado para gerar energia elétrica foi obtida a partir dos dados de
 17 eletricidade despachada para o SIN. Estes dados são apresentados na Tabela 5.

18
 19
 20 **Tabela 5 – Eletricidade Despachada pelas Usinas de Biogás**

| Ano | Eletricidade despachada para o SIN (MWh) | |
|------|---|-----------------|
| | Aterro Bandeirantes | Aterro São João |
| 2004 | 76.990,8 | - |
| 2005 | 98.901,4 | - |
| 2006 | 143.339,8 | - |
| 2007 | 132.771,2 | - |
| 2008 | 98.778,3 | 96.491,1 |
| 2009 | 91.771,6 | 146.334,0 |

21 Fonte: UNFCCC, 2012

⁶ Gás produzido pela degradação de matéria orgânica por bactérias, em condições anaeróbicas (sem a presença de oxigênio). É composto basicamente por gás metano e gás carbônico.

⁷ Fonte: IPCC (2006), V.2, Ch.2, Equação 2.1, p.2.11

Para determinar a quantidade de biogás queimado para gerar eletricidade, considerou-se que a geração de eletricidade⁸ a partir de um m³ de biogás é de 1,6 kWh. O volume de biogás queimado na geração de eletricidade é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Biogás queimado na geração de eletricidade

| Ano | Aterro Bandeirantes (m ³) | Aterro São João (m ³) |
|------|--|--------------------------------------|
| 2004 | 48.119.219 | - |
| 2005 | 61.813.375 | - |
| 2006 | 89.587.394 | - |
| 2007 | 82.981.981 | - |
| 2008 | 61.736.431 | 60.306.918 |
| 2009 | 57.357.238 | 91.458.757 |

Fonte: a partir dos dados da UNFCCC, 2012 apresentados na Tabela 5

Para converter a unidade de medida do biogás queimado de volume (m³) para energia (TJ) aplicou-se a Equação 4.

$$Biogás = Biogás_v * PC * FC \quad \text{Equação 4 – Conversão de volume para energia}^9$$

onde

| | | |
|---------------------------|------------------------------------|------------------------|
| <i>Biogás</i> | Biogás queimado para gerar energia | [TJ] |
| <i>Biogás_v</i> | Volume de biogás queimado | [m ³] |
| <i>PC</i> | Poder calorífico do biogás | [kcal/m ³] |
| <i>FC</i> | Fator de conversão de kcal para TJ | [TJ/kcal] |

Sendo que para o poder calorífico¹⁰ do biogás utilizou-se o valor de 4.250kcal/m³ e para o fator de conversão¹¹ utilizou-se o valor de 4,1868x10⁻⁹TJ/kcal.

Os fatores de emissão utilizados para quantificar as emissões provenientes da queima de biogás nas UTE foram os fatores padrão do IPCC (2006), apresentados na Tabela 7.

⁸ Fonte: UNFCCC (2012), a partir de dados de metano queimado e energia gerada disponíveis nos relatórios de monitoramento dos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL dos aterros Bandeirantes e São João.

⁹ Fonte: IPCC (2006), V.2, Ch.1, p.1.16 - adaptado para conversão de unidades de volume para energia

¹⁰ Fonte: PECORA *et al* (2008) que apresenta o poder calorífico do metano de 8.500 kcal/m³. Considerando-se que o biogás possui 50% de metano (conforme IPCC, 2006) obteve-se o poder calorífico do biogás, de 4.250kcal/m³.

¹¹ Fonte: BRASIL (2006a) com adaptação das unidades de medida para adequação das grandezas.

Tabela 7 – Fatores de emissão do biogás para geração de eletricidade

| GEE | Fator de Emissão | Unidade |
|------------------|------------------|----------------------|
| CO ₂ | 54,6 | tCO ₂ /TJ |
| CH ₄ | 0,001 | tCH ₄ /TJ |
| N ₂ O | 0,0001 | tN ₂ O/TJ |

Fonte: IPCC, 2006¹²

A partir dos dados apresentados, as emissões de GEE foram quantificadas. As emissões de CO₂ proveniente da queima do metano para geração de eletricidade nas usinas termoeletricas - UTE dos aterros Bandeirantes e São João são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Emissões de CO₂ das UTE a biogás

| Ano | Aterro Bandeirantes | Aterro São João | Total |
|------|---------------------|-----------------|---------|
| | (tCO ₂) | | |
| 2004 | 46.750 | - | 46.750 |
| 2005 | 60.055 | - | 60.055 |
| 2006 | 87.038 | - | 87.038 |
| 2007 | 80.621 | - | 80.621 |
| 2008 | 59.980 | 58.591 | 118.571 |
| 2009 | 55.725 | 88.856 | 144.581 |

Na Tabela 9 são apresentadas as emissões de CH₄ das usinas termoeletricas dos aterros Bandeirantes e São João.

Tabela 9 – Emissões de CH₄ das UTE a biogás

| Ano | Aterro Bandeirantes | Aterro São João | Total |
|------|---------------------|-----------------|-------|
| | (tCH ₄) | | |
| 2004 | 0,86 | - | 0,86 |
| 2005 | 1,10 | - | 1,10 |
| 2006 | 1,59 | - | 1,59 |
| 2007 | 1,48 | - | 1,48 |
| 2008 | 1,10 | 1,07 | 2,17 |
| 2009 | 1,02 | 1,63 | 2,65 |

As emissões de N₂O do biogás queimado para gerar eletricidade são apresentadas na Tabela 10.

¹² Fonte: IPCC (2006), V.2, Ch.2, p.2.17, Tabela 2.2 – Gas Biomass: Landfill Gas

Tabela 10 – Emissões de N₂O das UTE a biogás

| Ano | Aterro Bandeirantes | Aterro São João | Total |
|------|---------------------|-----------------|-------|
| | (tN ₂ O) | | |
| 2004 | 0,09 | - | 0,09 |
| 2005 | 0,11 | - | 0,11 |
| 2006 | 0,16 | - | 0,16 |
| 2007 | 0,15 | - | 0,15 |
| 2008 | 0,11 | 0,11 | 0,22 |
| 2009 | 0,10 | 0,16 | 0,26 |

Conforme pode ser verificado nas Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10, entre os anos de 2005 a 2007 há uma elevação nas emissões de CO₂, CH₄ e N₂O do aterro Bandeirantes em relação aos demais anos. Este aumento nas emissões corresponde a uma maior produção de eletricidade no aterro Bandeirantes nos anos em questão.

2.1.1.2. Indústrias de transformação e construção e outros setores

Neste capítulo são quantificadas as emissões de GEE provenientes da queima de combustíveis das indústrias de transformação e de construção e outros setores. O segmento “outros setores” incluem os setores comercial e residencial. As emissões devidas à queima de combustíveis nestes segmentos incluem a combustão em geradores próprios para obtenção de energia elétrica e/ou geração de calor, como por exemplo, utilizado para aquecer caldeiras nas indústrias, cozimento de alimentos, sistemas de aquecimento de água, etc. (IPCC, 2006).

Para quantificar as emissões dos GEE provenientes da queima de combustíveis por fontes estacionárias foi utilizada a metodologia apresentada pelo IPCC (2006) referente ao *Tier 1*, conforme Equação 5.

$$E_{G,C} = Cons_C \cdot FE_{G,C}$$

Equação 5 – Emissão de GEE por combustão em fonte estacionária¹³

onde

E Emissão de GEE [tGEE/ano]

¹³ Fonte: IPCC (2006), V.2, Ch.2, Equação 2.1, p.2.11

| | | |
|-------------|------------------------|-----------|
| <i>Cons</i> | Consumo de combustível | [TJ/ano] |
| <i>FE</i> | Fator de emissão | [tGEE/TJ] |
| <i>g</i> | Tipo de GEE | |
| <i>c</i> | Tipo de combustível | |

As emissões de GEE provenientes da queima de combustíveis nestes segmentos são apresentadas para os tipos de combustíveis utilizados.

Gás Natural

As emissões de GEE provenientes da combustão de gás natural em fontes estacionárias foram estimadas a partir de dados de consumo deste combustível e de fatores de emissão, conforme apresentado na Equação 5.

Os dados de consumo de gás natural em fontes estacionárias no Município de São Paulo para o período de 2003 a 2009 são apresentados por setor de consumo na Tabela 11.

Tabela 11 – Consumo de Gás Natural no Município

| Ano | Residencial | Comercial | Industrial (m ³) | Cogeração | Termogeração |
|------|-------------|------------|---------------------------------|-------------|--------------|
| 2003 | 87.703.282 | 72.751.903 | 305.037.289 | 214.880.229 | 66.546.063 |
| 2004 | 98.280.517 | 81.525.964 | 341.825.548 | 240.795.321 | 74.571.684 |
| 2005 | 101.858.360 | 84.612.949 | 361.753.933 | 2.748.764 | 147.879.005 |
| 2006 | 108.383.342 | 86.834.169 | 389.547.122 | 2.412.062 | 64.066.836 |
| 2007 | 112.029.032 | 83.038.815 | 384.619.912 | 2.334.790 | 50.805.124 |
| 2008 | 125.267.967 | 88.080.085 | 389.626.720 | 2.455.390 | 327.241.911 |
| 2009 | 129.113.734 | 81.875.492 | 331.770.868 | 3.702.333 | 57.990.581 |

Fonte: COMGÁS, 2012a; SÃO PAULO (Estado), 2007 a 2010

Os dados de consumo de gás natural no Município de São Paulo para o período de 2003 a 2006 foram disponibilizados pela COMGÁS (2012a). Os dados de 2007 a 2009 são os publicados por SÃO PAULO (Estado, 2008 a 2010).

Para se quantificar as emissões de GEE provenientes da queima deste combustível, o IPCC (2006) recomenda a conversão do consumo de combustível em uma unidade de medida comum, neste caso, o Terajoule (TJ). Esta conversão é dada pela Equação 6.

$$Cons = ConsV \cdot d_{energ} \cdot 0,041868$$

Equação 6– Conversão (volume) para uma unidade comum de energia¹⁴

| | | |
|--------------------------|---|-----------------------|
| <i>Cons</i> | Consumo de combustível em energia | [TJ] |
| <i>ConsV</i> | Consumo de combustível em volume | [m ³] |
| <i>d_{energ}</i> | Densidade energética do combustível | [tep/m ³] |
| 0,041868 | Fator de conversão ¹⁵ de tep para TJ | [TJ/tep] |

A conversão do consumo de gás natural foi realizada utilizando-se a densidade energética de 0,880 tep/m³ apresentado por BRASIL (2010)¹⁶.

Foram utilizados os fatores de emissão padrão do IPCC (2006), apresentados na Tabela 12, para quantificar as emissões de GEE provenientes da combustão do gás natural nos diversos setores de consumo.

Tabela 12 – Fatores de emissão GN em fontes estacionárias

| GEE | Residencial | Comercial | Indústria | Energia | Unidade |
|------------------|-------------|-----------|-----------|---------|-----------------------|
| CO ₂ | 56.100 | 56.100 | 56.100 | 56.100 | kgCO ₂ /TJ |
| CH ₄ | 5 | 5 | 1 | 1 | kgCH ₄ /TJ |
| N ₂ O | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | kgN ₂ O/TJ |

Fonte: IPCC, 2006¹⁷

As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O provenientes da combustão do gás natural em fontes estacionárias foram quantificadas por setor de consumo. Observe-se, porém, que as emissões de GEE provenientes da combustão do gás natural para termogeração não foram contabilizadas no total das emissões do setor, pois de acordo com o informado pela Secretaria de Energia e Saneamento do Estado de São Paulo em contato realizado durante a elaboração, o gás natural para termogeração no Município de São Paulo no período de 2006 a 2009 era utilizado por duas unidades consumidoras, as quais correspondem às usinas termoelétricas Piratininga e Fernando Gasparian. Estas usinas, conforme descrito no item 2.1.1.1, despacham energia para o SIN e por isto suas emissões já são contabilizadas no fator de emissão da rede SIN.

¹⁴ Fonte: BRASIL (2010), p.15 do anexo metodológico

¹⁵ Fonte: BRASIL (2010), p.16 do anexo metodológico com adaptação da grandeza da unidade de medida. Nota: tep – tonelada equivalente de petróleo (utilizado como unidade padrão de energia no Balanço Energético Nacional) e TJ – Terajoule (unidade de medida de energia utilizada pelo IPCC (2006)).

¹⁶ Fonte: BRASIL (2010), p.12 do anexo metodológico, Tabela A3 – Gás Natural Seco.

¹⁷ Fator de emissão para *Natural Gas*, V2, Ch2, p. 2.16, Tabela 2.2; p. 2.18, Tabela 2.3; p.2.20, Tabela 2.4; p.2.22, Tabela 2.5.

1 As emissões de CO₂ da combustão do gás natural em fontes estacionárias são apresentadas por
2 setor de consumo na Tabela 13.

3
4 **Tabela 13 – Emissões de CO₂ pela combustão de Gás Natural**

| Ano | Residencial | Comercial | Industrial | Cogeração | Termogeração* | Total |
|------|---------------------|-----------|------------|-----------|---------------|-----------|
| | (tCO ₂) | | | | | |
| 2003 | 193.566 | 160.568 | 673.235 | 474.253 | 146.871 | 1.501.623 |
| 2004 | 216.911 | 179.933 | 754.429 | 531.450 | 164.584 | 1.682.722 |
| 2005 | 224.807 | 186.746 | 798.412 | 6.067 | 326.378 | 1.216.032 |
| 2006 | 239.208 | 191.648 | 859.754 | 5.324 | 141.399 | 1.295.934 |
| 2007 | 247.255 | 183.272 | 848.879 | 5.153 | 112.130 | 1.284.558 |
| 2008 | 276.474 | 194.398 | 859.929 | 5.419 | 722.242 | 1.336.220 |
| 2009 | 284.962 | 180.704 | 732.238 | 8.171 | 127.989 | 1.206.075 |

5 *Emissões não contabilizadas no total das emissões por se referirem a queima de combustível para geração de
6 energia elétrica das usinas termoeletricas Piratininga e Fernando Gasparian, que já são contabilizadas no fator de
7 emissão do SIN.

8
9 Na Tabela 14 são apresentadas as emissões de CH₄ provenientes da combustão do gás natural em
10 fontes estacionárias no Município de São Paulo no período de 2003 a 2009 por classe de
11 consumo.

12
13 **Tabela 14 – Emissão de CH₄ do gás natural em fontes fixas**

| Ano | Residencial | Comercial | Industrial | Cogeração | Termogeração* | Total |
|------|---------------------|-----------|------------|-----------|---------------|-------|
| | (tCH ₄) | | | | | |
| 2003 | 17,3 | 14,3 | 12,0 | 8,5 | 2,6 | 52,0 |
| 2004 | 19,3 | 16,0 | 13,4 | 9,5 | 2,9 | 58,3 |
| 2005 | 20,0 | 16,6 | 14,2 | 0,1 | 5,8 | 51,0 |
| 2006 | 21,3 | 17,1 | 15,3 | 0,1 | 2,5 | 53,8 |
| 2007 | 22,0 | 16,3 | 15,1 | 0,1 | 2,0 | 53,6 |
| 2008 | 24,6 | 17,3 | 15,3 | 0,1 | 12,9 | 57,4 |
| 2009 | 25,4 | 16,1 | 13,1 | 0,1 | 2,3 | 54,7 |

14 *Emissões não contabilizadas no total das emissões por se referirem a queima de combustível para geração de
15 energia elétrica das usinas termoeletricas Piratininga e Fernando Gasparian, que despacham energia para o SIN.

