

Relatório nº 3

Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Município de São Paulo

Março de 2005

**Produto 6.4 do Contrato nº : 014/SVMA/2004, assinado em
18 de maio de 2004.**

Contratante: Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente de São Paulo (SVMA).

Contratado: Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (Centro Clima) da Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

EQUIPE CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ

Coordenação Científica: Prof. Emilio Lèbre La Rovere, D.Sc.

Coordenação Executiva: Carolina Burle Schmidt Dubeux, M.Sc.

Ângela Oliveira da Costa, M.Sc.

André Felipe Simões, D.Sc.

Cícero Augusto Pimenteira, M.Sc.

Flávia Frangetto, M.Sc.

Francisco Eduardo Mendes, D.Sc.

Joyce Maria Guimarães Monteiro, M.Sc.

Lila Szwarcfiter, D.Sc.

Luciano Basto Oliveira, D.Sc.

Norma do Nascimento Baptista, M.Sc.

Susana Kahn Ribeiro, D.Sc.



Centro Clima
CENTRO DE ESTUDOS INTEGRADOS SOBRE
MEIO AMBIENTE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Índice:

| | |
|---|----|
| INTRODUÇÃO | 3 |
| Item 1) Efeito Estufa: Principais Aspectos Científicos e Técnicos | 7 |
| 1.1. - O Efeito Estufa e a Ação Humana | 7 |
| 1.2. - A Convenção do Clima e o Protocolo de Quioto..... | 10 |
| Item 2) Inventários Setoriais de Emissões de GEE do Município de São Paulo | 13 |
| 2.1. - Aspectos Gerais e Metodológicos | 13 |
| 2.2 - Emissões do uso de Energia..... | 16 |
| 2.2.1 Introdução | 16 |
| 2.2.2 Organização do Inventário de Emissões pelo Uso da Energia | 18 |
| 2.2.3 Caracterização dos Setores Consumidores de Energia..... | 19 |
| 2.2.4 Emissões da Queima de Combustíveis Fósseis | 33 |
| 2.2.4.1 Metodologias para o Cálculo de Emissões da Queima de Combustíveis Fósseis | 33 |
| 2.2.4.1.1 Metodologia Top Down | 35 |
| 2.2.4.2 Dados Utilizados | 42 |
| 2.2.4.3 Resultados do Inventário da Queima de Combustíveis Fósseis | 44 |
| 2.2.5 Emissões do Consumo de Energia Elétrica | 51 |
| 2.2.5.2 Resultados do Inventário de Emissões do Consumo de Energia Elétrica | 53 |
| 2.2.6 Emissões de Responsabilidade da Administração Pública Municipal | 58 |
| 2.2.6.1 Emissões do Consumo de Combustíveis | 58 |
| 2.2.6.2 Emissões do Consumo de Energia Elétrica..... | 59 |
| 2.2.7 Emissões Totais do Uso de Energia no Município de São Paulo | 60 |
| 2.3 Mudança no Uso do Solo e Florestas | 62 |
| 2.3.1 Introdução | 62 |
| 2.3.2 Organização do Inventário de Emissões pela Mudança no Uso do Solo e Florestas..... | 63 |
| 2.3.3 Conversão de Florestas para Outros Usos | 66 |
| 2.3.3.1 Metodologia para o Cálculo de Emissões..... | 66 |
| 2.3.3.2 Resultados do Inventário da Conversão de Florestas para Outros Usos | 73 |
| 2.3.4 Correção de Acidez de Solos Agrícolas | 74 |
| 2.3.4.1 Metodologia para o Cálculo das Emissões..... | 75 |
| 2.3.4.2 Resultados do Inventário da Correção de Acidez de Solos Agrícolas | 77 |
| 2.3.5 Emissões Totais de Mudança no Uso de Solo e Florestas | 78 |
| 2.4. Setor Agropecuário..... | 79 |

| | | |
|------------------------|---|-----|
| 2.4.1 | Introdução | 79 |
| 2.4.2 | Fermentação Entérica..... | 79 |
| 2.4.2.1 | Metodologia para o Cálculo das Emissões e Resultados do Inventário..... | 79 |
| 2.4.3 | Manejo de Dejetos | 82 |
| 2.4.3.1 | Metodologia para o Cálculo das Emissões e Resultados do Inventário..... | 82 |
| 2.4.4 | Emissões Totais do Setor Agropecuário | 84 |
| 2.5 | – Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos | 86 |
| 2.5.1 | Introdução | 86 |
| 2.5.2 | Emissões da Disposição de RSU | 88 |
| 2.5.2.1 | Metodologia e Dados Utilizados para o Cálculo de Emissões | 88 |
| 2.5.2.2 | Emissões Totais de RSU | 91 |
| 2.6 | Tratamento de Esgotos Domésticos e Comerciais e de Efluentes Industriais..... | 93 |
| 2.6.1 | Introdução | 93 |
| 2.6.2 | Esgoto Doméstico e Comercial | 95 |
| 2.6.2.1 | Características das Estações de Tratamento da RMSP | 98 |
| 2.6.2.2 | Emissões das ETES | 100 |
| 2.6.2.3 | Outras Fontes de Emissões de Esgotos Domésticos e Comerciais | 102 |
| 2.6.2.3.1 | Emissões de Fossas – Metodologia, Cálculos e Resultados | 102 |
| 2.6.3 | Efluentes Industriais..... | 106 |
| 2.6.4 | Emissões Totais do Tratamento de Esgotos e Efluentes Industriais | 107 |
| Item 3) | Síntese do Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa do Município de São Paulo | 108 |
| 3.1 | Emissões por Setor | 108 |
| 3.2 | Emissões por Gás | 115 |
| 3.3 | Comparação com outros inventários no Brasil..... | 117 |
| ANEXO I: | | 125 |
| ANEXO II: | | 128 |
| Índice de Gráficos: | | 133 |
| Índice de Figuras: | | 135 |
| Índice de Fluxogramas: | | 135 |

INTRODUÇÃO

O presente relatório é o quarto produto referente ao **CONTRATO SVMA N° 014/SVMA/2004 DE 18 DE MAIO DE 2004**, celebrado entre o Centro Clima (Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas) da COPPE (Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia) - UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) e a SVMA (Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente de São Paulo), doravante denominado Contrato Centro Clima/SVMA ou, simplesmente, Contrato.

O referido contrato tem por objeto a realização de estudos especializados para o desenvolvimento de uma **Política Pública sobre Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Município de São Paulo**. Para este fim, as seguintes atividades estão previstas para serem implementadas no transcorrer de todo o Contrato Centro Clima/SVMA:

1. Apoio técnico do Centro Clima no desenho da proposta de estrutura interna da SVMA para recepcionar a questão climática no processo do MDL e mercado de carbono em geral. Tal atividade tem por finalidade precípua criar uma estrutura mínima que possa receber a nova temática na SVMA de modo que, findas as etapas previstas no Contrato Centro Clima/SVMA, haja continuidade no desenvolvimento dos trabalhos a serem incorporados na rotina da Secretaria. Após a conclusão de todas as etapas do estudo objeto do Contrato, em razão do potencial identificado de intersecção de projetos do Município no mercado internacional de carbono, esta pequena estrutura poderá se constituir no embrião de uma estrutura mais ampla e definitiva a ser introduzida de modo mais abrangente na estrutura municipal incorporando, inclusive, outros órgãos da administração pública.(etapa concluída)
2. Treinamento do pessoal técnico da Prefeitura Municipal, em termos técnico-científicos e em termos de estrutura do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) de modo que, concluído o estudo do Centro Clima, a SVMA possa dispor de profissionais familiarizados ao tema, permitindo assim que a

Política Pública sobre Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Município de São Paulo e respectivo Plano de Ação possam ser implementados. (etapa concluída)

3. Revisão, aprimoramento e expansão do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa realizado pela Secretaria do Verde e Meio Ambiente em parceria com o Conselho Internacional para Iniciativas Ambientais Locais (ICLEI¹). Serão inventariadas as emissões de dióxido de carbono (CO₂) e de metano (CH₄), com base na metodologia de inventários do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC)², da Convenção do Clima. Esta etapa é fundamental para que se conheça o nível de emissões correntes e suas fontes principais, uma etapa precedente à etapa explicitada a seguir relativa à construção de cenários e projeções. (presente etapa)
4. Identificação de ações municipais relacionadas à redução das emissões de CO₂ e CH₄. Para este fim, serão identificados os projetos e atividades municipais que possam ser desenvolvidos com vistas à redução das emissões de GEE e que possam obter créditos de carbono transacionáveis no mercado. Inclui-se, nesta atividade, a construção de cenários tendenciais de linha de base e cenários alternativos, com os projetos a serem identificados nos setores abordados no Inventário de Emissões³. (etapa a ser desenvolvida)
5. Estudo para elaboração de minuta de anteprojeto de lei da Política Pública sobre Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Município de São Paulo e de um Plano de Ação que contemple medidas objetivas a serem realizadas em favor do clima. Para tanto, será levantada a legislação aplicável a cada um dos setores de atividades integrantes da Política em sua interface

¹ *The International Council for Local Environmental Initiatives* é uma associação internacional de renome, sem fins lucrativos, da qual participam cidades e regiões metropolitanas com vistas a promover melhorias locais que resultem em ganhos globais.

² *Intergovernmental Panel on Climate Change*

³ Os créditos negociáveis no mercado internacional são aqueles obtidos pela diferença entre as emissões da situação sem o projeto (cenário de linha de base) e da situação com projeto.

com as alternativas de redução das emissões de GEE, compreendendo a identificação das competências, atribuições, responsabilidades e instrumentos. (etapa a ser desenvolvida)

6. Realização de um estudo de caso com a elaboração de um projeto MDL no modelo DCP (Documento de Concepção de Projeto)⁴ em formato de pequena escala da Convenção do Clima, explicitando a diferença entre o modelo pequeno escala e o modelo grande escala. Este estudo de caso fornecerá um roteiro a ser seguido para o encaminhamento do projeto no MDL, inclusive indicando os limites financeiros aconselháveis para gastos com sua tramitação. (etapa a ser desenvolvida)

7. Elaboração do material da publicação do inventário de emissões e da publicação das perspectivas futuras e subsídios técnicos para a Política Pública sobre Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Município de São Paulo. Tais documentos visam alcançar todas as partes interessadas e difundir, entre outras, as possibilidades de negócios no âmbito do poder público municipal em parceria com investidores. (etapa a ser desenvolvida)

Para atender aos termos do Contrato, a análise contida neste documento está estruturada conforme a seguir:

Item 1) Efeito Estufa: Principais Aspectos Científicos e Técnicos

Apresenta a problemática global do clima de uma maneira bastante sucinta tendo em vista ter sido detalhada no Relatório nº 1 do presente Contrato. Sua inclusão neste Relatório visa contextualizar a problemática para facilitar a compreensão do Inventário de Emissões propriamente dito.

⁴ PDD (*Project Design Document*, em inglês) como é comumente conhecido.

Item 2) Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Município de São Paulo

O Inventário apresenta as estimativas do Centro Clima quanto às emissões de gases de efeito estufa pelo Município de São Paulo. Estão inventariadas as emissões de CO₂ e de CH₄ expressas em suas unidades originais, e em CO₂ equivalente, para que possam ser comparadas. Os cálculos foram realizados com base na metodologia do IPCC consubstanciada nas Diretrizes do IPCC Revisadas em 1996 para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa⁵ (adiante denominadas simplesmente IPCC, 1996).

Os capítulos analisados correspondem à estrutura de desagregação dos cálculos adotada na metodologia do IPCC:

- Uso de Energia (geração elétrica, indústria, transporte individual, transporte coletivo e de carga, transporte aeroviário, residências e comércio, outros);
- Mudança de Uso do Solo e Florestas;
- Setor Agropecuário
- Disposição Final de Resíduos Sólidos; e
- Tratamento de Esgotos Domésticos e Comerciais e de Efluentes Industriais;

⁵ Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

Item 1) Efeito Estufa: Principais Aspectos Científicos e Técnicos

1.1. - O Efeito Estufa e a Ação Humana

A temperatura média próxima à superfície da Terra seria cerca de 17° C abaixo de zero em razão do balanço energético natural do planeta com o sol, a atmosfera e o espaço, caso não houvesse na atmosfera certos gases, destacando-se entre eles o CO₂. A presença na atmosfera de gases com características “estufa” – “transparentes” às radiações solares, mas absorvedores da radiação térmica emitida pela Terra, aquece o planeta, levando a temperatura média da atmosfera próxima à superfície terrestre à cerca de 15° C, mais favorável a vida como a conhecemos.

Está comprovado, entretanto, por medições da concentração de dióxido de carbono nas geleiras das calotas polares, que a presença desse gás vem aumentando nos últimos dois séculos na atmosfera, de uma forma acentuada, capaz de intensificar o efeito estufa e modificar as condições climáticas do planeta. Como este aumento está ocorrendo simultaneamente ao incremento da emissão de outros gases provenientes de atividades humanas, como combustão de combustíveis fósseis e fermentação anaeróbica de resíduos, entre outras, convencionou-se chamar este fenômeno de efeito estufa antropogênico.

Os outros gases de efeito estufa, além do dióxido de carbono (CO₂) são o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), os hidrofluorcarbonos (HFCs), os Perfluorcarbonos (PFCs) e o Hexafluoreto Sulfúrico (SF₆)⁶. A figura 1 mostra a dinâmica do efeito estufa causado pela presença destes gases na atmosfera.

⁶ Os clorofluorcarbonos (CFCs) são, também, gases que contribuem para o aumento do efeito estufa . Mas como afetam à camada de ozônio, são controlados pelo Protocolo de Montreal e não pela Convenção do Clima.

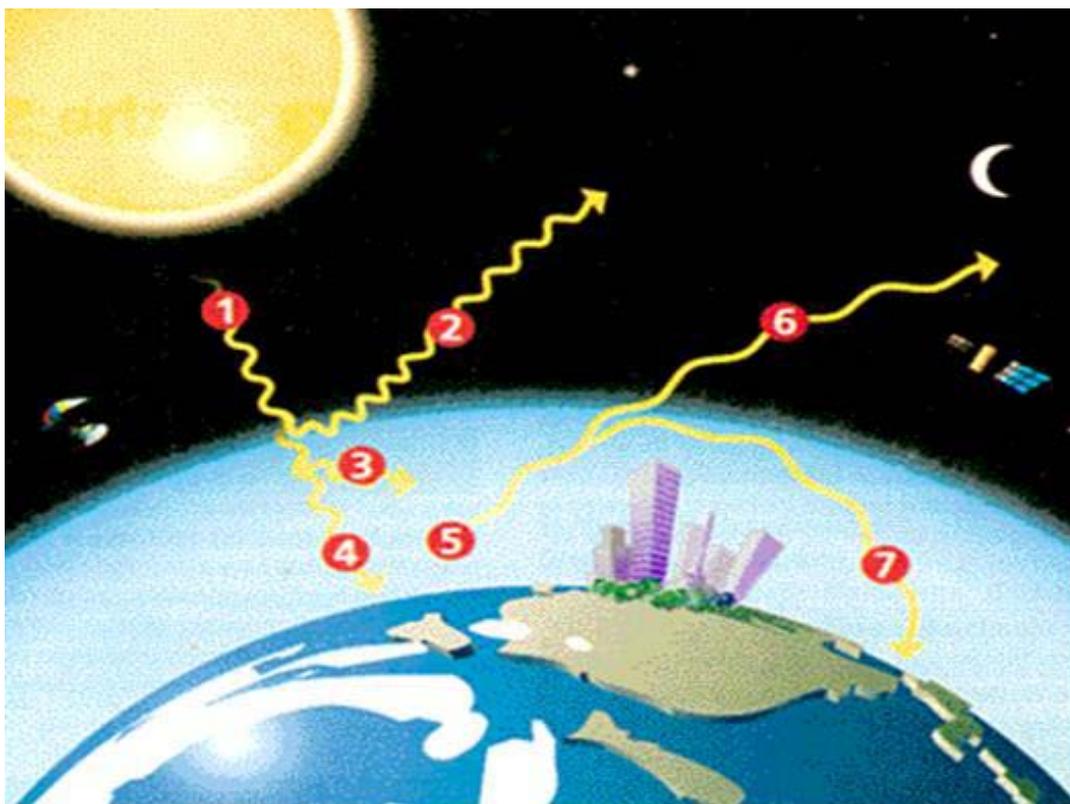


Figura 1 - O Efeito Estufa

Fonte: <http://www.nccnsw.org.au/member/cipse/context/>

Grande parte da energia da Terra vem do sol (1). Parte da energia do sol que alcança a atmosfera terrestre é refletida de volta ao espaço (2), enquanto que alguns comprimentos de onda são absorvidos pela camada de ozônio (3). A energia do sol que alcança a superfície da Terra a aquece (4), e por sua vez, a Terra irradia energia – mas em comprimentos de onda maiores que as do sol (5). Se toda esta energia escapasse de volta para o espaço (6), a temperatura da Terra seria -17°C em vez de 15°C como é em média. Isto ocorre graças à presença de gases de efeito estufa na atmosfera que aprisionam parte desta energia de maior comprimento de ondas, contribuindo para manter a Terra aquecida (7). Este fenômeno se chama efeito estufa.

Além de suas concentrações diferentes na atmosfera, os GEE diferem também quanto ao Potencial de Aquecimento Global (GWP, sigla em inglês)⁷

⁷ *Global Warming Potential (GWP)* é uma medida de quanto uma determinada massa de um GEE contribui para o aquecimento em um número de anos. É uma escala relativa que compara o gás em questão à mesma massa de dióxido de carbono cujo GWP convencionou-se ser igual a um.

estabelecido pelo IPCC⁸. A Tabela 1, a seguir, apresenta os principais GEE, sua concentração, fontes de emissão de origem antrópica e GWP.

Tabela 1 - O Poder de Aquecimento Global dos GEE e suas Fontes Principais

| Gás de Efeito Estufa | Fórmulas Químicas | Concentração Pré-Industrial | Concentração em 1994 | Permanência na Atmosfera (anos) | Fontes Antropogênicas | Poder de Aquecimento Global (Global Warming Potential - GWP) |
|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------------|---|--|
| Dióxido de Carbono | CO ₂ | 278.000 (ppbv) | 358.000 (ppbv) | variável | Uso de combustíveis fósseis, mudança do uso da terra, produção de cimento | 1 |
| Metano | CH ₄ | 700 (ppbv) | 1721 (ppbv) | 12,2 +/- 3 | Uso de combustíveis fósseis, cultivo de arroz, disposição de resíduos e criação de gado | 21 |
| Oxido Nitroso | N ₂ O | 275 (ppbv) | 311 (ppbv) | 120 | Produção de fertilizantes | 310 |
| CFC-12 | CCL ₂ F ₂ | 0 | 0,503 | 102 | Gases líquidos de refrigeração espumas | 6.200-7.100 |
| HCFC-22 | CHCF ₂ | 0 | 0,105 | 12,1 | Gases líquidos de refrigeração | 1.300-1.400 |
| Perfluorometano | CF ₄ | 0 | 0,07 | 50.000 | Produção de alumínio | 6.500 |
| Hexafluoreto Sulfídrico | SF ₆ | 0 | 0,032 | 3.200 | Fluido dielétrico | 23.900 |

Fonte: Programa das Nações Unidas sobre Meio Ambiente em www.grida.no/climate/vital/intro.htm, acessado em 17/04/2001

O presente Inventário refere-se apenas ao dióxido de carbono e ao metano por serem estes os gases sobre os quais a prefeitura municipal tem capacidade de exercer influência nos níveis de sua emissão, seja por intermédio de instrumentos

⁸ Segundo Relatório de Avaliação (1996). O IPCC, em 2001, publicou o Terceiro Relatório de Avaliação mas os Inventários Nacionais e os projetos MDL ainda se referenciam pelo valores de GWP de 1996.

regulatórios para controle das atividades privadas, seja por melhor gestão de suas próprias atividades precípuas. Esta questão será melhor detalhada no item 2.

As principais conseqüências do aumento do efeito estufa seriam:

- (a) temperaturas globais médias mais elevadas resultando em uma ruptura dos sistemas naturais;
- (b) mudanças nos regimes de chuva e em níveis de precipitação em muitas regiões com impactos na oferta de água e na produção de alimentos;
- (c) aumento da incidência e da intensidade de eventos climáticos extremos, tais como, tornados, nevascas, enchentes e secas;
- (d) aumento do nível do mar com impactos nas áreas costeiras e em regiões de baixada;
- (e) aumento de incidência de doenças tropicais decorrentes de aumento de vetores, entre outras.

1.2. - A Convenção do Clima e o Protocolo de Quioto

Com o objetivo de analisar e discutir problemas ambientais globais e possíveis soluções, as Nações Unidas realizaram a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento⁹, no Rio de Janeiro, em 1992, da qual resultou a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC)¹⁰, conhecida como a Convenção do Clima. Até o presente, 188 países já ratificaram a CQNUMC, entre eles o Brasil (fevereiro de 2004).

A Convenção do Clima tem como órgão supremo a Conferência das Partes (CoP)¹¹, composta pelos países signatários, que se reúne com frequência aproximada de um ano, para operacionalizar a Convenção e cuja primeira reunião ocorreu em Berlim, Alemanha, em 1995. Durante a CoP 3, realizada no Japão, em

⁹ *United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)*

¹⁰ *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*

¹¹ *Conference of the Parties.*

1997, foi adotado o Protocolo de Quioto que entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, pelo qual os países industrializados deverão reduzir emissões de GEE 5,2%, em média, relativamente às emissões de 1990, no período 2008 – 2012, conforme a Tabela 2, a seguir:

Tabela 2 - Países Incluídos no Anexo I da Convenção e Respectivas Metas de Redução de Emissões Estabelecidas no Anexo B do Protocolo de Quioto

| País | Meta (1990** - 2008/2012) |
|---|--------------------------------------|
| União Européia*, Bulgária, República Tcheca, Estônia, Letônia, Liechtenstein, Lituânia, Mônaco, România, Eslováquia, Eslovênia, Suíça | - 8% |
| Estados Unidos *** | - 7% |
| Canadá, Hungria, Japão, Polônia | - 6% |
| Croácia | - 5% |
| Nova Zelândia, Federação Russa, Ucrânia | 0 |
| Noruega | + 1% |
| Austrália | + 8% |
| Islândia | + 10% |

Fonte: Guia para o Processo de Mudança Climática (versão preliminar) em www.unfccc.org

* Os 15 membros da União Européia redistribuirão suas metas entre si mesmos, obtendo uma vantagem do Protocolo de Quioto conhecida como “bolha”.

** Alguns países em economia de transição para o sistema de mercado tem outra referência que não 1990.

*** Os EUA não ratificaram o Protocolo.

O Protocolo de Quioto, mesmo antes de vigorar, imprimiu uma grande dinâmica nas ações favoráveis ao clima em diversos países e mesmo em empresas, e, permitiu a criação de acordos internacionais regionais, como é o caso do Esquema de Comércio Europeu (*ETS*¹²), entre outros, conforme apresentado no Relatório 1 do presente Contrato¹³.

Dentre os mecanismo de comércio de emissões criados pelo Protocolo ou por sua causa, destaca-se o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que se destina a auxiliar os países em desenvolvimento a atingir o desenvolvimento sustentável e contribuir para o objetivo final da Convenção. Por esse Mecanismo, os

¹² Sigla em inglês para *European Trading Scheme*

¹³ O Relatório 1 do Contrato apresenta, entre outros tópicos, os principais aspectos técnico-científicos da problemática do clima e dos mercados de carbono existentes.

países industrializados (Anexo I da Convenção) que não consigam (ou não queiram) atingir suas metas de redução domesticamente, (ou via outros mecanismos não aplicáveis a países em desenvolvimento com o Comércio de Cotas ou com projetos de Implementação Conjunta) podem comprar Reduções Certificadas de Emissões, as RCEs¹⁴, geradas por projetos nos países em desenvolvimento, e utilizá-las no cumprimento de suas metas. O MDL é, portanto, o instrumento de mercado criado pelo Protocolo de Quioto aplicável ao Brasil.

Os projetos que podem ser certificados como redutores da emissão de carbono no seio do MDL e de interesse da prefeitura municipal são:

- Aumento da eficiência energética (tanto pelo lado da oferta quanto do uso);
- Substituição de energia de origem fóssil por energia renovável;
- Substituição de combustível de origem fóssil mais intensivo em carbono por combustível fóssil menos intensivo em carbono;
- Gerenciamento adequado de resíduos sólidos e efluentes industriais;
- Racionalização do uso de corretivos agrícolas; e
- Seqüestro de carbono (somente aflorestamento e reflorestamento).

Assim, a realização de inventários de emissões e posterior desenvolvimento de cenários de emissões se constituem em instrumentos que permitem a identificação de áreas de atuação onde projetos de MDL podem se desenvolver. O item a seguir, apresenta o Inventário de Emissões do Município de São Paulo, uma etapa neste processo de identificação de potencialidades para o MDL e de formulação de uma política municipal.

¹⁴ ou CERs, sigla em inglês para *Certified Emission Reduction*

Item 2) Inventários Setoriais de Emissões de GEE do Município de São Paulo

2.1. - Aspectos Gerais e Metodológicos¹⁵

Na década de 80, frente à perspectiva mundial do aumento do aquecimento global, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) criaram, em 1988, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), mencionado no item 1 do presente relatório.

O IPCC é uma entidade que provê aconselhamento científico, técnico e sócio-econômico à comunidade mundial e em particular às Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC). Sua missão é divulgar a opinião consensual dos diferentes cientistas de diversas áreas de atuação sobre as questões que envolvem o aquecimento global, seus prováveis impactos e as potenciais políticas de resposta.

Desde a sua concepção, uma série de conferências e vários seminários internacionais foram realizados, resultando, em 1990, no Primeiro Relatório Científico do IPCC, publicação que o tornou conhecido universalmente tendo em vista que representou um processo de pesquisa sem precedentes seja em tamanho, seja em escopo, sobre um tema científico.

Pela Convenção do Clima, os países em desenvolvimento não têm, no momento, obrigação de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa. Seu comprometimento é o de apresentar um inventário de emissões destes gases chamado de "**Comunicação Nacional para o Inventário de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal**"¹⁶.

¹⁵ A adequação da metodologia aplicada a municípios e sua avaliação serão utilizadas pelo Centro Clima em capacitação institucional promovida pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

¹⁶ O Protocolo de Montreal já regulamenta as emissões de gases clorofluorcarbonos que afetam a camada de ozônio e que também são importantes gases de efeito estufa.

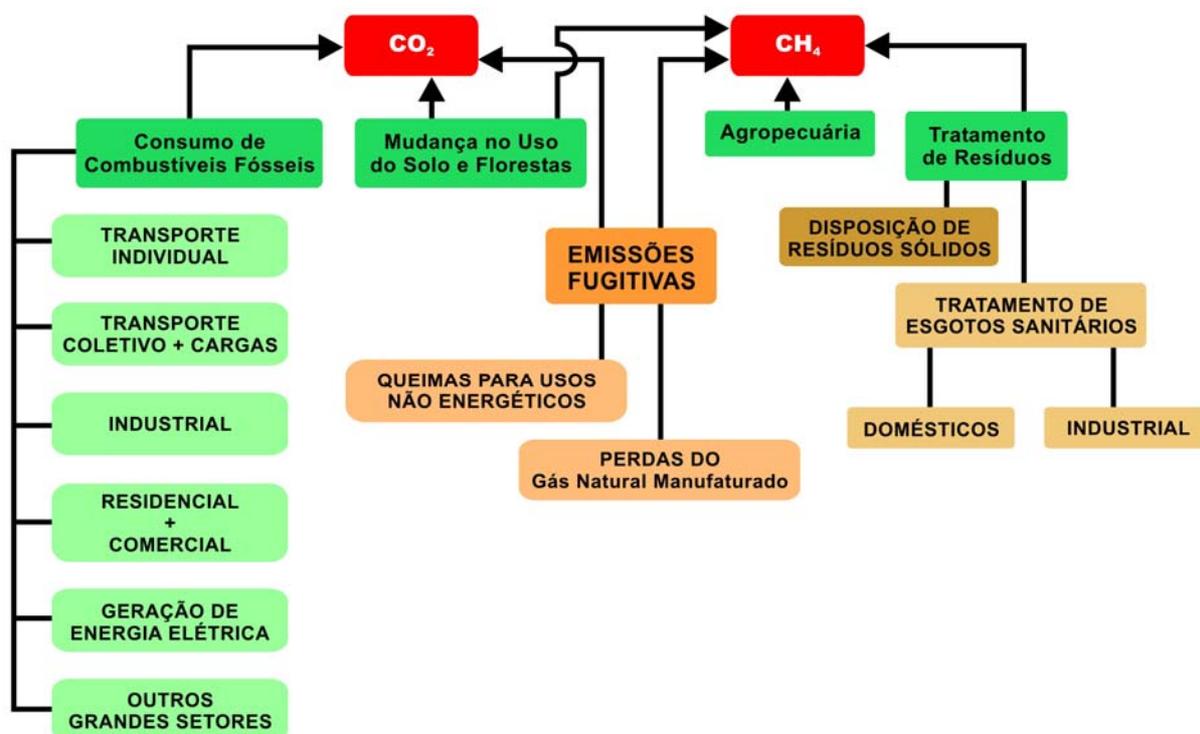
De forma a se poder ter uma base comum de comparação entre as emissões de gases de efeito estufa dos diferentes países, o IPCC elaborou uma metodologia a ser seguida na confecção da Comunicação Nacional. Esta metodologia está consubstanciada nas **Diretrizes do IPCC Revisadas em 1996 para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa** e se constitui na base metodológica deste Inventário Municipal. As adaptações necessárias e hipóteses com relação à metodologia do IPCC foram feitas de acordo com o modelo adotado pela **Comunicação Nacional Brasileira**.

Utilizando a metodologia do IPCC, o presente Inventário compreende as seguintes fontes de emissão, conforme apresentadas na Introdução do presente relatório:

- Uso de Energia (geração elétrica, indústria, transporte individual, transporte coletivo e de carga, transporte aeroviário, residências e comércio, outros);
- Mudança de Uso do Solo e Florestas;
- Setor Agropecuário
- Disposição Final de Resíduos Sólidos; e
- Tratamento de Esgotos Domésticos e Comerciais e de Efluentes Industriais;

O Fluxograma 1, a seguir, apresenta o fluxo de emissões de CO₂ e CH₄ pelas várias fontes acima consideradas.

Fluxograma 1. - Fluxo de Emissões de CO₂ e CH₄ pelas Várias Fontes



Fonte: Centro Clima/COPPE/UFRJ (2001)

Neste trabalho foi adotado 2003 como ano a ser inventariado. Entretanto, como nem sempre há informações para todos os setores para este ano, e como não foi identificado nenhum ano recente com informações para todos os setores a serem inventariados, as emissões de alguns setores foram contabilizadas com base em dados de outros anos e extrapoladas para o ano de 2003.

2.2 - Emissões do uso de Energia

Equipe Técnica

Francisco Eduardo Mendes
Lila Szwarcfiter
André Felipe Simões
Norma do Nascimento Baptista
Susana Kahn Ribeiro

2.2.1 Introdução

No cerne da importância do consumo de energia na intensificação do efeito estufa está o processo de combustão. Compreender melhor como se dá tal processo pode subsidiar até mesmo o planejamento de políticas públicas voltadas à mitigação da emissão de gases de efeito estufa.

Para que ocorra a reação química de combustão, são necessários e suficientes calor (alta temperatura), combustível e comburente, em proporções adequadas, o que forma o triângulo do fogo. Destes três, o combustível é o componente de maior valor econômico e é o principal responsável pelos componentes das emissões causadoras dos impactos ambientais globais.

No Brasil e na maioria dos países do globo, os derivados de petróleo são utilizados em larga escala nos mais diversos setores econômicos. Estes combustíveis, além de não serem renováveis, são os que emitem mais agentes poluidores, quando queimados. A combustão de vegetais em queimadas ou com finalidade industrial e doméstica, também é prejudicial do ponto de vista do efeito estufa e dos ecossistemas, embora quando utilizada de forma renovável seja considerada sem impacto no aumento do efeito estufa, pois a safra seguinte irá sequestrar da atmosfera as emissões havidas de CO₂¹⁷.

O comburente necessário para a combustão é o oxigênio (O₂), que pode ser puro ou combinado com outros elementos, sendo que a sua apresentação mais

¹⁷ De acordo com o Guia Revisado do IPCC de 1996 para Inventários Nacionais de Emissões de Gases de Efeito Estufa, “assume-se que” as emissões de CO₂ do “consumo de biomassa se igualam a sua rebrota” (Energia – módulo 1, pág. 1.3). Entretanto, há emissões de pequena monta de CH₄ e N₂O da queima de resíduos agrícolas que estão computadas no módulo de agricultura do inventário brasileiro.

comum é na mistura do ar atmosférico, que possui, aproximadamente, 21% de O₂, em volume, ou 23%, em massa. O calor, ou mais corretamente, a alta temperatura, necessária para que se inicie a combustão, pode ser obtida de uma faísca ou por outro meio, como pela compressão do ar no cilindro dos motores. A alta temperatura necessária para manter a combustão provém da própria reação.

A combustão é aplicada para finalidades muito úteis, como no cozimento e geração de energia mecânica e elétrica. Também, é aplicada de forma prejudicial, quando desnecessária ou em excesso, como no caso de queimadas descontroladas. Sempre que ocorre a combustão, mesmo que seja para aplicações úteis, surgem conseqüências prejudiciais, como a intensificação do efeito estufa (problema global), a precipitação de chuva ácida (problema regional) e/ou a contaminação do ar que se respira (problema local).