16
17 A Tabela 15 apresenta as emissões de N₂O da combustão de gás natural em fontes estacionárias
18 por classe de consumo no período de 2003 a 2009.

19

Tabela 15 – Emissões de N₂O do gás natural em fontes fixas

| Ano | Residencial | Comercial | Industrial | Cogeração | Termogeração* | Total |
|------|---------------------|-----------|------------|-----------|---------------|-------|
| | (tN ₂ O) | | | | | |
| 2003 | 0,35 | 0,29 | 1,20 | 0,85 | 0,26 | 2,68 |
| 2004 | 0,39 | 0,32 | 1,34 | 0,95 | 0,29 | 3,00 |
| 2005 | 0,40 | 0,33 | 1,42 | 0,01 | 0,58 | 2,17 |
| 2006 | 0,43 | 0,34 | 1,53 | 0,01 | 0,25 | 2,31 |
| 2007 | 0,44 | 0,33 | 1,51 | 0,01 | 0,20 | 2,29 |
| 2008 | 0,49 | 0,35 | 1,53 | 0,01 | 1,29 | 2,38 |
| 2009 | 0,51 | 0,32 | 1,31 | 0,01 | 0,23 | 2,15 |

*Emissões não contabilizadas no total das emissões por se referirem a queima de combustível para geração de energia elétrica das usinas termoeletricas Piratininga e Fernando Gasparian, que despacham energia para o SIN.

As emissões totais de GEE provenientes da combustão do gás natural no Município de São Paulo são apresentadas na Tabela 16 em tCO₂e de acordo com a métrica do Potencial de Aquecimento Global – PAG¹⁸.

Tabela 16 – Emissões totais de GEE do GN

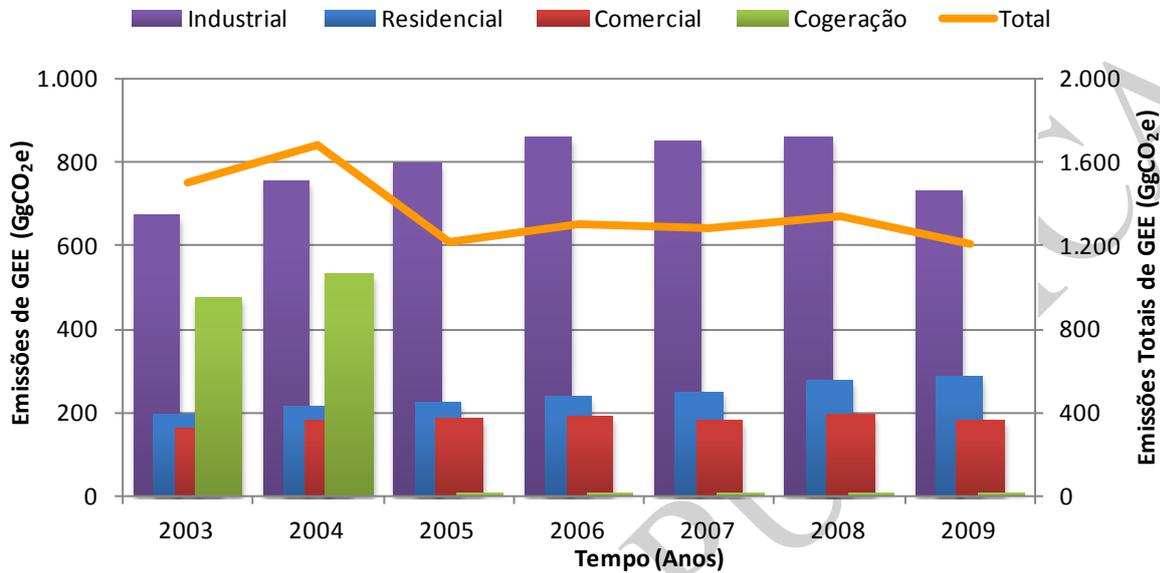
| Ano | Residencial | Comercial | Industrial | Cogeração | Termogeração* | Total |
|------|----------------------|-----------|------------|-----------|---------------|-----------|
| | (tCO ₂ e) | | | | | |
| 2003 | 194.036 | 160.957 | 673.859 | 474.693 | 147.007 | 1.503.545 |
| 2004 | 217.437 | 180.369 | 755.129 | 531.942 | 164.737 | 1.684.876 |
| 2005 | 225.352 | 187.199 | 799.152 | 6.072 | 326.680 | 1.217.776 |
| 2006 | 239.788 | 192.113 | 860.551 | 5.328 | 141.530 | 1.297.780 |
| 2007 | 247.854 | 183.716 | 849.666 | 5.158 | 112.234 | 1.286.394 |
| 2008 | 277.144 | 194.869 | 860.726 | 5.424 | 722.912 | 1.338.164 |
| 2009 | 285.653 | 181.142 | 732.917 | 8.179 | 128.107 | 1.207.890 |

*Emissões da termogeração não foram somadas ao total de emissões, pois se referem às emissões das usinas termoeletricas Piratininga e Fernando Gasparian, já contabilizadas na geração de energia elétrica consumida no Município.

Deve-se ressaltar que as emissões de GEE do consumo de gás natural para termogeração são apresentadas somente para informação, pois estas se referem às usinas termoeletricas Piratininga e Fernando Gasparian, que despacham energia elétrica para o Sistema Interligado Nacional – SIN. Portanto, estas emissões já foram contabilizadas nas emissões provenientes da geração de energia elétrica consumida no Município de São Paulo, apresentadas no item 2.1.1.1.

¹⁸ O Potencial de Aquecimento Global – PAG do metano é de 21 CO₂e para cada unidade mássica e para o óxido nítrico é de 310 CO₂e.

1 As emissões totais de GEE provenientes da combustão do gás natural em fontes estacionárias por
 2 setor de consumo no Município de São Paulo no período de 2003 a 2009 são apresentadas na
 3 Figura 4.



5
6 **Figura 4 – Emissões totais de GEE do gás natural**

7
8 De acordo com a Figura 4, o principal setor de consumo em relação às emissões de GEE no
 9 período analisado é o industrial, responsável por aproximadamente 64% das emissões
 10 provenientes da combustão de gás natural em fontes estacionárias. Verifica-se que o crescimento
 11 das emissões de GEE do setor industrial se deu até 2008. Em 2009 observa-se uma queda de
 12 14,8% em suas emissões, quando comparadas ao ano anterior. Observa-se ainda que as emissões
 13 provenientes da combustão de gás natural para cogeração nos anos de 2003 e 2004 eram bastante
 14 representativas, mas que a partir de 2005 perderam drasticamente esta influência. Em relação às
 15 emissões totais dos GEE provenientes da combustão do gás natural, verificou-se um aumento de
 16 27% no ano de 2009 em relação às emissões do ano de 2003.

17
18 **Outros Combustíveis**

19
20 As emissões de GEE provenientes da combustão de querosene de iluminação¹⁹, óleo combustível
 21 e gás liquefeito de petróleo – GLP foram calculadas conforme apresentado na Equação 5, a partir
 22 de dados do consumo de combustível e de fatores de emissão.

¹⁹ De acordo com ANP (2012b), o querosene de iluminação pode ser utilizado como solvente e combustível em lâmparas.

Os dados do consumo de querosene de iluminação, óleo combustível e GLP no Município de São Paulo são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Consumo de Combustíveis em fonte estacionária

| Ano | Querosene de Iluminação (m ³) | Óleo Combustível (t) | GLP | | |
|------|--|-------------------------|-------------|-----------|------------|
| | | | Residencial | Comercial | Industrial |
| | | | (t) | (t) | (t) |
| 2003 | 11.399 | 92.326 | 314.712 | 58.017 | 30.056 |
| 2004 | 4.345 | 84.759 | 291.000 | 51.680 | 32.199 |
| 2005 | 1.131 | 71.682 | 295.169 | 51.491 | 32.182 |
| 2006 | 949 | 36.599 | 302.607 | 50.028 | 36.023 |
| 2007 | 788 | 42.798 | 309.026 | 43.556 | 37.831 |
| 2008 | 497 | 38.574 | 314.949 | 55.327 | 36.391 |
| 2009 | 332 | 32.512 | 302.895 | 50.115 | 31.323 |

Fonte: ANP, 2012; SÃO PAULO (Estado)

Considerou-se que todo o consumo de GLP se deu em fontes estacionárias, pois não foi possível segregar a parcela de combustível consumido em fontes móveis não rodoviárias (como o caso de empilhadeiras).

Para se quantificar as emissões de GEE provenientes da queima de combustíveis, o IPCC (2006) recomenda a conversão do consumo de combustível em uma unidade de medida comum, neste caso, o Terajoule (TJ). Os dados de consumo de querosene de iluminação estão em volume (m³) e foram convertidos para TJ conforme apresentado na Equação 6. Os dados de óleo combustível e GLP estão em massa (toneladas) e foram convertidos para TJ utilizando-se a Equação 7.

$$Cons = \frac{ConsM \cdot d_{energ} \cdot 0,041868}{dens}$$

Equação 7 – Conversão (massa) para uma unidade comum de energia²⁰

onde

| | | |
|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| <i>Cons</i> | Consumo de combustível em energia | [TJ] |
| <i>ConsM</i> | Consumo de combustível em massa | [t] |
| <i>d_{energ}</i> | Densidade energética do combustível | [tep/m ³] |

²⁰ Fonte: BRASIL (2010), p.15 do anexo metodológico.

0,041868 Fator de conversão²¹ de tep para TJ [TJ/tep]
dens Densidade do combustível [t/m³]

1

2 Os dados utilizados na conversão das unidades de medida do consumo de combustível de
 3 volume e massa para energia são apresentados na Tabela 18.

4

5

Tabela 18 – Densidade energética dos combustíveis

| Combustível | Densidade Energética ⁽¹⁾ | Densidade ⁽²⁾ |
|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| | (tep/m ³) | (kg/m ³) |
| Querosene de Iluminação | 0,822 | - |
| GLP | 0,611 | 552 |
| Óleo Combustível | 0,959 | 999 |

6

Nota: Para querosene de iluminação não foi utilizada a densidade, pois este já se encontrava em volume.

7

Fonte: ⁽¹⁾ BRASIL, 2010²²; ⁽²⁾ SÃO PAULO (Estado), 2011.

8

9 Os fatores de emissão utilizados para quantificar as emissões de dióxido de carbono (CO₂)
 10 provenientes da queima destes combustíveis em fontes estacionárias foram os valores padrão do
 11 IPCC (2006), que são apresentados na Tabela 19.

12

13

Tabela 19 – Fatores de emissão de CO₂

| Combustível | Fator de emissão |
|-------------------------|------------------------|
| | (tCO ₂ /TJ) |
| Querosene de Iluminação | 71,90 |
| GLP | 63,10 |
| Óleo Combustível | 77,40 |

14

Fonte: IPCC, 2006²³

15

16 Os fatores de emissão de metano (CH₄) e de óxido nitroso (N₂O) utilizados no cálculo das
 17 emissões da queima destes combustíveis também foram os valores padrão do IPCC (2006),
 18 sendo que para a querosene de iluminação adotou-se os fatores de emissão para comércio,
 19 enquanto para o óleo combustível foram utilizados os fatores para a indústria, pois se acredita
 20 que a utilização destes combustíveis ocorre majoritariamente nestes setores de consumo.

21

22 Os fatores de emissão utilizados para quantificar as emissões de CH₄ e de N₂O provenientes da
 23 queima destes combustíveis são apresentados na Tabela 20.

²¹ Fonte: BRASIL (2010), p.16 do anexo metodológico com adaptação da unidade de medida.

²² Fonte: BRASIL (2010), p.14 do anexo metodológico, Tabela A3.

²³ Fonte: IPCC (2006), V2, Ch2, p.2.20 Comercial - Other Kerosene, Liquefied Petroleum Gases, Residual Fuel Oil

Tabela 20 – Fatores de emissão de CH₄ e N₂O

| Combustível | Fator de emissão de CH ₄ | Fator de emissão de N ₂ O |
|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| | (kgCH ₄ /TJ) | (kgN ₂ O/TJ) |
| Querosene de Iluminação | 10 | 0,6 |
| GLP – Consumo Residencial | 5 | 0,1 |
| GLP – Consumo Comercial | 5 | 0,1 |
| GLP – Consumo Industrial | 1 | 0,1 |
| Óleo Combustível | 10 | 0,6 |

Fonte: IPCC, 2006²⁴

As emissões de CO₂ da combustão de querosene de iluminação, óleo combustível e GLP são apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21 – Emissões de CO₂ de outros combustíveis

| Ano | Querosene de Iluminação | Óleo Combustível | GLP | | | Total |
|---------------------|-------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-----------|
| | | | Residencial | Comercial | Industrial | |
| (tCO ₂) | | | | | | |
| 2003 | 28.207 | 287.211 | 920.294 | 169.657 | 87.892 | 1.493.260 |
| 2004 | 10.752 | 263.671 | 850.955 | 151.126 | 94.157 | 1.370.662 |
| 2005 | 2.798 | 222.990 | 863.147 | 150.571 | 94.108 | 1.333.615 |
| 2006 | 2.349 | 113.855 | 884.897 | 146.293 | 105.340 | 1.252.734 |
| 2007 | 1.949 | 133.137 | 903.667 | 127.370 | 110.628 | 1.276.751 |
| 2008 | 1.230 | 119.997 | 920.987 | 161.791 | 106.416 | 1.310.421 |
| 2009 | 820 | 101.140 | 885.739 | 146.548 | 91.595 | 1.225.843 |

As emissões de CH₄ da combustão de querosene de iluminação, óleo combustível e GLP são apresentadas na Tabela 22.

²⁴ Fonte: IPCC (2006), V2, Ch2, p.2.20 Comercial - Other Kerosene, Liquefied Petroleum Gases, p.2.18 Industrial - Liquefied Petroleum Gases; Residual Fuel Oil; p.2.22 Residential - Liquefied Petroleum Gases.