De fato, evitar a combustão desnecessária está diretamente relacionado à racionalização dos recursos do planeta e à mitigação do efeito estufa (e de suas danosas conseqüências ao sistema climático global). Naturalmente, não é trivial definir o que seria uma “combustão desnecessária”. Entretanto, um esforço em busca desta definição (e em vista dos objetivos do presente trabalho) poderia ser traduzido, por exemplo, no estímulo, através de determinadas políticas públicas, ao transporte coletivo (ônibus, troleibus e metrô, em especial) em detrimento do transporte individual, tendo em vista a diminuição do uso de combustíveis que tal medida acarretaria.

A título de exemplificação, apresenta-se a seguir a fórmula 1, onde se esquematiza uma reação simplificada de combustão. No caso, um hidrocarboneto (C₈H₁₈, componente típico de um derivado de petróleo) se combina com o oxigênio presente na atmosfera. O resultado desta reação, conforme anteriormente analisado, é a geração de CO₂ e de vapor d’água – ambos importantes GEE.



Fórmula 1: queima de hidrocarbonetos

2.2.2 Organização do Inventário de Emissões pelo Uso da Energia

As emissões de GEE de responsabilidade do Município de São Paulo estão contabilizadas conforme a seguir:

1. Queima de Combustíveis Fósseis - emissões decorrentes do uso direto de combustíveis fósseis pelos seguintes setores: industrial, comercial, residencial, agrícola, transporte e geração interna¹⁸ de energia elétrica (Item 2.2.4);
2. Consumo de Energia Elétrica - emissões decorrentes do uso de combustíveis fósseis na geração de eletricidade consumida pelos seguintes setores: industrial, comercial, residencial e outros (Item 2.2.5);
Nota: o setor comercial inclui transportes e utilidades públicas.
3. Emissões de Responsabilidade da Administração Pública Municipal tanto pela queima de combustíveis fósseis, diretamente, quanto indiretamente, pelo consumo de energia elétrica (Item 2.2.6);
4. Emissões Totais do Uso de Energia no Município de São Paulo (item 2.2.7)

Esta estrutura de itens apresentada acima se dá por duas razões: primeiramente, devido à organização original das bases de dados que já apresentam tais formatações e, em segundo lugar, pela necessidade de se conhecer as fontes de emissão para posterior desenvolvimento de uma política pública de redução de emissões. Note-se que o total das emissões de GEE de responsabilidade do Município de São Paulo apresentado no Item 2.2.7 não corresponde à simples soma das emissões dos itens 2.2.4, 2.2.5 e 2.2.6 posto que parte das emissões do item 2.2.5 e a totalidade das emissões do item 2.2.3 estão incluídas no item 2.2.4 e a simples adição das emissões destas três fontes resultaria em dupla contagem. A Tabela 3, a seguir, organiza a forma como este Inventário está estruturado.

¹⁸ Produzida no Município de São Paulo

Tabela 3 - Estruturação do Inventário de Emissões do Município de São Paulo – Setor de Energia.

| Emissões do Uso Direto de Combustíveis Fósseis | Emissões do Uso de Energia Elétrica (Uso Indireto de Combustíveis Fósseis) | | | Emissões da Admin. Pública | Emissões Totais do Município de São Paulo |
|--|--|--|-----------------|----------------------------|---|
| | Importada do Sistema Interligado Sul/Sudeste/Centro-Oeste | Energia da Rede Produzida no Munic. de São Paulo | Auto-produtores | | |
| A | B | C | D | E | A + B |

Notas:

- C e D estão contidos em A
- E está contido em A + B

Fonte: Elaboração .Própria

2.2.3 Caracterização dos Setores Consumidores de Energia

A caracterização dos setores consumidores de energia é uma primeira etapa no processo de compreensão da dinâmica da geração de emissões de gases de efeito estufa. No presente Inventário, esta caracterização encontra-se a seguir. Entretanto, o efetivo conhecimento desta dinâmica será abordado quando da elaboração de cenários futuros de emissão¹⁹, por intermédio da análise do comportamento passado dos setores consumidores de energia, associada ao uso de técnicas prospectivas.

- **Setor Industrial**

O Município de São Paulo nas últimas décadas vem passando por um processo de transformação. É possível que áreas classificadas como de atividade industrial em 1994, ano em que foi mapeada a localização das indústrias no Município pela Emplasa, atualmente, tenham outro uso (SVMA,IPT, 2004).

As médias e grandes indústrias saíram das proximidades dos grandes eixos rodoviários e ferroviários, ocasionando grandes vazios urbanos e potenciais áreas

¹⁹ A construção de cenários de emissão para o Município de São Paulo se constitui em outro produto do Contrato Centro Clima/SVMA.

contaminadas por poluentes. Por outro lado, observam-se pequenas indústrias distribuídas pela cidade, sobretudo em áreas periféricas.

O Município de São Paulo concentrava, em 1996, 37,1% do total das indústrias do Estado. Já em 2001, houve uma redução, passando a 32,5% do total (SVMA, IPT, 2004). Mesmo com esta redução relativa desta forma de atividade econômica, o Município se mantém como importante centro industrial, respondendo por mais de um terço do valor adicionado produzido pela indústria da Região Metropolitana de São Paulo, o que equivale à soma das produções industriais de estados como Minas Gerais e Rio de Janeiro.

Os principais combustíveis fósseis utilizados pela indústria paulistana em fornos, caldeiras e outros equipamentos são o gás natural, o gás liquefeito de petróleo (GLP), o óleo combustível e o óleo diesel (ver Tabela 11) . Parte da eletricidade consumida também é gerada a partir da queima de combustíveis fósseis, como descrito no item referente à energia elétrica mais adiante.

- **Setor de Transportes**

O setor de transportes provoca grandes impactos ao meio ambiente, como a poluição do ar, devido às suas emissões, e a poluição sonora, pelo ruído, gerando, principalmente, uma série de problemas na saúde humana. O transporte urbano é um dos setores que, devido à magnitude das emissões que gera e das possibilidades de interferência das administrações municipais, apresenta, em tese, um grande potencial de implementação de projetos de redução de emissões de GEE com vistas ao mercado internacional de carbono.

Os principais combustíveis fósseis utilizados pelo setor de transportes são a gasolina automotiva e o óleo diesel. O uso do gás natural veicular (GNV) está em expansão, notadamente pela frota de veículos leves. O querosene de aviação (QAV) e, marginalmente, a gasolina de aviação (GAV) são combustíveis específicos do setor aeroviário, e a maior parte da energia consumida pelos modais sobre trilhos é elétrica.

a) Transporte Urbano (terrestre)

No que se refere ao uso de veículos automotores no transporte urbano terrestre, é necessário agregar os diversos modais conforme a sua natureza para melhor observar sua distribuição no Município de São Paulo, como se segue: o modo coletivo reúne os modais metrô, trem, ônibus e lotação; o modo individual inclui os modais automóvel, táxi e ciclomotores.

Dentre os diversos modais, o transporte individual, devido à grande quantidade de automóveis em circulação, é um dos maiores responsáveis pelas emissões de GEE, conforme será apresentado posteriormente nos resultados do presente Inventário. Além da contribuição para o aumento do efeito estufa, os veículos também emitem poluentes locais que causam a poluição atmosférica²⁰.

O número de veículos destinados ao transporte individual no Município de São Paulo é muito elevado, fazendo com que o índice total de motorização seja um dos mais altos do Brasil, cerca de 0,52 veículo/habitante. No ano de 2002, havia mais de 4 milhões de automóveis e 400 mil motocicletas registrados no Município (SVMA, IPT, 2004). Segundo esta mesma fonte, a participação do modo individual no transporte de passageiros passou de 30,4% em 1987 para 34,3% em 2002 - indicando uma tendência de aumento dos modais individuais em detrimento do transporte coletivo.

Com o crescimento da frota, havia a expectativa do aumento das emissões de poluentes locais, o que não ocorreu, em virtude, principalmente, da implantação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE²¹. Este Programa determina que os veículos e motores novos atendam a limites máximos de emissão, cada vez mais restritivos, fazendo com que os veículos mais

²⁰ Os principais poluentes locais emitidos diretamente pelos veículos automotores são: o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), os óxidos de nitrogênio (NOx), os óxidos de enxofre (SOx), o material particulado (MP - partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis e partículas inaláveis finas) e aldeídos.

²¹ Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores, criado em 1986, pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

novos emitam menos poluentes locais do que os veículos mais antigos, mesmo quando eram novos²².

Com relação à emissão de poluentes que afetam o clima e que, portanto, não é objeto do Proconve, apesar do número de automóveis movidos exclusivamente a álcool hidratado ter se reduzido nos últimos anos com conseqüente aumento do uso da gasolina, esta uma importante fonte de GEE, a partir de 2002 foi iniciada a comercialização no país de veículos com motores capazes de empregar tanto álcool hidratado quanto gasolina em qualquer proporção, tendo o motorista a flexibilidade na opção do abastecimento do combustível. Esses veículos, que recebem o nome genérico de *flex-fuel* (combustível flexível) baseiam-se na adaptação de motores existentes que recebem modificações que permitem o uso de qualquer um dos dois combustíveis. Possivelmente, no médio ou longo prazo, grande parte dos automóveis novos vendidos no Brasil venha a ser bi-combustíveis flex-fuel. Este fato poderá contribuir, significativamente, para a redução de emissões de GEE dos automóveis a partir do aumento da utilização deste combustível renovável (álcool combustível).

b) Transporte Aeroviário

No Município de São Paulo ocorrem operações aéreas no Aeroporto Internacional de São Paulo (Congonhas) e no Aeroporto Campo de Marte. Construído na década de 30, o Aeroporto de Congonhas localiza-se na zona Sul e é de vital importância para diversos vôos nacionais e internacionais, para a ponte aérea Rio-São Paulo, para pequenos aviões particulares, de aluguel e vôos fretados para turismo, além de empresas de táxi-aéreo e de empresas que prestam serviços aeromédicos. Em 2003, o Aeroporto de Congonhas registrou uma movimentação operacional de 220.887 aeronaves e um total de 12.069.575 passageiros transportados (Infraero, 2005).

No Aeroporto de Campo de Marte, localizado na zona Norte de São Paulo, operam aeronaves de pequeno porte, especialmente particulares, pertencentes a clubes aeronáuticos e táxis aéreos. Transformado de aeroclube em aeroporto em

²² Ver Mendes (2004) e Szwarcfiter (2004).

1935, o Campo de Marte abriga a maior frota de helicópteros do Brasil e não conta com linhas aéreas comerciais regulares. Neste aeroporto estão localizados o Serviço Aerotático da Polícia Civil, o Grupamento de Rádio Patrulha Aérea da Polícia Militar do Estado de São Paulo e o Aeroclub de São Paulo. Em 2003, o Aeroporto de Campo de Marte registrou uma movimentação operacional de 81.693 aeronaves e um total de 163.386 passageiros transportados (DAC, 2005).

No Município de São Paulo, assim como no Brasil, cerca de 96,7% do consumo energético pelo transporte aéreo é devido ao emprego do querosene de aviação (QAV) como propelente aeronáutico. O restante deve-se a utilização da gasolina de aviação (GAV) para este fim. A tecnologia de propulsão define o combustível a ser empregado. Motores a jato ou turbo-hélice requerem QAV, enquanto motores a pistão requerem GAV.

- **Setor Residencial**

No Brasil, e mais acentuadamente no Município de São Paulo, a taxa de crescimento do número de unidades domiciliares tem sido maior que a taxa populacional, desde a década de 80. Entre 1991 e 2000, a população do Município de São Paulo cresceu em média 0,88% ao ano²³, enquanto que os domicílios cresceram a 1,62% ao ano²⁴, indicando um aumento da demanda de área construída por habitante, possivelmente pela queda da fecundidade e novos arranjos familiares, entre outros fatores. Os dados da Tabela 4, a seguir, ilustram esta análise.

Tabela 4 - População, Domicílios e Número de Pessoas por Domicílio – Município de São Paulo, 1991 a 2000

| | 1991 | 2000 |
|------------------------------|-----------|------------|
| População | 9.646.185 | 10.434.252 |
| Domicílios | 2.630.138 | 3.039.104 |
| Pessoas por Domicílio | 3,67 | 3,43 |

Fonte: IBGE – Censos Demográficos de 1991 e 2000.

²³ Cálculo realizado a partir dos Censos Demográficos de 1991 e 2000.

²⁴ Idem

No Município de São Paulo, a taxa de crescimento do parque domiciliar tem sido, portanto, quase o dobro da taxa de crescimento populacional. Para Em 1980, por exemplo, a média de moradores por casa era 4,17, mais de 20% superior à do ano 2000. Está havendo também um aumento do número de residências unipessoais (*Urban Systems*, 2000).

Levantamento da Empresa Brasileira de Estudos do Patrimônio (Embraesp, 2001) mostra que de 1991 a 2000, o Município ganhou 95 milhões de metros quadrados. Este dado refere-se tão apenas a área “legal”, cadastrada no Departamento de Rendas Imobiliárias, que compõe o universo do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU). O crescimento da área construída deve ser bem maior, mas é difícil de ser mensurado. São Paulo atingiu 385 milhões de metros quadrados de área construída formal em 2.000, ante 290 milhões em 1.991. Ou seja, a taxa de crescimento da área construída formal foi de 3,20% ao ano no período, bem superior a taxa de crescimento demográfico de 1,48% anuais, para o mesmo período. As edificações residenciais se mantiveram em 2/3 de toda a área edificada (Embraesp, 2001).

O reflexo do déficit habitacional para a população de baixa renda no Município de São Paulo se reflete nas favelas, nos loteamentos irregulares e nos cortiços.

O fenômeno das favelas no Município de São Paulo surge no início da década de 1940, onde pesquisas feitas pela Prefeitura de São Paulo informam sobre a existência de favelas na Lapa, Vila Prudente, Ibirapuera, Barra Funda e Mooca. Nos anos 70, a montagem de um Cadastro de Favelas na Secretaria do Bem- Estar Social, chegou ao número de 72 mil pessoas morando em favelas, o que representava cerca de 1,1% da população do Município (Contagem da População, 1996).

A evolução do fenômeno das favelas no Município de São Paulo está apresentada a seguir (Tabela 5).

Tabela 5 - Favelas do Município de São Paulo, 1980 – 2000

| | 1980 | 1991 | 1996 | 2000 |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Favelas | 188 | 629 | 574 | 612 |
| Domicílios | 71.258 | 146.891 | 176.905 | - |
| População | 335.344 | 711.032 | 747.322 | 909.628 |
| % da pop. municipal | 3,95% | 7,46% | 7,60% | 8,72% |

Fonte: IBGE – Censos Demográficos de 1980, 1991, 2000 e Contagem da População, 1996.25

Observa-se que o percentual da população paulistana morando em favelas é crescente. Entre 1980 e o ano 2000 a população favelada de São Paulo cresceu a taxa de 5,12% anuais, enquanto que a população municipal, para o mesmo período, cresceu a uma taxa de 1,07% anuais. E, da mesma forma que a população municipal, este crescimento foi fundamentalmente periférico.

Favelas e loteamentos irregulares e precários de periferia, associados a auto-construção da moradia, se tornaram a forma dominante de solução para o problema habitacional da população de baixa renda no Município. Tais loteamentos são implantados de forma irregular, quase sempre situados em áreas carentes de infraestrutura, equipamentos e serviços públicos (como postos de saúde, transporte coletivo). De acordo com dados apresentados no Plano Municipal de Habitação (PMSP, 2004), o Município possuía 1.824.430 habitantes (o que correspondia a 17,49% da população) morando em 1.241 loteamentos irregulares, em 2003.

Quanto aos cortiços, há muita controvérsia sobre a quantidade deste tipo de moradia no Município, em virtude das diferenças entre os parâmetros adotadas para sua caracterização. Porém, SVMA, IPT (2004) considera os dados do Plano Municipal de Habitação, o qual identifica 14.617 domicílios localizados em cortiços,

²⁵ Os valores relativos às favelas no Município de São Paulo contabilizados pelo IBGE diferem daqueles contabilizados pela própria prefeitura municipal, devido a diferenças de conceito entre as duas fontes. Segundo a PMSP consideram-se favelas **os núcleos habitacionais precários, formados a partir da ocupação irregular de terrenos públicos ou particulares, onde se apresentam associados o problema da posse da terra com elevado grau de carências: de infra-estrutura, serviços públicos e renda pessoal dos moradores**. Estes números são bastante distintos dos obtidos aplicando-se o conceito do IBGE, que considera *favela o assentamento urbano subnormal a partir de 50 domicílios ou mais*. Segundo a PMSP, teríamos em 1991, 891.673 habitantes e, em 2000, 1.160.597 hab, respectivamente, morando em 2018 favelas.

onde habitam cerca de 38.512 pessoas²⁶. Este tipo de habitação localiza-se próximo às áreas de maior atividade econômica, com infra-estrutura e serviços públicos, e se caracterizam pelas condições de habitabilidade precárias, com riscos para a saúde e segurança.

Os principais combustíveis fósseis consumidos nas residências paulistanas são o gás liquefeito de petróleo (GLP, em botijões ou a granel) e o gás natural (encanado). Não se deve esquecer que parte da eletricidade consumida no Município tem origem na queima de combustíveis fósseis, como detalhado anteriormente.

- **Setor Comercial**

As grandes estruturas comerciais do Brasil nas décadas de 1970 e 1980 localizavam-se na zona sudoeste do Município de São Paulo, próximas aos bairros de residência das classes de renda mais alta.

Fato é que, a partir dos anos 80, o Município de São Paulo, passa por um crescimento e diversificação expressiva das atividades terciárias, ganhando importância as atividades relacionadas ao gerenciamento do capital, com destaque ao setor financeiro e serviços especializados, tornando-se o principal centro financeiro e de negócios da América do Sul e passando a integrar o circuito das grandes cidades mundiais (*Urban Systems Brasil, 2004*)

Nos anos noventa esta situação se modifica pela abertura de avenidas, em especial na zona leste, que cria novas acessibilidades a estas áreas e amplia as possibilidades de localização de novos usos, tornando-as atrativas ao mercado imobiliário formal. Como consequência, observa-se a expansão de hipermercados, *shopping centers* e novos centros de negócios em outras regiões do Município (*Urban Systems Brasil, 2004*).

²⁶ Estes números referem-se a um levantamento parcial de cortiços realizado apenas em 9 dos 96 distritos da cidade, o que leva a um subdimensionamento do número de domicílios e de população moradora de cortiços.

Apesar da predominância dos grandes equipamentos continuar a ser na zona sudoeste, os investimentos em outras partes da cidade como na zona Sul e na zona Leste, onde se implantaram recentemente os *shoppings centers* Interlagos e Aricanduva, inserem-se em espaços onde o uso comercial e de serviços tradicionais é extremamente disseminado. Os mapas de uso do solo que apresentam a área construída utilizada pelo setor terciário e a localização dos pontos comerciais mostram bem o espraiamento no território desse tipo de uso, junto às áreas residenciais de médio e baixo padrão (SENAC São Paulo, 2004).

Mais recentemente, os arredores da Marginal do Rio Pinheiros firmaram-se como o foco dos maiores investimentos no setor comercial. Nessa área, juntamente com a avenida Paulista, concentram-se os edifícios de escritórios com mais de 10.000 metros quadrados que avançam cada vez mais para a zona Sul atingindo áreas próximas da represa Guarapiranga (SENAC São Paulo, 2004).

Nesta zona (arredores da Marginal de Pinheiros) concentram-se os edifícios de escritórios e hotéis, hipermercados, *shopping centers*, faculdades, hospitais, teatros, cinemas, clubes, restaurantes e danceterias que reforçam a percepção de se tratarem as vertentes do espigão da Paulista e as margens do Rio Pinheiros como o centro do terciário avançado da metrópole (SENAC São Paulo, 2004).

Pinheiros, este novo centro, conta com a presença do grande capital imobiliário assim como com a significativa presença de grandes empresas que induzem a identificação desta área como uma nova centralidade (Junta Comercial do Estado de São Paulo, 2004).

Há de se ressaltar também, a expansão das empresas de comércio e serviços que estão se deslocando de regiões centrais, como a Avenida Paulista, para regiões da zona sul como as Avenidas Eng. Luís Carlos Berrine e Chucri Zaidan, localizadas, respectivamente, no Itaim Bibi e em Santo Amaro (Junta Comercial do Estado de São Paulo, 2004).

- Setor Agrícola

A agricultura é uma atividade de pouca expressão no Município de São Paulo, ocupando apenas 2,22% do seu território, o que correspondeu à cerca de 3.600 ha no ano 2002 (SVMA, IPT, 2004). As atividades agrícolas concentram-se principalmente na região sul, no entorno da represa Bilings e Guarapiranga, ocorrendo também nas regiões norte e extremo leste do Município (SVMA, 2002).

Segundo dados da CATI²⁷, no Município há 313 Unidades de Produção Agrícolas (UPAs), onde predominam pequenas propriedades, com tamanho médio de 11,75 ha, utilizadas em sua quase totalidade para o cultivo de hortaliças, sendo que 92% dessas UPAs adotam práticas de manejo que substituem o uso de agroquímicos.

Os combustíveis majoritariamente utilizados na agricultura são óleo Diesel e óleo combustível, essencialmente em máquinas associadas ao processo produtivo como implementos agrícolas, bombeamento de água, máquinas de secagem e beneficiamento, etc.

- Energia Elétrica: geração, consumo e importação de energia elétrica pelo Município de São Paulo

O Município de São Paulo é abastecido pelo sistema interligado Sul-Sudeste-Centro Oeste (Rede) e pelas Usinas Termelétricas (UTE) Piratininga e Nova Piratininga, localizadas em seu território e utilizadas fundamentalmente no horário de pico. Portanto, uma parcela da energia elétrica consumida no Município de São Paulo é importada (sistema interligado) e outra parcela é produzida dentro do Município. Há que se considerar, também, a geração de eletricidade por pequenos autoprodutores (por exemplo, cogeração em hospitais e *shopping centers*).

Em geral, a produção de energia elétrica traz grandes impactos ambientais. No caso de termelétricas, estas requerem grandes volumes de água e contribuem

²⁷ Coordenadoria de Assistência Integral /Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (<http://www.cati.sp.gov.br/>)

para a poluição local e regional pelas emissões decorrentes do uso de combustíveis fósseis. No que se refere às usinas hidrelétricas que geram parte da energia elétrica consumida no Município de São Paulo oriunda do sistema interligado, pode-se dizer que os impactos ambientais mais relevantes – em especial, a inundação de áreas e geração de gás metano²⁸ (um potente gás de efeito estufa) – ocorrem em municípios vizinhos ao Município de São Paulo. Ou seja, tais municípios arcam com as externalidades ambientais devidas ao consumo de energia elétrica pelo Município de São Paulo. Assim, torna-se importante racionalizar o consumo de energia elétrica.

Cabe denotar ainda que um maior consumo de energia elétrica implica, em geral, na expansão das linhas de transmissão (LTs). E, nesse contexto, deve-se considerar que o Município de São Paulo já sofre relevante poluição visual por conta da presenç a de expressiva malha de LTs no seu território.

A Tabela 6 a seguir apresenta dados do consumo setorial de energia elétrica pelo Município de São Paulo (Boletim Conjuntura Energia, 2004). Tais dados encerram todo o consumo de energia elétrica dentro do Município, tanto a importada do sistema interligado (Grid) quanto a produzida internamente.

Tabela 6 - Consumo Setorial de Energia Elétrica, em 2003*

| Setor | GWh | % |
|--------------|---------------|------|
| Residencial | 10.727 | 31,8 |
| Industrial | 9.401 | 30,9 |
| Comercial | 9.174 | 27,0 |
| Outros | 3.507 | 10,3 |
| Total | 32.809 | |

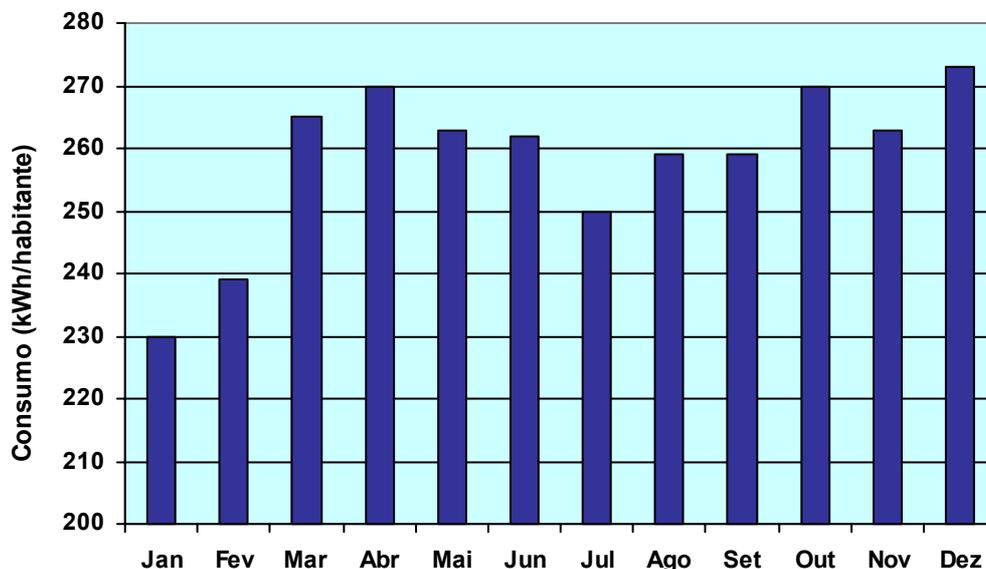
*Nota: Em 2003, havia 5.060.403 consumidores de energia elétrica no Município de São Paulo (Boletim Conjuntura Energia, 2004).

Fonte: Boletim Conjuntura Energia, 2004.

O consumo de energia elétrica no Município de São Paulo por habitante ao longo do ano de 2003 é apresentado pela Gráfico 1. De acordo com os dados dessa figura, observa-se discreta oscilação desse consumo ao longo do ano.

²⁸ A metodologia do IPCC para inventários de emissões de GEE ainda não incorpora as emissões de lagos de hidroelétricas.

**Gráfico 1. - Consumo Mensal per Capita de Energia Elétrica, em 2003
(considerados todos os setores).**



Fonte: Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento do Estado de São Paulo (SERHS, 2004).

As UTEs Piratininga e Nova Piratininga

Piratininga (472 MW) e Nova Piratininga (200 MW) são as únicas grandes usinas termelétricas (UTE) exclusivamente destinadas à produção de eletricidade localizada no Município de São Paulo²⁹. Ambas utilizam o gás natural como combustível, sendo que Piratininga era originalmente acionada a óleo combustível tendo sido, recentemente (a partir de 2001), convertida³⁰. O uso de gás natural em termelétricas tem impacto em termos de emissões globais pela emissão de dióxido de carbono (CO₂) liberado em sua queima (Romero & Bermann, 2004).

- Setor Público Municipal

A prefeitura do Município de São Paulo reúne 21 secretarias e 31 subprefeituras. (Secretaria Municipal de Gestão Pública, 2005). O consumo de

²⁹ SERHS, 2004

³⁰ De acordo com o *site* da ANEEL, a UTE teria operado em 2003 plenamente a óleo combustível, mas o *site* da concessionária revela que a conversão vem sendo feita desde 2001. Em contato telefônico com um operador da usina obteve-se a informação de que esta operou em 2003 “praticamente só a gás”, usando óleo apenas em poucos momentos como em manutenção, etc. Assim, optou-se por realizar os cálculos com base apenas em gás natural.

energia elétrica da Prefeitura, sem considerar a iluminação pública, corresponde ao de uma cidade com 95 mil habitantes (Secretaria Municipal de Gestão, 2005).

Em 2000, o consumo médio mensal de energia elétrica na administração pública municipal foi de 13 GWh/mês, dos quais a Secretaria Municipal da Educação consumiu 38% e a Secretaria Municipal da Saúde 23% (ICLEI, 2004).

A Prefeitura de São Paulo criou o Programa Municipal de Gestão Energética visando reduzir o consumo de eletricidade nas suas instalações. Para coordenar o Programa foi criada a Comissão Permanente Orientadora do Uso Racional de Energia - CORE, formada por representantes de Secretarias e Autarquias Municipais, com a coordenação da Secretaria Municipal de Gestão – SMG.

O Programa Municipal de Gestão Energética está alinhado com os propósitos de equilíbrio e integração das questões relativas a meio ambiente e desenvolvimento, entendendo que o Governo Municipal deve intensificar os esforços para utilizar a energia de forma economicamente eficaz e ambientalmente saudável.

Esse Programa tem como objetivos: reduzir os gastos com eletricidade; reduzir o consumo em todos os setores da administração municipal direta ou indireta; promover mudanças nos padrões de consumo e estimular a inovação tecnológica ecologicamente eficiente; estimular o uso ambientalmente saudável das fontes de energia novas e renováveis; e disseminar a cultura da eficiência energética na Prefeitura e para a sociedade local, através de programas de educação nas escolas.

O Programa Municipal de Gestão Energética tem algumas ações em andamento. São estas: substituição de equipamentos; sistema de contas de energia; treinamentos de funcionários da prefeitura; e análise tarifária.

A iluminação pública tem um papel importante para a sociedade, a cidade cresce, novos bairros se formam e necessitam de serviços de infra-estrutura. A iluminação pública está entre os serviços que a população mais exige, pois está diretamente relacionada à segurança.

Desde 1999, a manutenção de iluminação pública do Município de São Paulo está sob a responsabilidade do Departamento de Iluminação Pública – ILUME, órgão subordinado à Secretaria Municipal de Serviços. A manutenção e a ampliação do sistema, anteriormente, eram executadas pela concessionária Eletropaulo. Cabia à Prefeitura somente a fiscalização.

Em 2001, devido ao racionamento, foi necessário reduzir em 30% o consumo de energia com a iluminação pública no Município. Em 2003, o Ilume deu início a um plano de reforma para instalar 40 mil novos pontos de iluminação, principalmente, em áreas de maior índice de violência, substituindo velhos equipamentos por novas tecnologias e realizando, no centro histórico, a restauração e remodelação da iluminação, destacando a beleza da arquitetura da região.

Em 2004, iniciou um processo de modernização e efficientização da iluminação pública, através do Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente – Reluz (Secretaria Municipal de Infra-estrutura Urbana, 2005). Serão trocados mais de 421 mil pontos de luz, o que equivale a 85% por cento do total de lâmpadas instaladas no Município. Nestes mesmos pontos, as lâmpadas atuais serão substituídas pelas de vapor de sódio, que são até quatro vezes mais eficientes e econômicas que as de mercúrio. A vida útil dessas lâmpadas chega a cinco anos, contra três anos das de mercúrio.

Segundo a concessionária Eletropaulo, no que diz respeito ao sistema elétrico brasileiro, o projeto Reluz em São Paulo permitirá uma redução diária de 42,3 MW (megawatts) de potência na demanda do horário de ponta do sistema elétrico da região Sudeste (Secretaria Municipal de Infra-estrutura Urbana, 2005).

No que se refere a combustíveis fósseis, a Prefeitura os consome principalmente em escolas e hospitais (para abastecer grupos geradores, sistemas de vapor e aquecimento, cozinhas, etc) e na sua frota de veículos. Os principais combustíveis utilizados são: gasolina automotiva, GLP, óleo combustível e óleo Diesel.

Com relação especificamente ao consumo de combustíveis pelos veículos a serviço da Prefeitura, este pode estar relacionado ao transporte de cargas ou passageiros ou a serviços como coleta de lixo e terraplenagem. Não há dados objetivos referentes aos consumos de combustíveis, dado que parte da frota a serviço da Administração Municipal é terceirizada e nem sempre os dados de consumo de combustível ou da quilometragem percorrida são contabilizados de forma sistemática pelos diversos órgãos da Administração Municipal (SVMA/PMSP, *contato pessoal*).

2.2.4 Emissões da Queima de Combustíveis Fósseis

2.2.4.1 Metodologias para o Cálculo de Emissões da Queima de Combustíveis Fósseis

No caso específico da queima de combustíveis fósseis, há duas possibilidades metodológicas para a quantificação dos gases emitidos:

a) Tipo *Top-Down*, onde são contabilizadas apenas as emissões de dióxido de carbono (CO₂) a partir dos dados de produção e consumo de energia primária; e

b) Tipo *Bottom-Up*, onde são contabilizadas as emissões de todos os gases. Neste caso, as emissões são quantificadas levando em consideração o tipo de equipamento empregado e respectivo rendimento. Os procedimentos desta metodologia estão no *Box 1*.