Tabela 22 – Emissões de CH₄ de outros combustíveis

| Ano | Querosene de Iluminação | Óleo Combustível | GLP | | | Total |
|---------------------|-------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------|
| | | | Residencial | Comercial | Industrial | |
| (tCH ₄) | | | | | | |
| 2003 | 3,9 | 37,1 | 72,9 | 13,4 | 1,4 | 128,8 |
| 2004 | 1,5 | 34,1 | 67,4 | 12,0 | 1,5 | 116,5 |
| 2005 | 0,4 | 28,8 | 68,4 | 11,9 | 1,5 | 111,0 |
| 2006 | 0,3 | 14,7 | 70,1 | 11,6 | 1,7 | 98,4 |
| 2007 | 0,3 | 17,2 | 71,6 | 10,1 | 1,8 | 100,9 |
| 2008 | 0,2 | 15,5 | 73,0 | 12,8 | 1,7 | 103,2 |
| 2009 | 0,1 | 13,1 | 70,2 | 11,6 | 1,5 | 96,4 |

As emissões de N₂O da combustão de querosene de iluminação, óleo combustível e GLP são apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23 – Emissões de N₂O de outros combustíveis

| Ano | Querosene de Iluminação | Óleo Combustível | GLP | | | Total |
|---------------------|-------------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-------|
| | | | Residencial | Comercial | Industrial | |
| (tN ₂ O) | | | | | | |
| 2003 | 0,24 | 2,23 | 1,46 | 0,27 | 0,14 | 4,33 |
| 2004 | 0,09 | 2,04 | 1,35 | 0,24 | 0,15 | 3,87 |
| 2005 | 0,02 | 1,73 | 1,37 | 0,24 | 0,15 | 3,51 |
| 2006 | 0,02 | 0,88 | 1,40 | 0,23 | 0,17 | 2,70 |
| 2007 | 0,02 | 1,03 | 1,43 | 0,20 | 0,18 | 2,86 |
| 2008 | 0,01 | 0,93 | 1,46 | 0,26 | 0,17 | 2,83 |
| 2009 | 0,01 | 0,78 | 1,40 | 0,23 | 0,15 | 2,57 |

As emissões de GEE provenientes da combustão de querosene de iluminação, óleo combustível e GLP são apresentadas na Tabela 24 em tCO₂e.

Tabela 24 – Emissões de GEE totais de outros combustíveis

| Ano | Querosene de Iluminação | Óleo Combustível | GLP | Total |
|------|-------------------------|------------------|-----------|-----------|
| | (tCO ₂ e) | | | |
| 2003 | 28.362 | 288.681 | 1.180.264 | 1.497.307 |
| 2004 | 10.812 | 265.020 | 1.098.476 | 1.374.307 |
| 2005 | 2.813 | 224.131 | 1.110.090 | 1.337.034 |
| 2006 | 2.361 | 114.437 | 1.138.840 | 1.255.639 |
| 2007 | 1.960 | 133.818 | 1.143.978 | 1.279.756 |
| 2008 | 1.236 | 120.611 | 1.191.615 | 1.313.463 |
| 2009 | 825 | 101.657 | 1.126.183 | 1.228.665 |

A síntese das emissões da categoria de Indústria de Transformação e Construção e Outros Setores são apresentadas na Tabela 25 por tipo de combustível utilizado.

Tabela 25 – Emissões das Indústrias de Transformação e Construção e Outros Setores

| Ano | Gás Natural | Querosene Iluminação | Óleo Combustível | GLP | Total |
|------|----------------------|----------------------|------------------|-----------|-----------|
| | (tCO ₂ e) | | | | |
| 2003 | 1.503.545 | 28.362 | 288.681 | 1.180.264 | 3.000.852 |
| 2004 | 1.684.876 | 10.812 | 265.020 | 1.098.476 | 3.059.184 |
| 2005 | 1.217.776 | 2.813 | 224.131 | 1.110.090 | 2.554.810 |
| 2006 | 1.297.780 | 2.361 | 114.437 | 1.138.840 | 2.553.419 |
| 2007 | 1.286.394 | 1.960 | 133.818 | 1.143.978 | 2.566.150 |
| 2008 | 1.338.164 | 1.236 | 120.611 | 1.191.615 | 2.651.627 |
| 2009 | 1.207.890 | 825 | 101.657 | 1.126.183 | 2.436.555 |

A Figura 5 apresenta a participação de cada combustível utilizado no total de emissões de GEE da categoria de Indústria de Transformação e Construção e Outros Setores.

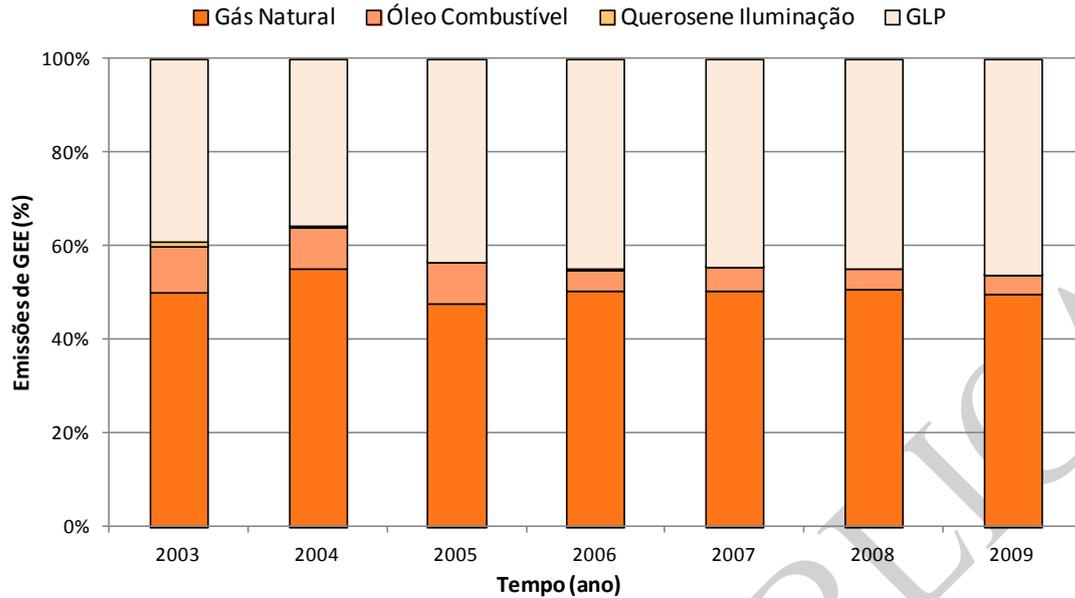


Figura 5 – Emissões das Indústrias de Transformação e Construção e Outros Setores

2.1.2. Fontes Móveis

Segundo IPCC (2006), na abordagem setorial as emissões de GEE por combustão em fontes móveis devem ser calculadas segundo as modalidades de transporte. No caso do Município de São Paulo, as principais são o transporte rodoviário, aéreo e ferroviário, havendo ainda emissões residuais originárias do transporte hidroviário e dutoviário.

2.1.2.1. Transporte Rodoviário

Nesta modalidade de transporte, o combustível consumido move o transporte de cargas, o transporte coletivo e o transporte individual, os quais são realizados por diversos veículos: caminhões, caminhonetes, ônibus, motocicletas e carros.

De acordo com IPCC (2006), as emissões de GEE podem ser estimadas com base no consumo de combustível ou na distância percorrida por tipo de veículo. Em geral, a primeira abordagem é mais apropriada para estimar as emissões de CO₂ e a segunda, para estimar as emissões de CH₄ e N₂O.

Para quantificar as emissões de CO₂ o IPCC (2006) apresenta dois *Tiers*, ambos baseados no conteúdo de carbono dos combustíveis consumidos no transporte rodoviário. Sendo que o *Tier 2*

1 diferencia-se do *Tier 1* apenas pela utilização de fatores de conteúdo de carbono dos
 2 combustíveis específicos para o País.

3
 4 Neste inventário as emissões de CO₂ do transporte rodoviário do Município de São Paulo foram
 5 quantificadas aplicando-se o *Tier 1*, utilizando-se fatores padrão do IPCC (2006). Quando
 6 possível, foram utilizados fatores de conteúdo de carbono específicos para o País. As emissões
 7 de CO₂ foram quantificadas conforme apresentado na Equação 8.

$$E_{CO_2} = \sum_c (Cons_c \cdot FE_c)$$

Equação 8 – Emissão de CO₂ do transporte rodoviário²⁵

9
 10 onde

| | | |
|------------|----------------------------|-------------------------|
| E_{CO_2} | Emissão de CO ₂ | [tCO ₂ /ano] |
| $Cons$ | Consumo de combustível | [TJ/ano] |
| FE | Fator de emissão | [tCO ₂ /TJ] |
| c | Tipo de combustível | |

12
 13 Ressalta-se que o consumo de combustível utilizado para quantificar as emissões de GEE refere-
 14 se ao consumo aparente de combustível, que implica assumir que o combustível comercializado
 15 em determinado ano é consumido em sua totalidade neste mesmo período, não sendo
 16 considerados estoques eventualmente remanescentes de um ano para outro.

17
 18 Para quantificar as emissões de GEE do transporte rodoviário foram utilizados os dados de
 19 consumo de combustíveis no Município. Estes dados são apresentados na Tabela 26.

20

²⁵ Fonte: IPCC (2006) V.2, Ch.3, p.3.12, Equação 3.2.1 - com adaptação das unidades de medida para adequação das grandezas deste inventário.

1

Tabela 26 – Consumo de combustível do transporte rodoviário

| Ano | Gasolina Automotiva | Álcool Hidratado | Óleo Diesel* | GNV |
|------|---------------------|------------------|--------------|-------------|
| | (m ³) | | | |
| 2003 | 2.225.215 | 304.177 | 1.348.324 | 192.683.564 |
| 2004 | 2.196.134 | 456.413 | 1.416.449 | 215.921.683 |
| 2005 | 2.265.573 | 511.223 | 1.440.635 | 246.891.429 |
| 2006 | 2.201.455 | 918.096 | 1.282.273 | 294.741.033 |
| 2007 | 2.270.520 | 1.420.192 | 1.482.514 | 322.346.612 |
| 2008 | 2.220.075 | 1.763.471 | 1.655.134 | 284.800.880 |
| 2009 | 2.089.572 | 2.184.864 | 1.599.280 | 192.388.783 |

2 *Ressalta-se que uma parcela do óleo diesel aqui contabilizado pode ter sido consumido pela modalidade de
3 transporte ferroviário contanto que as locomotivas que utilizam a malha ferroviária do Município de São Paulo
4 abasteçam no Município.

5 Fonte: ANP, 2012; SÃO PAULO (Estado)

6

7 O consumo de gasolina automotiva apresentada na Tabela 26 refere-se à gasolina C²⁶, que possui
8 uma parcela de etanol anidro em seu conteúdo. Para viabilizar a quantificação das emissões de
9 CO₂ do Município de São Paulo, foi segregada a quantia de gasolina A²⁷ e de etanol anidro
10 presentes da gasolina C. Para isto, foram utilizadas as porcentagens médias de etanol anidro
11 adicionado à gasolina anualmente²⁸.

12

13 O Biodiesel foi introduzido na matriz energética brasileira a partir de 2005, mas a adição de
14 biodiesel no diesel comercializado passou a ser obrigatória em 2008. Desta forma, as emissões
15 provenientes da combustão da parcela biogênica do biodiesel foram contabilizadas a partir do
16 ano de 2008.

17

18 As porcentagens de etanol anidro adicionado à gasolina e de biodiesel adicionado ao diesel são
19 apresentados na Tabela 27.

20

²⁶ Gasolina C - Aquela constituída de gasolina A e etanol anidro combustível, nas proporções e especificações definidas pela legislação em vigor e que atenda ao regulamento técnico (ANP, 2012b).

²⁷ Gasolina A - Produzida no País, a importada ou a formulada pelos agentes econômicos autorizados para cada caso, isenta de componentes oxigenados e que atenda ao regulamento técnico (ANP, 2012b).

²⁸ A proporção de etanol anidro na gasolina C é estipulada pelo Ministério da Agricultura por meio das resoluções do Conselho Interministerial do Açúcar e Álcool - CIMA.

Tabela 27 – Porcentagem de biocombustível na gasolina e no diesel

| Ano | Fração de Etanol anidro na Gasolina C | Fração de Biodiesel no Diesel |
|------|---------------------------------------|-------------------------------|
| 2003 | 23,1% | - |
| 2004 | 25,0% | - |
| 2005 | 25,0% | - |
| 2006 | 21,2% | - |
| 2007 | 24,0% | - |
| 2008 | 25,0% | 3,0% |
| 2009 | 25,0% | 3,5% |

Nota: As frações de biodiesel adicionado ao diesel não foram contabilizadas no período de 2003 a 2007, pois neste período a adição de biodiesel era opcional. Desta forma, apresentou-se inviável a quantificação da fração de biodiesel adotada na época.

Fonte: BRASIL, 2003a; BRASIL, 2003b; BRASIL, 2006b; BRASIL, 2006c, BRASIL, 2007; BRASIL, 2008 e BRASIL, 2009.

Para converter a unidade de medida do consumo de combustível de volume para energia, conforme Equação 6, foram utilizadas as densidades energéticas dos combustíveis. Estes dados são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – densidade energética dos combustíveis

| Combustível | Densidade Energética | Unidade |
|------------------|----------------------|------------------------------------|
| Gasolina A | 0,770 | tep/m ³ |
| Etanol Anidro | 0,534 | tep/m ³ |
| Etanol Hidratado | 0,510 | tep/m ³ |
| Óleo Diesel | 0,848 | tep/m ³ |
| Biodiesel | 0,792 | tep/m ³ |
| GNV | 0,880 | tep/10 ³ m ³ |

Nota: Estes dados são válidos para todo o período inventariado, pois não houve variação no período.

Fonte: BRASIL, 2010²⁹.

Os fatores de emissão utilizados para estimar as emissões de CO₂ do consumo de gasolina, óleo diesel e GNV no transporte rodoviário foram os valores padrão do IPCC (2006), os quais são baseados no tipo e conteúdo de carbono dos combustíveis. Estes fatores estão dispostos na Tabela 29.

²⁹ Fonte: BRASIL (2010), anexo metodológico - Tabela A3, p.12 – Gás Natural Seco; p.14 – Gasolina e Óleo Diesel; p.15 – Álcool anidro e Álcool hidratado.

Tabela 29 – Fatores de emissão de CO₂ para transporte rodoviário

| Combustível | Fator de Emissão |
|-------------|------------------------|
| | (tCO ₂ /TJ) |
| Gasolina A | 69,30 |
| Óleo Diesel | 74,10 |
| GNV | 56,10 |

Fonte: IPCC, 2006³⁰

Para o etanol anidro e etanol hidratado, por serem combustíveis diferenciados do etanol utilizado em outros países, foi necessário determinar os fatores de emissão de CO₂ a partir de dados nacionais do conteúdo de carbono presente nestes combustíveis. O teor de carbono destes combustíveis são apresentados por BRASIL (2010)³¹ com valor de 18,8 tC/TJ. A partir deste valor foram estimados os fatores de emissão conforme Equação 9.

$$FE_{CO_2} = TeorC * \frac{44}{12}$$

Equação 9 – Fator de emissão de CO₂

onde

| | | |
|-------------------------|---|------------------------|
| <i>FE_{CO2}</i> | Fator de emissão de CO ₂ | [tCO ₂ /TJ] |
| <i>TeorC</i> | Teor de carbono no combustível | [tC/TJ] |
| <i>44/12</i> | Conversão de carbono para CO ₂ | [tCO ₂ /tC] |

Ressalta-se que as emissões de CO₂ do etanol anidro e hidratado são reportadas como informação adicional, pois de acordo com as diretrizes do IPCC (2006) estas não devem ser contabilizadas no total do setor por serem de origem biogênica³². Por este motivo, a segregação da gasolina C em frações de gasolina A e etanol anidro foi utilizada apenas para quantificar as emissões de CO₂.