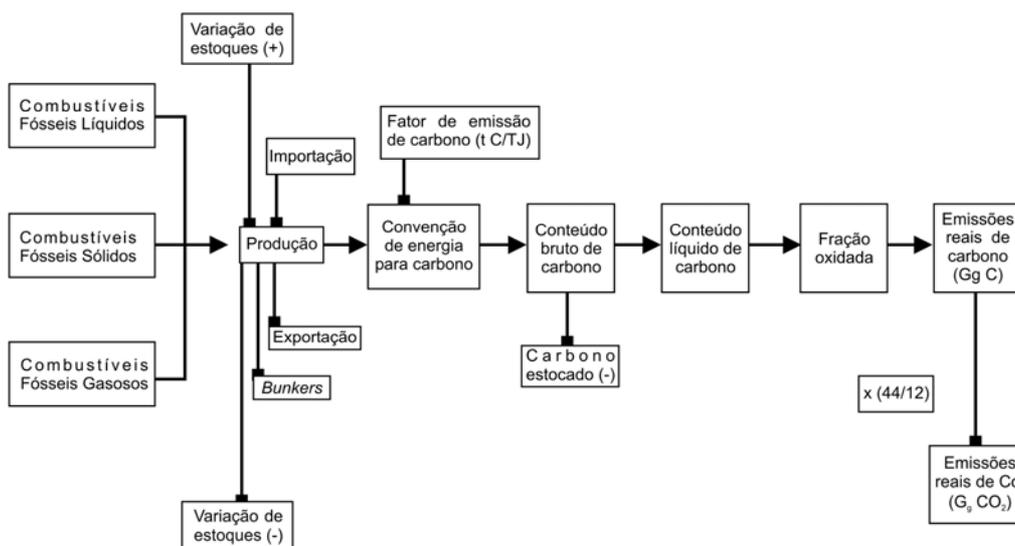
A metodologia usada para a elaboração deste inventário foi a *Top-Down*. A escolha desta metodologia se deu de acordo com o tipo de informação disponível, pois seu uso permite o cômputo das emissões de CO₂ em função apenas de dados sobre a quantidade de energia suprida ao Município. A metodologia supõe que, uma vez introduzido na economia municipal, em um determinado ano, o carbono contido num combustível ou é liberado para a atmosfera ou é retido de alguma forma (como, por exemplo, através do aumento do estoque do combustível, da incorporação a produtos não energéticos ou da sua retenção parcialmente inoxidado). A grande

vantagem da metodologia *top-down*, portanto, é não necessitar informações detalhadas de como o combustível é utilizado pelo usuário final ou por quais transformações intermediárias ele passa antes de ser consumido.

A metodologia realiza um balanço envolvendo o consumo de combustíveis primários e secundários. Por **energia primária** entendem-se aquelas fontes providas pela natureza na sua forma direta. Podemos citar como exemplos de **fontes primárias fósseis** de energia o petróleo, o gás natural e o carvão e de **fontes primárias renováveis** de energia a lenha, os produtos de cana-de-açúcar e a energia hidráulica. A maior parcela da energia primária é transformada nas refinarias de petróleo, plantas de gás natural, coquearias, usinas hidrelétricas, etc., onde é convertida em fontes de **energia secundária**. Outra parcela da energia primária é consumida diretamente nos diversos setores da economia, como é o caso da lenha para uso residencial, carvão em fornos e caldeiras, entre outras. A energia secundária, normalmente vai diretamente para o consumo final nos diversos setores da economia, entretanto existe uma parcela desta que é destinada para outros centros de transformação, onde é convertida em outras formas de energia secundária, como por exemplo, as transformações do óleo combustível em eletricidade, da nafta em gás canalizado, entre outras.

O Fluxograma 2, a seguir, representa a abordagem *top-down*.

Fluxograma 2. Abordagem Top Down para Inventários de Emissões



Fonte: Rosa et al, 2002

2.2.4.1.1 Metodologia Top Down

Para o emprego da metodologia *top-down* do IPCC, é necessário realizar-se a seguinte seqüência de passos (IPCC, 1994):

Primeiro Passo - DETERMINAÇÃO DO CONSUMO APARENTE DOS COMBUSTÍVEIS

O Consumo Aparente (CA) representa a quantidade de combustível disponível no país (no caso, no município), e é calculado da seguinte forma:

$$CA = \alpha + \beta - \chi - \delta - E$$

Fórmula 2

Onde,

α = Produção anual doméstica de energia primária, medida em unidade original;

β = Importação anual de energia primária e secundária, medida em unidade original;

χ = Exportação anual de energia primária e secundária, medida em unidade original;

δ = Energia anualmente embarcada nos *bunkers* internacionais³¹ medida em unidade original;

E = Variação anual dos estoques de energia, medida em unidade original.

No presente inventário, considerou-se que não há produção doméstica de energia primária; a importação de energia primária e secundária equivale às vendas de combustíveis fósseis, à entrada de gás natural e eletricidade no Município; não há exportação de energia primária e secundária; não há emissões de *bunkers*; e não há variação anual dos estoques de energia³².

No que se refere aos *bunkers*, apesar de haver um aeroporto internacional (Congonhas), de acordo com a INFRAERO que administra as operações no referido aeroporto, não houve passageiros transportados em vôos internacionais durante o ano de 2003 (INFRAERO, 2005). De fato, até quase o final da década de 90, Congonhas era muito utilizado para vôos internacionais. Porém, o Aeroporto de Guarulhos, atualmente, responde, juntamente com o Aeroporto Internacional de Viracopos por quase 100% dos vôos internacionais do Estado de São Paulo. Há ocorrência de alguns vôos com origem em Congonhas com destino internacional, mas é importante ressaltar que há sempre uma escala em outro aeroporto internacional onde efetivamente se inicia o vôo com destino ao exterior. Desta forma, considerou-se as emissões de *bunkers* como inexistentes no Município de São Paulo.

Segundo Passo - CONVERSÃO PARA UMA UNIDADE COMUM DE ENERGIA

Como cada combustível possui um conteúdo de carbono diferente, deve-se realizar a conversão do consumo aparente (CA) de cada combustível, medido na sua unidade original, para uma unidade comum de energia, sendo a unidade

³¹ Entende-se por *bunker* internacional o consumo de querosene e de gasolina de aviação e óleo combustível utilizados pela aviação e navegação internacional, respectivamente. A emissão de GEE devido ao consumo de *Bunker* de acordo com a metodologia do IPCC para inventários nacionais deve ser contabilizada como parte dos inventários mas excluída dos valores totais nacionais e serem reportados à CQNUMC separadamente, pois não serão considerados nas restrições impostas aos países Anexo 1 da Convenção e do Protocolo de Quioto (em IPCC, 1996, acessado em fev/2005).

³² Os dados da ANP são referentes às vendas de combustíveis para empresas com CNPJ no Município de São Paulo. Não foi possível obter dados referentes a importação, exportação e variações de estoques de combustíveis.

adotada o terajoule (TJ). Para tal, é necessário multiplicar o consumo do combustível pelo fator de conversão em tEP³³ por unidade do combustível (tEP/unidade), obtido no Balanço Energético Nacional – BEN, conforme pode ser observado na Tabela 7. Os valores em tEP devem ser convertidos em terajoules³⁴ (TJ), como se segue:

$$1\text{tEP padrão} = 41,868 \times 10^{-3} \text{TJ}$$

Fórmula 3

Nas edições mais recentes do BEN, o conteúdo energético dos combustíveis tem como base seu poder calorífico inferior (PCI), o que é compatível com a metodologia do IPCC para a conversão para uma unidade comum de energia

Na Fórmula 4 apresenta-se o procedimento descrito:

$$CC = CA * 41,868 * 10^{-3} * F_{\text{conv}}$$

Fórmula 4

Onde:

CC = Consumo de energia (TJ)

CA= Consumo Aparente do Combustível em unidades físicas

$41,868 * 10^{-3}$ TJ = 1 tEP brasileiro

F Conv = Fator de Conversão (tEP/Unidade Física) da Unidade Física para tEP médio, conforme Tabela 7.

A Tabela 7 apresenta os fatores de conversão para tEP Médio em PCI, ambos referentes ao ano 2003.

³³ tEP: tonelada equivalente de petróleo. O conteúdo energético de 1 tEP é função do tipo de petróleo utilizado como padrão

³⁴ TJ (tera joule)= 10^{12} J

Tabela 7 - Fatores de Conversão para tEP Médio em PCI de cada Combustível

| Combustível | Unidade de medida | Fator de Conversão para tEP médio (Ano 2003) |
|--------------------------|--------------------------------|--|
| Álcool Etílico Hidratado | m ³ | 0,510 |
| Asfaltos | m ³ | 1,018 |
| Gás Natural (Seco) | 10 ³ m ³ | 0,880 |
| Gasolina Automotiva | m ³ | 0,770 |
| Gasolina de Aviação | m ³ | 0,763 |
| GLP | m ³ | 0,611 |
| Óleos Lubrificantes | m ³ | 0,891 |
| Óleo Combustível | m ³ | 0,959 |
| Óleo Diesel | m ³ | 0,848 |
| Querosene de Aviação | m ³ | 0,822 |

Fonte:Elaboração própria com base em MME (2004)

Terceiro Passo - TRANSFORMAÇÃO DO CONSUMO APARENTE DE CADA COMBUSTÍVEL EM CONTEÚDO DE CARBONO

Para se obter a quantidade de carbono (QC), expresso em tC, multiplica-se o consumo de energia (CC) pelo fator de emissão (Femiss), o qual representa a quantidade de carbono contida no combustível por unidade de energia do combustível. A expressão utilizada para o cálculo do Conteúdo de Carbono está expressa na Fórmula 5.

$$QC=CC*F_{emiss}$$

Fórmula 5

Onde:

QC = Quantidade de Carbono (tC)

CC = Consumo de Energia (TJ)

Femiss = Fator de emissão de Carbono (tC/TJ) , conforme Tabela 8.

Os fatores de emissão, apresentados na Tabela 8, para cálculo de conteúdo de carbono utilizados na fórmula acima, são os usados pela Comunicação Nacional, sendo que alguns valores são específicos para o Brasil e outros fornecidos pelo IPCC.

Tabela 8 - Fatores de Emissão de Carbono

| Combustível | Fator de Emissão (tC/TJ) |
|--------------------------|---------------------------------|
| Álcool Etílico Hidratado | 14,81 |
| Asfalto | 22,00 |
| Gás Natural (Seco) | 15,30 |
| Gasolina Automotiva | 18,90 |
| Gasolina de Aviação | 18,90 |
| GLP | 17,20 |
| Óleos Lubrificantes | 20,00 |
| Óleo Combustível | 21,10 |
| Óleo Diesel | 20,20 |
| Querosene de Aviação | 19,50 |

Fonte: Elaboração própria com base em MCT1 (2002).

Quarto Passo - DETERMINAÇÃO DA FRAÇÃO DE CARBONO ESTOCADO OU FIXADO

O aporte de produtos combustíveis a uma economia não se destina exclusivamente ao setor energético. Parte deles são utilizados como matéria-prima na manufatura de produtos não-energéticos, onde o carbono torna-se fixado (ou estocado, segundo a denominação adotada pelo IPCC). Exemplos são o asfalto e os plásticos. Esta fração de carbono que é estocado deve ser subtraída do consumo de combustíveis para, então, obter-se efetivamente o consumo energético.

Para a obtenção da quantidade de carbono fixado (QCF) é necessário determinar as quantidades de combustíveis destinadas ao setor não energético e as frações destas quantidades que se mantém fixadas aos bens produzidos. A Fórmula 6 apresenta o referido cálculo.

$$QCF = QC * FCFix$$

Fórmula 6

Onde,

QCF = Quantidade de Carbono Fixado em tC;

QC = Quantidade de Carbono no Combustível em tC;

FCFix = Fração de Carbono Fixado (adimensional).

Os valores para FCFix encontram-se apresentados na Tabela 9 a seguir:

Tabela 9 - Frações de Carbono Estocado (ou fixado)

| COMBUSTÍVEIS EM USOS NÃO ENERGÉTICOS | FRAÇÃO DE CARBONO ESTOCADO |
|--------------------------------------|----------------------------|
| Álcool Hidratado | 1,00 |
| Asfalto | 1,00 |
| Gás Natural (Seco) | 0,33 |
| Lubrificantes | 0,50 |

Fonte: MCT1 (2002).

Para as biomassas sólidas e líquidas renováveis, essa fração de carbono estocado é de 100%, pois considera-se que todo o carbono emitido na queima do combustível é novamente seqüestrado na renovação da biomassa.

Quinto Passo - DETERMINAÇÃO DAS EMISSÕES LÍQUIDAS DE CARBONO

O balanço de massa entre o conteúdo de carbono no combustível subtraído da quantidade de carbono estocado representa as emissões líquidas de carbono, expressas na Fórmula 7, como segue.

$$ELC = QC - QCF$$

Fórmula 7

Onde,

ELC = Emissões Líquidas de Carbono (GgC);

QC = Quantidade de Carbono no Combustível (GgC);

QCF = Quantidade de Carbono Fixado (GgC).

Sexto Passo - CORREÇÃO DOS VALORES PARA CONSIDERAR A COMBUSTÃO INCOMPLETA

Nem toda a emissão líquida de carbono (ELC) será oxidada, uma vez que, na prática, a combustão nunca ocorre de forma completa, deixando inoxidada uma pequena quantidade de carbono, que se incorpora às cinzas ou a outros

subprodutos. Esse fato é levado em conta multiplicando-se a quantidade de carbono disponível pela fração de carbono que é efetivamente oxidada na combustão, como ilustrado pela Fórmula 8.

$$ERC = ELC * FCO$$

Fórmula 8

Onde,

ERC = Emissões Reais de Carbono em GgC;

ELC = Emissões Líquidas de Carbono em GgC;

FCO = Fração de Carbono Oxidada (adimensional).

Na Tabela 10, são apresentadas as frações oxidadas (FCO) referente a cada combustível com base nos valores usados pelo Inventário Nacional para o cálculo das emissões reais de carbono (ERC).

Tabela 10 - Frações de Carbono Oxidado

| Combustível | Fração de Carbono Oxidada (adimensional) |
|--------------------------|--|
| Álcool Etílico Hidratado | 0,990 |
| Asfalto | 0,990 |
| Gás Natural (Seco) | 0,995 |
| Gasolina Automotiva | 0,990 |
| Gasolina de Aviação | 0,990 |
| GLP | 0,990 |
| Óleo Combustível | 0,990 |
| Óleo Diesel | 0,990 |
| Óleos Lubrificantes | 0,990 |
| Querosene de Aviação | 0,990 |

Fonte: MCT1 (2002)

Sétimo Passo - DETERMINAÇÃO DAS EMISSÕES REAIS DE CO₂

A conversão da quantidade de carbono liberada na queima do combustível para emissões de CO₂ é obtida, multiplicando-se as emissões em termos de carbono pela razão entre os pesos moleculares do CO₂ e do carbono, isto é 44/12.

Sendo assim, a partir das emissões reais de carbono (ERC) pode-se calcular as emissões reais de CO₂ (ERCO₂) devidas ao uso de energia, considerando-se seu

conteúdo de carbono: em 44 toneladas de CO₂ há 12 toneladas de carbono, ou seja, 1tCO₂ = 0,2727 tC. A Fórmula 9 explicita o procedimento descrito.

$$ERCO_2 = ERC \times (44/12)$$

Fórmula 9

Onde,

ERCO₂ = Emissões Reais de CO₂ em tCO₂;

ERC = Emissões Reais de Carbono em tC.

Observação: 1tCO₂ = (44/12) tC.

2.2.4.2 Dados Utilizados

O inventário sobre uso de energia contabiliza as emissões devidas ao consumo de derivados de petróleo e gás natural pois no Município de São Paulo não há ocorrência expressiva do consumo de lenha nem de carvão vegetal que, portanto, não estão computados³⁵.

Os derivados de petróleo e o gás natural são usados em diferentes setores da economia com a finalidade de gerar eletricidade, calor (processos industriais e residências), força motriz (transportes) e matéria-prima. Os dados utilizados neste Inventário são provenientes da Superintendência de Abastecimento da Agência Nacional de Petróleo (ANP) e da Companhia de Gás de São Paulo (Comgás). Os dados da ANP referem-se às vendas de derivados de petróleo no Município de São Paulo enquanto que os da Comgás às de gás natural³⁶.

As emissões decorrentes do consumo de energia elétrica proveniente do sistema nacional (Rede) não estão contabilizadas neste item, constando, entretanto, dos itens 2.2.5, 2.2.6 e 2.2.7.

³⁵ O consumo da lenha no Estado de São Paulo concentra-se nos setores residenciais de áreas rurais e em áreas industriais. Nestas últimas, predomina o consumo da indústria de cerâmica vermelha e, em menos quantidade, dos setores de papel, química e têxtil. No caso do carvão vegetal, a situação é similar, pois o mercado consumidor desta fonte de energia é composto pelas indústrias siderúrgica e cimenteira, situadas além das fronteiras do Município.

³⁶ Segundo as informações oficiais recebidas da Comgás, somente gás natural foi comercializado no Município de São Paulo no ano do Inventário.

Os dados da ANP são provenientes de informações declaradas pelas empresas distribuidoras de combustível, enviadas mensalmente para a ANP, sendo que a identificação da quantidade de combustível vendida para cada município se dá através do CNPJ (cadastro nacional de pessoas jurídicas da Secretaria da Receita da Federal) das empresas que compraram o combustível. É importante ressaltar que os dados de venda não retratam fielmente o uso final, pois não há garantia que o combustível comprado no Município de São Paulo seja consumido no mesmo³⁷. Mas, sendo estes os dados disponíveis que mais se aproximam dos valores que se está querendo buscar, se constituem na base do presente inventário de emissões resultantes do uso de combustíveis.

Os dados fornecidos pela Comgás já estavam originalmente desagregados por tipo de consumo (industrial, residencial, comercial, etc). Por outro lado, os dados provenientes da ANP precisaram ser reorganizados para que a sua desagregação ficasse compatível com a requerida pelo Inventário. Os principais pontos dessa reorganização são:

- a) Os consumos de diversos segmentos da indústria foram agregados em um único setor industrial, discriminando-se os consumos relativos aos processos produtivos e transportes;
- b) Os consumos de QAV³⁸ e GAV³⁹ foram inteiramente alocados para o setor Transportes;
- d) Os consumos de Óleo Diesel pelas Forças Armadas, Entidades Públicas e Privadas, Postos de Revenda, TRR, Uso Próprio e “outros” foram alocados no setor Transportes;
- e) A Gasolina consumida pelas Forças Armadas, Entidades Públicas e Privadas, Postos de Revenda, TRR, Uso Próprio e “outros” foram alocados no setor Transportes.

³⁷ Esta opção está de acordo com o critério de responsabilidade do IPCC sobre emissões veiculares para países, que estabelece que “emissões de veículos que trafegam em estradas devem ser atribuídas ao país onde houve o abastecimento do combustível”. Assim, ante a impossibilidade de se identificar onde há o efetivo uso do combustível, utiliza-se o dado referente a onde ocorreu sua compra, atribuindo-se a responsabilidade a quem o comercializou.

³⁸ Querosene de aviação

³⁹ Gasolina de aviação

As emissões de CO₂ associadas ao uso de combustíveis de biomassa, como, por exemplo, o álcool etílico anidro (presente na gasolina automotiva) e álcool etílico hidratado não são computadas nos totais de emissão de responsabilidade do Município, conforme a metodologia empregada na confecção da Comunicação Nacional (MCT1, 2002).

As tabelas com os cálculos intermediários encontram-se no Anexo I.

2.2.4.3 Resultados do Inventário da Queima de Combustíveis Fósseis

Com a aplicação da metodologia *top down* foram obtidos os seguintes resultados de acordo com os passos metodológicos previstos. A Tabela 11 apresenta os valores de consumo aparente de combustíveis fósseis por setor que foram utilizados para a estimativa da quantidade de energia consumida, calculados de acordo com o primeiro passo da metodologia.

Tabela 11 - Consumo Aparente de Combustível por Setores, em 2003.

| COMBUSTÍVEIS | Unidade | INDUSTRIAL | TRANSPORTE | RESIDENCIAL | COMERCIAL | GERAÇÃO ELÉTRICA | USO NÃO ENERGÉTICO | AGRÍCOLA |
|---------------------|--------------------------------|------------|------------|-------------|-----------|------------------|--------------------|----------|
| AEH | m ³ | - | 301.869 | - | - | - | - | - |
| Asfaltos | m ³ | - | - | - | - | - | 61.414 | - |
| Gasolina automotiva | m ³ | - | 1.715.769 | - | - | - | - | - |
| Gás Natural | 10 ³ m ³ | 307.712 | 190.673 | 89.599 | 72.261 | 117.186 | - | - |
| GAV | m ³ | - | 4.250 | - | - | - | - | - |
| GLP | m ³ | 49.772 | - | 566.649 | 110.236 | - | - | 93 |
| Óleo combustível | m ³ | 44.788 | - | - | 10 | - | - | - |
| Óleo Diesel | m ³ | 46.967 | 1.282.744 | - | - | 264 | - | 1.000 |
| Óleos Lubrificantes | m ³ | - | - | - | - | - | 37.111 | - |
| QAV | m ³ | - | 383.193 | - | - | - | - | - |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP (2004) e da Comgás (2004)

Com a aplicação do segundo passo metodológico aos dados de consumo aparente de combustíveis apresentados acima, obteve-se um consumo total de energia no Município de São Paulo de 175,5 mil TJ, distribuídos conforme a Tabela 12, a seguir.

Tabela 12 - Quantidade de Energia Consumida por Combustível por Setor [TJ], em 2003.

| COMBUSTÍVEIS | INDUSTRIAL | TRANSPORTE | RESIDENCIAL | COMERCIAL | GERAÇÃO ELÉTRICA | USO NÃO ENERGÉTICO | AGRÍCOLA |
|---------------------|------------|------------|-------------|-----------|------------------|--------------------|----------|
| AEH | - | 6.446 | - | - | - | - | - |
| Asfaltos | - | - | - | - | - | 2.618 | - |
| Gasolina automotiva | - | 55.314 | - | - | - | - | - |
| Gás Natural | 11.337 | 7.025 | 3.301 | 2.662 | 4.318 | - | - |
| GAV | - | 136 | - | - | - | - | - |
| GLP | 1.273 | - | 14.496 | 2.820 | - | - | 2 |
| Óleo combustível | 1.798 | - | - | 0 | - | - | - |
| Óleo Diesel | 1.668 | 45.543 | - | - | 9 | - | 36 |
| Óleos Lubrificantes | - | - | - | - | - | 1.384 | - |
| QAV | - | 13.188 | - | - | - | - | - |

Fonte: Elaboração própria

Dentre os setores analisados, o setor de transporte é o que mais consome energia originada pela queima de combustíveis no Município de São Paulo, representando cerca de 73% do total, seguido dos setores industrial e residencial, que consomem, aproximadamente, 10% e 9% do total.

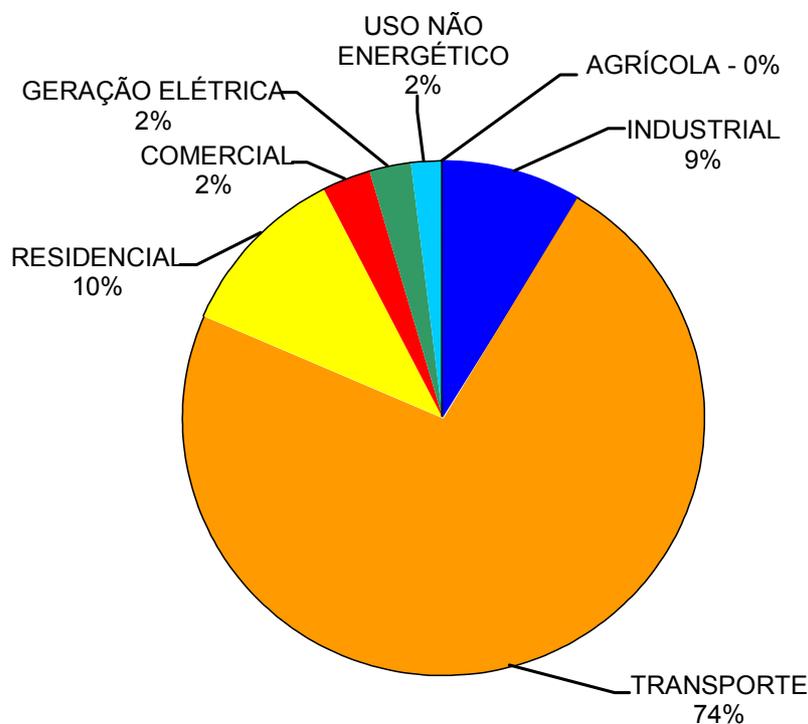
O maior consumo de energia do setor de transportes é proveniente do uso da gasolina automotiva, que representando 43% do total do setor, seguido do óleo diesel, que representa 36% do total do setor de transportes e do querosene de aviação – QAV, que gera 10% da energia consumida no referido setor.

No caso do setor residencial, o maior consumo de energia é proveniente do GLP, que representa 81% do consumo de energia deste setor. O restante (19%) é relativo ao uso do gás natural nas residências.

O consumo de energia na indústria totaliza 16.076 TJ, sendo que o principal combustível utilizado é o gás natural, representando, aproximadamente, 72% do total de energia consumida neste setor. A energia proveniente de outros combustíveis, como, por exemplo, do óleo combustível que representa apenas 11% do total, tem participação pequena no setor industrial.

No Gráfico 2 pode-se observar melhor a participação de cada setor no total de energia consumida no Município de São Paulo, onde se destaca o setor de transportes como o maior consumidor de energia, conforme apresentado anteriormente.

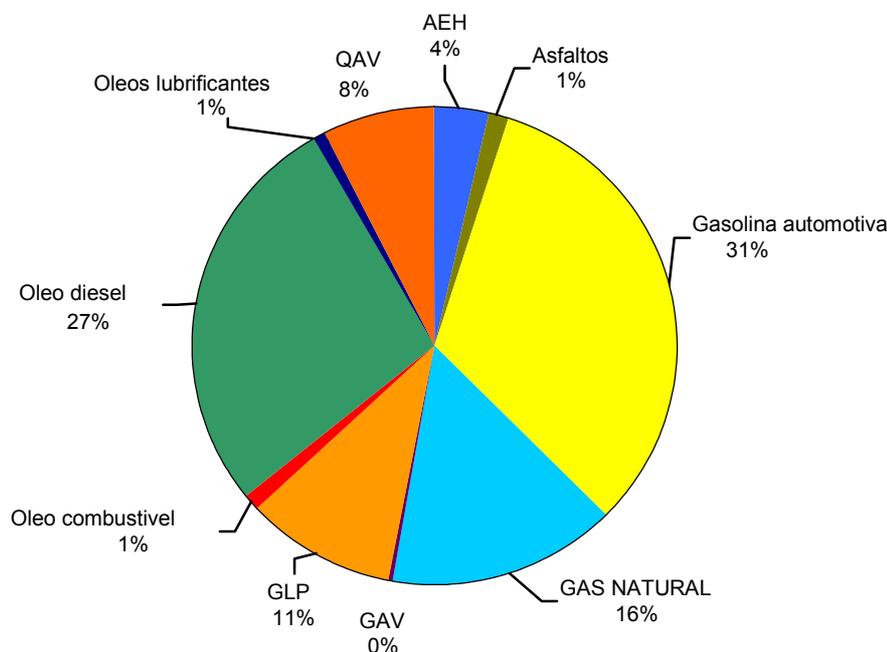
Gráfico 2. - Participação dos Setores na Quantidade de Energia Consumida, em 2003



Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 3 apresenta a participação de cada combustível no total de energia consumida no Município de São Paulo.

Gráfico 3. - Quantidade de Energia Consumida por Combustível em 2003



Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar que o maior consumo energético é proveniente do uso da gasolina (cerca de 31% do total), principal combustível utilizado no setor de transportes nos veículos leves de passageiros (automóveis). O uso de óleo diesel responde por aproximadamente 27% do total, que é utilizado principalmente no setor de transportes nos veículos pesados (ônibus e caminhão) e do gás natural (16% do total), que é utilizado principalmente na indústria, no setor de transportes nos veículos leves de passageiros (gás natural veicular) e para a geração elétrica.

Percorridos os passos da metodologia *top down*, do terceiro ao sétimo, cujas tabelas com os cálculos estão no Anexo 1, chega-se aos resultados das emissões de GEE pela queima de combustíveis fósseis no Município de São Paulo, no ano de 2003, conforme a Tabela 13, que apresenta as emissões de CO_{2eq} considerando os diferentes setores e combustíveis.

Tabela 13 - Emissão de CO₂ equivalente [tCO₂], em 2003

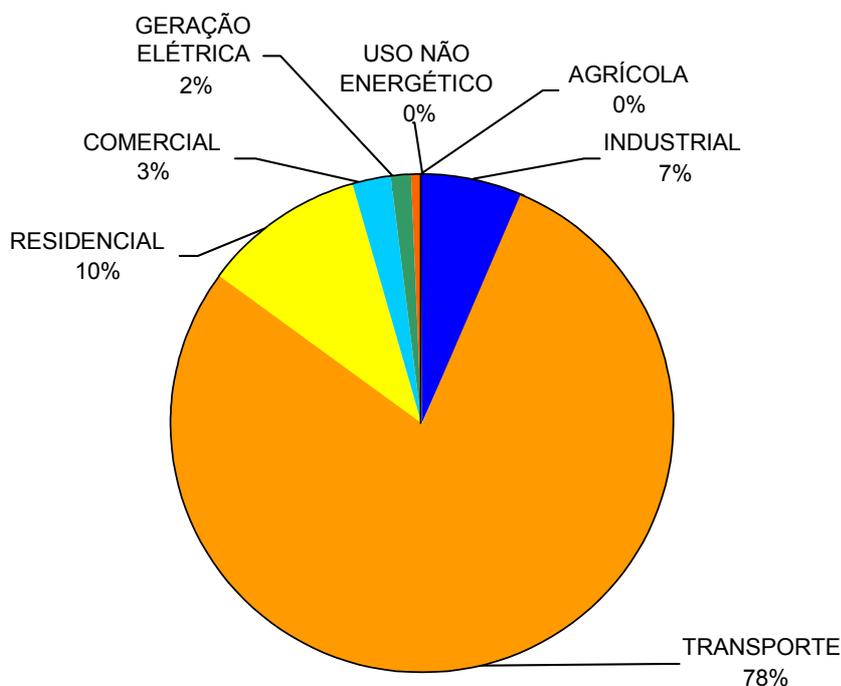
| COMBUSTÍVEIS | INDUSTRIAL | TRANSPORTE | RESIDENCIAL | COMERCIAL | GERAÇÃO ELÉTRICA | USO NÃO ENERGÉTICO | AGRÍCOLA | TOTAL |
|---------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|--------------------|--------------|-------------------|
| AEH | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Asfaltos | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Gasolina automotiva | - | 3.833.230 | - | - | - | - | - | 3.833.230 |
| GAS NATURAL | 426.135 | 264.054 | 124.082 | 100.070 | 162.285 | - | - | 1.076.626 |
| GAV | - | 9.409 | - | - | - | - | - | 9.409 |
| GLP | 80.298 | - | 914.193 | 177.847 | - | - | 149 | 1.172.487 |
| Óleo combustível | 139.129 | - | - | 31 | - | - | - | 139.160 |
| Óleo diesel | 123.508 | 3.373.192 | - | - | 693 | - | 2.630 | 3.500.022 |
| Óleos lubrificantes | - | - | - | - | - | 50.761 | - | 50.761 |
| QAV | - | 942.926 | - | - | - | - | - | 942.926 |
| TOTAL | 769.070 | 8.422.810 | 1.038.274 | 277.949 | 162.978 | 50.761 | 2.779 | 10.724.621 |

Fonte: Elaboração própria.

Conforme pode ser apresentado, o setor de transportes é o maior emissor de gases de efeito estufa do Município de São Paulo, totalizando 8,42 milhões de toneladas de CO_{2eq} em 2003, o que representa 79% das emissões totais (aproximadamente 10,7 milhões de toneladas de CO_{2eq}). A quantidade emitida pelos outros setores do Município é significativamente menor. O setor residencial, por exemplo, emite 10% do total e o industrial apenas 7% do total. Além da quantidade consumida de combustível fóssil ser mais significativa no setor de transportes do que nos outros setores analisados, os principais combustíveis utilizados emitem mais carbono por TJ (possuem um fator de emissão maior) do que em outros setores importantes em termos de emissão de GEE. No setor de transportes, os principais combustíveis utilizados são a gasolina e o óleo diesel que possuem os fatores de emissão 18,9 e 20,2 TC/TJ, respectivamente, enquanto que o principal combustível consumido no setor residencial é o GLP, cujo fator de emissão é 17,2 TC/TJ. No setor industrial, o principal combustível consumido é o gás natural, com um fator de emissão de 15,3 TC/TJ. O Gráfico 4 apresenta a participação dos

diversos setores analisados no total das emissões de CO₂ e do Município de São Paulo.