Os fatores de emissão de CO₂ para etanol anidro e etanol hidratado são apresentados na Tabela 30.

³⁰ Fonte: IPCC (2006), V.2, Ch.3, p.3.16, Tabela 3.2.1 com adaptação das grandezas das unidades de medida de kg/TJ para t/TJ.

³¹ Fonte: BRASIL (2010), Anexo Metodológico, p. 17, Tabela A4.

³² Fonte: IPCC (2006), V.2, Ch.3, p.3.13

Tabela 30 – Fator de emissão de CO₂ para etanol

| Combustível | Fator de Emissão |
|--------------------------------|------------------------|
| | (tCO ₂ /TJ) |
| Etanol Anidro ³³ | 68,93 |
| Etanol Hidratado ³⁴ | 68,93 |

Nota: fatores de emissão obtidos a partir dos dados apresentados pelo BRASIL (2010)

As emissões de CO₂ da queima de combustíveis no transporte rodoviário do Município foram quantificadas por tipo de combustível a partir do consumo aparente³⁵ dos combustíveis e fatores de emissão baseados no conteúdo de carbono do combustível. Estas emissões são apresentadas na Tabela 31.

Tabela 31 – Emissões de CO₂ do transporte rodoviário

| Ano | Gasolina A | Etanol Anidro* | Etanol Hidratado* | Óleo Diesel | Biodiesel* | GNV | Total |
|------|---------------------|----------------|-------------------|-------------|------------|---------|-----------|
| | (tCO ₂) | | | | | | |
| 2003 | 3.823.001 | 792.203 | 447.722 | 3.547.239 | - | 398.265 | 7.768.505 |
| 2004 | 3.679.818 | 846.158 | 671.800 | 3.726.466 | - | 446.297 | 7.852.581 |
| 2005 | 3.796.168 | 872.913 | 752.475 | 3.790.098 | - | 510.310 | 8.096.575 |
| 2006 | 3.875.629 | 719.281 | 1.351.355 | 3.373.468 | - | 609.212 | 7.858.309 |
| 2007 | 3.855.184 | 839.826 | 2.090.397 | 3.900.273 | - | 666.271 | 8.421.729 |
| 2008 | 3.719.933 | 855.383 | 2.595.674 | 4.354.411 | 104.229 | 588.666 | 8.663.010 |
| 2009 | 3.501.263 | 805.100 | 3.215.927 | 4.207.467 | 142.458 | 397.656 | 8.106.386 |

*As emissões de CO₂ da combustão de etanol anidro, etanol hidratado e biodiesel são apresentadas apenas para informação, não sendo contabilizadas nas emissões totais do Município por serem de origem biogênica, conforme definido pelo IPCC (2006).

As emissões de CH₄ e N₂O do transporte rodoviário, para serem estimadas com maior precisão, dependem da aplicação de fatores de emissão que considerem as tecnologias dos veículos, os tipos de combustíveis e as características de operação. Os equipamentos de controle de emissões dos veículos (como por exemplo, os conversores catalíticos) afetam significativamente as emissões de CH₄ e N₂O. Por isso metodologias mais refinadas que considerem a frota dos diferentes tipos de veículos e suas tecnologias de controle de poluição são indicadas para o cálculo destas emissões (IPCC, 2006).

³³ Etanol anidro é destinado ao distribuidor para compor a mistura com a gasolina A na formulação da gasolina C, em proporção definida por legislação aplicável (ANP, 2012b).

³⁴ Etanol hidratado é destinado à venda no posto revendedor para o consumidor final (ANP, 2012b).

³⁵ Quantidade produzida e importada, descontada a quantidade exportada.

1 Para quantificar as emissões de CH₄ e N₂O do transporte rodoviário o IPCC (2006) apresenta três
 2 *Tiers*. O *Tier 1* e o *Tier 2* são baseados no consumo de combustível sendo que o primeiro é
 3 utilizado quando não há a possibilidade de distinção do combustível consumido pelos diferentes
 4 tipos de veículo e o segundo quando é possível diferenciar e aplicar fatores de emissão
 5 específicos para cada categoria de veículo. Já o *Tier 3* é baseado na distância percorrida para
 6 cada categoria de veículo e na utilização de fatores de emissão nacionais específicos para cada
 7 categoria de veículo por tipo de combustível.

8
 9 Neste inventário, as emissões de CH₄ e de N₂O foram quantificadas baseando-se no método do
 10 *Tier 2*, conforme Equação 10, quando possível. Em alguns casos, a diferenciação pelo tipo de
 11 veículo e equipamento de controle de poluição não foi possível, sendo aplicados os fatores de
 12 emissão padrão para o combustível.

$$E_{C,V,T} = \sum_{C,V,T} (Cons_{C,V,T} \cdot FE_{C,V,T}) \quad \text{Equação 10 – Emissão de CH}_4 \text{ e N}_2\text{O do transporte rodoviário}^{36}$$

14 onde

| | | |
|-------------|---|------------|
| <i>E</i> | Emissão de GEE (CH ₄ ou N ₂ O) | [tGEE/ano] |
| <i>Cons</i> | Consumo de combustível | [TJ/ano] |
| <i>FE</i> | Fator de emissão | [tGEE/TJ] |
| <i>c</i> | Tipo de combustível | |
| <i>v</i> | Tipo de veículo | |
| <i>T</i> | Tipo de equipamentos de controle de poluição (composto por sistema de injeção eletrônica e catalisador) | |

17
 18 Os fatores de emissão utilizados para estimar as emissões de CH₄ e de N₂O provenientes do
 19 transporte rodoviário do Município de São Paulo são apresentados na Tabela 32.

20

³⁶ Fonte: IPCC (2006) V.2, Ch.3, Equação 3.2.4, p.3.13

1 **Tabela 32 – Fatores de emissão de CH₄ e N₂O para transporte rodoviário**

| Combustível | Fator de Emissão de CH ₄ | Fator de Emissão de N ₂ O |
|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| | (kgCH ₄ /TJ) | (kgN ₂ O/TJ) |
| Gasolina C – sem catalisador | 33 | 3,2 |
| Gasolina C – com catalisador | 25 | 8 |
| Etanol Hidratado | 18 | 8* |
| Óleo Diesel | 3,9 | 3,9 |
| GNV | 92 | 3 |

2 * IPCC (2006) não apresenta um fator de emissão padrão de N₂O para o etanol hidratado. Desta forma, adotou-se a
3 premissa de que os veículos movidos a etanol hidratado possuem catalisador e que apresentam o mesmo fator de
4 emissão dos veículos com catalisador movidos à gasolina.

5 Fonte: IPCC, 2006³⁷

6
7 Para os veículos movidos a gasolina o IPCC (2006) apresenta fatores de emissão distintos para
8 os que possuem ou não conversor catalítico³⁸. Apesar de parte da gasolina consumida no
9 Município ser utilizada em motocicletas, devido à indisponibilidade de informações sobre esta
10 segregação do consumo, adotou-se a premissa de que a gasolina consumida no Município de São
11 Paulo é utilizada em automóveis, para viabilizar uma estimativa de segregação de veículos
12 equipados com conversor catalítico.

13
14 Para determinar a porcentagem de automóveis com e sem este equipamento e conseqüentemente
15 o consumo de combustível nas condições com e sem conversor, adotou-se a premissa de que a
16 frota de automóveis do Município de São Paulo dos anos em questão apresenta a mesma
17 proporção em relação à idade dos automóveis da frota nacional para o ano de 2009, apresentada
18 por BRASIL (2011) conforme Tabela 33.

19
20 **Tabela 33 – Distribuição da frota nacional de automóveis de 2009 por idade**

| Idade dos veículos | Ano modelo | Porcentagem da frota |
|--------------------|------------|----------------------|
| 0 a 4 anos | 2006-2009 | 35% |
| 5 a 9 anos | 2001-2005 | 26% |
| 10 a 14 anos | 1996-2000 | 21% |
| 15 a 19 anos | 1991-1995 | 10% |
| Mais de 20 anos | 1990-1957 | 8% |

21 Fonte: BRASIL, 2011

³⁷ Fonte: IPCC (2006), V.2, Ch.3, p.3.21, Tabela 3.2.2

³⁸ Peça do veículo cuja função é converter os gases poluentes que saem do motor - monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio em outros gases, principalmente em dióxido de carbono e água (INMETRO).

1 De acordo com Inventário Nacional (BRASIL, 2011), os veículos começaram a serem equipados
2 com conversores catalíticos a partir de 1994. Nos dados apresentados na Tabela 33, o ano de
3 1994 se insere na faixa de 15 a 19 anos. Para efeito de cálculo e do ponto de vista mais
4 conservador em termos de emissões de GEE³⁹, esta faixa foi considerada como veículos que
5 contém conversor catalítico (já que o fator de emissão de veículo com conversor catalítico é
6 maior). Então, para o ano de 2009 apenas a fração da frota de automóveis na faixa de idade
7 acima de 20 anos foi considerada como veículos sem conversor catalítico.

8
9 De maneira análoga, considerando-se que a frota de automóveis do ano de 2003 apresentava a
10 mesma distribuição em relação à idade dos veículos no ano de 2009, os automóveis que não
11 possuíam conversores catalíticos (fabricados antes de 1994 – diferença de 10 anos entre 2003 e
12 1994) enquadravam-se na faixa de veículos de 10 a 14 anos. Desta forma, foram considerados
13 que os veículos com mais de 10 anos de idade não possuíam conversor catalítico.

14
15 A intensidade de uso dos automóveis, que representa a quantidade de quilômetros percorrida por
16 cada automóvel anualmente, varia de acordo com a idade do veículo. De acordo com BRASIL
17 (2011), os veículos mais novos rodam mais que os veículos antigos, conforme apresentado na
18 Tabela 34.

19

³⁹ A presença dos conversores catalíticos nos veículos aumenta o fator de emissão de GEE devido à maior conversão de N₂O. Entretanto, ressalva-se que o uso deste equipamento reduz significativamente outras emissões prejudiciais à saúde humana (monóxido de carbono e NO_x).

1 **Tabela 34 – Intensidade de uso por idade**

| Idade | Intensidade de Uso | Idade | Intensidade de Uso | Idade | Intensidade de Uso |
|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|
| (anos) | (km) | (anos) | (km) | (anos) | (km) |
| 0 | 10.000 | 17 | 9.800 | 34 | 2.000 |
| 1 | 19.400 | 18 | 9.200 | 35 | 2.000 |
| 2 | 18.800 | 19 | 8.600 | 36 | 2.000 |
| 3 | 18.200 | 20 | 8,000 | 37 | 2.000 |
| 4 | 17.600 | 21 | 7.400 | 38 | 2.000 |
| 5 | 17.000 | 22 | 6.800 | 39 | 2.000 |
| 6 | 16.400 | 23 | 6.200 | 40 | 2.000 |
| 7 | 15.800 | 24 | 5.600 | 41 | 2.000 |
| 8 | 15.200 | 25 | 5.000 | 42 | 2.000 |
| 9 | 14.600 | 26 | 4.400 | 43 | 2.000 |
| 10 | 14.000 | 27 | 3.800 | 44 | 2.000 |
| 11 | 13.400 | 28 | 3.200 | 45 | 2.000 |
| 12 | 12.800 | 29 | 2.600 | 46 | 2.000 |
| 13 | 12.200 | 30 | 2.000 | 47 | 2.000 |
| 14 | 11.600 | 31 | 2.000 | 48 | 2.000 |
| 15 | 11.000 | 32 | 2.000 | 49 | 2.000 |
| 16 | 10.400 | 33 | 2.000 | 50 | 2.000 |

2 Fonte: BRASIL, 2011

3
 4 Com base nas rodagens anuais apresentadas da Tabela 34, para as faixas de idade apresentadas
 5 na Tabela 33, temos que na faixa de 0 a 4 anos a média de rodagem é da ordem de 16.800 km.
 6 Do mesmo modo, foram determinadas as rodagens médias das demais faixas (5-9 anos – 15.800
 7 km; 10-14 anos – 12.800 km; 15-19 anos 9.800; mais 20 anos – 3.064 km).

8
 9 Considerando então dois perfis levantados: 1 - quilômetros médios rodados por faixa de idade e
 10 2 - a existência de conversor catalítico, também por faixa de idade, foi definido o perfil de
 11 queima de combustível com ou sem conversor catalítico. Em 2009, a partir das rodagens médias
 12 por faixa e a condição de idade de veículo sem conversor catalítico (com mais de 20 anos de
 13 idade), estima-se que a queima de combustível através da rodagem por veículos sem conversor
 14 catalítico representavam 1,8%. Do mesmo modo, para o ano de 2003, estima-se que 28,1% do
 15 combustível consumido era por veículos sem conversor catalítico, conforme apresentado na
 16 Tabela 35. As porcentagens da gasolina consumida por veículos com conversor catalítico para os
 17 anos intermediários foram obtidos por regressão linear simples.

Tabela 35 – Combustível consumido em relação à idade do automóvel

| Idade | Intensidade de Uso Médio (km) | Frota por Idade (%) | Participação no consumo de combustível por idade (%) |
|--------------|-------------------------------|---------------------|--|
| 0 a 4 anos | 16.800 | 35% | 42,3% |
| 5 a 9 anos | 15.800 | 26% | 29,6% |
| 10 a 14 anos | 12.800 | 21% | 19,3% |
| 15 a 19 anos | 9.800 | 10% | 7,0% |
| >20 anos | 3.064 | 8% | 1,8% |

Deve-se ressaltar que a expectativa de vida de um conversor catalítico é de 80.000 km, devendo ser substituído após este período, conforme INMETRO (2007). Neste inventário assume-se que todos os veículos, a cada 80.000 km rodados, tenham seus catalisadores substituídos por equipamentos novos semelhantes aos originais.

As emissões de CH₄ provenientes da queima de combustíveis do transporte rodoviário no Município de São Paulo são apresentadas na Tabela 36.

Tabela 36 – Emissões de CH₄ do transporte rodoviário

| Ano | Gasolina C | Etanol Hidratado | Óleo Diesel | GNV | Total |
|------|---------------------|------------------|-------------|-------|-------|
| | (tCH ₄) | | | | |
| 2003 | 1.816 | 117 | 187 | 653 | 2.773 |
| 2004 | 1.758 | 175 | 196 | 732 | 2.861 |
| 2005 | 1.790 | 196 | 199 | 837 | 3.023 |
| 2006 | 1.738 | 353 | 178 | 999 | 3.268 |
| 2007 | 1.752 | 546 | 205 | 1.093 | 3.596 |
| 2008 | 1.685 | 678 | 235 | 965 | 3.564 |
| 2009 | 1.564 | 840 | 229 | 652 | 3.285 |

Na Tabela 37 são apresentadas as emissões de N₂O do transporte rodoviário no Município de São Paulo por tipo de combustível.

Tabela 37 – Emissões de N₂O do transporte rodoviário

| Ano | Gasolina C | Etanol Hidratado | Óleo Diesel | GNV | Total |
|---------------------|------------|------------------|-------------|-----|-------|
| (tN ₂ O) | | | | | |
| 2003 | 444 | 52 | 187 | 21 | 704 |
| 2004 | 449 | 78 | 196 | 24 | 747 |
| 2005 | 477 | 87 | 199 | 27 | 791 |
| 2006 | 483 | 157 | 178 | 33 | 850 |
| 2007 | 508 | 243 | 205 | 36 | 992 |
| 2008 | 509 | 301 | 235 | 31 | 1.078 |
| 2009 | 492 | 373 | 229 | 21 | 1.116 |

As emissões de GEE totais dos combustíveis utilizados no transporte rodoviário são apresentadas na Tabela 38 em tCO₂e.

Tabela 38 – Emissões totais de GEE do transporte rodoviário

| Ano | Gasolina | Etanol | Diesel | GNV | Total |
|----------------------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| (tCO ₂ e) | | | | | |
| 2003 | 3.998.673 | 18.563 | 3.609.035 | 418.583 | 8.044.854 |
| 2004 | 3.855.876 | 27.853 | 3.791.385 | 469.065 | 8.144.179 |
| 2005 | 3.981.680 | 31.198 | 3.856.125 | 536.344 | 8.405.346 |
| 2006 | 4.061.989 | 56.028 | 3.432.238 | 640.291 | 8.190.546 |
| 2007 | 4.049.536 | 86.669 | 3.968.220 | 700.261 | 8.804.686 |
| 2008 | 3.913.147 | 107.618 | 4.432.085 | 618.698 | 9.071.548 |
| 2009 | 3.686.704 | 133.333 | 4.283.248 | 417.943 | 8.521.228 |

Nota: Nas emissões totais do transporte rodoviário não foram contabilizadas as emissões de CO₂ dos biocombustíveis, conforme diretrizes do IPCC (2006).

A Figura 6 ilustra as emissões de GEE do transporte rodoviário por tipo de combustível utilizado para os anos de 2003 a 2009.

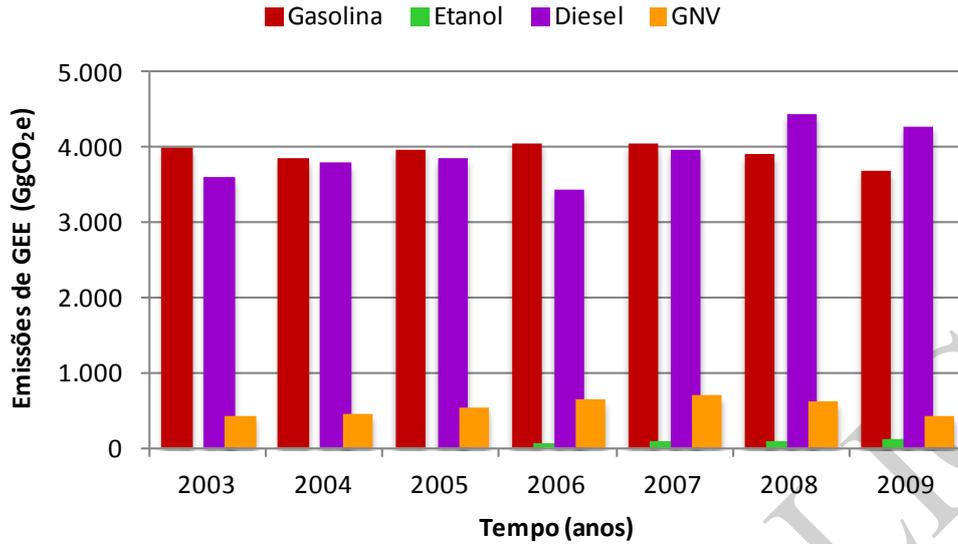


Figura 6 – Emissões de GEE do transporte rodoviário

Ressalta-se que nas emissões totais do etanol, apresentadas na Figura 6, não estão incluídas as emissões de CO₂, por serem de origem biogênica, conforme recomendação do IPCC (2006). O mesmo se aplica para as emissões de CO₂ do biodiesel.

De acordo com a Figura 6, é possível identificar uma queda nas emissões de GEE da gasolina a partir de 2008. Isto pode estar relacionado com o aumento do consumo de etanol em substituição ao consumo da gasolina. Verifica-se também um aumento nas emissões do diesel de 18,6% no ano de 2009 em comparação com 2003. As emissões totais de GEE do transporte rodoviário no período analisado aumentaram aproximadamente 6%.

A Figura 7 apresenta a comparação do consumo de gasolina C e etanol hidratado e as emissões totais dos GEE destes combustíveis.

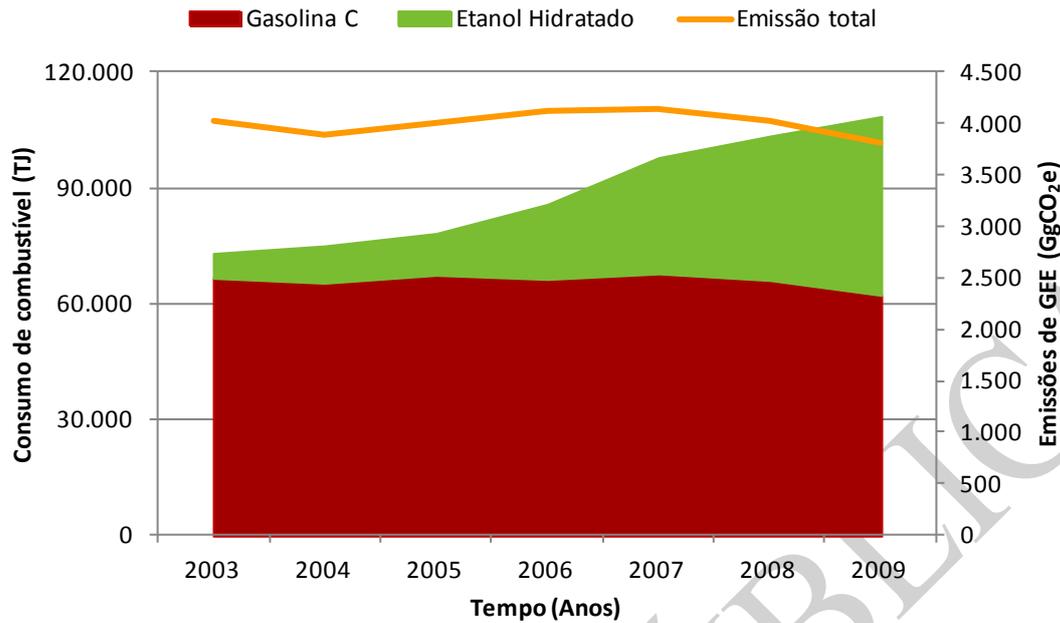


Figura 7 – Consumo de combustível e as emissões de GEE

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

De acordo com a Figura 7, o consumo conjunto de gasolina e etanol hidratado no Município de São Paulo quase dobrou no período inventariado, porém não foi verificado um aumento proporcional em relação às emissões de GEE, que apresentaram uma queda de aproximadamente 5% nas emissões de GEE desses combustíveis no mesmo período.

O não crescimento das emissões proporcionalmente ao aumento do consumo está relacionado ao aumento do consumo do etanol hidratado no Município, que apresentou um aumento de cerca de 600% no período analisado. E por este ser um biocombustível, suas emissões de CO₂ não são contabilizadas no total de emissões por serem de origem biogênica, conforme diretrizes do IPCC (2006). Além disso, a redução das emissões no período inventariado deve-se à diminuição do consumo de gasolina, que mostra uma tendência de substituição deste combustível pelo etanol no Município.

O indicador utilizado no segmento de transporte rodoviário foi a emissão relativa, que no ano de 2003 foi de 750 kgCO₂e/habitante e no ano de 2009 a emissão relativa do transporte rodoviário do Município subiu para 772 kgCO₂e/habitante.

2.1.2.2. Transporte Aéreo

De acordo com IPCC (2006), as emissões produzidas pelos motores das aeronaves são compostas por cerca de 70% de CO₂, um pouco menos que 30% de água, e menos que 1% de NO_x, CO_x, SO_x, NMVOC, particulados e outros componentes traço. Pouca ou nenhuma emissão de N₂O ocorre em turbinas modernas. O metano pode ser emitido pelas aeronaves quando em ponto morto e por aeronaves com tecnologias antigas. Para os propósitos do inventário, há duas fases de operação de aeronaves que são consideradas: a decolagem/aterrissagem e a fase de cruzeiro. Geralmente, cerca de 10% das emissões das aeronaves são produzidas durante as operações em terra e na decolagem/aterrissagem, com exceção dos hidrocarbonetos e do CO. A grande maioria das emissões, cerca de 90%, ocorre em altas altitudes.

As emissões de GEE do transporte aéreo no Município de São Paulo foram contabilizados utilizando o *Tier 1* do IPCC (2006), que se baseia no consumo aparente de combustível observado no Aeroporto de Congonhas, Aeroporto do Campo de Marte e no Heliporto Helicidade. As emissões foram quantificadas utilizando-se os fatores de emissão padrão e são calculadas conforme apresentado na Equação 11.

$$E_G = Cons_C \cdot FE_G \quad \text{Equação 11 – Emissão de GEE do transporte aéreo}^{40}$$

onde

| | | |
|-------------|------------------------|------------|
| <i>E</i> | Emissão de GEE | [tGEE/ano] |
| <i>Cons</i> | Consumo de combustível | [TJ/ano] |
| <i>FE</i> | Fator de emissão | [tGEE/TJ] |
| <i>G</i> | Gás de efeito estufa | |

As emissões de GEE provenientes da aviação também podem ser quantificadas através de dados do consumo de combustível por voo e da quantidade de pousos e decolagens (*Tier 2*) de acordo com IPCC (2006), porém optou-se por calcular as emissões de GEE através do *Tier 1* baseadas no consumo de combustível total.

⁴⁰ Fonte: IPCC (2006) V.2, Ch.3, Equação 3.6.1, p.3.59.

1 Os dados disponíveis sobre combustíveis para o Município de São Paulo eram os da quantidade
2 comercializada em cada ano. Desta forma, os dados de consumo de combustíveis no Município
3 referem-se ao consumo aparente, que implica assumir que o combustível comercializado em um
4 ano é consumido em sua totalidade neste mesmo ano, não sendo considerados estoques
5 eventualmente remanescentes de um ano para o outro.

6
7 Esta foi considerada a maneira mais adequada de se contabilizar o consumo de combustíveis do
8 Município de São Paulo, principalmente os utilizados para o transporte aéreo, pois também
9 contabiliza os combustíveis utilizados no abastecimento de helicópteros. Esta preocupação em
10 contabilizar as emissões da queima de combustíveis por helicópteros deve-se à grande frota de
11 helicópteros do Município.

12
13 Para quantificar as emissões de GEE provenientes da queima de combustível das aeronaves,
14 assumiu-se que todo combustível de gasolina de aviação e de querosene de aviação
15 comercializados no Município de São Paulo foram utilizados para aviação doméstica⁴¹. Esta
16 premissa foi baseada nas quantidades e tipos de voos dos aeroportos do Município, que não
17 recebiam - ou recebiam poucos - voos internacionais no período inventariado, conforme dados
18 da movimentação operacional dos aeroportos da INFRAERO (2012). As emissões referentes aos
19 voos internacionais que partem de Guarulhos não foram contabilizadas no Município de São
20 Paulo apesar da grande influência da capital na demanda por estes voos.

21
22 Os dados de consumo de combustível para o segmento de transporte aéreo no período de 2003 a
23 2009 são apresentados na Tabela 39.

⁴¹ Aviação doméstica - voos de carga ou passageiros que ocorrem dentro do território brasileiro.

Tabela 39 – Consumo de combustível do transporte aéreo

| Ano | Querosene de Aviação | Gasolina de Aviação |
|------|----------------------|---------------------|
| | (m ³) | |
| 2003 | 376.316 | 4.315 |
| 2004 | 386.563 | 5.728 |
| 2005 | 347.005 | 10.157 |
| 2006 | 388.291 | 10.757 |
| 2007 | 390.338 | 2.362 |
| 2008 | 300.128 | 2.419 |
| 2009 | 286.833 | 2.417 |

Fonte: ANP, 2012; SÃO PAULO (Estado)

Para a conversão da unidade de medida do consumo de combustível de aviação de volume para energia, conforme apresentado na Equação 6, foram utilizadas as densidades energéticas de 0,763 tep/m³ para gasolina de aviação e de 0,822 tep/m³ para querosene de aviação apresentados por BRASIL (2010)⁴².

Os fatores de emissão adotados na quantificação das emissões de CO₂ foram os valores padrão do IPCC (2006), baseados no tipo e conteúdo de carbono dos combustíveis. Os fatores utilizados são apresentados na Tabela 40.

Tabela 40 – Fator de emissão de CO₂ para aviação

| Combustível | Fator de Emissão |
|----------------------|------------------------|
| | (tCO ₂ /TJ) |
| Gasolina de aviação | 70,0 |
| Querosene de aviação | 71,5 |

Fonte: IPCC, 2006⁴³

As emissões de CH₄ e N₂O do transporte aéreo foram calculadas utilizando-se os fatores de emissão padrão do IPCC (2006) para o *Tier 1*, que considera o mesmo fator para todos os tipos de combustíveis de aviação. Estes fatores são apresentados na Tabela 41.

⁴² Fonte: BRASIL (2010), p.14 do anexo metodológico, Tabela A3.

⁴³ Fonte: IPCC (2006), V.2, Ch.3, p.3.64, Tabela 3.6.4

Tabela 41 – Fatores de emissão de CH₄ e N₂O da aviação

| Fator de emissão de CH ₄ | Fator de emissão de N ₂ O |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| (kgCH ₄ /TJ) | (kgN ₂ O/TJ) |
| 0,5 | 2 |

Nota: O fator de emissão padrão de CH₄ já apresenta um valor ponderado devido à diferença nas emissões durante os pousos e decolagens e durante o cruzeiro.

Fonte: IPCC, 2006⁴⁴

As emissões de dióxido de carbono (CO₂) provenientes da queima de combustíveis no transporte aéreo do Município são apresentadas na Tabela 42.