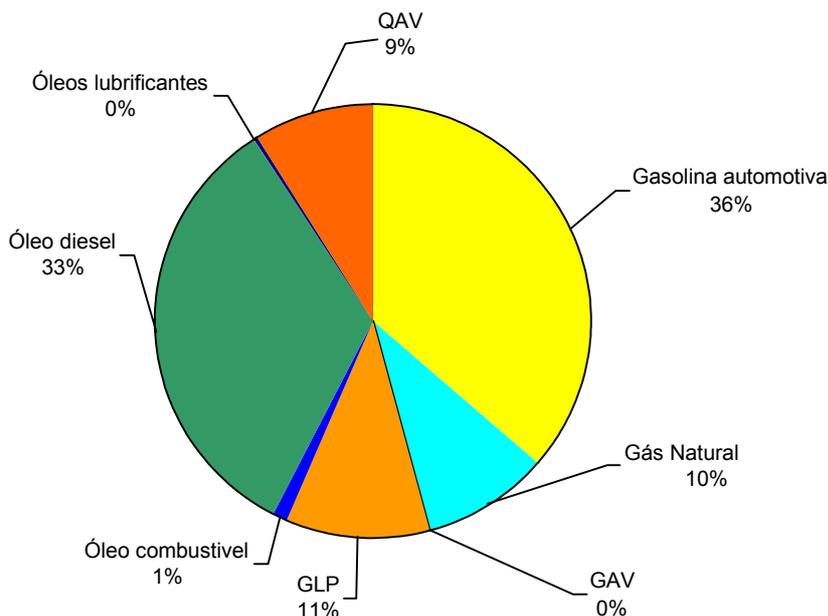
Gráfico 4. - Participação dos Setores nas Emissões de CO₂, em 2003



Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 5, a seguir, apresenta a participação das emissões oriundas de cada combustível nas emissões totais do Município. O consumo de gasolina e de óleo diesel é o principal responsável pelas emissões de GEE do setor energético do Município, sendo os dois, em conjunto, responsáveis por 69% das emissões, seguidos do GLP, que é responsável por 11% das emissões, do gás natural, que representa 10% das emissões e do QAV, responsável por, aproximadamente 9% das emissões dos setores analisados.

Gráfico 5. - Participação dos Combustíveis nas Emissões de CO₂ em 2003.



Fonte: Elaboração própria.

Aperfeiçoando o inventário de GEE em SP

Os dados de vendas de combustíveis fornecidos pela ANP são referentes às vendas de combustíveis para empresas com CNPJ no Município de São Paulo. Embora seja o melhor indicador disponível para o consumo de combustíveis no Município, este dado não garante que o todo combustível adquirido por empresas com sede no Município de São Paulo seja consumido internamente, nem que parte do combustível consumido no Município de São Paulo seja adquirido em empresas registradas fora dele. Também não são disponíveis dados que permitam estimar essas transações. Para o aprimoramento de futuros inventários seria necessária a elaboração de um banco de dados que consolidasse os dados de vendas internas, importações e exportações e variações de estoques de combustíveis fósseis dentro do Município. Evidentemente, a concepção e manutenção de tal banco de dados tem custos que deverão ser arcados por algum agente interessado nos benefícios de se ter um inventário de emissões mais acurado.

No presente inventário considerou-se que não há emissões fugitivas de metano conforme informações oficiais fornecidas pela COMGÁS, que detém a concessão da distribuição de gás no Município de São Paulo. Para melhorar futuros inventários é interessante fazer uma estimativa das emissões fugitivas de metano na rede de distribuição de gás canalizado.

Neste inventário agregou-se todo o GNV vendido no Município no setor de transportes. Para o aprimoramento de inventários futuros seria importante desagregar o consumo deste combustível dentro do setor de transportes considerando o uso de GNV (e eletricidade) pela frota de ônibus no Município de São Paulo, o que não foi realizado neste inventário pela indisponibilidade de dados. Desagregar por energético (diesel, GNV, eletricidade) o consumo de energia pelos modais coletivos de transporte no Município de São Paulo é imprescindível para a elaboração de políticas públicas setoriais visando a redução de emissões de GEE.

A ausência de dados confiáveis de quilometragem média percorrida, fatores de emissão e consumos específicos para veículos de uso intensivo como ônibus, vans e caminhões, além dos comerciais leves e trens, impede a realização de um cálculo *bottom-up* que permitia fazer uma análise mais detalhada do setor transportes. As incertezas muitas vezes passam de uma ordem de grandeza, impedindo o uso de tais fatores.

2.2.5 Emissões do Consumo de Energia Elétrica

As emissões associadas ao consumo de energia elétrica no MSP foram calculadas combinando dois grupos de dados e abordagens metodológicas:

- a) As emissões associadas ao consumo de eletricidade produzida dentro do MSP; e
- b) As emissões associadas ao consumo de eletricidade importada através do sistema integrado.

A energia elétrica que gera emissões de gases de efeito estufa dentro do município de São Paulo é gerada a partir da queima de gás natural nas usinas termoelétricas Piratininga e Nova Piratininga e da queima de gás natural e óleo diesel em diversas unidades autoprodutoras instaladas em de indústrias, *shoppings*, hospitais etc. As emissões decorrentes da produção desta energia gerada no Município de São Paulo foi contabilizada a partir dos dados de vendas de combustíveis para a geração elétrica fornecidos pela ANP (para diesel) e pela Comgás (para GN), e as emissões são calculadas usando o método *top-down* descrito na Seção 2.2.4.

As emissões associadas ao consumo da energia elétrica importada do grid pelo Município, por outro lado, são calculadas por exclusão (ver Box 1) empregando-se uma abordagem *bottom-up* que combina estimativas de consumo de energia com fatores de emissão específicos, conforme descrito a seguir.

O consumo de energia elétrica importada foi calculado fazendo-se a diferença do consumo total de energia pelo Município em 2003 (SEHRS, 2004) e da produção estimada de energia no Município a partir de informações sobre as vendas de combustíveis (uma *proxy* do consumo) para a produção de eletricidade fornecidos pela ANP e COMGÁS⁴⁰.

O consumo total de energia elétrica do MSP desagregado pelos setores industrial, residencial, comercial e outros foi disponibilizado pela Secretaria Estadual de Energia do Estado de São Paulo.

Para o cálculo da emissão da energia da Rede foi aplicado um fator de emissão agregado para o sistema sul-sudeste, obtido do projeto GERBI (2004), a partir das informações compiladas na Tabela 14, que totaliza 36,1 tCO₂ / GWh.

Tabela 14 - Fatores de emissão de CO₂ para o Sistema Interligado Sul/Sudeste

| | Hidro | Carvão | Diesel | GN | Nuclear | Óleo Combustível | Fator de Emissão (tCO ₂ /GWh) |
|--|-------|--------|--------|------|---------|------------------|--|
| Sistema Sul/Sudeste | 90.4% | 1.8% | 0.0% | 2.9% | 4.6% | 0.3% | 36.1 |
| Fator de Emissão (tCO ₂ /GWh) | 0 | 1.126 | 844 | 455 | 0 | 877 | |

Fonte: GERBI (2004)

⁴⁰ A produção de energia elétrica dentro do MSP foi estimada com base nos valores de emissão de CO₂ calculados a partir dos dados de venda de combustível fornecidos pela ANP e COMGÁS para a produção de energia elétrica (metodologia *top-down*) em tCO₂/2003 e nos fatores de emissão dos combustíveis em tCO₂/GWh (Tabela 14) calculados no Projeto GERBI (2004). A distribuição entre os setores se manteve proporcional aos valores de consumo total por setor apresentados pela Secretaria Estadual de Energia do Estado de São Paulo.

Box 1.

Método Bottom-up

O emprego da metodologia *bottom-up* (IPCC, 1994) possibilita a quantificação e identificação dos Gases de Efeito Estufa de forma desagregada. Nesse método, são desenvolvidos fatores de emissão específicos para fontes móveis e fontes fixas. Tais fatores são aplicados a fórmulas simples para o cálculo das emissões de determinado setor energético. Para o setor de transportes, por exemplo, a fórmula apresentada, a seguir, exprime o modelo para o referido cálculo.

$$\text{Emissões}_y = \text{FE}_{yabc} * \text{Atividade}_{abc}$$

Onde,

Emissões_Y = emissões de um gás x (CO₂, CO, NO_x, CH₄, etc);

FE = fator de emissão do gás;

Atividade = distância percorrida ou energia consumida por uma determinada atividade de uma fonte móvel.

a = tipo de combustível (querosene de aviação, gás natural, gasolina, etc);

b = tipo de veículo (avião, automóvel, moto, etc);

c = práticas de controle de emissão.

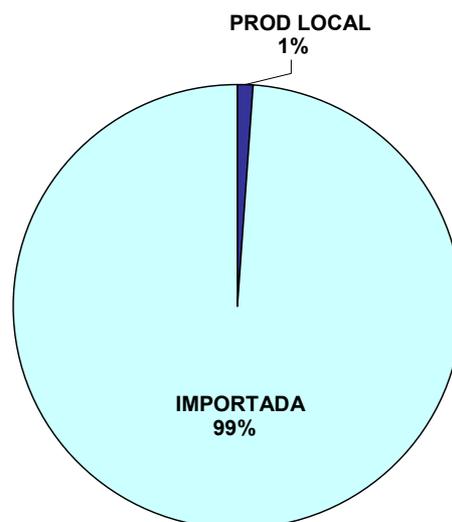
Aparentemente a aplicação da metodologia *bottom-up* parece trivial. Entretanto, o cálculo do fator de emissão (FE) é complexo, pois se baseia em informações amostrais e conhecimentos de engenharia sobre as diferentes tecnologias que utilizam o combustível. Além disso, esses fatores variam muito de acordo com o país e com a tecnologia do processo em análise. As particularidades industriais, econômicas e mesmo sócio-culturais do país devem ser consideradas no cálculo do fator de emissão associado ao consumo de energia devido à determinada fonte móvel ou fixa. Assim, não seria adequado adotar para o Brasil os fatores de emissão europeus ou norte-americanos, por exemplo.

2.2.5.1 Resultados do Inventário de Emissões do Consumo de Energia Elétrica

As emissões de GEE do setor elétrico do Município de São Paulo foram estimadas separadamente devido às diferentes origens e agregações dos dados, conforme metodologia apresentada anteriormente.

O consumo de energia elétrica no Município é composto pela parcela de consumo de energia importada do sistema interligado Sul-Sudeste e pela parcela de energia gerada dentro do próprio Município. O Gráfico 6 mostra que a energia elétrica gerada dentro do Município corresponde somente a 1% do consumo total.

Gráfico 6. - Consumo de Energia Elétrica Produzido no MSP em Relação à Energia Importada do Sistema Interligado S/SE.



Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 15 apresenta o consumo de energia elétrica por setor e origem.

Tabela 15 - Consumo de Eletricidade em GWh por Setor em 2003

| | INDUSTRIAL | RESIDENCIAL | COMERCIAL * | OUTROS | TOTAL |
|----------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| Produção Local | 102 | 117 | 100 | 38 | 357 |
| Importada | 9.299 | 10.610 | 9.074 | 3.469 | 32.452 |
| Total | 9.401 | 10.727 | 9.174 | 3.507 | 32.809 |

* O setor comercial inclui transportes e utilidades públicas

Fonte: elaboração própria a partir dos dados de consumo de energia elétrica fornecidos pela Secretaria Estadual de Energia do Estado de São Paulo (SERHS, 2004) e dos dados de venda de combustível fornecidos pela ANP (2004) e COMGÁS (2004).

A Tabela 16 apresenta as emissões de CO_{2eq} associadas ao consumo de energia elétrica dos diferentes setores do Município, considerando a energia elétrica importada e a produzida dentro do município, que totaliza aproximadamente 1.334 mil toneladas de CO₂.

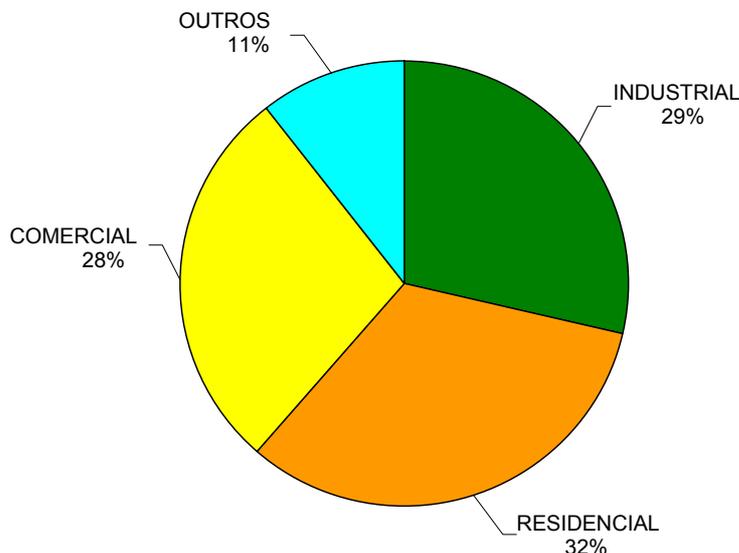
Tabela 16 - Emissões Associadas ao Consumo de Eletricidade em tgCO_{2eq} por setor em 2003

| | INDUSTRIAL | RESIDENCIAL | COMERCIAL* | OUTROS | TOTAL |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Produção Local | 46.699 | 53.286 | 45.572 | 17.421 | 162.978 |
| Importada | 335.678 | 383.025 | 327.573 | 125.223 | 1.171.499 |
| Total | 382.378 | 436.311 | 373.145 | 142.644 | 1.334.478 |

* O setor comercial inclui transportes e utilidades públicas

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 7. - Emissões de GEE do Uso da Energia Elétrica por Setor no Município de São Paulo, em 2003



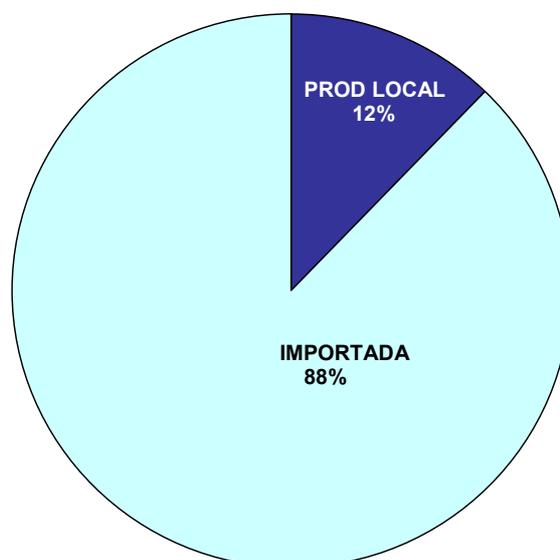
* O setor comercial inclui transportes e utilidades públicas

Fonte: Elaboração Própria a partir dos dados de consumo de energia elétrica fornecidos pela Secretaria Estadual de Energia do Estado de São Paulo (SERHS, 2004) e dos dados de venda de combustível fornecidos pela ANP (2004) e COMGÁS (2004).

Conforme pode ser observado na Gráfico 7 as emissões são distribuídas de forma relativamente eqüitativa entre os setores residencial, industrial e comercial, que são responsáveis por respectivamente 32%, 29% e 28% do total das emissões associadas ao consumo de energia elétrica.

O Gráfico 8 apresenta a participação das emissões de GEE oriundas da produção local de energia elétrica em relação ao total. Pode-se observar que, apesar da produção de energia dentro do MSP representar apenas 1% do consumo de energia elétrica do Município, é responsável por 12% das emissões. Isto ocorre devido ao fato de a produção de energia elétrica no MSP ser de origem fóssil (diesel e gás natural), enquanto que grande parte da energia importada do sistema interligado é de origem hidráulica.

**Gráfico 8. - Emissões Associadas ao Consumo de Energia Elétrica –
Produção Local e Importação**



Fonte: Elaboração Própria

A título ilustrativo a Tabela 17 apresenta separadamente as emissões associadas à geração de energia elétrica produzida no Município de São Paulo, que inclui os auto produtores e as termelétricas.

Uma parcela significativa das emissões oriundas da utilização do gás natural para gerar energia se refere às Termelétricas Piratininga e Nova Piratininga, que representam quase a totalidade das emissões de GEE associadas à geração de eletricidade dentro do Município. O óleo diesel é utilizado apenas por pequenos autoprodutores e contribui muito pouco para as emissões deste setor, apesar de ter um fator de emissão maior do que o de gás natural⁴¹.

Tabela 17 - Emissões Associadas à Geração de Energia Elétrica Dentro do Município de São Paulo, em 2003

| | GERAÇÃO DE ENERGIA [TJ] | EMISSIONES DE GEE [t CO₂eq] |
|-------------|------------------------------------|---|
| Gás Natural | 4.317,6 | 162.284,9 |
| Óleo Diesel | 9,4 | 693,4 |

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados de venda de óleo diesel da ANP e de gás natural da COMGÁS.

Aperfeiçoando o inventário de GEE em SP

Com relação ao consumo de energia elétrica pelo Município, os dados oficiais de consumo de energia elétrica disponibilizados pela Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento do Estado de São Paulo são agregados de forma diferente dos dados da ANP (por exemplo, o consumo “comercial” engloba o consumo do setor de transportes - metrô, trens e trólebus), por isso foi tratada à parte. Além disso, foram introduzidas incertezas adicionais para a estimativa da partição entre a eletricidade importada e a contribuição da UTE Piratininga e das co-geradoras, que teve que ser estimada por exclusão. Para o aprimoramento de futuros inventários tais problemas poderiam ser resolvidos com a solicitação para a Eletropaulo dos dados de consumo por setor no Município.

Os consumos de energia pela indústria também foram tratados de forma agregada no presente inventário, e podem ser individualizados por setor, em futuros inventários, se for possível acessar dados mais desagregados, especialmente de consumo de eletricidade.

⁴¹ Fator de emissão para GN: 15,3 tCO₂/TJ; Fator de emissão para diesel: 20,2 tCO₂/TJ

2.2.6 Emissões de Responsabilidade da Administração Pública Municipal

As emissões de GEE consideradas neste trabalho como sendo de responsabilidade da Administração Municipal se referem aquelas relativas ao uso de combustíveis fósseis e ao consumo de energia elétrica pelos edifícios públicos municipais e pela iluminação de logradouros, conforme resultados apresentados a seguir.

2.2.6.1 Emissões do Consumo de Combustíveis

Para se calcular as emissões do consumo de combustíveis fósseis, foram utilizados os dados de consumo de combustíveis da Prefeitura Municipal obtidos em ICLEI (2004) e os fatores de emissão obtidos no item 2.2.4 do presente Inventário, os quais foram calculados com o uso da metodologia *Top Down*.

A Tabela 18 apresenta o consumo de combustíveis fósseis pela Prefeitura e suas respectivas emissões de GEE. O combustível mais consumido pela Administração Municipal foi a gasolina automotiva, seguida pelo óleo diesel. A Prefeitura Municipal de São Paulo também consome pequenas quantidades de GLP e óleo combustível, principalmente em escolas e hospitais (para abastecer cozinhas, caldeiras, etc).

A Administração Municipal é responsável pela emissão de cerca de 18 mil toneladas anuais de CO_{2eq}, o que representa uma parcela muito pequena (0,17%) das emissões associadas ao consumo de combustíveis fósseis no Município, conforme pode ser observado na Tabela 18.

Tabela 18 - Consumo de Combustíveis e Emissões de CO₂eq Associados ao Consumo de Combustíveis Fósseis pela Administração Municipal de São Paulo, em 2003

| | CONSUMO (TJ) | | EMISSÕES (t CO ₂ eq) | | Emissões da Prefeitura/total |
|----------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| | Prefeitura de São Paulo | TOTAL Município de São Paulo | Prefeitura de São Paulo | TOTAL Município de São Paulo | |
| Gasolina automotiva | 105 | 55.314 | 7.185 | 3.833.230 | 0,19% |
| GLP | 38 | 18.591 | 2.361 | 1.172.487 | 0,20% |
| Óleo combustível | 14 | 1.799 | 1.035 | 139.160 | 0,74% |
| Óleo diesel | 100 | 47.255 | 7.318 | 3.500.022 | 0,21% |
| TOTAL^(*) | 256 | 175.373^(*) | 17.899 | 10.724.621^(*) | 0,17% |

* incluindo todos os combustíveis

Fonte: Elaboração própria

2.2.6.2 Emissões do Consumo de Energia Elétrica

O cálculo das emissões oriundas do consumo de energia elétrica pela Prefeitura Municipal foi realizado aplicando-se um fator misto de emissão que engloba o Sistema Interligado Sul/Sudeste e a produção local de eletricidade (40,7 tCO₂/GWh⁴²) aos dados de consumo de energia elétrica do ICLEI (2004).

A Tabela 19 apresenta os resultados das emissões de CO₂eq oriundas do consumo de energia elétrica da Administração Municipal.

Tabela 19 - Emissões de CO₂eq Devido ao Consumo de Eletricidade da Administração Municipal de São Paulo

| | Prefeitura do Município de São Paulo | | Município de São Paulo - total | Participação da Prefeitura no total do MSP |
|--|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| | Edifícios Públicos | Iluminação de Logradouros | | |
| Consumo de Eletricidade [GWh] | 156 | 622 | 32.809 | 2,4% |
| Emissões de GEE [t CO ₂ eq] | 6.345 | 25.312 | 1.334.478 | 2,4% |

Fonte: Elaboração própria a partir de das informações de consumo de eletricidade (ICLEI, 2004)

⁴² Este fator foi obtido a partir da razão entre as emissões totais associadas ao consumo de eletricidade estimadas na seção 2.2.5.2 e o consumo total de energia elétrica no MSP em 2003.

Pode-se observar que o consumo de energia elétrica de responsabilidade da Prefeitura representa cerca de 2,4% do total consumido no Município. Este consumo é responsável pela emissão de, aproximadamente, 31.657 t CO_{2eq}.

Aperfeiçoando o inventário de GEE em SP

Os dados referentes ao consumo de energia elétrica pelos próprios públicos municipais (escolas da rede municipal e iluminação pública) e ao consumo pela Prefeitura de combustíveis fósseis são fruto de uma pesquisa piloto realizada pela equipe da SVMA em conjunto com o ICLEI para a elaboração de um inventário de GEE (ICLEI, 2004).

Para aperfeiçoar inventários futuros será necessária uma nova pesquisa dentro da administração do Município, atualizando essas informações e complementando-as com dados incluindo todas as esferas da administração pública municipal (secretarias, subprefeituras, etc).

O levantamento dos dados da frota efetivamente em uso pela Administração Municipal, suas condições de uso e o seu consumo de combustível (incluindo informações relativas à frota cativa e à frota terceirizada), poderá ser de grande contribuição para o aperfeiçoamento de futuros inventários, visando a elaboração de políticas públicas para a redução das emissões de GEE deste setor.

2.2.7 Emissões Totais do Uso de Energia no Município de São Paulo

A Tabela 20 e o Gráfico 9 apresentam os resultados do total das emissões de CO_{2eq} oriundas do consumo de energia elétrica e de combustíveis fósseis do Município. Pode-se observar que o uso dos combustíveis totaliza cerca de 89% do total das emissões de responsabilidade do Município.

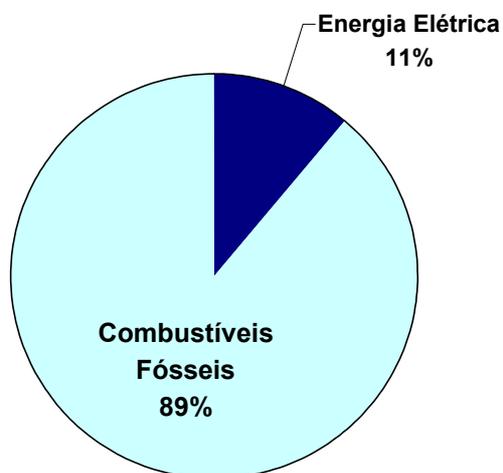
Tabela 20 - Emissões Associadas ao Consumo de Eletricidade e de Combustíveis em Gg CO_{2eq}, em 2003

| Consumo | Emissões Gg CO _{2eq} |
|------------------|----------------------------------|
| Energia elétrica | 1.334 |
| Combustíveis* | 10.562 |
| Total | 11.896 |

*Descontadas as emissões relativas à produção de energia elétrica. Nota: Gg = kt = 1.000 toneladas.

Fonte: Elaboração Própria

Gráfico 9. - Participação das Emissões Associadas ao Consumo de Eletricidade e de Combustíveis no Total de Emissões de Responsabilidade do MSP, em 2003



Fonte: Elaboração Própria

2.3 Mudança no Uso do Solo e Florestas

Técnica

Joyce Maria Guimarães Monteiro

2.3.1 Introdução

A biosfera influi significativamente na composição química da atmosfera, pois emite e absorve grande variedade de gases de carbono, nitrogênio e enxofre. O uso e, conseqüentemente, as alterações da biosfera pelo ser humano em busca de alimento, combustível e fibras contribuem para aumentar a concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Tais atividades são incorporadas na categoria de emissões em virtude do uso da terra, da mudança do uso da terra e das atividades florestais, conhecidas pela sigla LULUCF (*Land use, Land-use Change, and Forestry*).

O gás predominante nas questões relativas ao efeito estufa devido a alterações da biosfera é o dióxido de carbono (CO₂). O objetivo deste item é estimar as emissões CO₂ do Município de São Paulo relacionadas à mudança de uso de solo e florestas, especificamente as emissões de carbono decorrentes do desmatamento e da correção de acidez de solos agrícolas.

As principais mudanças no uso do solo relacionadas na metodologia do IPCC (1996) que resultam em emissão ou absorção de carbono se enquadram nas seguintes categorias:

1. Mudanças nos Estoques de Biomassa em Florestas e Outras Formações Lenhosas;
2. Conversão de Florestas para Outros Usos;
3. Abandono de Áreas Manejadas (regeneração natural de terras cultivadas, pastos ou outras terras manejadas);
4. Emissão e Remoção de CO₂ pelos Solos.

2.3.2 Organização do Inventário de Emissões pela Mudança no Uso do Solo e Florestas

O presente Inventário está organizado em função da metodologia do IPCC cuja estrutura consta do item acima e de acordo com os dados obtidos sobre o setor.

a. Mudanças nos Estoques de Biomassa em Florestas e Outras Formações Lenhosas

Na metodologia do IPCC para esta categoria são consideradas as mudanças nos estoques de carbono de florestas plantadas. No Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa (MCT, 2004), daqui por diante simplesmente Inventário Nacional, foram estimadas as mudanças de estoques de florestas plantadas para as florestas de finalidade industrial, ou seja, as que têm como objetivo principal produzir madeira destinada à indústria de celulose e papel, a indústria siderúrgica, às serrarias, de laminados e de chapas e à geração de energia a partir da lenha. Naquele Inventário foram estimadas as quantidades de carbono fixadas ano a ano, a partir de dados da área anual das florestas de uso industrial (Pinus e Eucalipto), do tipo de manejo empregado, e das taxas anuais de produção de matéria seca e fração de carbono contida na matéria seca.

No caso do Município de São Paulo não se identificou exploração comercial significativa de florestas plantadas e sim que as florestas plantadas com o gênero *Pinus* e *Eucaliptos* compõem parques urbanos e outras áreas de lazer/serviço (SVMA, 2002). Portanto, as florestas plantadas receberam no presente Inventário o mesmo tratamento das florestas nativas. Assim sendo, os cálculos referentes às florestas plantadas estão incluídos no item seguinte, juntamente com as florestas nativas.

Nesta categoria referente à Mudança nos Estoques de Biomassa em Floresta e Outras Formações Lenhosas, além das mudanças nos estoques de carbono de florestas plantadas, a metodologia do IPCC também inclui as árvores que crescem nas zonas urbanas. Neste caso, é necessário contabilizar as áreas ou o número de

árvores (em mil árvores) plantadas, bem como conhecer a taxa anual de crescimento das espécies plantadas (em tonelada de matéria seca por hectare ou por árvores), a fim de estimar o incremento anual de biomassa por área plantada ou por mil árvores. Neste Inventário, entretanto, não foi possível contemplar a remoção de CO₂ pelo crescimento de árvores urbanas, uma vez que não possível obter dados suficientes para essa estimativa.

- **Conversão de Florestas para Outros Usos**

A metodologia do IPCC para esta categoria contabiliza as emissões resultantes da conversão de florestas (desflorestamento) para agricultura, pecuária ou outros usos, sendo necessário, para tanto, dados da área desflorestada anualmente, e da quantidade líquida de biomassa por tipo de vegetação. Para estimar a biomassa líquida, a metodologia considera a diferença entre a biomassa existente antes do corte e a biomassa após o corte, ou seja, a biomassa da cultura agrícola instalada na área.

A metodologia considera que as emissões de CO₂ resultantes da perda de biomassa acima do solo, pela conversão, devem ser computadas como emissões imediatas (no ano em que houve a conversão). Entretanto, uma pequena parcela de biomassa permaneceria no solo e seria degradada mais lentamente, ao longo de dez anos, resultando na necessidade de se estimar a mudança no estoque de biomassa no ano do Inventário e dez anos antes. No Inventário Nacional bem como no presente Inventário, algumas simplificações foram assumidas dadas as dificuldades na obtenção de dados. Assim considerou-se que as emissões líquidas de CO₂ ocorreram no mesmo ano do desflorestamento, independente do destino da biomassa retirada, ou seja, como se todo o estoque de carbono da área convertida oxidasse no ano Inventário.

Dessa forma, o presente Inventário, incluiu as estimativas de emissões por desflorestamentos de áreas de vegetação nativa, campo e reflorestamento, aplicando a metodologia do IPCC de forma simplificada, considerando a emissão de CO₂ referente à retirada total de biomassa no ano em que houve o desflorestamento

e desconsiderando a biomassa do cultivo estabelecido na área, uma vez que assumiu-se que no Município o desflorestamento ocorre para dar lugar ao processo de expansão urbana e à mineração.

- **Abandono de Áreas Manejadas (Regeneração Natural de Terras Cultivadas, Pastos ou Outras Terras Manejadas)**

Nesta categoria, a metodologia do IPCC contabiliza a absorção de carbono da atmosfera pelo crescimento da biomassa aérea fruto da rebrota (regeneração compatível com o ecossistema local) pelo abandono das áreas manejadas (cultivadas). Estas áreas incluem terras cultivadas com culturas agrícolas e pastos.

No Inventário Nacional, a contabilidade do carbono removido pela rebrota (regeneração) foi incluída na categoria Conversão de Florestas para Outros Usos, criando-se uma categoria única chamada de Conversão de Florestas e Abandono de Terras Manejadas. Este fato deve-se, principalmente, à dificuldade de discriminar nas imagens de satélite utilizadas (Landsat com sensor TM) as áreas abandonadas que haviam sido cultivadas ou pastos das áreas abandonadas que haviam sido florestas. Assim, aquele Inventário considerou que a emissão líquida de carbono das áreas desflorestadas seria igual à emissão bruta de carbono por perda de biomassa menos a remoção de carbono por rebrota (regeneração) das áreas desflorestadas (convertidas).

No presente Inventário Municipal, devido à indisponibilidade de dados detalhados de áreas em regeneração no Município de São Paulo, não foram consideradas as remoções de carbono especificamente por rebrota.

- **Emissão e Remoção de CO₂ pelos Solos**

Nesta categoria, a metodologia do IPCC contabiliza as mudanças na quantidade de carbono estocada no solo devido à supressão e/ou substituição de vegetação, bem como a liberação de CO₂ proveniente da aplicação de calcários em solos agrícolas. Em virtude da indisponibilidade de dados sobre estoque de carbono

de solo, sobre as práticas de remoção da vegetação e sobre a nova destinação do solo agrícola no Município de São Paulo, este Inventário considera somente a emissão de CO₂ por uso de calcário nos solos agrícolas.

2.3.3 Conversão de Florestas para Outros Usos

2.3.3.1 Metodologia para o Cálculo de Emissões

Para estimar a emissão de carbono pela Conversão de Florestas para Outros Usos é necessário quantificar a área de cobertura vegetal retirada anualmente e a quantidade de biomassa perdida por área. No caso do Município de São Paulo, a emissão anual de carbono (tCO₂) pela Conversão de Florestas para Outros Usos foi estimada a partir de dados sobre a variação de cobertura vegetal em hectare (ha) no Município no período de 1997 a 2001 e a densidade da fitomassa (biomassa aérea) por tipo de vegetação convertida.

- **Fórmula Usada**

Os cálculos foram realizados a partir da seguinte fórmula:

$$C = ALC * DF * FCMS$$

Fórmula 10

Onde,

| | | |
|------|---|-------------------------------------|
| C | = | Carbono Total Emitido no Ano |
| ALC | = | Área (ha) Líquida Convertida no Ano |
| DF | = | Densidade de Fitomassa |
| FCMS | = | Fração de carbono na matéria seca |

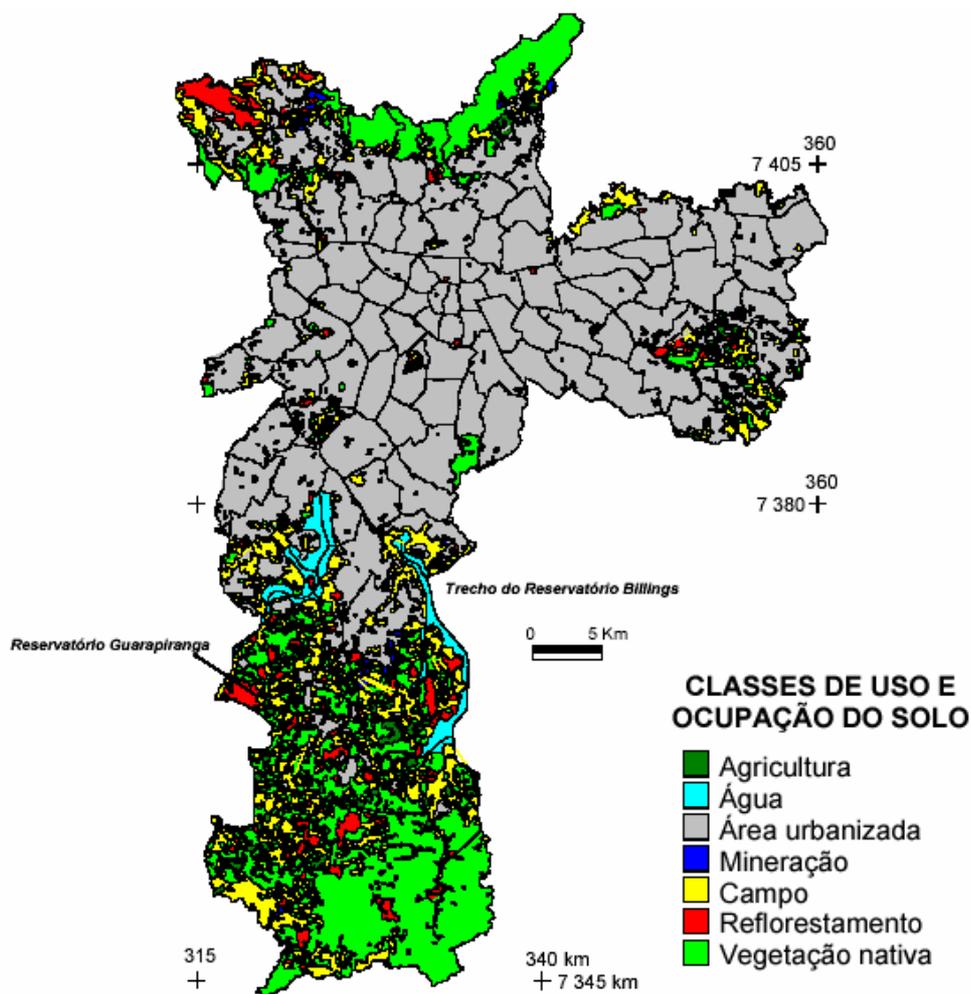
- **Área Líquida Convertida no Ano**

Como já comentado, assume-se que todo o carbono da fitomassa retirada tenha oxidado no ano do Inventário. Assim, as emissões referentes à área onde

houve perda de cobertura vegetal foram atribuídas totalmente ao ano em que a perda se deu.