Tabela 42 – Emissões de CO₂ da aviação

| Ano | Gasolina de Aviação | Querosene de Aviação | Total |
|------|---------------------|----------------------|---------|
| | (tCO ₂) | | |
| 2003 | 9.650 | 926.004 | 935.654 |
| 2004 | 12.810 | 951.219 | 964.029 |
| 2005 | 22.712 | 853.878 | 876.590 |
| 2006 | 24.055 | 955.471 | 979.525 |
| 2007 | 5.282 | 960.509 | 965.791 |
| 2008 | 5.408 | 738.528 | 743.936 |
| 2009 | 5.406 | 705.812 | 711.218 |

Na Tabela 43 são apresentadas as emissões de metano (CH₄) provenientes da queima dos combustíveis no transporte aéreo do Município de São Paulo.

Tabela 43 – Emissões de CH₄ da aviação

| Ano | Gasolina de Aviação | Querosene de Aviação | Total |
|------|---------------------|----------------------|-------|
| | (tCH ₄) | | |
| 2003 | 0,07 | 6,48 | 6,54 |
| 2004 | 0,09 | 6,65 | 6,74 |
| 2005 | 0,16 | 5,97 | 6,13 |
| 2006 | 0,17 | 6,68 | 6,85 |
| 2007 | 0,04 | 6,72 | 6,75 |
| 2008 | 0,04 | 5,16 | 5,20 |
| 2009 | 0,04 | 4,94 | 4,97 |

As emissões de CH₄ da queima de combustíveis no segmento de transporte aéreo são pouco representativas, pois de acordo com IPCC (2006) durante o estágio de cruzeiro das aeronaves a

⁴⁴ Fonte: IPCC (2006), V.2, Ch.3, p.3.64, Tabela 3.6.5

emissão deste GEE é insignificante. Os fatores de emissão padrão do IPCC (2006), utilizados neste inventário, já incorporam esta condição assumindo que apenas 10% do combustível total consumido emite CH₄, pois considera que 90% do combustível consumido no voo é utilizado no estágio de cruzeiro e não emite CH₄.

O óxido nitroso (N₂O) emitido pelo transporte aéreo do Município de São Paulo para cada tipo de combustível de aviação é apresentado na Tabela 44.

Tabela 44 – Emissões de N₂O da aviação

| Ano | Gasolina de Aviação | Querosene de Aviação | Total |
|------|---------------------|----------------------|-------|
| | (tN ₂ O) | | |
| 2003 | 0,28 | 25,90 | 26,18 |
| 2004 | 0,37 | 26,61 | 26,97 |
| 2005 | 0,65 | 23,88 | 24,53 |
| 2006 | 0,69 | 26,73 | 27,41 |
| 2007 | 0,15 | 26,87 | 27,02 |
| 2008 | 0,15 | 20,66 | 20,81 |
| 2009 | 0,15 | 19,74 | 19,90 |

As emissões totais de GEE do segmento de transporte aéreo são apresentadas na Tabela 45 em tCO₂e por tipo de combustível utilizado.

Tabela 45 – Emissões totais do transporte aéreo

| Ano | Gasolina de Aviação | Querosene de Aviação | Total |
|------|----------------------|----------------------|---------|
| | (tCO ₂ e) | | |
| 2003 | 9.737 | 934.170 | 943.907 |
| 2004 | 12.925 | 959.607 | 972.532 |
| 2005 | 22.916 | 861.408 | 884.324 |
| 2006 | 24.271 | 963.896 | 988.167 |
| 2007 | 5.330 | 968.979 | 974.308 |
| 2008 | 5.457 | 745.040 | 750.497 |
| 2009 | 5.454 | 712.036 | 717.490 |

2.1.2.3. Transporte Ferroviário

Considerou-se que as locomotivas da malha ferroviária do Município de São Paulo são movidas à energia elétrica, como é o caso do Metrô e dos trens de passageiros, e a diesel, no transporte de cargas.

1
2 No caso de locomotivas movidas à eletricidade, de acordo com IPCC (2006), as emissões de
3 GEE já são contabilizadas nas plantas de geração de energia elétrica do subsetor de fontes
4 estacionárias. Em relação ao consumo de óleo diesel pelo transporte ferroviário, não havia dados
5 disponíveis. Porém, se as locomotivas foram abastecidas dentro do Município, estas emissões
6 foram contabilizadas no total de óleo diesel consumido no Município utilizados para quantificar
7 as emissões do transporte rodoviário. Desta forma, as emissões de GEE do transporte ferroviário
8 no Município de São Paulo não são apresentadas separadamente para esta modalidade de
9 transporte, mas foram contabilizadas no montante de emissões provenientes da geração de
10 eletricidade e do óleo diesel consumidos no Município.

11 12 **2.1.2.4. Transporte Hidroviário**

13
14 No Município de São Paulo não foram contabilizadas as emissões do transporte hidroviário
15 separadamente, estas emissões estão sendo contabilizadas no montante do combustível
16 consumido nas outras modalidades de transporte, pois não foi possível desagregar esta
17 informação para o transporte hidroviário.

18 19 **2.1.2.5. Transporte Dutoviário**

20
21 De acordo com IPCC (2006), são contabilizadas neste segmento de transporte as emissões
22 provenientes da queima de combustíveis nas estações de bombeamento e nas operações de
23 manutenção dos dutos. Devido à indisponibilidade de dados sobre estas operações, estas
24 emissões não são apresentadas separadamente, mas estão contabilizadas no montante de emissão
25 das fontes estacionárias (como por exemplo, o uso de combustíveis na geração de energia ou na
26 indústria de transformação) e das fontes móveis (como por exemplo, o consumo de combustível
27 em veículos utilizados na manutenção).

28 29 **2.2. EMISSÕES FUGITIVAS**

30
31 Segundo IPCC (2006), as emissões fugitivas de GEE do setor de energia podem ser originadas
32 por minas de carvão e por sistemas de petróleo e gás natural. No Município de São Paulo, em
33 relação ao petróleo e gás natural, foram contabilizadas apenas as emissões fugitivas referentes
34 aos segmentos de transporte, armazenamento e distribuição dos seus produtos, pois não foram

1 identificados no Município os processos de produção, extração e processamento destes
 2 combustíveis. As emissões fugitivas da mineração no Município não foram contabilizadas neste
 3 inventário, pois não foram verificadas minas de carvão no Município.

4
 5 **2.2.1. Sistemas de petróleo e gás natural**

6
 7 Nesta subcategoria foram contabilizadas apenas as emissões de GEE provenientes dos segmentos
 8 de distribuição do gás natural. Em relação às emissões provenientes do transporte de petróleo e
 9 seus derivados por dutos, devido à indisponibilidade de informações e ao elevado grau de
 10 incerteza dos fatores de emissão, optou-se por não considerá-los no inventário. Já em relação à
 11 distribuição dos produtos refinados do petróleo, estas não foram contabilizadas, pois de acordo
 12 com IPCC (2006) os fatores de emissão não são aplicáveis neste segmento, no entanto ressalva-
 13 se que este tipo de emissão é uma fonte de poluição atmosférica que deve ser avaliada como
 14 outro impacto ambiental (carbono orgânico volátil – COVs e formação de ozônio troposférico).

15
 16 As emissões fugitivas de GEE na distribuição de gás natural foram calculadas utilizando-se os
 17 dados disponibilizados pela COMGÁS em resposta ao ofício nº 032-SVMA-DEPLAN-1-2012-
 18 COMGAS. Desta forma, a foi necessário adequar a metodologia proposta pelo IPCC (2006) aos
 19 dados disponíveis, conforme apresentado na Equação 12.

20

$$E_G = Perda \cdot \%Comp \cdot dens$$
 Equação 12 – Emissões de GEE dos sistemas de gás natural⁴⁵

21 onde

22
 23

| | | |
|----------|--|--|
| E_G | Emissão do gás G (CH ₄ ou CO ₂) | [tGEE] |
| $Perda$ | Perda de gás natural | [10 ⁶ m ³] |
| $\%Comp$ | Porcentagem de gás G na composição do gás natural | [%] |
| $dens$ | Densidade do gás G | [tGEE/10 ⁶ m ³] |

24
 25 A Tabela 46 apresenta as perdas na distribuição de gás natural no Município de São Paulo em
 26 sua unidade inicial (%) e em volume (10⁶ m³). De acordo com a COMGÁS (2012a), as perdas de
 27 gás natural referem-se à parcela de gás natural não contabilizada entre os volumes dos

⁴⁵ Fonte: IPCC (2006) V.2: *Energy*, Ch.4: *Fugitive Emissions*, Equação 4.2.1, p.4.41

1 fornecedores no ponto de entrada da rede de distribuição comparado ao volume contabilizado
2 pela COMGÁS.

4 **Tabela 46 – Perdas na distribuição de gás natural**

| Ano | Perdas na distribuição | |
|------|------------------------|-----------------------------------|
| | (%) | (10 ⁶ m ³) |
| 2003 | 0,45% | 4 |
| 2004 | - | - |
| 2005 | - | - |
| 2006 | 0,24% | 2 |
| 2007 | 0,23% | 2 |
| 2008 | 0,97% | 9 |
| 2009 | 0,55% | 4 |

5 Nota: Os anos de 2004 e de 2005 foram desconsiderados, pois as perdas reportadas pela COMGÁS eram negativas.
6 De acordo com a fonte a medição, há uma margem de +/- 1,5%, que está dentro dos padrões do INMETRO.

7 Fonte: COMGÁS, 2012a

8

9 Na Tabela 46, os valores de perdas de gás natural em volume foram obtidos aplicando-se as
10 perdas percentuais aos dados de consumo de gás natural, apresentados na Tabela 11 e Tabela 26
11 (referentes ao consumo de gás natural em fontes estacionárias e em fontes móveis,
12 respectivamente).

13

14 Neste caso as emissões fugitivas do gás natural para termogeração foram contabilizadas no total
15 de emissões do Município, pois estas emissões não são contabilizadas na geração de eletricidade,
16 o qual contabiliza apenas as emissões da combustão do gás natural para gerar energia elétrica.

17

18 A composição do gás natural apresentada pela COMGÁS (2012c) é apresentada na Tabela 47,
19 sendo que foram utilizados neste inventário apenas os dados para CH₄ e CO₂.

20

21 **Tabela 47 – Composição do gás natural**

| Gás | Conteúdo | Gás | Conteúdo |
|-----------------|----------|-----------------------------|----------|
| CH ₄ | 89% | Propano | 1,8% |
| CO ₂ | 1,5% | C ₄ ⁺ | 1,0% |
| Etano | 6% | N ₂ | 0,7% |

22

23 Os dados de densidade relativa ideal dos gases CH₄ e CO₂ utilizados para quantificar as emissões
24 fugitivas foram obtidos da Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico – FISPQ
25 apresentada pela COMGÁS (2012b). Estas informações são apresentadas na Tabela 48.

Tabela 48 - Densidade

| Gás | Densidade Relativa Ideal* (adimensional) | Densidade (t/10 ⁶ m ³) |
|-----------------|---|--|
| CH ₄ | 0,5539 | 716,15 |
| CO ₂ | 1,5195 | 1.964,60 |

Fonte: *COMGÁS, 2012b

A densidade relativa ideal de um gás refere-se à densidade de um gás ideal em relação à densidade do ar à temperatura de 0°C e 1 atm de pressão. As densidades do CH₄ e do CO₂ foram obtidas multiplicando-se a densidade relativa ideal destes gases pela densidade do ar⁴⁶ (1.292,923 t/10⁶m³).

As emissões fugitivas provenientes da distribuição do gás natural no Município de São Paulo são apresentadas na Tabela 49.

Tabela 49 – Emissões fugitivas da distribuição de GN

| Ano | Emissões fugitivas de CH ₄ | Emissões Fugitivas de CO ₂ |
|------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | (tCH ₄) | (tCO ₂) |
| 2003 | 2.695 | 125 |
| 2004 | - | - |
| 2005 | - | - |
| 2006 | 1.447 | 67 |
| 2007 | 1.400 | 65 |
| 2008 | 5.813 | 269 |
| 2009 | 2.793 | 129 |

⁴⁶ Fonte: ABNT [20--], p.35 – r_{ar} (273,15K, 101,325kPa) com adequação das unidades de medidas para as grandezas deste inventário.

1 **3. RESULTADOS CONSOLIDADOS**

2

3 As emissões totais do Município de São Paulo do setor Energia são apresentadas na Tabela 50
4 por subsetores e categorias.

5

6

Tabela 50 – Emissões do Setor Energia

| Ano | Queima de combustível | | | Emissões Fugitivas | Total |
|----------------------|-----------------------|----------------------------|------------|--------------------|------------|
| | Geração de Energia | Indústria de Transformação | Transporte | | |
| (tCO ₂ e) | | | | | |
| 2003 | 864.694 | 3.000.852 | 8.988.761 | 56.719 | 12.911.025 |
| 2004 | 889.358 | 3.059.184 | 9.116.711 | - | 13.065.253 |
| 2005 | 844.845 | 2.554.810 | 9.289.670 | - | 12.689.325 |
| 2006 | 781.494 | 2.553.419 | 9.178.713 | 30.455 | 12.544.081 |
| 2007 | 739.463 | 2.566.150 | 9.778.994 | 29.470 | 13.114.077 |
| 2008 | 1.264.405 | 2.651.627 | 9.822.419 | 122.342 | 13.860.792 |
| 2009 | 650.211 | 2.436.555 | 9.238.719 | 58.790 | 12.384.275 |

7

8 Na Tabela 51 são apresentadas as emissões do setor Energia por GEE para o período
9 inventariado.

10

11

Tabela 51 – Emissões do setor Energia por GEE

| Ano | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | Total |
|------|----------------------|-----------------|------------------|------------|
| | (tCO ₂ e) | | | |
| 2003 | 12.563.861 | 118.751 | 228.413 | 12.911.025 |
| 2004 | 12.759.352 | 63.901 | 242.000 | 13.065.253 |
| 2005 | 12.367.657 | 67.011 | 254.656 | 12.689.325 |
| 2006 | 12.168.063 | 102.348 | 273.670 | 12.544.081 |
| 2007 | 12.688.356 | 108.313 | 317.408 | 13.114.077 |
| 2008 | 13.318.261 | 200.369 | 341.788 | 13.860.418 |
| 2009 | 11.899.862 | 130.921 | 353.493 | 12.384.275 |

12

13 Na Figura 8 são apresentados os perfis de emissões de GEE do setor de energia do Município de
14 São Paulo para os anos de 2003 e de 2009.