Cabe ressaltar, que consta no Atlas Ambiental do Município de São Paulo (SVMA, 2002), que a perda de cobertura vegetal vem ocorrendo mais intensamente nos distritos periféricos, indicando que a redução de cobertura vegetal no Município tem sido, predominantemente, uma consequência direta do processo de urbanização. A Figura 2 mostra a distribuição espacial das classes de uso e ocupação do solo no ano de 2001, distinguidas com base em imagens de satélite.

Figura 2 - Uso e Ocupação do Solo no Município de São Paulo em 2001



Fonte: (SVMA, IPT 2004)

Para se estimar as áreas líquidas convertidas para a realização do presente Inventário, foram utilizados os dados mais recentes disponíveis sobre a redução da

cobertura vegetal do Município de São Paulo no período de 1997 a 2001, obtidos na versão preliminar do relatório Geo Cidade de São Paulo (SVMA, IPT, 2004).

Em termos de variação das extensões das classes de uso do solo, observa-se que no período 1997-2001, as áreas com vegetação cederam lugar à área urbana e à mineração em 1,14% da área total do Município, conforme pode ser inferido da Tabela 21 a seguir.

Tabela 21 - Variação de Área de Classes de Uso e Ocupação do Solo no Município de São Paulo (período entre 1997 e 2001)

| Classes de Uso e Ocupação do Solo | 1997 (%) | 1997 (ha) | 2001 (%) | 2001 (ha) | Variação de área ocupada (ha) |
|-----------------------------------|----------|----------------|----------|----------------|-------------------------------|
| | (d) | (c) | (d) | (c) | (c) |
| Agricultura | 2,25 | 3.395,25 | 2,22 | 3.349,98 | -45,3 |
| Água | 2,13 | 3.214,17 | 2,13 | 3.214,17 | - |
| Área Urbanizada | 55,46 | 83.689,14 | 56,56 | 85.349,04 | 1.659,9 |
| Mineração | 0,4 | 603,6 | 0,42 | 633,78 | 30,2 |
| Campo | 15,62 | 23.570,58 | 14,78 | 22.303,02 | -1.267,6 |
| Reflorestamento | 3,93 | 5.930,37 | 3,83 | 5.779,47 | -150,9 |
| Formações Florestais | 20,22 | 30.511,98 | 20,05 | 30.255,45 | -256,5 |
| Total⁴³ | | 150.915 | | 150.885 | |

Nota: (d) = dados do SVMA, IPT (2004) e (c) = valores calculados

Fonte: Elaboração Própria

Na Tabela 21 os valores positivos representam aumento da área ocupada e os valores negativos perda ou conversão de área ocupada. Nota-se que a classe de uso e ocupação do solo representada pela área urbanizada e mineração apresentaram um aumento de área no Município no período de 1997 a 2001, enquanto as demais classes, com exceção da classe água apresentaram redução de área ocupada.

⁴³ A área total do Município é de 1.509 km² (SEMPA 2002), conforme o Informe GEO Cidade de São Paulo (2004). A diferença de 30 ha entre a área total do Município em 1997 e em 2001 deve-se, provavelmente, à aproximações dos cálculos das áreas em valores absolutos (c) realizados a partir dos valores percentuais (d).

Como, entretanto, estes dados referem-se ao período 1997 - 2001, foi realizada uma média aritmética, a partir dos valores de variação da área de cobertura vegetal (campo, reflorestamento e formações florestais) calculados na Tabela 1, para estimar a perda de cobertura vegetal (variação do período dividido por quatro). Por indisponibilidade de dados para o ano de 2003 (ano base deste Inventário), considerou-se que a área média anual desflorestada no período de 1997 a 2001 corresponde à área desflorestada em 2003. A Tabela 22 apresenta estes dados.

Tabela 22 - Redução da Cobertura Vegetal por Classes de Cobertura no Município de São Paulo (entre 1997 e 2001)

| Classe | Redução da cobertura 1997 a 2001 | Redução anual |
|--|-------------------------------------|------------------|
| | (ha) | (ha/ano) |
| Formações florestais | 256 | 64 |
| Campo | 1.268 | 317 |
| Reflorestamento (floresta plantada) | 151 | 38 |
| Total | 1.675 | 419 |

Fonte: Elaboração Própria

Na Tabela 22 nota-se que a classe Campo sofreu maior redução no período analisado, seguido da formação florestal. No conjunto houve uma perda de cobertura vegetal de cerca de 1.675 ha no período de 1997 a 2001 que representou de cerca de 419 ha/ano no período.

- **Densidade de Fitomassa**

A densidade de fitomassa (expressa em t de matéria seca/ha) por tipo de vegetação é um valor que ainda carece de estudos científicos para a região. Assim, as estimativas de densidade de fitomassa foram baseadas apenas nas fitofisionomias. Por essa razão, um ajuste das estimativas pressupõe a realização de Inventários e/ou estudos fitosociológicos nas três tipologias consideradas. Ressalte-se que mesmo os valores obtidos em estudos de campo para fitomassa variam

muito e que, portanto, geram informações não muito precisas. Alguns estudos, por exemplo, revelam que a variação de estoque de fitomassa é muito grande mesmo dentro um único ecossistema. Laurance *et al.* (1999) estimam que apenas numa área de 1.000 km² na Amazônia a quantidade de fitomassa aérea viva varie de 231 a 492 t ms/ha. Martinelli, Moreira *et al* (1994) relacionam seis Inventários na Região Amazônica cujos valores variam de 162 a 320 t ms/ha.

A seguir expõem-se algumas características das classes de uso de solo que foram consideradas nas estimativas de densidade de fitomassa.

a) Formações florestais

Os remanescentes florestais nativos correspondem à vegetação secundária, em estágio mais avançado de regeneração e estão localizados nos limites sul do Município, onde se destacam as formações qualificadas como Floresta Ombrófila Densa, além dos campos naturais e formação de várzea. Ao Norte do Município destacam-se os remanescentes de Floresta Ombrófila Montana e extensos reflorestamentos (SVMA, 2002).

A Floresta Ombrófila Densa define uma região fitoecológica onde as formações vegetais são constituídas por árvores perenifoliadas, geralmente com brotos foliares sem proteção à seca, que ocupam as regiões tropicais onde não há estação seca definida (0 a 60 dias secos) durante o ano. As características florísticas de cada formação variam de acordo com a latitude. As formações vegetais desta região ecológica são classificadas em categorias de acordo com uma hierarquia topográfica e fisionômica, por exemplo, a Floresta Ombrófila Montana é uma formação do cume dos planaltos e serras (400 a 1500 m na Mata Atlântica) que, em geral, ocorre em solos delgados e litólicos, possuindo uma estrutura florestal mais modesta com as árvores menores com folhagem de tamanho reduzido e de consistência coreácea e grande diversidade de epífitas (IBAMA, 2002).

Neste Inventário foi assumido um valor para a densidade de biomassa igual ao adotado para as espécies florestais da Mata Atlântica (mata) no Inventário

Nacional, que apresenta uma densidade de carbono para mata de 123,6 t C/ha, o que corresponde à cerca de 247 t ms/ha.

Este valor adotado (247 t ms/ha) é bem próximo à média aritmética dos valores encontrados na literatura. Tanizaki (2000) afirma que nas formações florestais secundárias em estágio médio de desenvolvimento, existe um estoque de 200 toneladas de matéria seca por hectare (t ms/ha), correspondendo este valor ao potencial médio de estocagem de uma floresta de aproximadamente 40 anos de abandono, em um uso anterior não muito intenso. Clevelário *et al.* (1999) cita que 1 hectare de floresta Atlântica, com 100 anos de idade, estoca cerca de 400 t ms. Os valores de referência do IPCC (1996) dão uma taxa média anual de incremento de biomassa aérea para regeneração de florestas tropicais sazonais da ordem de 5 toneladas de matéria seca por hectare (5 t ms/ha) nos primeiros 20 anos de regeneração florestal e da ordem de 0,5 t ms/ha do vigésimo ao centésimo ano, correspondendo à aproximadamente 140 t ms/ha em cem anos. Para florestas tropicais úmidas, a taxa dada é de 8 t ms/ha/ano nos primeiros vinte anos e 0,9 t ms/ha/ano do vigésimo ao centésimo ano, correspondendo a 232 t ms/ha em 100 anos (IPCC, 1996). A média aritmética dos valores citados é igual a 243 t ms/ha (200t ms/ha + 400 t ms/ha + 140t ms/ha + 232 t ms/ha) / 4).

b) Campos naturais

Os campos naturais são formados por herbáceas, gramíneas e pequenos arbustos e existem em diversas áreas descontínuas do país, onde aparecem com características bastante diversas. Se há ocorrência predominante de gramíneas, são denominados "campos limpos"; quando se encontram misturados gramíneas e arbustos, são denominados "campos sujos" (SOS Mata Atlântica, 2001). No Município de São Paulo, também se encontram os chamados campos de altitude que são aqueles encontrados em alturas superiores a 1000 m, associados aos remanescentes da Mata Atlântica e campos brejosos, que ocorrem em áreas mais úmidas, podendo estar associados a formações de várzea (SVMA, 2002).

Considerando que na classe campo é incluída pastagem, pode-se considerar como se esse ambiente fosse constituído, principalmente, por capim colônia (em torno de 70%), como também árvores dispersas e arbustos. Assim, foram utilizados dois critérios básicos para o cálculo da volumetria: a fitomassa foliar do capim colônia (*Panicum maximum*) de 14,5 t ms/ha, obtido de um estudo da Confederação Nacional de Produtores de Gado de Corte (CNPGC) e a fitomassa lenhosa dispersa, correspondendo à cerca de 30 t ms/ha, (Fearnside, 2001). O resultado encontrado foi de 22,5 toneladas de matéria seca/ha (aproximadamente 23 t ms/ha).

c) Reflorestamento

Considerou-se, neste Inventário, para efeito de estimativa de densidade de biomassa, que o reflorestamento consiste em árvores dos gêneros *Eucaliptus* e *Pinus*.

A produtividade das florestas de *Eucaliptus* e *Pinus* varia com as condições edafoclimáticas e com o manejo florestal empregado. Porém, no Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa referente a emissões e remoções de dióxido de carbono por mudanças nos estoques de Florestas Plantadas (MCT², 2002) e, posteriormente no Inventário Nacional foi estimada uma produtividade média de matéria seca para o gênero *Pinus* de 125 t ms /ha aos vinte anos e para o gênero *Eucalipto* de 66 t ms /ha aos 21 anos de idade, considerando-se para o gênero *Pinus*, um regime de manejo composto de três desbaste (8, 12 e 16 anos), com corte final aos 20 anos e para o gênero *Eucaliptus*, um regime de manejo com rotação de 21 anos e três cortes rasos (7, 14 e 21 anos).

Com base nesses dados e desconsiderando-se que o reflorestamento em São Paulo não segue o regime de manejo citado anteriormente⁴⁴, estimou-se a densidade de biomassa para o reflorestamento, como uma média entre a produtividade em matéria seca do gênero *Eucaliptus* aos 21 anos de idade (66 t

⁴⁴ Não foram identificados valores específicos para este tipo de reflorestamento na literatura especializada.

ms/ha) e a do gênero *Pinus* aos vinte anos de idade (125 t ms/ha). O resultado encontrado foi de 95,5 t ms/ha (aproximadamente 96 t ms/ha).

Apesar de no caso do Município de São Paulo não terem sido identificadas iniciativas de manejo, conforme anteriormente dito, foram usados os mesmos valores do Inventário Nacional devido à ausência de dados mais acurados e à provável irrelevância da eventual diferença entre florestas plantadas manejadas e perenes.

- **Fração de Carbono**

No que se refere à fração de carbono na matéria seca, utilizou-se à fração 0,5, valor *default* do IPCC (IPCC, 1996).

2.3.3.2 Resultados do Inventário da Conversão de Florestas para Outros Usos

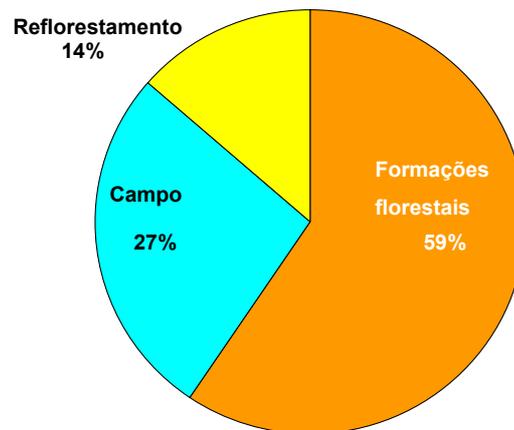
Os cálculos indicam que no ano de 2003, houve emissões totais de cerca de 13 Gg de C ou 48,7 Gg CO₂ equivalente, conforme a Tabela 23. O Gráfico 10 apresenta a contribuição relativa da emissão de carbono por cada classe de ocupação do solo (formação florestal, campo, reflorestamento).

Tabela 23 - Emissão pela Remoção da Cobertura Vegetal Estimada para 2003

| Classe | Redução da Cobertura (média anual estimada) | Densidade de Fitomassa | Fração de Carbono da Fitomassa Aérea (<i>default</i>) | Emissões de Carbono | Emissões de Carbono Expressas em Dióxido de Carbono Equivalente |
|----------------------|--|------------------------------|--|---------------------------|--|
| | k ha | t ms/ha | t C/t ms | Gg C | k t CO ₂ |
| Formações florestais | 0,064 | 247 | 0,5 | 7,9 | 29,0 |
| Campo | 0,317 | 23 | 0,5 | 3,6 | 13,1 |
| Reflorestamento | 0,038 | 96 | 0,5 | 1,8 | 6,7 |
| Total | 0,419 | - | - | 13,3 | 48,7 |

Fonte: Elaboração Própria

Gráfico 10. - Emissão Relativa por Classe de Cobertura Vegetal , em 2003



Fonte: Elaboração Própria

2.3.4 Correção de Acidez de Solos Agrícolas

A calagem é considerada como uma das práticas que mais contribui para o aumento da eficiência dos adubos e, conseqüentemente, da produtividade e da rentabilidade agropecuária. Quando se aplica um corretivo de acidez no solo, na maioria das vezes calcário (carbonato de cálcio e carbonato de magnésio), os carbonatos (de Ca ou de Mg) reagem com o hidrogênio do solo liberando água e gás carbônico e o alumínio é insolubilizado na forma de hidróxido.

Na atividade agrícola, a melhoria da acidez dos solos é feita utilizando-se alguns compostos que contém calcário (CaCO_3) e dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). De acordo com o IPCC (1996), a taxa de liberação de carbono decorrente do uso destes corretivos varia de acordo com as condições do solo e a combinação dos compostos. A metodologia do IPCC assume que a taxa anual de adição dos corretivos de solo é constante.

A agricultura é uma atividade de pouca expressão no Município de São Paulo, ocupando apenas 2,22% do seu território, o que correspondeu à cerca de 3.350 ha no ano 2001 (Tabela 21). As atividades agrícolas concentram-se principalmente na região sul, no entorno da represa Bilings e Guarapiranga, ocorrendo também nas Regiões Norte e extremo Leste do Município (SVMA, 2002).

Segundo dados da CATI⁴⁵, no Município há 313 Unidades de Produção Agrícolas (UPAs), onde predominam pequenas propriedades, com tamanho médio de 11,75 ha, utilizadas em sua quase totalidade para o cultivo de hortaliças, sendo que 92% dessas UPAs adotam práticas de manejo que substituem o uso de agrotóxicos.

2.3.4.1 Metodologia para o Cálculo das Emissões

A metodologia para o cálculo das emissões baseia-se na quantidade de calcário utilizado como corretivo agrícola. Para o Município de São Paulo, como não foi possível obter dados da quantidade de calcário utilizado como corretivo agrícola, esse valor foi estimado a partir da área ocupada com cultura agrícola no Município e a quantidade de calcário normalmente utilizada por unidade de área.

Os cálculos foram realizados a partir da seguinte fórmula:

$$C = AC * QC * FCC$$

Fórmula 11

Onde,

- C = Carbono Total Anual
- AC = Área Cultivada
- QC = Quantidade de Corretivo de Solo
- FCC = Fator de Conversão de Carbono

- **Área Cultivada**

Na Tabela 1, observa-se que a variação da área utilizada para agricultura no Município em 1997 e 2001 é bastante reduzida, ou seja, no ano de 2001 foram utilizados cerca de 45 ha a menos para agricultura do que em 1997. Baseado nessa pequena variação e por falta de dados mais precisos, assumiu-se que a área ocupada com agricultura no Município em 2001 seria mantida até o ano de 2003 (ano base deste Inventário).

⁴⁵ Coordenadoria de Assistência Integral /Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (<http://www.cati.sp.gov.br/>)

- **Quantidade de Corretivo de Solo**

A quantidade de calcário necessária à correção da acidez é determinada pela análise da terra, necessidade da cultura agrícola, tipo e qualidade do corretivo utilizado, época de aplicação e manejo empregado. Dentre os vários métodos para recomendação de calagem, no Brasil são utilizados principalmente três, a saber: neutralização de alumínio, solução tampão e saturação de bases. O método de neutralização de alumínio visa, como o próprio nome indica, neutralizar o alumínio trocável do solo, baseado no fato que o alumínio é um dos principais componentes relacionados à acidez dos solos. O método de solução tampão, chamado solução tampão SMP, consiste em agitar uma quantidade de solo com um volume de solução tampão e através do pH da suspensão (chamado pH SMP) consultar uma tabela que dá diretamente a quantidade de calcário a aplicar. O método de saturação de bases passou a ser adotado inicialmente no Estado de São Paulo, e, mais recentemente, no Estado do Paraná, por constituir um critério com maior embasamento teórico e por ser mais flexível (Lopes *et al.* 1991). Este método se baseia na relação existente entre pH e saturação por bases. Na fórmula, são considerados parâmetros referentes ao solo, ao tipo de corretivo e à cultura específica.

A quantidade de calcário utilizada varia, geralmente de 3 a 7 t/ha na abertura de área e de 1 a 3 toneladas por hectare a cada 2 a 5 anos (Lopes *et al.* 1991). Na literatura não há recomendação de aplicação anual em pequenas quantidades para correção parcial da acidez, a menos no plantio direto quando os produtores fazem aplicações anuais de calcário para fornecimento dos nutrientes como o cálcio e magnésio.

Considerando que a atividade agrícola não tem muita expressão no Município de São Paulo e que a cultura de hortaliças destaca-se no cenário agrícola do Município, as quais podem se beneficiar com uma calagem correta, pois ficam menos suscetíveis a doenças, produzindo mais e melhor, para efeito de estimativa de emissões de carbono da correção de acidez de solos agrícolas no Município de São Paulo, será utilizado o valor de 1,75 toneladas de calcário por hectare por ano.

O valor adotado de 1,75 t calcário/ha/ano derivou do valor médio da quantidade de calcário recomendada na literatura específica, de cerca de 2 toneladas por hectare (média entre 1 e 3 toneladas por hectare) e do valor médio da frequência de aplicação, que é 3,5 anos (média entre 2 a 5 anos).

Embora considerando que no Brasil, há preferência pelo uso de calcários dolomíticos sobre os calcíticos, (Embrapa, 2004), será assumido para efeito de cálculo que o calcário consumido no Município de São Paulo é composto exclusivamente de carbonato de cálcio (CaCO_3). A escolha do carbonato de cálcio em detrimento do dolomítico é devida à falta de dados mais detalhados sobre a composição do calcário utilizado no Município, bem como por esta simplificação ter sido adotada no Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa (MCT, 2004).

- **Fator de Emissão de Carbono**

Será utilizado um fator de emissão de $0,44 \text{ t CO}_2 / \text{ t CaCO}_3$, conforme adotado no Inventário Nacional de Emissões de gases de Efeito Estufa (MCT, 2004).

2.3.4.2 Resultados do Inventário da Correção de Acidez de Solos Agrícolas

Aplicando-se a Fórmula 11 é possível estimar a emissão pelo uso de corretivo agrícola no Município de São Paulo para o ano de 2003 como cerca de $2,58 \text{ GgCO}_2$ (2.580 t CO_2), conforme a Tabela 24.

Tabela 24 - Emissão pelo Uso de Corretivo, em 2003

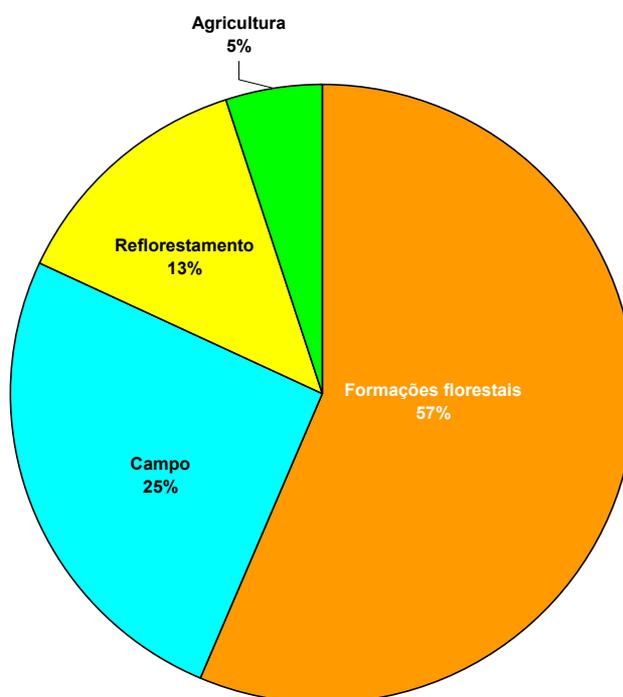
| Área Agrícola | Quantidade de Corretivo | Fator de Emissão | Emissão |
|---------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------|
| ha | t CaCO_3/ha | t $\text{CO}_2 / \text{ t CaCO}_3$ | Gg CO_2 |
| 3.350 | 1,75 | 0,44 | 2,58 |

Fonte: Elaboração Própria

2.3.5 Emissões Totais de Mudança no Uso de Solo e Florestas

As emissões totais de Uso do Solo e Floresta no Município de São Paulo no ano de 2003 foram de cerca de 51,3 Gg de CO₂ eq. O Gráfico 11, a seguir, apresenta a participação relativa das várias fontes de emissão, onde se pode observar que a conversão de formações florestais tem a maior responsabilidade pelas emissões deste setor.

Gráfico 11. - Emissão Relativa por Uso do Solo e Floresta no Município de São Paulo no ano de 2003



Fonte: Elaboração Própria

2.4. Setor Agropecuário

Técnica

Joyce Maria Guimarães Monteiro

2.4.1 Introdução

No setor agropecuário são consideradas as emissões de gases de efeito estufa procedentes da fermentação entérica e do manejo de dejetos do rebanho doméstico.

A fermentação entérica dos herbívoros faz parte do processo de digestão em que os carboidratos são quebrados pelos microorganismos em moléculas simples para serem absorvidos na corrente sangüínea. Como conseqüência desse processo ocorre emissão de metano (CH_4). Tanto os animais ruminantes (gado e ovelhas) quanto os não ruminantes (porcos e cavalos) produzem CH_4 sendo, no entanto, os ruminantes as maiores fontes (por unidade de comida ingerida).

No caso de manejo de dejetos, o metano é produzido pela decomposição do estrume sob a presença de pouco oxigênio ou condição anaeróbia. Essa condição normalmente ocorre quando grande número de animais está em uma área confinada, onde o estrume é tipicamente estocado em grandes pilhas ou disposto em algum tipo de sistema de manejo de estrume onde ocorra anaerobiose.

2.4.2 Fermentação Entérica

2.4.2.1 Metodologia para o Cálculo das Emissões e Resultados do Inventário

A emissão total de CH_4 é calculada pela soma das emissões de cada rebanho. Estes valores são fruto da população, considerando a composição e a função atribuída (como no caso do gado, se leiteiro ou de corte) de cada rebanho, assim como a quantidade e qualidade da forragem ingerida. Pela metodologia do

IPCC utilizada, multiplica-se o número de animais de cada tipo de rebanho por um fator de emissão dado pelo próprio IPCC ou calculado para as condições do país (clima, tipo de manejo, etc...). São considerados nessa metodologia rebanhos bovinos, bubalinos, suínos, eqüinos, asininos, muares e caprinos. A fórmula 12 é usada para o cálculo da emissão do metano pela fermentação entérica.

$$\text{Emissões de metano} = \sum fi ri$$

Fórmula 12

Onde,

fi= **fator de emissão** para fermentação entérica de cada rebanho utilizado no Inventário Nacional

ri= **número de indivíduos** de cada rebanho (PPM/IBGE, 2004).

Os dados de população de rebanho existente no Município de São Paulo foram extraídos da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM/IBGE, 2004) para o ano de 2003. Os rebanhos naquele ano, segundo o PPM/IBGE, eram de bovinos, suínos, eqüinos, muares, caprinos, além de galináceos. As aves não são incluídas nos cálculos de fermentação entérica, mas apenas nos cálculos de manejo de dejetos.

Com relação ao rebanho bovino, não constam dados específicos para a quantidade de gado de leite do Município de São Paulo, sendo utilizado, portanto, neste Inventário somente o número de cabeças e um fator de emissão médio entre o gado de corte e gado de leite, tanto para o cálculos das emissões de CH₄ por fermentação entérica, como para manejo de dejetos.

De acordo com a Fórmula 12, foram calculadas as emissões de metano para os rebanhos existentes no Município de São Paulo, em 2003. A Tabela 25 apresenta os fatores de emissão utilizados nos cálculos de emissão de metano, extraídos do Inventário Nacional.

Tabela 25 - Fatores de Emissão de CH₄ por Fermentação Entérica

| | kg/cabeça/ano |
|------------------|---------------|
| Gado de Leite | 62,5 |
| Gado de Corte | 56 |
| Bubalino | 55 |
| Ovinos | 5 |
| Caprinos | 5 |
| Eqüinos | 18 |
| Muare e Asininos | 10 |
| Suínos | 1 |

Fonte. MCT, 2004

A Tabela 26 apresenta o número de cabeças por tipo de animal no Município em 2003, os fatores de emissão utilizados e as emissões de CH₄ por fermentação entérica para o ano de 2003.

Tabela 26 - Emissões de CH₄ por Fermentação Entérica, em 2003.

| Tipo Animal | Nº cabeça | Fator emissão kg/cabeça/ano | Emissão CH ₄ (kg CH ₄) | Emissão de CH ₄ (kg CO _{2eq}) |
|------------------|-----------|-----------------------------|---|--|
| Bovino | 470 | 59* | 27.730 | 582.330 |
| Ovinos | 20 | 5 | 100 | 2.100 |
| Caprinos | 120 | 5 | 600 | 12.600 |
| Eqüinos | 320 | 18 | 5.760 | 120.960 |
| Muare e Asininos | 646 | 10 | 60 | 1.260 |
| Suínos | 30 | 1 | 30 | 630 |
| Total | | | 34.280 | 719.880 |

* valor correspondente a média aritmética dos fatores de emissão de gado de corte e de gado leiteiro.

Fonte: Elaboração Própria

Conforme a Tabela 26, a emissão total de CH₄ por fermentação entérica no Município de São Paulo no ano 2003 foi de cerca de 34.800 kg CH₄ ou 0,034 Gg CH₄. Considerando que o Potencial de Aquecimento (GWP) do CH₄ é 21 vezes maior do que o CO₂, tem-se que esse valor corresponde à cerca de 0,71 Gg de CO₂ equivalente.

⁴⁶ Segundo informações da SVMA, estes dados estão subdimensionados, apesar de oficiais, devido ao grande número de criadouros clandestinos de suínos, principalmente na região norte da cidade.

2.4.3 Manejo de Dejetos

2.4.3.1 Metodologia para o Cálculo das Emissões e Resultados do Inventário

A metodologia do IPCC para este caso é bastante similar a do caso anterior, modificando-se apenas os fatores de emissão utilizados, conforme a Fórmula 13.

$$\text{Emissões de Metano} = \sum e_i c_i r_i$$

Fórmula 13

Onde,

e_i = fator de produção de estrume de cada rebanho sugerido pelo IPCC

c_i = fator de emissão utilizado no Inventário Nacional para emissão de CH₄ por kg de estrume

r_i = número de indivíduos de cada rebanho, (PPM/IBGE, 2004)

A emissão total de metano referente ao manejo de dejetos no ano de 2003 para o Município de São Paulo foi calculada de acordo com a Fórmula 13. Os fatores de emissão utilizados são apresentados na Tabela 27 e foram extraídos do Inventário Nacional (MCT, 2004). O número de cabeças por tipo de animal no Município em 2003, os fatores de emissão utilizados e as emissões de CH₄ por manejo de dejetos para o ano de 2003 estão apresentados na Tabela 28.

Tabela 27 - Fatores de Emissão de CH₄ por Manejo de Dejetos de Animais.

| Tipo de Animal | Fator de Emissão Utilizado |
|-------------------|----------------------------|
| | kg/cabeça/ano |
| Gado de Leite | 3,1* |
| Gado de Corte | 1,4 |
| Bubalinos | 1,7 |
| Ovinos | 0,2 |
| Caprinos | 0,2 |
| Eqüinos | 1,7 |
| Muares e Asininos | 1,8 |
| Suíños | 0,7 |
| Aves | 0,1 |

* valor correspondente a média aritmética dos fatores de emissão de gado de corte e de gado leiteiro.

Fonte. MCT, 2004

Tabela 28 - Emissões de CH₄ por Manejo de Dejetos em 2003.

| Tipo de Animal | N° de Cabeças | Fator de Emissão | Emissão de CH ₄ | Emissão de CH ₄ |
|-------------------|---------------|------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | kg/cabeça/ano | (kg CH ₄) | (kg CO _{2eq}) |
| Bovinos | 470 | 2,3 | 1.061 | 22.281 |
| Ovinos | 20 | 0,2 | 4 | 84 |
| Caprinos | 120 | 0,2 | 23 | 483 |
| Eqüinos | 320 | 1,7 | 557 | 11.697 |
| Muares e Asininos | 6 | 1,8 | 11 | 231 |
| Suíños | 30 | 0,7 | 22 | 462 |
| Aves | 15.316 | 0,1 | 1.344 | 28.224 |
| Total | | | 3.022 | 63.462 |

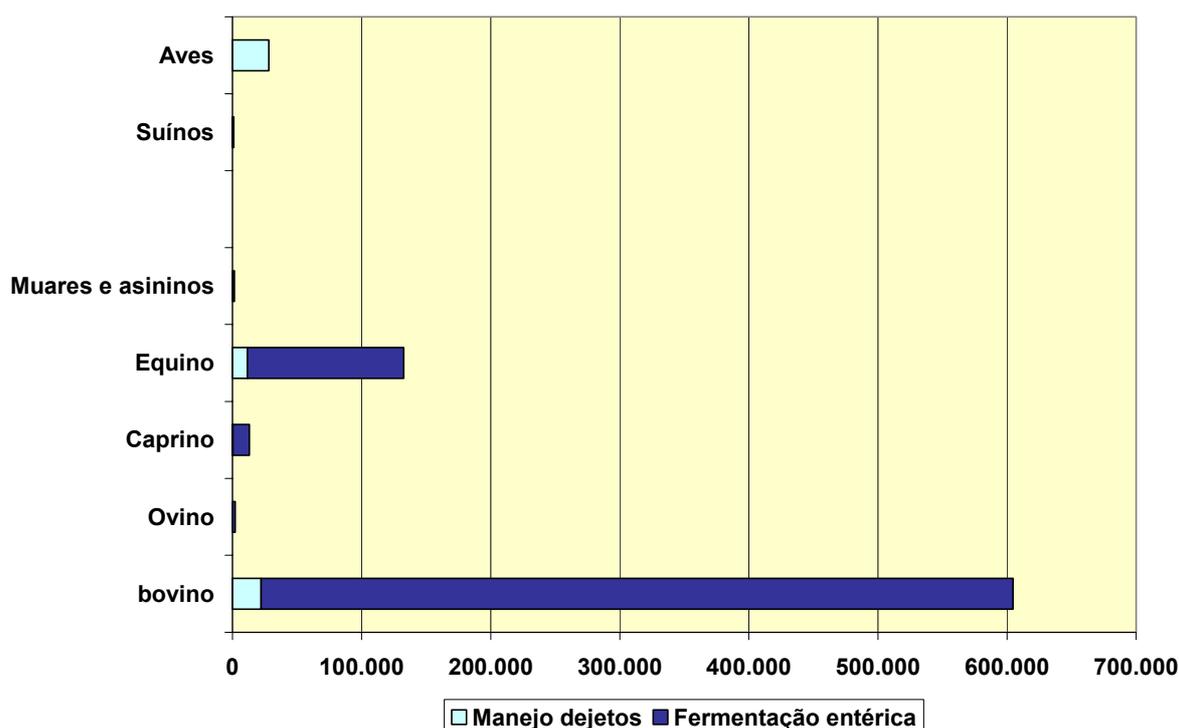
Fonte: Elaboração própria

A emissão total de CH₄ por manejo de dejetos no Município de São Paulo no ano 2003 foi de cerca de 3.022 kg CH₄ ou 0,003 Gg CH₄. Considerando que o Potencial de Aquecimento (GWP) do CH₄ é 21 vezes maior do que o CO₂, tem-se que esse valor corresponde à cerca de 0,06 Gg de CO₂ equivalente, conforme apresentado na Tabela 28.

2.4.4 Emissões Totais do Setor Agropecuário

A emissão total de metano do rebanho doméstico no Município de São Paulo no ano de 2003, referente à fermentação entérica e manejo de dejetos correspondeu a 0,037 Gg CH₄ ou 0,783 Gg CO₂ equivalente. Cerca de 98% das emissões de metano do rebanho doméstico provieram da fermentação entérica, sendo, portanto o manejo de esterco, responsável por apenas cerca de 8% dessa emissões. O Gráfico 12 apresenta as emissões referente à Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos por tipo de rebanho.

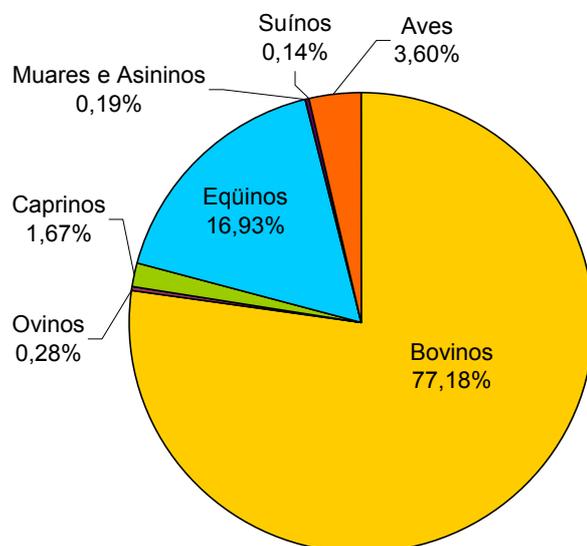
Gráfico 12. - Emissões de CO₂ equivalente (Gg CO₂ eq.) da Fermentação Entérica e do Manejo de Dejetos, em 2003.



Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 13 apresenta uma síntese das emissões do setor agropecuário por tipo de rebanho no Município de São Paulo, em 2003.

Gráfico 13. - Emissões Relativas do Setor Agropecuário por Tipo de Rebanho (%), em 2003.



Fonte: Elaboração própria

2.5 – Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos

Equipe Técnica

Luciano Basto Oliveira
Ângela Oliveira da Costa

2.5.1 Introdução

A disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU) pode produzir metano, um poderoso gás de efeito estufa, cujo GWP é 21. Os RSU podem ser dispostos em aterros sanitários, ou reciclados, incinerados ou ainda usados na geração de energia. Este item contabiliza as emissões resultantes da disposição final dos RSU no Município de São Paulo.

Os aterros são emissores de CH₄ porque acondicionam os RSU em condições anaeróbias. A matéria orgânica presente nos RSU sofre um processo de fermentação por bactérias metanogênicas que liberam para a atmosfera quantidades deste gás que podem ser expressivas. Estas quantidades variam em função do volume de lixo produzido, do conteúdo de matéria orgânica em sua composição e das condições de anaerobiose de sua disposição.

No ano de 2003, os RSU do Município de São Paulo foram encaminhados para os aterros sanitários Bandeirantes e São João, localizados na Figura 3, a seguir:

Figura 3 - Localização dos Aterros Sanitários em Operação no Município de



São Paulo em 2003.

Fonte: Informe GEO Cidade de São Paulo, 2004

Os cálculos realizados para a quantificação das emissões de GEE pela disposição final de resíduos sólidos urbanos estão nos itens a seguir.

2.5.2 Emissões da Disposição de RSU

2.5.2.1 Metodologia e Dados Utilizados para o Cálculo de Emissões

A fórmula geral adotada pelo IPCC para o cálculo das emissões de metano da disposição final de RSU em aterros, em 1.000 t por ano, é a seguinte:

$$\text{Emissões de Metano} = \sum(\text{RSU}_D \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_R \times \text{FEM} \times 16/12 - R) (1 - \text{OX})$$

Fórmula 14

Onde,

RSU_D = Quantidade total anual de **Resíduos Sólidos Urbanos Dispostos** nos diferentes tipos de vazadouro (aterros sanitários, como no caso de São Paulo, aterros controlados, lixões, etc.) expresso em milhares de toneladas por ano. A coleta e a disposição dos resíduos sólidos do Município de São Paulo são realizadas pelo Departamento Municipal de Limpeza Urbana – LIMPURB e sua base de dados é aquela utilizada no cálculo das emissões de metano deste setor.

De acordo com a Limpurb, foram coletados e dispostos em aterros sanitários 8.600 t/dia de RSU dos quais 44,7% foram depositados no Aterro Bandeirantes e 55,3% no Aterro São João. Assim os dados utilizados e aplicados à Fórmula 14 são os aqueles constantes da Tabela 29, a seguir:

Tabela 29 - Quantidade Anual dos Resíduos Sólidos Urbanos e Tipos de Disposição

| Tipo de Disposição | 2003 | | |
|--------------------|--------------|------------------|------------|
| | t /dia | t /ano | % |
| Aterros | | | |
| Bandeirantes | 3.842 | 1.402.417 | 44,7 |
| São João | 4.758 | 1.736.583 | 55,3 |
| Total | 8.600 | 3.139.000 | 100 |

Fonte: Elaboração Própria a partir de LIMPURB (2004)

FCM = **Fator de Correção do Metano**. Este fator varia em função das condições de anaerobiose de cada tipo de local de disposição. No caso de simples vazadouros usa-se 0,4 para aqueles com células de até cinco metros e 0,8 para aqueles com células maiores que cinco metros. No caso de aterros sanitários, situação em que há uma disposição planejada de resíduos, este fator é 1,0, ou seja, considera-se que 100% dos resíduos estão dispostos em condições de anaerobiose. Como em São Paulo todo o lixo em questão é disposto em aterros sanitários, aplica-se o fator 1,0.

COD = **Carbono Organicamente Degradável**. Este fator refere-se ao teor de carbono de cada componente do lixo que degrada, como papéis e papelões, folhas, madeiras e matéria orgânica total. Aplica-se o fator correspondente à participação percentual do peso de cada componente do lixo, conforme a fórmula 15, a seguir:

$$\text{COD} = (0,4 * \% \text{ do Peso de Papel e Papelão}) + (0,17 * \% \text{ Peso de Folhas}) + (0,15 * \% \text{ Peso de Restos Alimentares}) + (0,3 * \% \text{ Peso de Madeira})$$

Fórmula 15

Aplicando-se os fatores do IPCC aos dados de gravimetria da LIMPURB (2003), obtém-se o valor para COD calculado pela Fórmula 15. A Tabela 30, a seguir, apresenta os dados de gravimetria e a Tabela 31, a diante, o valor do COD calculado.

Tabela 30 - Composição do Lixo Urbano do Município de São Paulo (gravimetria de 2003)

| Componentes / Ano | % de kg/m ³ |
|------------------------|------------------------|
| Papel/Papelão | 11,08 |
| Plástico | 16,79 |
| Vidro | 1,79 |
| Matéria orgânica total | 57,54 |
| Metal Total | 2,18 |
| Inerte Total | 3,87 |
| Folha | 1,00 |
| Madeira | 1,62 |
| Borracha | 0,22 |
| Pano/Trapo | 3,87 |
| Couro | - |
| Osso | - |
| Total | 100 |

Fonte: LIMPURB 2003

Tabela 31 - Carbono Organicamente Degradável

| Composição dos RSU | % | Teor de Carbono | COD parcial |
|--------------------|-------|-----------------|--------------|
| | | (Default IPCC) | |
| Papel /Papelão | 11,08 | 0,40 | 4,43 |
| Restos Alimentares | 57,54 | 0,15 | 8,63 |
| Folhas | 1,00 | 0,17 | 0,17 |
| Madeira | 1,62 | 0,30 | 0,49 |
| COD total | | | 13,72 |

Fonte: Elaboração Própria

COD_R = Fração do COD que Realmente Degrada. Devido ao processo de degradação anaeróbia ser incompleto, parte do carbono potencialmente degradável não se degrada. O valor sugerido pela metodologia do IPCC é 77%, ou seja, considera-se que 23% do carbono não são emitidos.

FEM = Fração de Carbono Emitida como Metano. O valor sugerido pela metodologia do IPCC é 50%, significando que os outros 50% da composição do biogás gerado no sítio de disposição do lixo não é metano.

16/12 = Taxa de conversão, em peso molecular, do carbono para o metano.

R = **Metano Recuperado**. Refere-se à parcela recuperada e queimada ou utilizada para geração de energia em cada local de disposição, reduzindo as emissões líquidas. Ao ser queimado, o CH₄ se transforma em CO₂ que, quando de origem renovável como é o caso do lixo, não aumenta a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera pois deverá ser seqüestrado quando do crescimento da nova safra agrícola e da vegetação em geral. Este valor deve ser informado em 1.000 t de CH₄ e deduzido na fórmula para o abatimento das emissões de GEE. No caso de São Paulo, o metano recuperado em cada aterro foi de aproximadamente 20% do gás gerado, em virtude da baixa eficiência dos queimadores, de acordo com a com os valores *default* para projetos MDL.

OX = **Fator de Oxidação**. Relaciona-se à fração do RSU_D e do gás do aterro que sofre queima espontânea nos locais de disposição, não gerando metano. O valor *default* é zero, considerando-se, portanto, a não ocorrência de incêndios. Como não houve registro de incêndios nos aterros em São Paulo no ano de 2003, o fator de oxidação foi nulo.

2.5.2.2 Emissões Totais de RSU

Percorridos os passos da metodologia acima descrita, cujas tabelas com os cálculos completos estão no Anexo 2, chega-se aos resultados das emissões de GEE pela disposição final de resíduos sólidos urbanos no município de São, no ano de 2003, conforme a Tabela 32, que apresenta as emissões de metano expressas em sua unidade original e em CO_{2eq}.

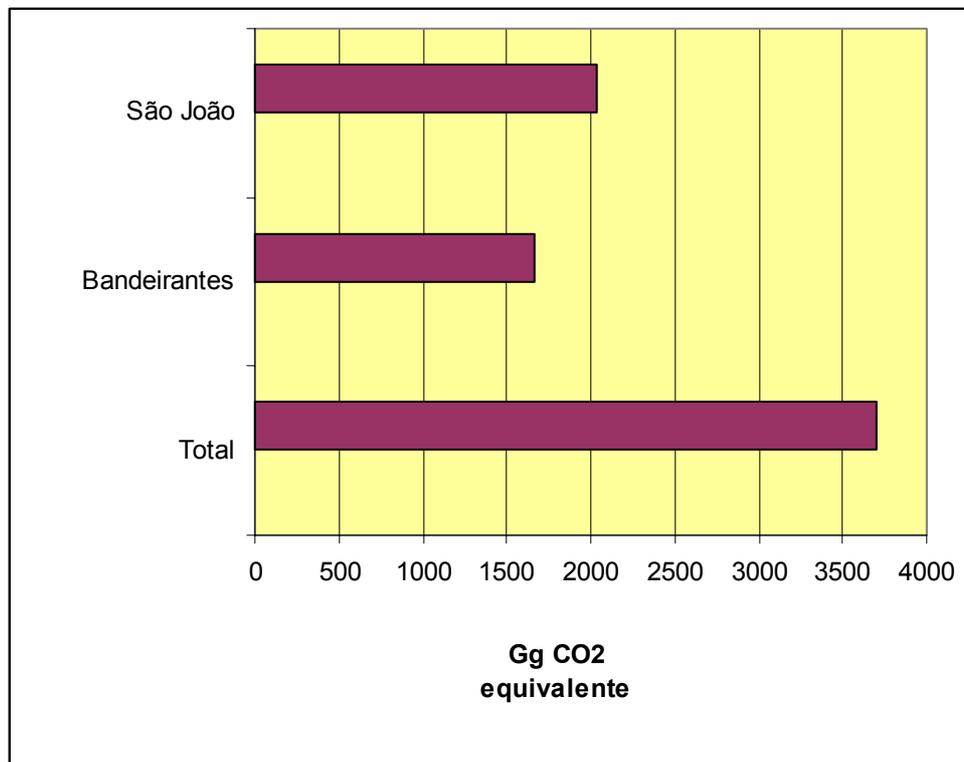
Tabela 32 - Emissões de Metano em tCO₂ equivalente

| Aterro Sanitário | Emissões de Metano (Gg) | Emissões de Metano Expressas em Dióxido de Carbono Equivalente (Gg) |
|------------------|-------------------------|---|
| Bandeirantes | 79 | 1.659 |
| São João | 97 | 2.037 |
| Total | 176 | 3.696 |

Fonte: Elaboração Própria

Os valores da Tabela 32, acima, podem ser visualizados no Gráfico 14, a seguir:

Gráfico 14. - Síntese das Emissões de Resíduos Sólidos Urbanos, em 2003



Fonte: Elaboração Própria

2.6 Tratamento de Esgotos Domésticos e Comerciais e de Efluentes Industriais

Equipe Técnica

Carolina Burle Schmidt Dubeux
Cícero Augusto Pimenteira

2.6.1 Introdução

Os efluentes com alto teor de carga orgânica, como esgotos domésticos e aqueles oriundos principalmente das indústrias alimentícias, de bebidas e de papel e celulose, quando submetidos à condição de anaerobiose, inclusive em processos de tratamento, emitem metano, um poderoso gás de efeito estufa.

Os sistemas de tratamento de esgotos domésticos e comerciais e de efluentes industriais podem ser classificados como primário, secundário e terciário. No tratamento primário, os sólidos maiores são removidos por intermédio de barreiras físicas, enquanto os particulados remanescentes se depositam. No tratamento secundário, há uma combinação de processos biológicos que resultam na biodegradação por microorganismos. Estes podem incluir lagoas de estabilização anaeróbias e aeróbias, filtros biológicos e lodos ativados. O tratamento terciário é usado para purificar o efluente de agentes patogênicos e outros contaminantes por intermédio de um ou mais processos combinados de lagoas de maturação, filtração, bio-adsorção, troca de íons e desinfecção.

O lodo é produzido tanto no tratamento primário, quanto no secundário. No primeiro método, o lodo consiste de sólidos removidos do esgoto e no segundo é o resultado do crescimento biológico na biomassa, bem como da agregação de pequenas partículas. O tratamento do lodo inclui digestão anaeróbia e aeróbia, condicionamento, centrifugação, compostagem e secagem.

Tanto o tratamento de esgotos quanto o de lodos sob condições anaeróbias resulta em produção de metano. A quantidade de metano produzida depende dos seguintes fatores: características do esgoto/efluente, temperatura e tipo de tratamento.

- **Características do Esgoto/Efluente**

O principal fator determinante da geração de metano é a quantidade de matéria orgânica degradável encontrada no esgoto/efluente. Os parâmetros usados para medir esta quantidade são DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio). Quanto maior a concentração de DBO (ou DQO), maior a produção de metano.

- **Temperatura**

A produção de metano aumenta com a elevação da temperatura, especialmente em sistemas sem controle adequado e em climas quentes, pois requer uma temperatura superior a 15° C.

- **Tipo de Tratamento**

Os sistemas de tratamento que apresentam ambiente anaeróbio produzem metano, enquanto os sistemas aeróbios geralmente produzem muito pouco ou nenhum metano. De acordo com o IPCC, as exceções em países em desenvolvimento ocorrem sob as seguintes condições (Tabela 33):

Tabela 33 - Produção de Metano em Sistemas de Tratamento de Esgotos

| Método de Tratamento | Exceções na Produção de Metano |
|-----------------------------|---|
| Sistemas Anaeróbios | |
| Lagoas | Projetos mal elaborados ou mal operados podem receber aeração e reduzir a produção de metano |
| Estações de tratamento | |
| Fossas Sépticas | |
| Sistemas Aeróbios | |
| Latrinas a céu aberto | Alta temperatura e tempo de retenção inadequado podem propiciar a produção de metano. |
| Lagoas | Profundidade acima de 3 metros pode resultar em produção de metano |
| Lançamentos diretos em rios | Rios com baixo nível de oxigenação e de águas paradas podem resultar em decomposição anaeróbia da matéria orgânica e, portanto, em produção de metano |

Fonte: IPCC – Guia Revisado de 1996: Livro de Trabalho

De acordo com a classificação sugerida pelo IPCC (1996), os efluentes dividem-se por sua origem em duas classes: esgotos domésticos e efluentes industriais. Na categoria dos domésticos estão incluídos os comerciais.

2.6.2 Esgoto Doméstico e Comercial

O Município de São Paulo tem como responsável pelo tratamento de esgoto de origem doméstica e comercial a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP, que trata o esgoto de toda a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), entre outras. A Tabela 34, a seguir, apresenta os dados gerais da empresa na RMSP de São Paulo.

Tabela 34 - Dados Gerais sobre Esgoto na Região Metropolitana de São Paulo

| | |
|--|------------------------------------|
| População atendida com coleta | 11.254 milhões |
| Índice de atendimento com rede de esgoto | 80% |
| População beneficiada com tratamento de esgoto | 9 milhões |
| Índice de tratamento dos esgotos coletados | 62% |
| Estações de tratamento de esgotos | 17 |
| Capacidade nominal de tratamento de esgotos | 18,4 mil litros por segundo |
| Redes coletoras | 17 mil quilômetros |
| Emissários e interceptores | 145 quilômetros |
| Ligações de esgotos | 2,3 milhões |

Fonte: SABESP, 2005.

A RMSP foi dividida em duas grandes áreas para efeito de esgotamento sanitário. A área central e densamente urbanizada que comporta um sistema integrado, denominado “**Sistema Principal**”, engloba as bacias drenantes aos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí, e algumas sub-bacias drenantes aos reservatórios Guarapiranga e Billings. As demais áreas, situadas em regiões periféricas, com menor grau de urbanização, são ou serão servidas por sistemas próprios, denominados “**Sistemas Isolados**”.

O “Sistema Principal” integrado de esgotos se constitui em cinco grandes sistemas de esgotamento, que comportam as principais estações de tratamento de esgotos (ETEs) da Região Metropolitana. São elas: Barueri, ABC, Suzano, Parque Novo Mundo e São Miguel. Destas ETEs, a de Suzano é a única que não recebe esgotos do Município de São Paulo. A Figura 4 a seguir, apresenta a localização das ETEs do sistema integrado.



Figura 4 - Sistemas Principais de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo.

Fonte: SABESP, 2005

De acordo com a SABESP (2004), a parcela do esgoto coletado no Município de São Paulo chegou a 93% em dezembro de 2003, sendo que 66% deste volume eram tratados⁴⁷.

As ETEs que recebem os esgotos do Município de São Paulo operam sistemas aeróbicos de tratamento. Entretanto, o lodo recebe tratamento anaeróbico ou químico, dependendo da estação. Segundo o IPCC (1996)⁴⁸, somente o volume tratado anaerobiamente libera metano e, desta forma, pode ser considerado como

⁴⁷O Geo Cidade de São Paulo (2004) chama a atenção para o fato de haver enorme capacidade ociosa das ETEs pela ausência de redes coletoras.

⁴⁸São consideradas exceções previstas para produção de metano segundo IPCC, 1996 – Livro de Trabalho (Ex.: Lançamentos feitos diretamente em rios).

emissor de metano para efeito de inventário. Um esquema de tratamento das ETEs da Região Metropolitana de São está apresentado a seguir na Figura 5:

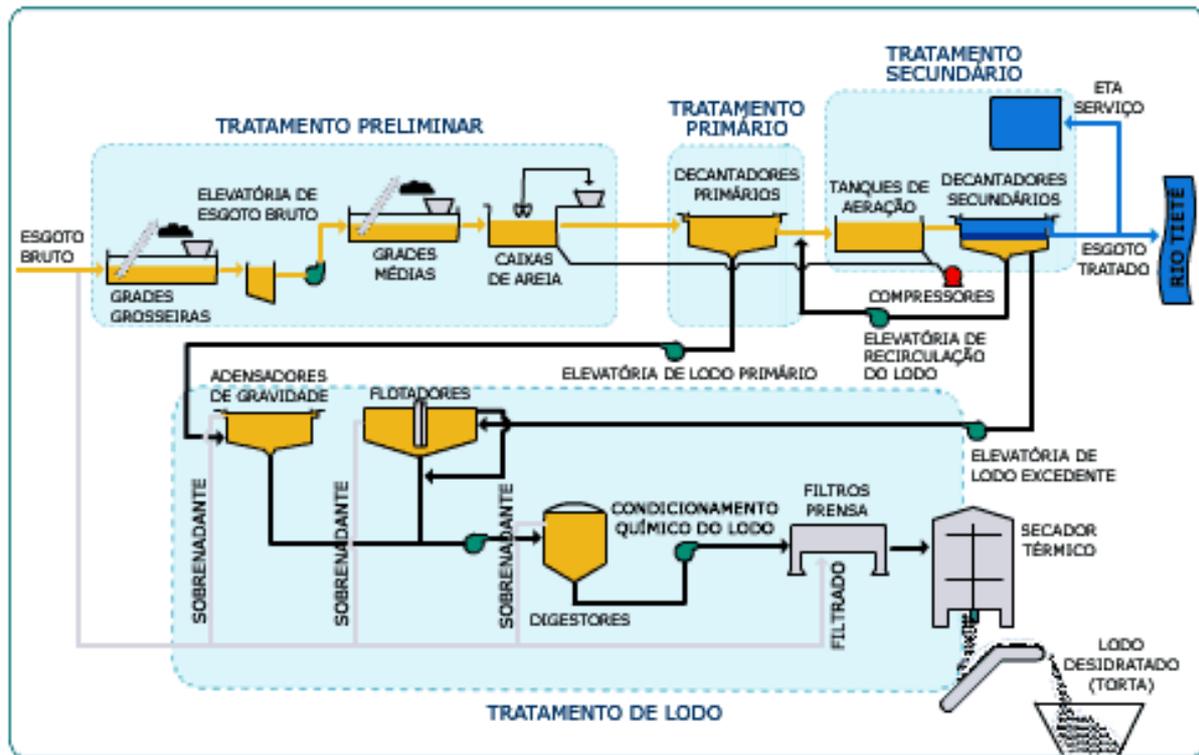


Figura 5 - Processo de Tratamento das ETEs na RMSP.

Fonte: Sabesp (2005)

A Figura 5 descreve um processo de tratamento denominado lodos ativados. Segundo Jordão (1995), lodo ativado é o floco produzido num esgoto bruto ou decantado pelo crescimento de bactérias ou outros organismos, na presença de oxigênio dissolvido e acumulado em concentração suficiente graças ao retorno de outros flocos previamente formados. No processo de lodos ativados, o esgoto afluente e o lodo ativado são misturados, agitados e aerados para posteriormente se separar os lodos ativados do esgoto tratado. O lodo retorna ao processo ou é retirado para tratamento específico (ou destino final), enquanto que o esgoto já tratado vai para o vertedor.

No esquema da figura 5 acima, observa-se que parte do lodo primário e o lodo excedente vão para os digestores, quando então ocorre a fase de tratamento

do lodo. De acordo com Sabesp (2005), a digestão é realizada com as seguintes finalidades:

- Destruir ou reduzir os microrganismos patogênicos;
- Estabilizar total ou parcialmente as substâncias instáveis e matéria orgânica presentes no lodo fresco;
- Reduzir o volume do lodo através dos fenômenos de liquefação, gaseificação e adensamento;
- Dotar o lodo de características favoráveis à redução de umidade;
- Permitir a sua utilização, quando estabilizado convenientemente, como fonte de húmus ou condicionador de solo para fins agrícolas.

Ainda de acordo com Sabesp (2005), nas ETEs da RMSP esta digestão é feita de forma anaeróbia ou química. No primeiro caso, “na ausência de oxigênio têm-se somente bactérias anaeróbias, que podem aproveitar o oxigênio combinado. As bactérias acidogênicas degradam os carboidratos, proteínas e lipídios transformando-os em ácidos voláteis, e as bactérias metanogênicas convertem grande parte desses ácidos em gases, predominando a formação de gás metano”. No segundo caso, a estabilização de substâncias instáveis e da matéria orgânica presente no lodo fresco também pode ser realizada através da adição de produtos químicos cujo processo é denominado de estabilização química do lodo.

Uma descrição sucinta das ETEs está a seguir.

2.6.2.1 Características das Estações de Tratamento da RMSP

- **Estação de Tratamento de Esgotos ABC**

A ETE ABC situa-se no Município de São Paulo, junto à Av. Almirante Delamare e à margem esquerda do Ribeirão dos Meninos, divisa entre os Municípios de São Paulo e São Caetano do Sul. Esta estação atende as cidades de

Santo André, São Bernardo, Diadema, São Caetano, Mauá e parte da cidade de São Paulo.

A vazão média tratada desta ETE referente aos esgotos do Município de São Paulo no período de julho de 2003 a junho de 2004 foi de 0,45 m³/s (SABESP, 2004), sendo a parte líquida do afluente tratada aerobicamente, enquanto o lodo sofre digestão anaeróbica. O gás produzido nos digestores é enviado a um gasômetro de campânula flutuante, que mantém a pressão do sistema equilibrada, enviando o excesso desse gás aos queimadores. O gasômetro possui capacidade de armazenamento de 5.000 m³. O efluente final da estação é lançado no Córrego dos Meninos (SABESP, 2005).

- **Estação de Tratamento de Esgotos Barueri**

A ETE Barueri ETE está localizada no Município de Barueri, pertencente à RMSP. A ETE está à margem esquerda do rio Tietê, em terreno limitado por este curso d'água e pela estrada de ferro da FEPASA e atende grande parte da zona oeste, partes da zona norte, sul, centro, pequena parte da zona leste do Município de São Paulo, além dos Municípios de Carapicuíba, Jandira, Itapevi, Barueri, Osasco, Taboão da Serra e partes de Cotia e Embu.

A vazão média tratada desta ETE referente aos esgotos do Município de São Paulo no período de julho de 2003 a junho de 2004 foi de 0,45 m³/s (SABESP, 2004), sendo a parte líquida tratada aerobicamente, enquanto o lodo sofre digestão anaeróbica. O gás produzido durante o processo de digestão é utilizado, após compressão, para homogeneização do lodo contido nos tanques e o excesso deste gás é bombeado ao gasômetro. O efluente resultante do tratamento é lançado no Rio Tietê (SABESP, 2005).

- **Estação de Tratamento de Esgotos São Miguel**

O Sistema São Miguel atende basicamente o extremo leste do Município de São Paulo, e ainda partes de Guarulhos, Arujá, Ferraz de Vasconcelos e Itaquaquetuba. A ETE São Miguel situa-se à margem esquerda do rio Tietê, nas proximidades do km 25 da Rodovia Airton Senna, ao lado da Companhia Nitroquímica Brasileira.

A vazão média tratada desta ETE referente aos esgotos do Município de São Paulo no período de julho de 2003 a junho de 2004 foi de 0,62 m³/s (SABESP 2004). A parte líquida é tratada aerobicamente e a parte sólida, anaerobicamente. O gás gerado é utilizado para aquecer os digestores. Seu efluente é lançado no Rio Tietê (SABESP, 2005).

- **Estação de Tratamento de Esgotos Parque Novo Mundo**

O Sistema Parque Novo Mundo atende a parte da zona leste e norte do Município de São Paulo e grande parte do Município de Guarulhos. Sua localização é no bairro de Parque Novo Mundo, a cerca de 300 m à jusante da foz do rio Cabuçu de Cima, junto à Marginal Direita do Rio Tietê. A área da ETE é dividida pelas pistas sul e norte da interligação Marginal Tietê – Rodovia Fernão Dias.

A vazão média tratada desta ETE referente aos esgotos do Município de São Paulo no período de julho de 2003 a junho de 2004 foi de 1,95 m³/s (SABESP, 2004). O esgoto afluente à ETE é predominantemente doméstico, com pequenas contribuições industriais. A parte líquida do efluente sofre tratamento aeróbico e, devido à exigüidade da área disponível, a estabilização do lodo se dá por processo químico, ao invés de digestão anaeróbia. O efluente da ETE é lançado no Rio Tietê (SABESP, 2005).

2.6.2.2 Emissões das ETES

Os dados operacionais médios observados nas ETES da RMSP de São Paulo (Sistema Principal), no período de julho de 2003 a junho de 2004, foram informados

pela SABESP. Segundo informações colhidas no Departamento de Planejamento, Controladoria, e Desenvolvimento Operacional da SABESP a composição média do biogás gerado nos digestores anaeróbios é de:

- CH₄ = 66,5%
- CO₂ = 23,8%
- O₂ = 2,7%
- N₂ = 7,0%

Do volume total de biogás gerado nos digestores das ETEs Barueri e ABC, aproximadamente 25% é reutilizado nas caldeiras para aquecimentos dos digestores primários, sendo o restante queimado em *flare*. Com relação à ETE São Miguel, todo o biogás gerado na ETE também é queimado para aquecimento dos digestores, ainda que não tenham sido identificados valores oficiais de medição sobre o volume de biogás que a estação gera e queima. Estes dados estão apresentados na Tabela 35.

Conforme a metodologia do IPCC (1996) para a elaboração de inventários de emissões, a eficiência de queima do metano é considerada integral (100%)⁴⁹.

Tabela 35 - Volume de Biogás Gerado pelas ETEs que Atendem o Município de São Paulo (entre Julho de 2003 e Junho de 2004)

| ETE | Vazão Média Tratada (L/s) | Produção de lodo em base úmida (t/dia) | Produção de biogás (m ³ /dia) | Destinação do gás |
|----------------|---------------------------|--|--|---------------------------------------|
| ABC | 450 | 12 | 1.200 | 25% a caldeiras 75% a <i>flare</i> |
| Barueri | 6.390 | 230 | 22.000 | 25% a caldeiras 75% a <i>flare</i> |
| São Miguel | 620 | 16 | não está disponível | 100% a aquecedores dos digestores |
| Pq. Novo Mundo | 1.950 | 40 | - | - |
| Total | 9.410 | 298 | 23.200 | Combustão Total |

Fonte: SABESP, 2004

⁴⁹ Na eventualidade de examinar a pertinência de elaboração de projetos com vistas a negociações de créditos de carbono no MDL, será necessário verificar a eficiência de queima dos sistemas de combustão de metano.

Observe-se que, como o biogás é totalmente queimado e o metano de origem renovável transformado em dióxido de carbono que será seqüestrado na próxima safra, o balanço das emissões é zero, ou seja, sem impacto no clima.

2.6.2.3 Outras Fontes de Emissões de Esgotos Domésticos e Comerciais

Os esgotos não coletados pela SABESP podem ser destinados a ETEs particulares, fossas ou despejados “in natura” em corpos hídricos. No primeiro caso pode haver emissões, caso as ETEs particulares sejam anaeróbicas e não queimem o biogás. Entretanto, estas tendem a ser químicas. No que se refere a fossas, quanto melhor tenham sido construídas e sejam operadas, mais ocorre emissão de metano. Já os despejos “in natura” não têm, ainda, sua emissão computada pela metodologia do IPCC.

Assim, dos esgotos não coletados, pode-se calcular apenas as emissões de fossas. Os dados disponíveis indicam que no Município de São Paulo havia 108.074 moradias que faziam o uso de fossas no ano de 2000 (IBGE, Censo 2000). Considerando uma média de 3,4 habitantes por moradia, pode-se afirmar que em torno de 368 mil pessoas tinham seus esgotos tratados por fossas, correspondendo a aproximadamente 4% da população total. Mantendo-se esta proporção para 2003, chega-se a 432 mil pessoas com esgotos tratados por fossa e, conseqüentemente, resultando em produção de metano, conforme será mensurado no item a seguir.