15

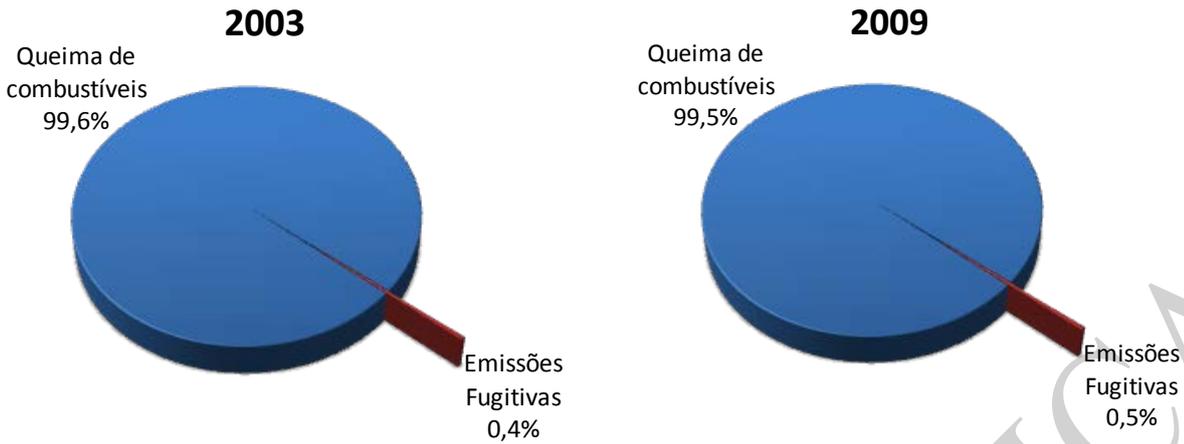


Figura 8 – Perfil das emissões do setor Energia por subsetor em 2003 e 2009

Como pôde-se observar, o subsetor de queima de combustíveis foi o mais representativo, correspondendo à quase totalidade das emissões do setor Energia. Para ilustrar o perfil das emissões deste subsetor apresenta-se a Figura 9.

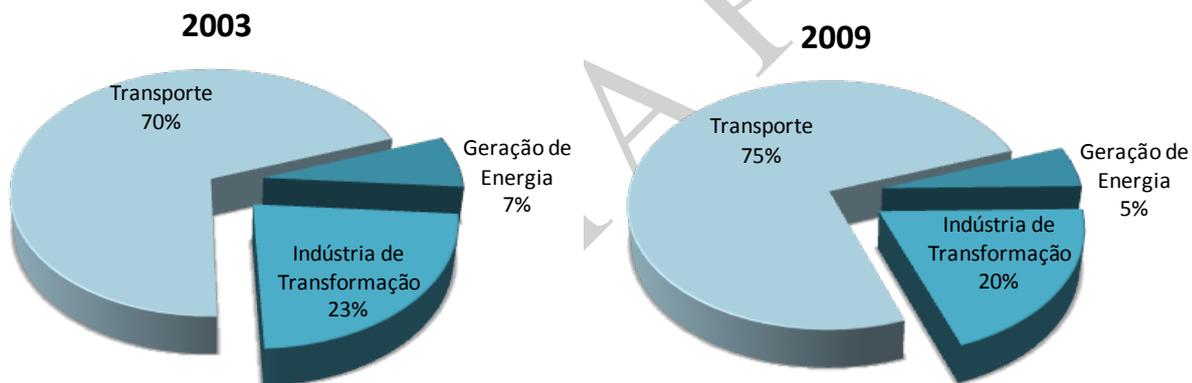


Figura 9 – Perfil das emissões do subsetor queima de combustíveis em 2003 e 2009

A principal fonte de emissão do subsetor queima de combustíveis foi o transporte, que contribuiu em média com 72% das emissões durante o período inventariado. Por ser o mais representativo, as emissões do transporte são apresentadas na Figura 10 por combustível utilizado.

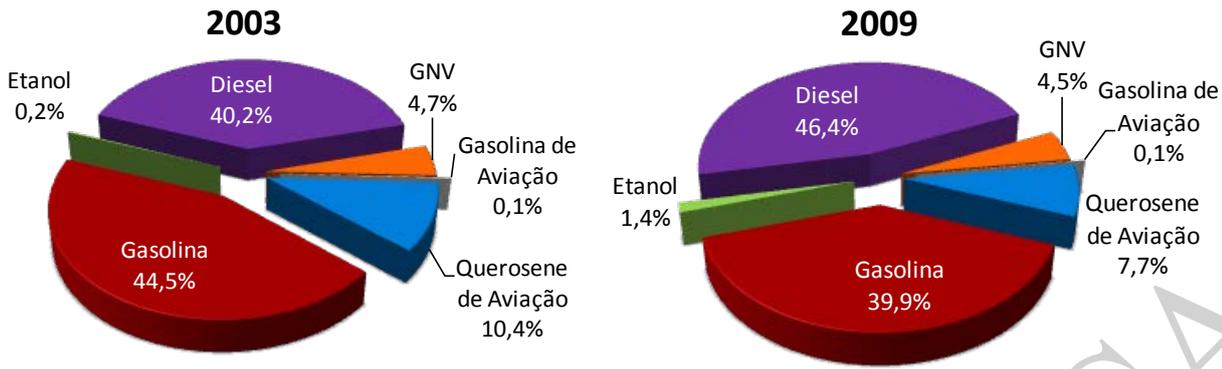


Figura 10 – Perfil das emissões do transporte por combustível em 2003 e 2009

1
2

3 Conforme apresentado na Figura 10, as emissões de GEE dos combustíveis utilizados para o
4 transporte aéreo (gasolina de aviação e querosene de aviação) representaram pouco mais de 10%
5 das emissões da categoria transporte no ano de 2003 e menos de 8% em 2009. Já as emissões de
6 GEE provenientes da queima dos combustíveis considerados neste inventário como sendo
7 utilizados para o transporte rodoviário corresponderam a 89,6% das emissões do transporte em
8 2003 e a 92,2% das emissões em 2009. É importante destacar que as emissões de CO₂ dos
9 biocombustíveis não foram contabilizadas no montante de emissões de GEE do Município.

10

11 Na Figura 11 são apresentadas as emissões de GEE do setor de Energia por subsetor e suas
12 emissões relativas.

13

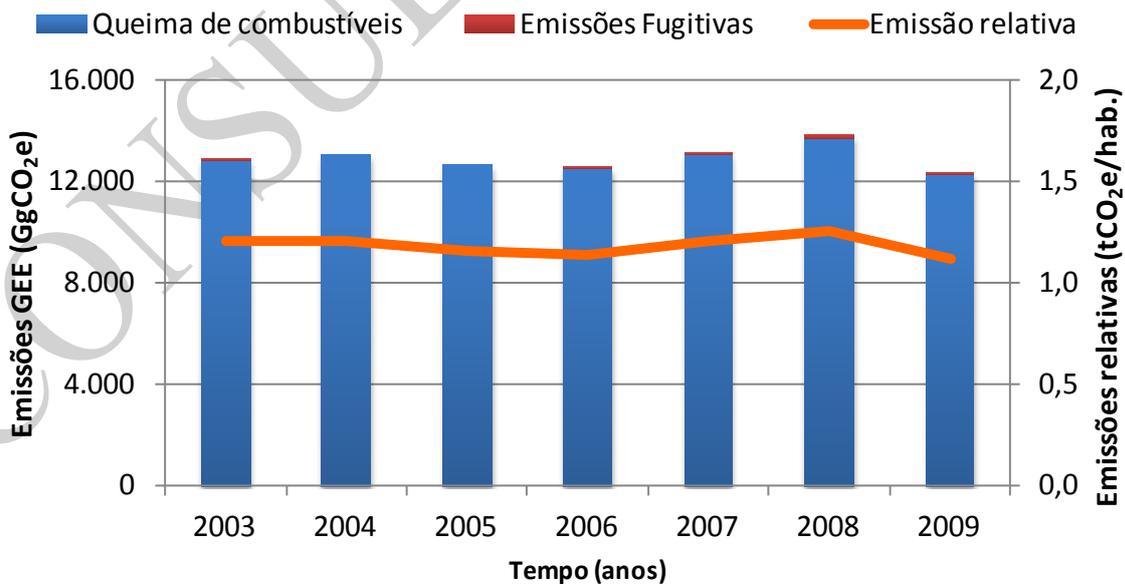


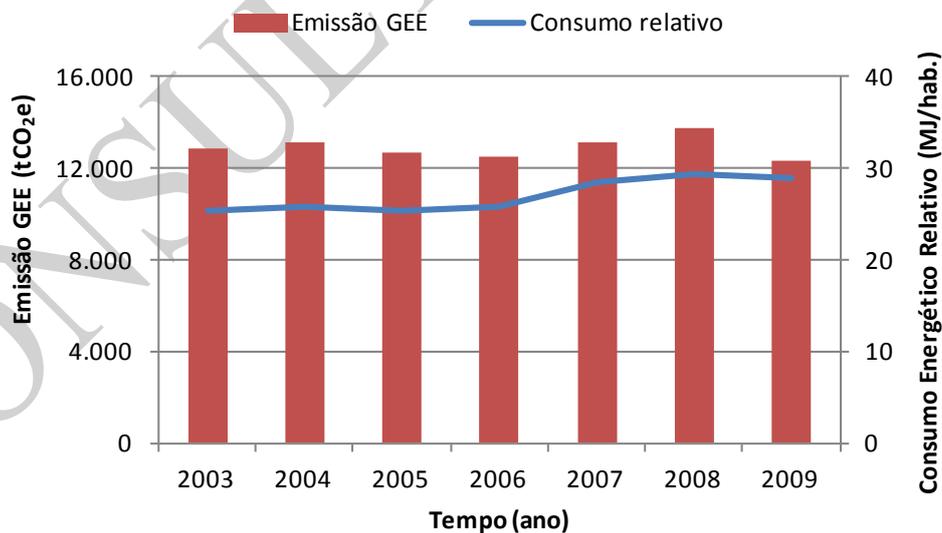
Figura 11 – Evolução das emissões de GEE do setor de Energia

14
15
16

1 Como pode ser observado na Figura 11, houve um pico nas emissões de GEE no ano de 2008, o
 2 qual se deve principalmente ao aumento nas emissões da geração de energia. Este aumento,
 3 conforme discutido anteriormente no capítulo 2.1.1.1, está relacionado com os diferentes tipos de
 4 fontes de geração de energia elétrica e suas variações de contribuição. No ano de 2008
 5 constatou-se o maior fator de emissão dentre o período analisado, indicando a maior participação
 6 de fontes fósseis na geração de eletricidade destinada à rede elétrica nacional.

7
 8 Pode-se verificar ainda que a emissão relativa do setor de Energia apresenta um comportamento
 9 similar ao das emissões totais do setor. No ano de 2003, a emissão relativa foi de 1,21
 10 tCO₂e/habitante e de 1,12 tCO₂e/habitante no ano de 2009. Esta redução deve-se ao aumento da
 11 população do Município, de 3,5%; e à diminuição das emissões, que apresentaram uma queda de
 12 4% no período inventariado.

13
 14 Esta pequena queda nas emissões do setor de Energia no período inventariado pode estar
 15 relacionado a diversos fatores. Um dos fatores pode estar atrelado ao consumo energético
 16 relativo de combustíveis no Município de São Paulo. Para melhor compreender esta relação são
 17 apresentados na Figura 12 os indicadores das emissões de GEE do setor Energia e do consumo
 18 energético relativo.

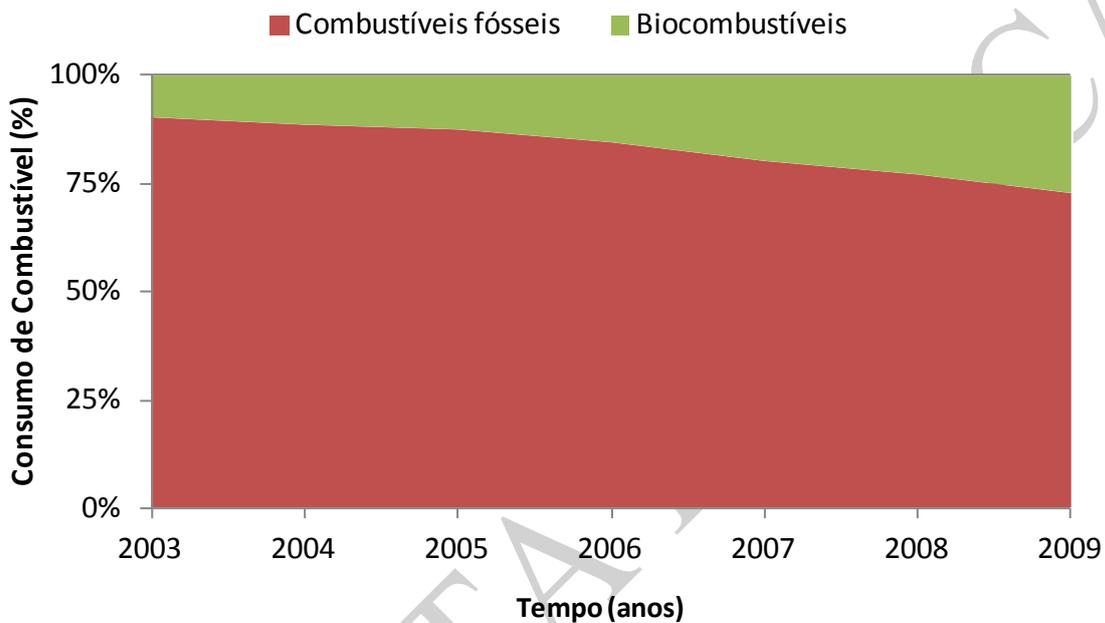


20
 21 **Figura 12 – Emissão Relativa x Consumo Relativo**
 22

23 Conforme apresentado na Figura 12, verifica-se que o consumo energético relativo apresentou
 24 um aumento ao longo do período inventariado de aproximadamente 15%, ou seja, o consumo
 25 energético de combustíveis per capita aumentou. Seguindo o raciocínio lógico, as emissões do

1 setor também deveriam aumentar proporcionalmente ao consumo energético relativo, porém, as
 2 emissões do setor apresentaram uma queda de aproximadamente 4% comparando-se as emissões
 3 do ano de 2009 com as do ano de 2003.

4
 5 Na Figura 13 é apresentado o perfil de consumo de combustíveis fósseis e biocombustíveis no
 6 Município de São Paulo.



7
 8 **Figura 13 – Consumo de Combustível**
 9

10 Conforme apresentado na Figura 13, verifica-se uma tendência de modificação da matriz
 11 energética do Município, com o aumento da fração de biocombustíveis. Esta modificação
 12 contribui para reduzir as emissões de GEE, pois conforme diretrizes do IPCC (2006), as
 13 emissões de CO₂ provenientes da biomassa (biocombustíveis) não devem ser contabilizadas no
 14 total de emissão por serem de origem biogênica.

15
 16

4. INCERTEZAS

As incertezas na quantificação das emissões de GEE do setor de energia estão relacionadas principalmente com os dados de consumo de combustíveis e, em menor proporção, aos fatores de emissão utilizados, uma vez que estes são baseados na metodologia proposta pelo IPCC 2006, que foram obtidos e definidos com intervalos de confiança de 95%, para a queima de combustíveis.

Os dados de consumo utilizados são valores globais de consumo no Município. Isto significa que, independente dos níveis de detalhamento do cálculo (*Tiers*), as emissões calculadas são consistentes. O nível de detalhamento refina os resultados, mas depende de modelos ou dados específicos, nem sempre disponíveis. A frota flex, por exemplo, permite o uso de gasolina ou etanol, os quais apresentam fatores de emissão diferentes. Além disso, cada veículo possui eficiência diferente e cada usuário tem hábito de abastecimento e de condução diferente. Esses fatores alteram as emissões de GEE referentes à frota flex e demandam um modelo complexo para o cálculo das emissões. No entanto, os dados de consumo total no Município já abrangem todos os consumos da frota flex, independente dos fatores descritos, garantindo a consistência do inventário de GEE.