2.6.2.3.1 Emissões de Fossas – Metodologia, Cálculos e Resultados

De acordo com o Inventário Brasileiro (Cetesb 2002), “o IBGE classifica estes sistemas em individuais (para um único domicílio) e coletivos. A experiência acumulada pela CETESB em estudos de sistemas de fossas sépticas, chegou às seguintes conclusões: Em extensivas pesquisas domiciliares, (as fossas) muitas vezes correspondiam às fossas negras, simples buracos escavados no terreno,

sujeitos a maiores interferências de flutuações do lençol freático e a uma maior infiltração descontrolada dos esgotos gerados nas áreas adjacentes. Uma outra ocorrência, extremamente comum também, era a existência de sistemas mal dimensionados ou mal construídos. A falta de anteparos na entrada e saída do sistema provoca curto-circuitos no fluxo interno da fossa, o que transforma o sistema em uma simples ‘caixa de passagem’, não havendo tempo suficiente (mínimo de 24h) para a digestão anaeróbia dos detritos. Infiltrações do lençol freático e vazamentos de sistemas não estanques também afetam o desempenho das fossas. A manutenção das fossas sépticas consiste na retirada parcial periódica do seu conteúdo; a falta de manutenção da fossa ou a sua manutenção incorreta comprometem o seu desempenho. Uma fossa séptica ideal remove aproximadamente 50% da carga orgânica de entrada. Levando-se em conta o exposto acima, de uma maneira extremamente conservadora pode-se considerar 50% do desempenho ideal comprometido, chegando-se portanto a uma eficiência final de 25%”.

Assim, partindo-se do pressuposto que as fossas têm uma eficiência de 25% e aplicando-se a metodologia do IPCC, conforme a seguir, pode-se calcular as emissões no Município.

Para se estimar a carga orgânica total tratada pelas fossas, utiliza-se a fórmula a seguir:

$$COT = POP * COD * (1 - FRL)$$

Fórmula 16

Onde,

COT = Carga Orgânica Total

Pop = População do Município com Fossas

COD = Componente Orgânico de Degradação

FRL = Fração Removida como Lodo

O Componente Orgânico de Degradação, um valor *default* do IPCC é de 14.600 kg DBO₅ (demanda bioquímica de oxigênio) por mil habitantes por ano. Entretanto, como no Inventário Brasileiro o valor adotado foi de 18.250 kg DBO₅/1.000 hab/ano optou-se por este valor.

Na ausência de dados sobre a Fração de Matéria Orgânica Removida como Lodo, utilizou-se o valor *default* zero para esta fração. Os resultados dos cálculos indicam que os valores anuais de produção de carga orgânica estão situados em torno de 7,884 milhões de kg de DBO₅ no ano e podem ser observados na Tabela 36 a seguir.

Tabela 36 - Estimativa de Produção de Carga Orgânica, em 2003

| População do Município com Fossas (1000 hab.) | Componente Orgânico de Degradação (kg DBO/1000 hab/ano) | Fração do Componente Orgânico de Degradação Removido como Lodo | Esgoto Orgânico Total a ser Tratado (kg DBO/ano) |
|---|---|--|--|
| | <i>default</i> | <i>default</i> | |
| 432 | 18.250 | 0 | 7.884.000 |

Fonte: Elaboração Própria a partir de IPCC (1996)

Na ausência de informações específicas para o Município de São Paulo, o Fator de Emissão de Metano de 0,05 kg de CH₄/kg de DBO₅ foi calculado utilizando-se todos os valores *default* do IPCC, também utilizados no Inventário Brasileiro, a partir da seguinte fórmula:

$$FEM = FET * FCM * CPM$$

Fórmula 17

Onde,

FEM = Fator de Emissão de Metano

FET = Fração do Esgoto Tratado

FCM = Fator de Conversão de Metano

CPM = Capacidade Máxima de Produção de Metano

A Tabela 37 a seguir, apresenta o cálculo.

Tabela 37 - Fator de Emissão de Metano

| Fração do Esgoto Tratado* | Fator de Conversão de Metano | Capacidade Máxima de Produção de Metano (kg CH ₄ /kg DBO) | Fator de Emissão (kg CH ₄ /kg DBO) |
|---------------------------|------------------------------|--|---|
| | <i>default</i> | <i>default</i> | |
| 25% | 80% | 25% | 0,05 |

* valor de eficiência de fossas obtido do Inventário Brasileiro, conforme anteriormente mencionado.

Fonte: Elaboração Própria a partir de IPCC (1996)

Para a realização dos cálculos de emissão, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$ELM = (COT * FEM)$$

Fórmula 18

Onde,

- ELM Emissões Líquidas de Metano
- COT Carga Orgânica Total (obtida da fórmula 16)
- FEM Fator de Emissão (obtido da fórmula 17)

Os resultados obtidos para a estimativa de produção de metano pelo uso de fossas se encontram na Tabela 38 e indicam que no ano de 2000, as emissões foram da ordem de 8,28 Gg de CO_{2eq}.

Tabela 38 - Estimativa de Emissões de Esgoto Doméstico e Comercial, em 2003

| Carga Orgânica Total (kg DBO/ano) | Fator de Emissão (kg CH ₄ /kg DBO) | Emissões de Metano (kg CH ₄ /ano) | Emissões Líquidas de Metano (GgCH ₄) | Emissões Líquidas de Metano em CO _{2eq} (Gg CO _{2eq}) |
|-----------------------------------|---|--|--|--|
| 7.884.000 | 0,05 | 394.3000 | 0,39 | 8,28 |

Fonte: Elaboração Própria a partir de IPCC ,1996.

2.6.3 Efluentes Industriais

A experiência da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CESTEB através de seu Sistema de Licenças e Penalidades reuniu um banco de dados onde são registrados diariamente dados de todas as atividades ligadas ao controle de poluição ambiental de origem industrial no Estado de São Paulo. Neste banco estão contidas informações dos efluentes industriais como a vazão, concentração de matéria orgânica e tipo de tratamento empregado. Os setores industriais mais importantes com potencial de geração de metano oriunda do tratamento de efluentes industriais no estado de São Paulo são: setor de alimentos, bebidas, química, metalúrgica, têxtil, couro e celulose. Segundo a CETESB, no início dos anos oitenta, existiam algumas unidades de filtros anaeróbios e, nos últimos anos, tem havido uma forte tendência de utilização de reatores anaeróbios, para o tratamento de efluentes industriais. (CETESB, 2002)⁵⁰.

O levantamento das emissões decorrentes do tratamento anaeróbio de efluentes industriais no Município de São Paulo foi realizado a partir dos dados disponíveis na CETESB, junto à Gerência da Divisão de Questões Globais⁵¹. No caso do Município de São Paulo, a conclusão dessa procura foi que não existem reatores anaeróbios de esgotos industriais em operação.

Entretanto, não é possível concluir que não exista produção de gases resultantes do tratamento de efluentes industriais no Município de São Paulo, tendo em vista que a SABESP vem implementando o PREND - Programa de Recebimento de Efluentes Não Domésticos, que recebe efluentes industriais para tratamento em suas ETEs. Caso a região onde está localizada a indústria seja provida de sistema público de esgotos e haja possibilidade técnica de ligação, a indústria pode lançar seus efluentes no sistema. Entretanto, estes efluentes devem ter especificações tais que não venham causar danos ao sistema coletor de esgotos, ao processo biológico do tratamento e à saúde dos operadores.

⁵⁰ Como órgão responsável junto a SABESP pelo controle ambiental das indústrias no Município de São Paulo a CETESB está em fase de conclusão de um manual para uso de biogás gerado por reatores anaeróbios no Brasil.

⁵¹ Contato pessoal

Assim, dada à inexistência de sistemas anaeróbicos próprios das indústrias no Município de São Paulo e, devido ao PREND da SABESP, pode-se concluir que os valores relativos à produção de biogás pelo tratamento de efluentes industriais estão contabilizados nos valores de biogás das ETEs.

2.6.4 Emissões Totais do Tratamento de Esgotos e Efluentes Industriais

O tratamento de esgotos domésticos e comerciais e efluentes industriais do Município de São Paulo não vem resultando, significativamente, em contribuições à intensificação do Efeito Estufa. Esta afirmação deve-se ao fato de que, dos 93% do volume de esgotos que é coletado, a parcela de 66% que sofre tratamento recebe tratamento aeróbico. Somente o lodo de três das quatro ETEs sofre tratamento anaeróbico e, portanto, gera metano. Entretanto, este metano proveniente do tratamento do lodo vem sendo queimado e transformado em dióxido de carbono. Este gás, quando de origem renovável, como é o caso, não contribui para o aumento do fenômeno, posto que a safra seguinte irá absorver o carbono anteriormente emitido da atmosfera.

Em relação aos 7% de esgoto restantes, em torno de 4% são tratados por fossas, gerando metano. Os demais 3% não se conhece a sua destinação efetiva. Entretanto, apesar de não se ter obtido informação a respeito, pode-se concluir que as emissões de metano de ETEs particulares devem ser ínfimas na medida em que estas tendem a ser químicas. E, finalmente, para o cálculo do metano produzido pelo lançamento de efluentes em rios e corpos hídricos ainda não há metodologia de cálculo disponível.

Assim, este Inventário computa apenas as emissões de fossas que se situam em torno de 8 Gg de CO_{2eq}.

Item 3) Síntese do Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa do Município de São Paulo

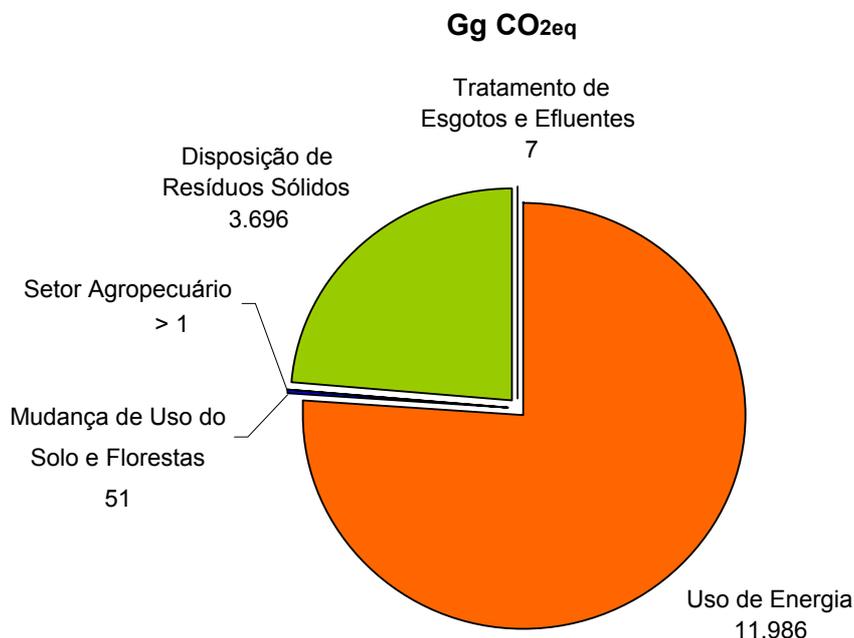
3.1 Emissões por Fontes

O Inventário de Emissões de GEE do Município de São Paulo refere-se às emissões de dióxido de Carbono (CO₂) e de Metano (CH₄) relativas ao ano de 2003 e contabiliza as emissões das seguintes fontes:

- Uso de Energia (geração de eletricidade, indústrias, transporte individual, transporte coletivo e de carga, transporte aeroviário, residências e comércio, outros);
- Mudança de Uso do Solo e Florestas;
- Setor Agropecuário;
- Disposição Final de Resíduos Sólidos; e
- Tratamento de Esgotos Domésticos e Comerciais e de Efluentes Industriais

Dentre estas fontes, o **Uso de Energia** teve a maior participação, com 76,14% do total das emissões, seguido da **Disposição Final de Resíduos Sólidos** que contribuiu com 23,48%. Estas duas fontes juntas alcançaram 99,62% das emissões totais do Município de São Paulo. A **Mudança de Uso do Solo e Florestas** teve uma participação de 0,33% no total, o **Tratamento de Esgotos Domésticos e Comerciais e de Efluentes Industriais** respondeu por 0,05% e, por fim, o **Setor Agropecuário** contribuiu com menos de 0,01% do total das emissões. O Gráfico 15, a seguir, apresenta as fontes de emissão e os respectivos valores absolutos a elas correspondentes:

Gráfico 15. - Emissões do Município de São Paulo, por Fonte, em 2003⁵².
(Gg CO₂ eq)

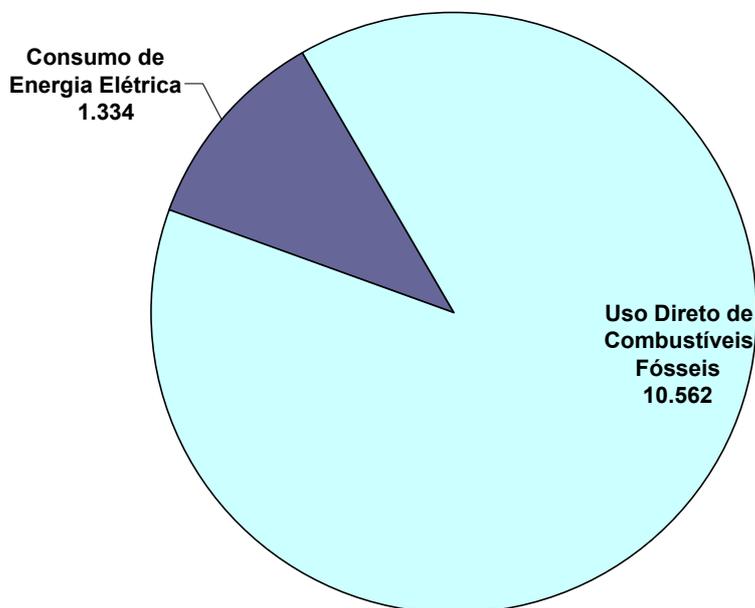


Fonte: Elaboração Própria

No que se refere ao **Uso de Energia**, as emissões contabilizadas são aquelas devidas ao consumo de combustíveis fósseis, que se dá tanto direta quanto indiretamente. Neste último caso, as emissões ocorrem devido ao consumo de energia elétrica que é parcialmente produzida com combustíveis fósseis. O uso direto de combustíveis fósseis é responsável pela emissão de 88,78% do total das emissões de Uso de Energia, enquanto que o consumo de energia elétrica participa com 11,22%. Note-se que no cômputo das emissões provenientes do consumo de eletricidade, estão incluídas aquelas devidas à importação de energia do Sistema Elétrico Interligado e não somente da energia produzida no território do Município de São Paulo. O Gráfico 16, a seguir, apresenta os valores absolutos.

⁵² Gg = kt = 1.000 toneladas

Gráfico 16. - Emissões do Uso de Energia pelo Consumo Direto de Combustíveis Fósseis e Energia Elétrica pelo Município de São Paulo, em 2003 (Gg CO₂ eq)



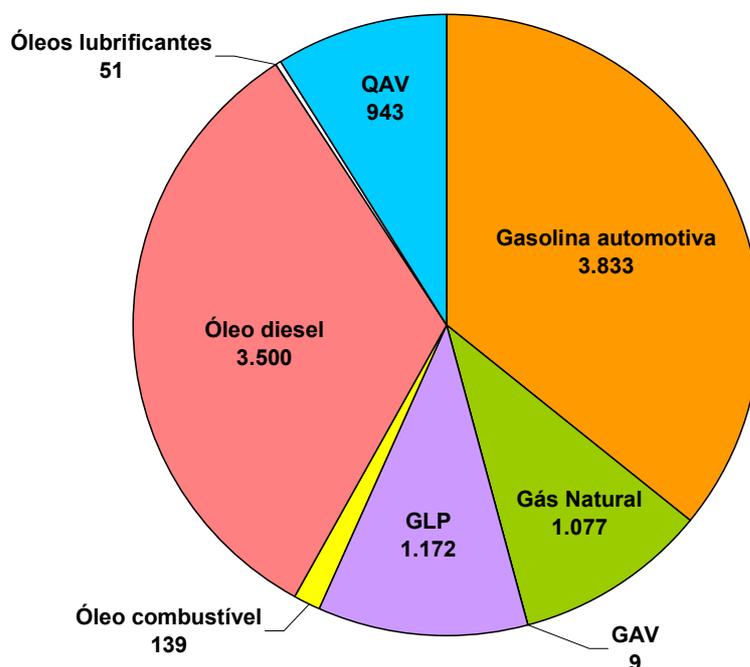
Fonte: Elaboração Própria

Dos combustíveis consumidos, seja direta, seja indiretamente dentro do Município de São Paulo⁵³, a gasolina automotiva contribui com 35,7% das emissões de Uso de Energia, seguida de óleo diesel com 32,6%, do gás liquefeito de petróleo (GLP) com 10,9%, do gás natural com 10,0%, do querosene de aviação⁵⁴ com 8,8%, do óleo combustível com 1,3% e da gasolina de aviação e óleo lubrificante, que juntos somam 0,6% do total. O gráfico 17, a seguir, apresenta os valores absolutos.

⁵³ Não computando os combustíveis usados para a geração de energia elétrica importada do Sistema Elétrico Interligado.

⁵⁴ Não foram identificadas emissões de *bunker*.

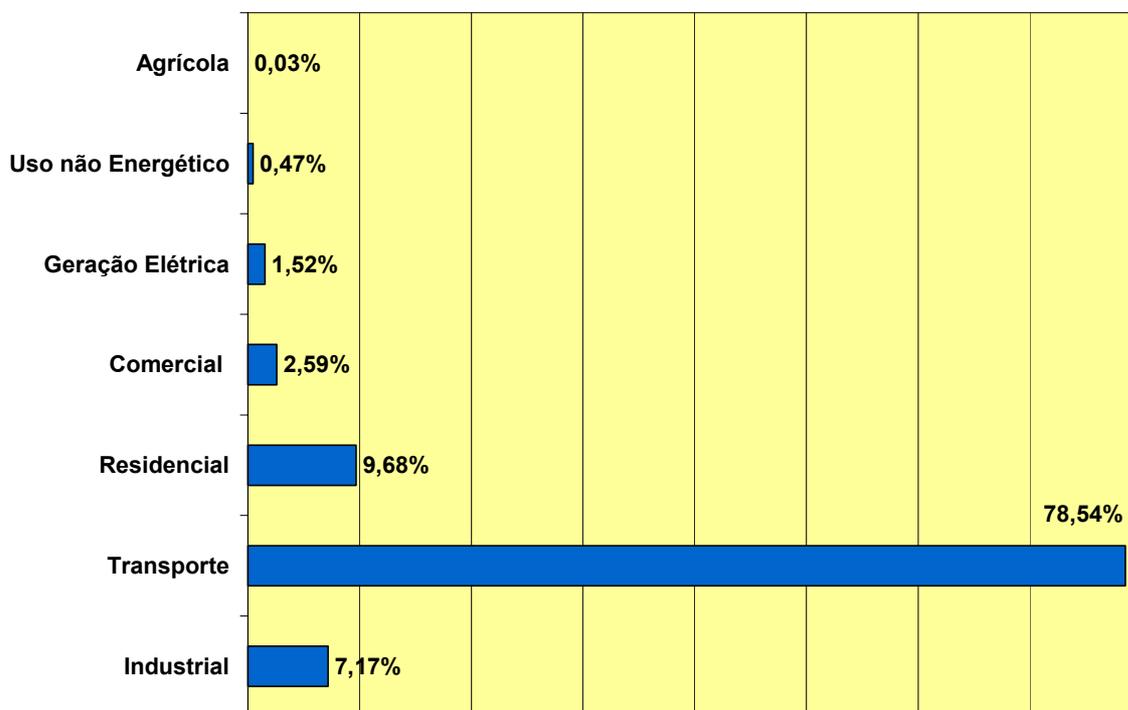
Gráfico 17. - Emissões do Uso de Combustíveis Fósseis pelo Município de São Paulo, em 2003 (Gg CO₂ eq).



Fonte: Elaboração Própria

Analisando-se o consumo de combustíveis pelos setores sócio-econômicos, observa-se a grande contribuição do setor de transportes nas emissões do Município de São Paulo. O Gráfico 18, a seguir, apresenta a participação dos setores.

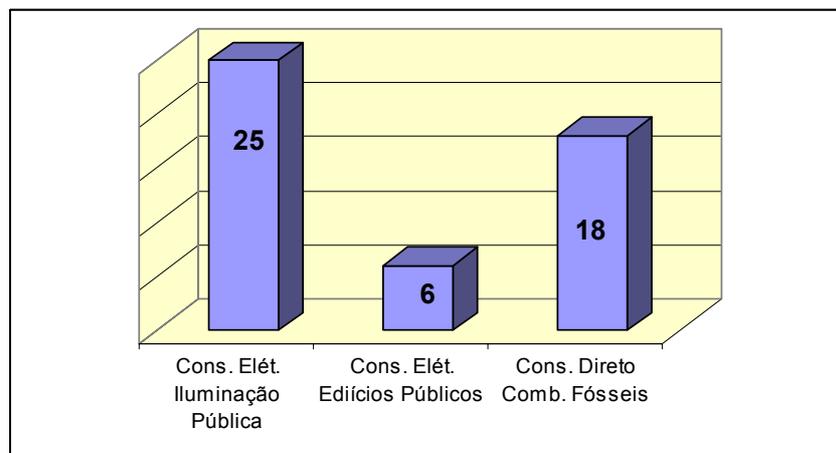
Gráfico 18. - Contribuição dos Setores Sócio-Econômicos nas Emissões do Uso de Energia pelo Município de São Paulo, em 2003 (%).



Fonte: Elaboração Própria

A participação das emissões da Prefeitura de São Paulo nas emissões totais do Município foi de pequena monta. O combustível mais consumido foi a gasolina automotiva, seguida do diesel. Em termos da participação relativa no consumo de combustíveis fósseis, o consumo de gasolina resultou em emissões correspondentes a 0,19% das emissões totais deste combustível, o diesel em 0,21%, o óleo combustível em 0,74% e o GLP em 0,20%. Em termos totais, a Prefeitura Municipal foi responsável pela emissão de 0,17% da emissão total destes combustíveis. No que se refere às emissões do consumo de energia elétrica pela Prefeitura Municipal, as emissões corresponderam a 2,4% das emissões totais. O Gráfico 19, a seguir, apresenta os valores absolutos, discriminando as emissões do consumo de energia elétrica por edifícios e por iluminação públicos.

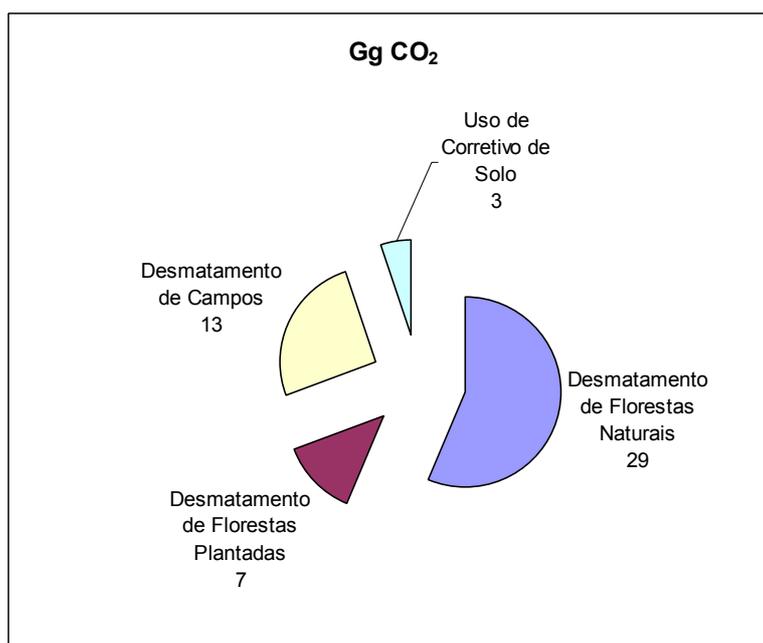
Gráfico 19. - Emissões de Responsabilidade da Prefeitura Municipal de São Paulo, em 2003 (Gg CO₂ eq)



Fonte: Elaboração Própria

As emissões de CO₂ da **Mudança de Uso do Solo e Florestas** compreenderam aquelas relativas ao desmatamento e ao uso de corretivos de solo. Juntas totalizaram 0,33% das emissões totais do Município de São Paulo, sendo que 0,31% foram devidas ao desmatamento e os restantes 0,02% ao uso de corretivos de solo. O Gráfico 20, a seguir, apresenta estas emissões em termos absolutos.

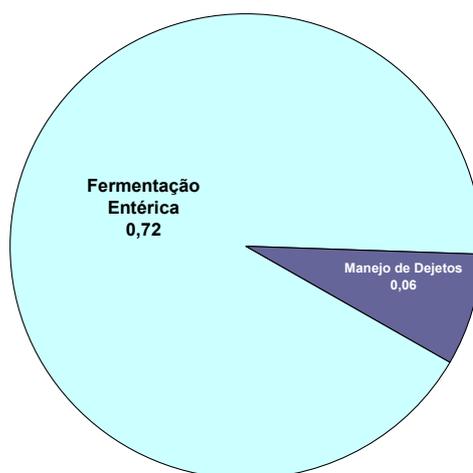
Gráfico 20. - Emissões da Mudança de Uso do Solo e Florestas no Município de São Paulo, em 2003 (Gg CO₂ eq).



Fonte: Elaboração Própria

O **Setor Agropecuário** contribuiu, minimamente, em relação ao total das emissões do Município de São Paulo. Neste setor estão contabilizadas as emissões de metano referentes à fermentação entérica e ao manejo de dejetos dos animais de criação, sendo que ao primeiro caso se atribuem 0,0046% das emissões totais e ao segundo 0,0004 %. O Gráfico 21, a seguir, apresenta os valores absolutos.

Gráfico 21. - Emissões do Setor Agropecuário no Município de São Paulo, em 2003 (Gg CO₂ eq).



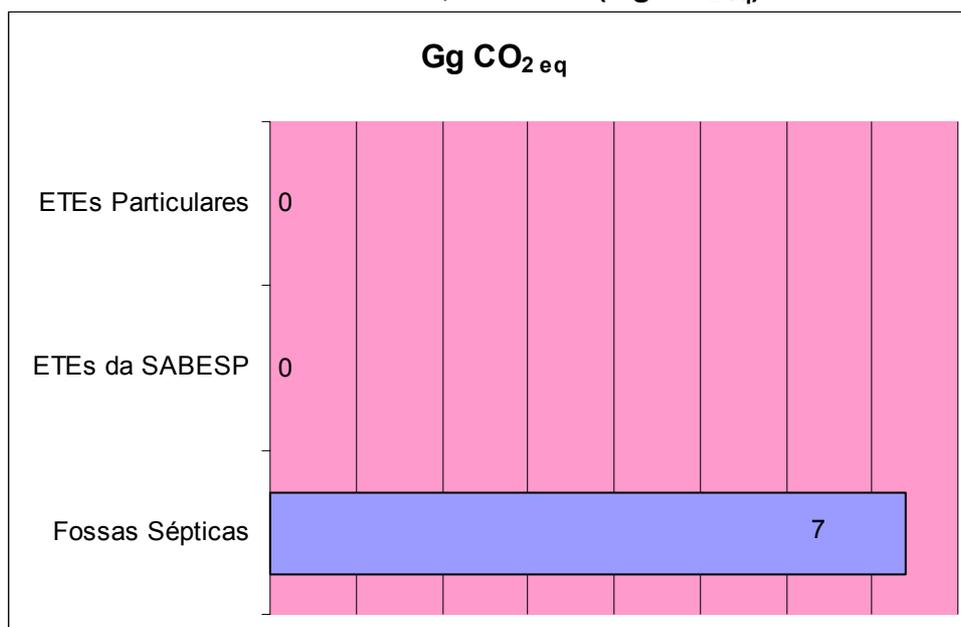
Fonte: Elaboração Própria

A **Disposição Final de Resíduos Sólidos** em São Paulo tem grande participação nas emissões de GEE no ano de 2003, já que à ocasião apenas 20% do metano gerado era queimado e transformado em CO₂, parcela que não tem impacto na mudança climática quando de origem renovável. As emissões de metano dos aterros sanitários em operação no Município, ocorreram nos aterros sanitários Bandeirantes e São João na proporção de 44,9% no primeiro e 55,1 no segundo totalizando 3.696 Gg de CO₂ equivalente no ano de 2003.

O **Tratamento de Esgotos Domésticos e Comerciais e de Efluentes Industriais** foi responsável apenas por 0,047% das emissões totais do Município de São Paulo. Como as estações de tratamento de esgotos (ETES), que também tratam efluentes industriais, queimam o biogás gerado no processo de tratamento, o metano é transformado em CO₂ e este, quando de origem renovável, não tem impacto na mudança climática, conforme mencionado anteriormente. Assim, as

emissões deste setor se referem àquelas provenientes de fossas sépticas apenas, já que não foram identificadas ETEs particulares com geração de metano. O Gráfico 22, a seguir, apresenta os valores absolutos.

Gráfico 22. - Emissões do Tratamento de Esgotos e Efluentes pelo Município de São Paulo, em 2003 (Gg CO₂ eq).



Fonte: Elaboração Própria

3.2 Emissões por tipo de Gás

Analisando-se as emissões de todas as fontes por tipo de gás, observa-se que o dióxido de carbono foi o gás mais relevante, responsável por 76,25% das emissões totais do Município de São Paulo no ano de 2003. O gás metano, por sua vez, contribuiu com 23,75%. A Tabela 39, a seguir, apresenta a distribuição das emissões destes gases por todas as fontes consideradas.

Tabela 39 - Emissões do Município de São Paulo, por gás e em GWP (CO₂ eq), em 2003.

| GEE | Fonte | Gg CH ₄ | Gg CO ₂ | Gg CO ₂ eq | % | |
|---------------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------|-----------------------|---------------|-------|
| Emissões de Metano | Resíduos Sólidos | 176,00 | | 3.696,00 | 23,48 | |
| | Esgotos e Efluentes | 0,35 | | 7,40 | 0,05 | |
| | Emissões Fugitivas | ver nota | | | | |
| | Agropecuário | 0,04 | | 0,78 | 0,00 | |
| | | fermentação ent. | 0,03 | | 0,72 | 0,00 |
| | | manejo de dejetos | 0,00 | | 0,06 | 0,00 |
| | Subtotal | 176,39 | | 3.704,18 | 23,54 | |
| Emissões de Dióxido de Carbono | Geração Elétrica | | 1.326,52 | 1.326,52 | 8,43 | |
| | | gás nat. (prod. local) | | 153,62 | 153,62 | 0,98 |
| | | Diesel (prod. local) | | 0,71 | 0,71 | 0,00 |
| | | GRID | | 1.172,19 | 1.172,19 | 7,45 |
| | Indústria | | | 745,63 | 745,63 | 4,74 |
| | | gás nat. | | 403,38 | 403,38 | 2,56 |
| | | GLP | | 76,51 | 76,51 | 0,49 |
| | | óleo comb. | | 139,03 | 139,03 | 0,88 |
| | | Diesel | | 126,72 | 126,72 | 0,81 |
| | Transporte Rodoviário | | | 7.648,84 | 7.648,84 | 48,60 |
| | | gasolina | | 3.938,00 | 3.938,00 | 25,02 |
| | | GNV | | 249,95 | 249,95 | 1,59 |
| | | Diesel | | 3.460,89 | 3.460,89 | 21,99 |
| | Transporte Aeroviário | | | 964,10 | 964,10 | 6,13 |
| | | QAV | | 954,50 | 954,50 | 6,06 |
| | | GAV | | 9,60 | 9,60 | 0,06 |
| | Residencial | | | 988,53 | 988,53 | 6,28 |
| | | gás nat. | | 117,46 | 117,46 | 0,75 |
| | | GLP | | 871,07 | 871,07 | 5,53 |
| | Comercial | | | 264,22 | 264,22 | 1,68 |
| | | gás nat. | | 94,73 | 94,73 | 0,60 |
| | | GLP | | 169,46 | 169,46 | 1,08 |
| | | óleo comb. | | 0,03 | 0,03 | 0,00 |
| | Uso não Energ. | Óleos Lubrificantes | | 44,85 | 44,85 | 0,29 |
| | Agropecuário | | | 2,84 | 2,84 | 0,02 |
| | | GLP | | 0,14 | 0,14 | 0,00 |
| | | Diesel | | 2,70 | 2,70 | 0,02 |
| | Uso do Solo | | | 51,38 | 51,38 | 0,33 |
| | | desmatamento | | 48,80 | 48,80 | 0,31 |
| | | correção de solo | | 2,58 | 2,58 | 0,02 |
| | Subtotal | | 12.034,06 | 12.034,06 | 76,46 | |
| | Total Geral | 176,39 | 12.034,06 | 15.738,24 | 100,00 | |

Nota: a Comgás informou não haver perdas de gás natural na distribuição deste energético e, portanto, as emissões fugitivas em São Paulo são consideradas nulas.

Fonte: Elaboração Própria

3.3 Comparação com Outros Inventários no Brasil

Para se ter um parâmetro da magnitude das emissões do Município de São Paulo, a Tabela 40 apresenta as emissões totais e as emissões decorrentes do uso de energia⁵⁵ obtidas neste Inventário para o Município de São Paulo, no Inventário Nacional (MCT, 2004) e no Inventário do Município do Rio de Janeiro (Centro Clima/COPPE/UFRJ 2001), bem como índices de emissões de GEE por habitante.

Tabela 40 - Comparação das Emissões Totais e Por Habitante de São Paulo, em GWP (t CO₂ eq)

| | Emissões Nacionais (1994) | Emissões do Mun. São Paulo (2003) | Emissões do Mun. Rio de Janeiro (1998) |
|---|----------------------------------|--|---|
| População | 157.290.000 | 10.710.997 | 5.633.407 |
| Emissões Totais (t CO₂ eq) | 1.289.406.000 | 15.738.241 | 12.798.000 |
| Emissões Totais Por Habitante (t CO₂ eq) | 8,20 | 1,47 | 2,27 |
| Emissões do Uso de Energia (t CO₂ eq) | 244.926.000 | 12.034.061 | 8.066.000 |
| Emissões por Habitante do Uso de Energia (t CO₂ eq) | 1,56 | 1,12 | 1,43 |

Nota: devido aos inventários referirem-se a anos distintos e distantes entre si, esta tabela é meramente ilustrativa

Fonte: Elaboração Própria

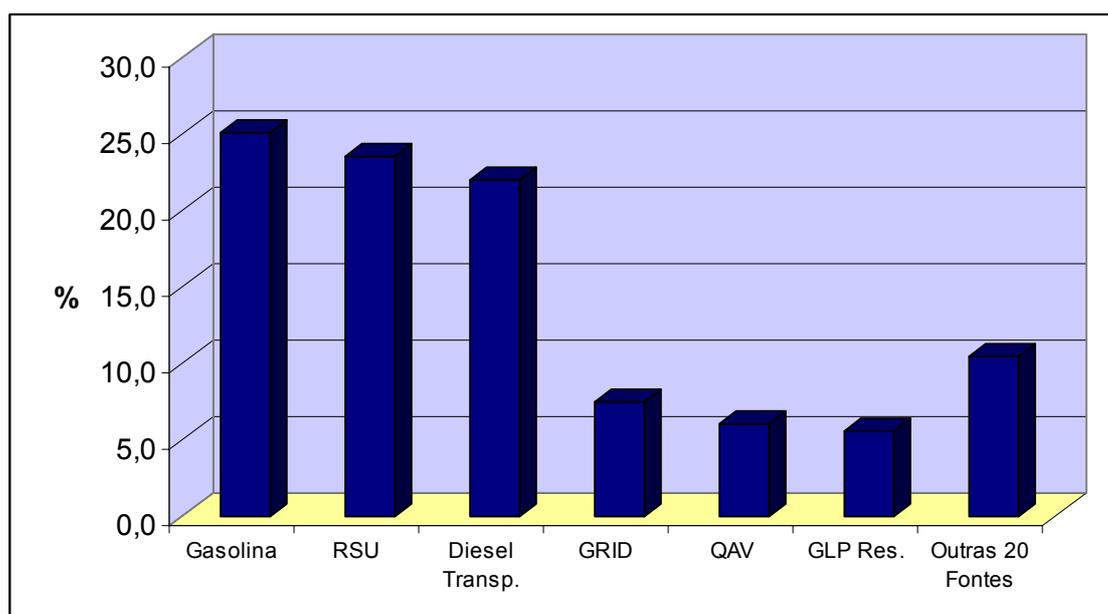
Tendo em vista serem inventários realizados em anos distintos e relativamente distantes entre si - refletindo, conseqüentemente, diferentes momentos de desenvolvimento tecnológico, econômico e social – tal comparação tem efeito meramente ilustrativo. Não se pode, portanto, concluir a partir da simples observação dos valores da Tabela 40, que o município de São Paulo encontra-se em posição muito favorável em termos de emissões de GEE com relação ao resto do país.

⁵⁵ Como as emissões de florestas são muito expressivas no Brasil, diferentemente do que ocorre em São Paulo, a tabela também apresenta os dados referentes, somente, ao uso de energia.

3.5 Conclusão

A análise do perfil das emissões de São Paulo revela que o setor de transportes foi o maior emissor de gases de efeito estufa do Município com a maior parte das emissões sendo proveniente da utilização de transporte individual (que queima primordialmente gasolina automotiva). O setor de Resíduos Sólidos foi o segundo maior emissor, seguido pelo setor de transporte coletivo e de cargas (que emprega na sua grande maioria óleo diesel). Estes setores são, portanto, aqueles onde deverá haver maiores oportunidades de intervenção do setor público com vistas a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. O Gráfico 23 a seguir, apresenta a participação das principais fontes de emissão no ano de 2003.

Gráfico 23. - Participação Relativa das Diversas Fontes de Emissão de GEE no Município de São Paulo, em 2003



Fonte: elaboração própria

Praticamente todas as emissões inventariadas de metano no Município de São Paulo são provenientes do gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos. Ressalte-se que estes valores deverão ser substancialmente reduzidos a partir de 2004, em função do projeto MDL de geração de energia elétrica a partir do gás do lixo que está em estágio de implantação no aterro Bandeirantes. As emissões do Aterro São João também deverão ser mitigadas tão logo projeto similar entre em

operação. Tendo em vista que os próximos aterros a serem implantados no Município contemplam a problemática do clima, prevendo a execução de projetos que mitiguem as emissões, pode-se concluir que São Paulo vem empreendendo esforços neste setor que contribui com cerca de quase $\frac{1}{4}$ das emissões inventariadas.

No que se refere às emissões de dióxido de carbono, o setor de transporte rodoviário desponta como o maior contribuinte ao problema climático. Entretanto, sua participação deverá a médio prazo ser reduzida em decorrência do advento dos veículos *flex fuel* para a frota de veículos leves ciclo otto e da mistura de biodiesel ao diesel mineral para a frota de veículos pesados.

A evolução das emissões do Município de São Paulo, considerando o passado recente e projeções em diferentes cenários de desenvolvimento, será o tema da próxima etapa do Projeto de Desenvolvimento de uma Política Pública sobre Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Município de São Paulo. Este Projeto será elaborado conjuntamente pela Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente de São Paulo (SVMA) e pelo o Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Centro Clima/Coppe/UFRJ).

Bibliografia:

ANP, 2004. Agência Nacional do Petróleo. Dados de venda de derivados de petróleo no Município de São Paulo, Comunicação pessoal.

Anais do 12º Simpósio de Pastagens. Tema: O Capim Colômbio – Publicado pela Fundação dos Estudos Agrários Luiz de Queirós (FEALQ/UNESP)

Boletim Conjuntura Energia, 2004. Disponível em www.energia.sp.gov.br (acesso em dezembro de 2004).

Clevelário Jr. et al, 1999. Variations in the Mass of Some Components of a Tropical Rainforest in a Small Watershed , Estudo do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, MG – BR

Centro Clima/COPPE/UFRJ, 2001. Inventário de Gases do Efeito Estufa do Município do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CETESB, 2002. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatórios de Referência - Emissões de Metano no Tratamento e na Disposição de Resíduos. www.cetesb.sp.gov.br (acesso em agosto 2004).

COMGÁS, 2004. Companhia de Gás de São Paulo. Evolução do Consumo de Gás Natural, Comunicação via fax em 12 de novembro de 2004 (OF-CI-0405 / 2004).

Contagem da População, 1996. Disponível em www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem (acesso em outubro de 2004).

DAC, 2005. Departamento de Aviação Civil. Estatísticas de Aeronave. Disponível em <http://www.dac.gov.br/estatisticas/graficos/estat26.htm>

EMBRAESP, 2001. Empresa Brasileira de Estudos do Patrimônio. Nota pertinente ao ano de 2001. Disponível em www.helbor.com.br (acesso em novembro de 2004).

EMBRAPA, 2004. www.cnpms.embrapa.gov.br

Fearnside, P.M., 2001. Efeitos do Uso da Terra e Manejo Florestal no Ciclo de Carbono na Amazônia Brasileira. In: Causa e Dinâmica do Desmatamento na Amazônia. Brasília.

Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, 2001. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica no Período 1995 - 2000.

GERBI Project, 2004. *Greenhouse Gas Emissions Reduction in Brazilian Industry – Baseline methods – establish regional CO₂ emissions coefficients in the GERBI target states (CE, RJ, SC, RS). Reported by Emilio Lèbre La Rovere (coordinator) (COPPE/UFRJ) for MARBEK Consultants Ltd. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.*

IBAMA, 2002. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. www.ibama.gov.br.

IBGE, 2000. Censo Demográfico.

ICLEI, 2004. *International Council for Local Environmental Initiatives.* Inventário de Emissões de Gases Efeito Estufa no Município de São Paulo.

INFORME GEO CIDADE DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2004. Disponível em http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/meio_ambiente/projetos_e_acoes/004

INFRAERO, 2005. Informações sobre a movimentação de aeroportos no Brasil. Disponível em http://www.infraero.gov.br/aero_uf.php?ufi=SP - (acesso em janeiro de 2005)

IPCC, 1994. *Intergovernmental Panel on Climate Change.* Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

IPCC, 1995. *Summary for Policymakers. Climate Change 1995 – Economic and Social Dimensions of Climate Change.* In: Cambridge University Press, UK.

IPCC, 1996. *Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook and Manual.*

SVMA,IPT, 2004. Instituto de Pesquisas Tecnológicas - GEO Cidade de São Paulo – Versão Preliminar, Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente, São Paulo.

Jordão e Pessoa, 1995. Tratamentos de Esgotos Domésticos – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária.

Junta Comercial do Estado de São Paulo, 2004. Disponível em www.jucesp.sp.gov.br (acesso em dezembro de 2004).

Laurance, W., Fearnside, P. et al ,1999. *Relationship Between Soils and Amazon Forest Biomass: a land-scape study in Forest Ecology and Management* 118: 127 – 138.

LIMPURB, 2004. Caracterização Gravimétrica e Físico-Química dos Resíduos Sólidos Domiciliares do Município de São Paulo.

Lopes, A. S; Silva, M de C; Guilherme, L. R. G. ,1991. Boletim Técnico nº1 Acidez do Solo e Calagem. Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA). São Paulo, SP.

Martinelli, Moreira et al. 1994. Incertezas Associadas às Estimativas de Biomassa em Florestas Tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia. In Anais do Seminário Emissão X Seqüestro de CO₂ – Cia. Vale do Rio Doce.

MCT¹, 2002. Inventário Brasileiro das Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal - Relatórios de Referência. Brasília, DF, http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/inventar.htm

MCT², 2002. Primeiro Relatório Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Emissões de Dióxido de Carbono por Mudanças nos Estoques de Florestas Plantadas. Disponível em www.mct.gov.br.

MCT, 2004. Inventário Nacional de Emissões de Gases Estufa, Comunicação Inicial do Brasil. Disponível em www.mct.gov.br

MENDES, F. E. (2004). Avaliação de Programas de Controle de Poluição Atmosférica por Veículos Leves No Brasil, Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

MME, 2004. Balanço Energético Nacional. In: MME, ano base 2003, Brasília, DF.

PAM/IBGE, 2004. Pesquisa Agropecuária Municipal - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - www.ibge.gov.br.

PMSP, 2004. <http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/infraestruturaurbana>.

PPM/IBGE, 2004. Pesquisa Pecuária Municipal - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - www.ibge.gov.br.

Romero J.F.L; Bermann, C, 2004. Avaliação do Licenciamento Ambiental das Usinas Termoelétricas a Gás Natural no Estado de São Paulo. II Encontro da Associação Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, Indaiatuba, São Paulo

SABESP, 2004. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Relatório para Inventário de Emissões Atmosféricas do Município de São Paulo. Unidade de Negócio de Tratamento de Esgotos da Região Metropolitana, através do Departamento de Desenvolvimento e Controle Operacional mimeo, agosto de 2004.

SABESP, 2005. www.sabesp.com.br

Secretaria Municipal de Gestão Pública, 2005.

<http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretarias>

Secretaria Municipal de Infra-estrutura Urbana e Obras, 2004. Informações sobre Iluminação Pública. <http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretarias>

SVMA, 2002. Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente - Atlas Ambiental do Município de São Paulo. São Paulo: SVMA/PMSP/SEMPLA.

SVMA, IPT, 2004. Geo Cidade de São Paulo: Panorama do Meio Ambiente Urbano. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo. Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente; Brasília - PNUMA.

SENAC - São Paulo, 2004. Disponível em www.sp.senac.br. (acesso em novembro de 2004).

SERHS, 2004. Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento do Estado de São Paulo. Dados de consumo de energia referentes ao ano de 2003. Disponível em www.energia.sp.gov.br (acesso em setembro de 2004).

SZWARCFITER, L. (2004). Opções para o aprimoramento do controle de emissões de poluentes atmosféricos por veículos leves no Brasil: uma avaliação do potencial de programas de inspeção e manutenção e de renovação acelerada da frota, Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Tanizaki, K. 2000. Impacto do Uso do Solo no Estoque e Fluxo de Carbono na Área de Domínio da Mata Atlântica: Estudo de caso, Estado do Rio de Janeiro. Departamento de Pós- graduação de Geoquímica Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Tese de Doutorado).

Urban Systems, 2000. Disponível em www.urbansystems.com.br (acessado em janeiro de 2004).

Sítios consultados na internet:

<http://www.cati.sp.gov.br/>

<http://www.ibama.gov.br/Mata Atlântica>

<http://www.ipcc.org>.

<http://www.mct.gov.br>

<http://www.mma.gov.br>

ANEXO I:

TABELAS 1, 2, 3, 4, 5 e 6 COM CÁLCULOS INTERMEDIÁRIOS DO INVENTÁRIO TOP-DOWN DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS NO MSP

Tabela 1.- VENDAS DE COMBUSTÍVEIS NO MSP (UNIDADES ORIGINAIS)

| | COMBUSTÍVEIS | INDUSTRIAL | TRANSPORTE | RESIDENCIAL | COMERCIAL | GERAÇÃO ELÉTRICA | USO NÃO ENERGÉTICO | AGRÍCOLA |
|-------|---------------------|-------------|---------------|-------------|------------|------------------|--------------------|-----------|
| LITRO | AEH | - | 301.869.152 | - | - | - | - | - |
| KG | Asfaltos | - | - | - | - | - | 63.870.267 | - |
| LITRO | Gasolina automotiva | - | 2.199.703.378 | - | - | - | - | - |
| M³ | GAS NATURAL | 307.712.156 | 190.673.367 | 89.599.317 | 72.260.805 | 117.185.949 | - | - |
| LITRO | GAV | - | 4.250.194 | - | - | - | - | - |
| KG | GLP | 27.374.513 | - | 311.657.176 | 60.629.713 | - | - | 50.889 |
| KG | Óleo combustível | 44.787.978 | - | - | 10.090 | - | - | - |
| LITRO | Óleo diesel | 46.967.030 | 1.282.744.462 | - | - | 263.700 | - | 1.000.000 |
| KG | Oleos lubrificantes | - | - | - | - | - | 32.657.575 | - |
| LITRO | QAV | - | 383.192.829 | - | - | - | - | - |

Fontes: ANP (vendas de combustíveis no ano de 2003 para empresas com CNPJ no Município de São Paulo) e COMGÁS (consumos de gás natural por setor, em resposta ao ofício 986/SVMA-G/2004 de 27/09/04)

consumos = vendas

Tabela 2.- CONSUMO DE ENERGIA EM TJ (CC)

| COMBUSTÍVEIS | INDUSTRIAL | TRANSPORTE | RESIDENCIAL | COMERCIAL | GERAÇÃO ELÉTRICA | USO NÃO ENERGÉTICO | AGRÍCOLA |
|---------------------|------------|------------|-------------|-----------|------------------|--------------------|----------|
| AEH | - | 6.446 | - | - | - | - | - |
| Asfaltos | - | - | - | - | - | 2.618 | - |
| Gasolina automotiva | - | 55.314 | - | - | - | - | - |
| GAS NATURAL | 11.337 | 7.025 | 3.301 | 2.662 | 4.318 | - | - |
| GAV | - | 136 | - | - | - | - | - |
| GLP | 1.273 | - | 14.496 | 2.820 | - | - | 2 |
| Óleo combustível | 1.798 | - | - | 0 | - | - | - |
| Óleo diesel | 1.668 | 45.543 | - | - | 9 | - | 36 |
| Oleos lubrificantes | - | - | - | - | - | 1.384 | - |
| QAV | - | 13.188 | - | - | - | - | - |

Fonte: elaboração própria

Tabela 3.- QUANTIDADE DE CARBONO EM TONELADAS DE CARBONO (QC)

| COMBUSTÍVEIS | INDUSTRIAL | TRANSPORTE | RESIDENCIAL | COMERCIAL | GERAÇÃO ELÉTRICA | USO NÃO ENERGÉTICO | AGRÍCOLA |
|---------------------|------------|------------|-------------|-----------|------------------|--------------------|----------|
| AEH | - | 95.461 | - | - | - | - | - |
| Asfaltos | - | - | - | - | - | 57.586 | - |
| Gasolina automotiva | - | 1.045.426 | - | - | - | - | - |
| GAS NATURAL | 173.461 | 107.485 | 50.508 | 40.734 | 66.059 | - | - |
| GAV | - | 2.566 | - | - | - | - | - |
| GLP | 21.900 | - | 249.325 | 48.504 | - | - | 41 |
| Óleo combustível | 37.944 | - | - | 9 | - | - | - |
| Oleo diesel | 33.684 | 919.961 | - | - | 189 | - | 717 |
| Oleos lubrificantes | - | - | - | - | - | 27.688 | - |
| QAV | - | 257.162 | - | - | - | - | - |

Fonte: elaboração própria

Tabela 4.- QUANTIDADE DE CARBONO FIXADO EM TONELADAS DE CARBONO (QC)

| COMBUSTÍVEIS | INDUSTRIAL | TRANSPORTE | RESIDENCIAL | COMERCIAL | GERAÇÃO ELÉTRICA | USO NÃO ENERGÉTICO | AGRÍCOLA |
|---------------------|------------|------------|-------------|-----------|------------------|--------------------|----------|
| AEH | - | 95.461 | - | - | - | - | - |
| Asfaltos | - | - | - | - | - | 57.586 | - |
| Gasolina automotiva | - | - | - | - | - | - | - |
| GAS NATURAL | 57.242 | 35.470 | 16.668 | 13.442 | 21.799 | - | - |
| GAV | - | - | - | - | - | - | - |
| GLP | - | - | - | - | - | - | - |
| Óleo combustível | - | - | - | - | - | - | - |
| Oleo diesel | - | - | - | - | - | - | - |
| Oleos lubrificantes | - | - | - | - | - | 13.844 | - |
| QAV | - | - | - | - | - | - | - |

Fonte: elaboração própria

Tabela 5.- EMISSÕES LÍQUIDAS DE CARBONO EM tc (ELC)

| COMBUSTÍVEIS | INDUSTRIAL | TRANSPORTE | RESIDENCIAL | COMERCIAL | GERAÇÃO ELÉTRICA | USO NÃO ENERGÉTICO | AGRÍCOLA |
|---------------------|------------|------------|-------------|-----------|------------------|--------------------|----------|
| AEH | - | - | - | - | - | - | - |
| Asfaltos | - | - | - | - | - | - | - |
| Gasolina automotiva | - | 1.045.426 | - | - | - | - | - |
| GAS NATURAL | 116.219 | 72.015 | 33.840 | 27.292 | 44.260 | - | - |
| GAV | - | 2.566 | - | - | - | - | - |
| GLP | 21.900 | - | 249.325 | 48.504 | - | - | 41 |
| Óleo combustível | 37.944 | - | - | 9 | - | - | - |
| Óleo diesel | 33.684 | 919.961 | - | - | 189 | - | 717 |
| Oleos lubrificantes | - | - | - | - | - | 13.844 | - |
| QAV | - | 257.162 | - | - | - | - | - |

Fonte: elaboração própria

Tabela 6.- EMISSÕES REAIS DE CO₂ EM TONELADAS DE CO₂ EQUIVALENTE (ERCO₂)

| COMBUSTÍVEIS | INDUSTRIAL | TRANSPORTE | RESIDENCIAL | COMERCIAL | GERAÇÃO ELÉTRICA | USO NÃO ENERGÉTICO | AGRÍCOLA |
|---------------------|------------|------------|-------------|-----------|------------------|--------------------|----------|
| AEH | - | - | - | - | - | - | - |
| Asfaltos | - | - | - | - | - | - | - |
| Gasolina automotiva | - | 3.833.230 | - | - | - | - | - |
| GAS NATURAL | 426.135 | 264.054 | 124.082 | 100.070 | 162.285 | - | - |
| GAV | - | 9.409 | - | - | - | - | - |
| GLP | 80.298 | - | 914.193 | 177.847 | - | - | 149 |
| Óleo combustível | 139.129 | - | - | 31 | - | - | - |
| Óleo diesel | 123.508 | 3.373.192 | - | - | 693 | - | 2.630 |
| Oleos lubrificantes | - | - | - | - | - | 50.761 | - |
| QAV | - | 942.926 | - | - | - | - | - |

Fonte: elaboração própria

ANEXO II:

TABELA 1.- EMISSÕES ATERRO BANDEIRANTES

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | |
|------------------------|---|-----------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|---|---|--|--|--|--|---|--|
| | Total anual de RSU disposto em DRSU (t RSU) | Fator de Correção do Metano (FCM) | Fração de Carbono Orgânico Degradável (CDO) no RSU | Fração da CDO que Realmente Degrada | Fração de Carbono emitida como Metano | Taxa de Conversão | Taxa de Geração Potencial de Metano por unidade de lixo (t CH ₄ /Gg RSU) | Taxa de Geração Efetiva de Metano por Unidade de Lixo (t CH ₄ /Gg RSU) | Geração Bruta Anual de Metano (t CH ₄) | Metano Recuperado por ano (t CH ₄) (c) | Geração Anual Líquida de Metano (t CH ₄) (d) | Um menos fator de correção da oxidação do metano | Emissões Líquidas Anuais de Metano (t CH ₄) (d) | Emissões Líquidas Anuais de Metano Convertido em Dióxido de Carbono Equivalente (t CO ₂ eq) |
| | DADO COLETADO | DEFAULT | DEFAULT OU CALCULADO | DEFAULT | DEFAULT | (16/12) | (CxDxExF) | (BxG) | (AxH) | Informado ou Proporcional face ao todo | (I - J) | (I - 0) | (KxL) | (Mx21) |
| 2002 ATERROS (a) | 1,569,500.00 | 1.0 | 0.137 | 0.77 | 0.5 | 1.333 | 0.0704 | 0.0704 | 110,530.8 | 22,106.2 | 88,424.6 | 1.0 | 88,424.6 | 1,856,917.1 |

Fonte: elaboração própria

TABELA 2.- EMISSÕES ATERRO SÃO JOÃO

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | |
|------------------------|---|-----------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|---|--|--|--|--|--|---|--|
| | Total anual de RSU disposto em DRSU (t RSU) | Fator de Correção do Metano (FCM) | Fração de Carbono Orgânico Degradável (CDO) no RSU | Fração da CDO que Realmente Degrada | Fração de Carbono emitida como Metano | Taxa de Conversão | Taxa de Geração Potencial de Metano por unidade de lixo (t CH ₄ /Gg RSU) | Taxa de Geração Efetiva de Metano por Unidade de Lixo(t CH ₄ /Gg RSU) | Geração Bruta Anual de Metano (t CH ₄) | Metano Recuperado por ano (t CH ₄) (c) | Geração Anual Líquida de Metano (t CH ₄) (d) | Um menos fator de correção da oxidação do metano | Emissões Líquidas Anuais de Metano (t CH ₄) (d) | Emissões Líquidas Anuais de Metano Convertido em Dióxido de Carbono Equivalente (t CO ₂ eq) |
| | DADO COLETADO | DEFAULT | DEFAULT OU CALCULADO | DEFAULT | DEFAULT | (16/12) | (Cx DxExF) | (BxG) | (AxH) | Informado ou Proporcional face ao todo | (I - J) | (1 - 0) | (KxL) | (Mx21) |
| 2002 ATERROS (a) | 1,569,500.00 | 1.0 | 0.137 | 0.77 | 0.5 | 1.333 | 0.0704 | 0.0704 | 110,530.8 | 22,106.2 | 88,424.6 | 1.0 | 88,424.6 | 1,856,917.1 |

Fonte: elaboração própria

Índice de Tabelas:

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - O Poder de Aquecimento Global dos GEE e suas Fontes Principais | 9 |
| Tabela 2 - Países Incluídos no Anexo I da Convenção e Respectivas Metas de Redução de Emissões Estabelecidas no Anexo B do Protocolo de Quioto | 11 |
| Tabela 3 - Estruturação do Inventário de Emissões do Município de São Paulo – Setor de Energia. | 19 |
| Tabela 4 - População, Domicílios e Número de Pessoas por Domicílio – Município de São Paulo, 1991 a 2000 | 23 |
| Tabela 5 - Favelas do Município de São Paulo, 1980 – 2000 | 25 |
| Tabela 6 - Consumo Setorial de Energia Elétrica, em 2003* | 29 |
| Tabela 7 - Fatores de Conversão para tEP Médio em PCI de cada Combustível..... | 38 |
| Tabela 8 - Fatores de Emissão de Carbono | 39 |
| Tabela 9 - Frações de Carbono Estocado (ou fixado) | 40 |
| Tabela 10 - Frações de Carbono Oxidado | 41 |
| Tabela 11 - Consumo Aparente de Combustível por Setores, em 2003. | 44 |
| Tabela 12 - Quantidade de Energia Consumida por Combustível por Setor [TJ], em 2003. | 45 |
| Tabela 13 - Emissão de CO ₂ equivalente [tCO ₂], em 2003 | 48 |
| Tabela 14 - Fatores de emissão de CO ₂ para o Sistema Interligado Sul/Sudeste | 52 |
| Tabela 15 - Consumo de Eletricidade em GWh por Setor em 2003..... | 54 |
| Tabela 16 - Emissões Associadas ao Consumo de Eletricidade em tgCO ₂ eq por setor em 2003 | 55 |
| Tabela 17 -Emissões Associadas à Geração de Energia Elétrica Dentro do Município de São Paulo, em 2003 | 57 |
| Tabela 18 - Consumo de Combustíveis e Emissões de CO ₂ eq Associados ao Consumo de Combustíveis Fósseis pela Administração Municipal de São Paulo, em 2003 | 59 |
| Tabela 19 - Emissões de CO ₂ eq Devido ao Consumo de Eletricidade da Administração Municipal de São Paulo | 59 |
| Tabela 20 - Emissões Associadas ao Consumo de Eletricidade e de Combustíveis em Gg CO ₂ eq, em 2003..... | 60 |
| Tabela 21 - Variação de Área de Classes de Uso e Ocupação do Solo no Município de São Paulo (período entre 1997 e 2001) | 68 |
| Tabela 22 - Redução da Cobertura Vegetal por Classes de Cobertura no Município de São Paulo (entre 1997 e 2001)..... | 69 |
| Tabela 23 - Emissão pela Remoção da Cobertura Vegetal Estimada para 2003 | 73 |
| Tabela 24 - Emissão pelo Uso de Corretivo, em 2003 | 77 |
| Tabela 25 - Fatores de Emissão de CH ₄ por Fermentação Entérica..... | 81 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 26 - Emissões de CH ₄ por Fermentação Entérica, em 2003..... | 81 |
| Tabela 27 - Fatores de Emissão de CH ₄ por Manejo de Dejetos de Animais..... | 83 |
| Tabela 28 - Emissões de CH ₄ por Manejo de Dejetos em 2003..... | 83 |
| Tabela 29 - Quantidade Anual dos Resíduos Sólidos Urbanos e Tipos de Disposição..... | 88 |
| Tabela 30 - Composição do Lixo Urbano do Município de São Paulo (gravimetria de 2003)..... | 90 |
| Tabela 31 - Carbono Organicamente Degradável..... | 90 |
| Tabela 32 - Emissões de Metano em tCO ₂ equivalente..... | 91 |
| Tabela 33 - Produção de Metano em Sistemas de Tratamento de Esgotos..... | 94 |
| Tabela 34 - Dados Gerais sobre Esgoto na Região Metropolitana de São Paulo..... | 95 |
| Tabela 35 - Volume de Biogás Gerado pelas ETEs que Atendem o Município de São Paulo (entre Julho de 2003 e Junho de 2004)..... | 101 |
| Tabela 36 - Estimativa de Produção de Carga Orgânica, em 2003..... | 104 |
| Tabela 37 - Fator de Emissão de Metano..... | 105 |
| Tabela 38 - Estimativa de Emissões de Esgoto Doméstico e Comercial, em 2003..... | 105 |
| Tabela 39 - Emissões do Município de São Paulo, por gás e em GWP (CO ₂ eq), em 2003..... | 116 |
| Tabela 40 - Comparação das Emissões Totais e Por Habitante de São Paulo, em GWP (t CO ₂ eq)..... | 117 |

Índice de Tabela - ANEXO:

ANEXO I:

| | |
|--|-----|
| Tabela 1.- VENDAS DE COMBUSTÍVEIS NO MSP (UNIDADES ORIGINAIS)..... | 125 |
| Tabela 2.- CONSUMO DE ENERGIA EM TJ (CC)..... | 125 |
| Tabela 3.- QUANTIDADE DE CARBONO EM TONELADAS DE CARBONO (QC)..... | 126 |
| Tabela 4.- QUANTIDADE DE CARBONO FIXADO EM TONELADAS DE CARBONO (QC)..... | 126 |
| Tabela 5.- EMISSÕES LÍQUIDAS DE CARBONO EM tc (ELC) | 127 |
| Tabela 6.- EMISSÕES REAIS DE CO ₂ EM TONELADAS DE CO ₂ EQUIVALENTE (ERCO ₂)..... | 127 |

ANEXO II:

| | |
|---|-----|
| Tabela 1.- Emissões Aterro Bandeirantes | 128 |
| Tabela 2.- Emissões Aterro São João | 129 |

Índice de Gráficos:

| | |
|---|-----|
| Gráfico 1. -Consumo Mensal per Capita de Energia Elétrica, em 2003. | 30 |
| Gráfico 2. -Participação dos Setores na Quantidade de Energia Consumida, em 2003..... | 46 |
| Gráfico 3. -Quantidade de Energia Consumida por Combustível, em 2003..... | 47 |
| Gráfico 4. -Participação dos Setores nas Emissões de CO ₂ , em 2003..... | 49 |
| Gráfico 5. -Participação dos Combustíveis nas Emissões de CO ₂ , em 2003..... | 50 |
| Gráfico 6. -Consumo de Energia Elétrica Produzido no MSP em Relação à Energia importada do Sistema Interligado S/SE..... | 54 |
| Gráfico 7. -Emissões de GEE do Uso da Energia Elétrica por Setor, em 2003..... | 55 |
| Gráfico 8. -Emissões Associadas ao Consumo de Energia Elétrica – Produção Local e Importação..... | 56 |
| Gráfico 9. -Participação das Emissões Associadas ao Consumo de Eletricidade e de Combustíveis no Total de Emissões de Responsabilidade do MSP, em 2003..... | 61 |
| Gráfico 10. -Emissão Relativa por Classe de Cobertura Vegetal, em 2003..... | 74 |
| Gráfico 11. -Emissão Relativa por Uso do Solo e Floresta no Município de São Paulo, em 2003..... | 78 |
| Gráfico 12. -Emissões de CO ₂ equivalente (Gg CO ₂ eq.) da Fermentação Entérica e do Manejo de Dejetos, em 2003..... | 84 |
| Gráfico 13. -Emissões Relativas do Setor Agropecuário por Tipo de Rebanho (%), em 2003..... | 85 |
| Gráfico 14. -Síntese das Emissões de Resíduos Sólidos Urbanos, em 2003 (expressas em metano e dióxido de carbono equivalente)..... | 92 |
| Gráfico 15. -Emissões do Município de São Paulo, por Fonte, em 2003. (Gg CO ₂ eq)..... | 109 |
| Gráfico 16. -Emissões do Uso de Energia pelo Consumo Direto de Combustíveis Fósseis e Energia Elétrica pelo Município de São Paulo, em 2003 (Gg CO ₂ eq)..... | 110 |
| Gráfico 17. -Emissões do Uso de Combustíveis Fósseis pelo Município de São Paulo, em 2003 (Gg CO ₂ eq). | 111 |
| Gráfico 18. -Contribuição dos Setores Sócio-Econômicos nas Emissões do Uso de Energia pelo Município de São Paulo, em 2003..... | 112 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 19. -Emissões de Responsabilidade da Prefeitura Municipal de São Paulo, em 2003 (Gg CO ₂ eq)..... | 113 |
| Gráfico 20. -Emissões da Mudança de Uso do Solo e Florestas no Município de São Paulo, em 2003 (Gg CO ₂ eq). | 113 |
| Gráfico 21. - Emissões do Setor Agropecuário no Município de São Paulo, em 2003 (Gg CO ₂ eq). | 114 |
| Gráfico 22. -Emissões do Tratamento de Esgotos e Efluentes pelo Município de São Paulo, em 2003 (Gg CO ₂ eq). | 115 |

Índice de Figuras:

| | |
|--|----|
| Figura 1 -O Efeito Estufa | 8 |
| Figura 2 -Uso e Ocupação do Solo no Município de São Paulo em 2001..... | 67 |
| Figura 3 -Localização dos Aterros Sanitários em Operação no Município de São Paulo em 2003..... | 87 |
| Figura 4 -Sistemas Principais de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo. | 96 |
| Figura 5 -Processo de Tratamento das ETEs na RMSP. | 97 |

Índice de Fluxogramas:

| | |
|---|----|
| Fluxograma 1.- Fluxo de Emissões de CO ₂ e CH ₄ pelas Várias Fontes acima Consideradas | 15 |
| Fluxograma 2.bordagem Top Down para Inventários de Emissões | 35 |