Os dados de consumo aparente de combustíveis e de consumo de energia elétrica utilizados neste inventário são os dados oficiais para o Município de São Paulo. Por este motivo, as incertezas relacionadas aos dados coletados de consumo dos combustíveis e energia elétrica no Município são pouco relevantes. Entretanto, cabe a ressalva em relação à clandestinidade e adulteração dos combustíveis. Estes consumos não foram contabilizados neste inventário.

A COMGÁS informou a taxa de perdas na distribuição de gás natural para o período de avaliação do inventário, de 2003 a 2009. Os valores reportados para os anos de 2004 e 2005 foram negativos, o que indicaria uma eventual absorção. Eventuais variações das medições podem gerar valores negativos, conforme os limites de medição dos equipamentos utilizados. Assim, esta informação foi desconsiderada para o inventário de GEE, assumindo como nulas as perdas nestes anos. Entretanto, todos os valores reportados estão dentro da margem de erro do equipamento, o que indica que esta margem é maior que o próprio valor. Este fato evidencia uma

1 incerteza relevante para os dados medidos. Porém, os dados disponíveis estão dentro da ordem
2 de grandeza esperada para perdas no sistema de distribuição de gás natural previstas pelo IPCC.

3
4 O biodiesel é um combustível derivado de fontes renováveis (óleos vegetais e gorduras animais)
5 e todo o carbono emitido foi considerado como biogênico e então, não contabilizado como GEE.
6 Entretanto, há uma incerteza nesta consideração, pois o processo de fabricação de biodiesel
7 envolve o consumo de alcoóis como o metanol ou etanol, que passa a compor a molécula do
8 combustível. Dependendo da fonte destes alcoóis (fóssil ou renovável), esta fração de CO₂ pode
9 ter origem fóssil e então ter sua contabilização diferenciada.

10
11 Deve-se ressaltar que o consumo aparente dos combustíveis refere-se à venda dos combustíveis
12 no Município, considerando-se então que todo o combustível comercializado no ano foi
13 consumido. O consumo real anual do Município pode variar em relação ao consumo aparente.
14 Entretanto, devido aos grandes volumes comercializados, a possível diferença referente ao
15 estoque pode ser desconsiderada. Uma pequena variação também pode ocorrer em função da
16 característica volátil dos combustíveis. Durante o transporte e abastecimento, uma pequena
17 parcela do combustível evapora, não sendo convertido em GEE.

18
19 As fronteiras do inventário foram definidas com base nos consumos de combustíveis registrados
20 dentro do limite geopolítico do Município de São Paulo. Entretanto, há emissões que ocorrem no
21 Município de São Paulo, mas que estão atrelados a consumos (abastecimentos) realizados fora
22 do município. Do mesmo modo, existem também as emissões de GEE que ocorrem fora do
23 município a partir de abastecimentos ocorridos dentro do Município de São Paulo. Ou seja, seria
24 necessário mapear a frota de veículos circulante no Município e definir os consumos e locais de
25 abastecimento. Esta condição também é aplicável para o setor de aviação. Frente à complexidade
26 de determinar modelos representativos para esta contabilização, adotaram-se como base os
27 consumos ocorridos dentro do Município, supondo-se que as “entradas” e “saídas” de
28 combustível pelas fronteiras do Município se anulam. Além disso, a base de dados de
29 combustíveis disponibilizados já segrega as informações por município.

30
31 As emissões referentes ao uso de Helicópteros foram consideradas com base nos consumos de
32 combustíveis registrados no Município, que são referentes ao Campo de Marte, Helicidade e
33 Aeroporto de Congonhas. Por não estar localizado no Município de São Paulo, as emissões dos

1 voos do aeroporto de Guarulhos não foram contabilizadas neste inventário, apesar de grande
2 parte dos voos deste aeroporto suprirem a demanda de locomoção da população do Município.

3

4 Com o intuito de aprimorar os cálculos de emissões de GEE do Município em inventários
5 futuros, são apresentadas algumas sugestões para cada segmento do setor de energia:

6

7 • Para o setor em geral, a elaboração de fatores de emissão específicos para a realidade
8 local.

9 • Para o transporte rodoviário, sugere-se que dados da frota do município por tipo de
10 veículo, idade e tipo de combustível, sejam levantados anualmente e mantidos em um
11 banco de dados.

12 • Para o transporte aéreo recomenda-se coletar dados do consumo de combustível em cada
13 voo por tipo de aeronave.

14 • Em relação à volatilidade dos combustíveis e possíveis perdas, avaliar as operações de
15 transporte e abastecimento dentro do ciclo de vida do combustível a fim de construir um
16 modelo representativo para o consumo real e conseqüente geração de GEE.

17

18 O aperfeiçoamento na coleta, registro e disponibilização das informações permite quantificar as
19 emissões de GEE a partir de *Tiers* mais detalhados.

20

21

1 **5. COMPARATIVO 1º INVENTÁRIO DE GEE DO MUNICÍPIO**

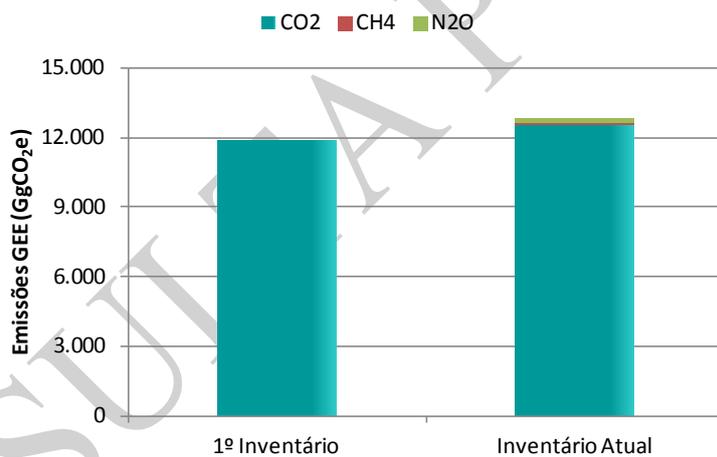
2
3

4 O 1º Inventário de emissão de GEE do Município de São Paulo foi elaborado baseado nas
5 metodologias e diretrizes propostas pelo “*Revised 1996 IPCC Guidelines for National*
6 *Greenhouse Gas Inventories*”, já o inventário atual foi elaborado com base no “*2006 IPCC*
7 *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”.

8

9 No 1º Inventário foram quantificadas apenas as emissões de dióxido de carbono (CO₂)
10 provenientes da queima dos combustíveis. No inventário atual foram quantificadas as emissões
11 de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido Nitroso (N₂O) provenientes da queima de
12 combustíveis nas fontes móveis e estacionárias no Município de São Paulo. Para ilustrar as
13 emissões de GEE consideradas em cada inventário é apresentada a Figura 14.

14



15
16
17

Figura 14 – Emissões de GEE do setor de Energia em 2003

18 Com relação às emissões de CO₂ provenientes da geração de energia elétrica consumida no
19 Município de São Paulo, ambos quantificaram as emissões de CO₂ desta atividade
20 independentemente da usina geradora de eletricidade estar ou não localizada dentro dos limites
21 do Município. Considerando que estas emissões, apesar de não ocorrerem no Município, são de
22 sua responsabilidade, pois foram geradas para suprir uma necessidade da Cidade.

23

24 Para o ano de 2003, foram observadas diferenças entre as bases de dados utilizadas para o
25 consumo de eletricidade no Município, Gás Natural e para o consumo aparente de óleo
26 combustível.

Os valores de consumo de eletricidade do primeiro inventário foram obtidos do Boletim Conjuntura Energia (2004). Já no novo inventário, os valores utilizados de consumo de eletricidade para o ano de 2003 foram disponibilizados pela base da INFOCIDADE, que apresenta como fonte de seus dados a AES Eletropaulo. Os valores adotados neste novo inventário representam menos de 70% do consumo adotado no cálculo do primeiro inventário. Esta diferença reflete diretamente no total das emissões da eletricidade. Para comparação, na Tabela 52 são apresentados indicadores de consumo de energia elétrica *per capita* e emissão relativa dos dois inventários elaborados para o Município de São Paulo.

Tabela 52 – Indicadores do consumo de eletricidade

| Indicadores | 1º Inventário | Inventário Atual |
|---|----------------------------------|---------------------------------|
| Consumo de eletricidade <i>per capita</i> | 3 MWh/habitante | 2 MWh/habitante |
| Emissão relativa | 125 kgCO ₂ /habitante | 81 kgCO ₂ /habitante |

Os valores de consumo de Gás Natural adotados no segundo inventário são em média 5% menores que os consumos registrados no primeiro inventário. No item óleo combustível, os dados utilizados fornecidos pela ANP no segundo inventário foram o dobro dos valores considerados no primeiro inventário, que também apresenta como fonte a ANP.

6. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Comitê Brasileiro de Normas Técnicas. **Apresentação da NBR 15213**. São Paulo, [20--]. Disponível em <<http://www.gasbrasil.com.br/seminarios/53/palestras/02%20-%20NBR-15213%20-%20Marc%C3%ADlio%20Melo%20Bayer%20-%20CTGAS-ER.pdf>> Acesso em: 25/06/2012.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Dados de vendas de combustíveis no município de São Paulo no período de 2003 a 2005**. (via e-mail) 2012a.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Glossário**. 2012b. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/?id=582>>. Acesso em 17/04/2012.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Ciência e Tecnologia. **Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem Bottom-Up**. Brasília: MCTI, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. Brasília: MMA, 2011. Disponível em <www.antt.gov.br/html/objects/_downloadblob.php?cod_blob=540> Acesso em 26/03/2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional de 2006: Ano Base 2005**. Rio de Janeiro: EPE, 2006a.

BRASIL. Resolução CIMA nº 28, de 22 de janeiro de 2003. Publicado em 24 de janeiro de 2003 no DOU. 2003a. Disponível em <www.fecombustiveis.org.br> Acesso em 12/04/2012.

BRASIL. Resolução CIMA nº 30, de 15 de maio de 2003. Publicado em 27 de maio de 2003 no DOU. 2003b. Disponível em <www.fecombustiveis.org.br> Acesso em 12/04/2012.

- 1 BRASIL. Resolução CIMA nº 35, de 22 de fevereiro de 2006. Publicado em 23 de fevereiro de
2 2006 no DOU. 2006b. Disponível em <www.fecombustiveis.org.br>. Acesso em 12/04/2012.
3
- 4 BRASIL. Resolução CIMA nº 36, de 31 de outubro de 2006. Publicado em 10 de novembro de
5 2006 no DOU. 2006c. Disponível em <www.fecombustiveis.org.br>. Acesso em 12/04/2012.
6
- 7 BRASIL. Resolução CIMA nº 37, de 27 de junho de 2007. Publicado em 28 de junho de 2007 no
8 DOU. 2007. Disponível em <www.fecombustiveis.org.br>. Acesso em 12/04/2012.
9
- 10 BRASIL. Resolução CNPE nº 2, de 13 de março de 2008. Publicado em 14 de março de 2008 no
11 DOU. 2008.
12
- 13 BRASIL. Resolução CNPE nº 2, de 27 de abril de 2009. Publicado em 18 de maio de 2009 no
14 DOU. 2009.
15
- 16 COMGÁS – Companhia de Gás de São Paulo. **Dados de operação da COMGÁS, em resposta**
17 **ao ofício nº 032-SVMA-DEPLAN-1-2012-COMGAS**. São Paulo, 2012a.
18
- 19 COMGÁS. **Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico – FISPQ do Gás**
20 **Natural**. S.l., 2012b. Disponível em:
21 <http://www.comgas.com.br/conheca_gasnatural/media/pdf/fispq-gas-natural.pdf> Acesso em
22 25/06/2012.
23
- 24 COPPE – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia. **Inventário de**
25 **Emissões de Gases de Efeito Estufa do Município de São Paulo**. 2005.
26
- 27 INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Programa**
28 **de Análise de Produtos: Relatório sobre Análise em Conversor Catalítico**. Rio de Janeiro,
29 2007. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/conversor.pdf>> Acesso
30 em 17/04/2012.
31
- 32 IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **2006 IPCC Guidelines for National**
33 **Greenhouse Gas Inventories**. Volume 2. Japão, 2006. Disponível em: < [http://www.ipcc-](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html)
34 [nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html)> Acesso em 21/10/2011.

1
2 PECORA, V.; FIGUEIREDO, N.J.V.; COELHO, S.T. e VELÁZQUEZ, S.M.S.G. **Potencial de**
3 **geração de energia elétrica e iluminação a gás por meio do aproveitamento de biogás**
4 **proveniente de aterro sanitário.** São Paulo, 2008. Disponível em:
5 <<http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/aterroagrener06jun2008.pdf>> Acesso em
6 28/05/2012.

7
8 SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria de Saneamento e Energia. **Anuário Estatístico de**
9 **Energéticos por Município no Estado de São Paulo – 2006.** Secretaria de Saneamento e
10 Energia, São Paulo, 2007.

11
12 SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria de Saneamento e Energia. **Anuário Estatístico de**
13 **Energéticos por Município no Estado de São Paulo – 2007.** Secretaria de Saneamento e
14 Energia, São Paulo, 2008.

15
16 SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria de Saneamento e Energia. **Anuário Estatístico de**
17 **Energéticos por Município no Estado de São Paulo – 2008.** Secretaria de Saneamento e
18 Energia, São Paulo, 2009.

19
20 SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria de Saneamento e Energia. **Anuário Estatístico de**
21 **Energéticos por Município no Estado de São Paulo – 2009.** Secretaria de Saneamento e
22 Energia, São Paulo, 2010.

23
24 SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria de Energia. **Balço Energético do Estado de São Paulo**
25 **2011: Ano Base 2010.** São Paulo: Secretaria de Energia, 2011.

26
27
28 Sítios da internet consultados durante o período de desenvolvimento do trabalho:

29
30 • COMGÁS – Companhia de Gás de São Paulo <
31 http://www.comgas.com.br/conheca_sociedade/escola/composicao.asp> Acesso em
32 02/04/2012.

33 • INFOCIDADE <<http://infocidade.prefeitura.sp.gov.br/>> Acesso em 28/02/2012.

- 1 • MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação <<http://www.mct.gov.br>> Acesso em 23/03/2012.
- 2
- 3 • ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico <<http://www.ons.org.br/>> Acesso em
- 4 02/03/2012.
- 5 • SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. <<http://www.snis.gov.br/>>
- 6 Acesso em: 02/01/2012.
- 7 • UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change – Aterro
- 8 Bandeirantes <<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1134130255.56>> – Aterro
- 9 São João <<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1145141778.29>>. Acesso em
- 10 28/05/2012