

SP/P5510/R0832/2011 Rev.1

**Relatório Técnico - Produto 1: Análise de 4 inventários de GEE municipais e alterações da metodologia do IPCC**

São Paulo - SP

**PMSP / SVMA**

Janeiro/2012

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

PROGRAMA SBQ N<sup>o</sup> 007/2011

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

Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP

Banco Mundial

Washington, D.C.

PRODUTO 1

RELATÓRIO TÉCNICO DE ANÁLISE DE 4 INVENTÁRIOS DE GEE  
MUNICIPAIS E ALTERAÇÕES DA METODOLOGIA DO IPCC

Equipe

Ambrogi, Vinicius

Castro, João

Moeri, Ana Cristina

Nogueira, Fernando

Ohata, Jaime (coordenador executivo)

Rodrigues, Délcio

Tachibana, Erika

Vilela, Marcio Maia - Dr. (coordenador técnico)

INSTITUTO EKOS BRASIL

&

GEOKLOCK CONSULTORIA E ENGENHARIA AMBIENTAL

**FIGURAS**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Localização do Município de Belo Horizonte .....          | 21 |
| Figura 2 – Localização da Zona Metropolitana do Vale do México ..... | 24 |
| Figura 3 – Localização da Região Metropolitana de Londres .....      | 27 |
| Figura 4 – Localização do Município de Nova Iorque .....             | 29 |
| Figura 5 – Localização do Município São Paulo .....                  | 32 |

**QUADROS**

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 – Setores de atividade do IPCC de 1996 e de 2006 .....                              | 14 |
| Quadro 2 – Principais alterações dos guias IPCC 2006 e 1996, nos setores de atividades ..... | 14 |
| Quadro 3 – Comparativo entre as diretrizes do GHG <i>Protocol</i> , IEAP E LGOP .....        | 17 |
| Quadro 4 – Descrição dos Princípios da Norma ABNT ISO 14064-1:2007 .....                     | 34 |
| Quadro 5 – Comparação dos Inventários de GEE Municipais .....                                | 35 |

**ABREVIATURAS E SIGLAS**

|          |   |
|----------|---|
| ANTP     | Associação Nacional de Transportes Públicos                           |
| CET      | Companhia de Engenharia de Tráfego                                    |
| COP      | Conferência das Partes  |
| CORINAIR | <i>Core Inventory Air Emissions</i>                                   |
| DECC     | <i>Department for Energy and Climate Change</i>                       |
| DEFRA    | <i>Department for Environment, Food and Rural Affairs</i>             |
| EMEP     | <i>European Monitoring and Evaluation Programme</i>                   |
| ETE      | Estação de Tratamento de Efluentes                                    |
| FOD      | <i>First Order Decay</i>  |
| GEE      | Gases de Efeito Estufa  |
| GEF      | <i>Global Environment Facility</i>                                    |
| GHG      | <i>Greenhouse Gas</i>   |
| GLA      | <i>Greater London Authority</i>                                       |
| GLP      | Gás Liquefeito de Petróleo  |
| GTP      | <i>Global Temperature Potential</i>                                   |
| GWP      | <i>Global Warming Potential</i>                                       |
| HFCs     | Hidrofluorcarbonos  |
| ICLEI    | <i>Local Governments for Sustainability</i>                           |
| IEAP     | <i>International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol</i> |
| IPCC     | <i>International Panel on Climate Change</i>                          |
| ISO      | <i>International Organization for Standardization</i>                 |
| LAEI     | <i>London Atmospheric Emissions Inventory</i>                         |
| LCD      | <i>Liquid Crystal Display</i>   |
| LEGGI    | London Energy and Greenhouse Gas Inventory                            |
| LGOP     | <i>Local Government Operations Protocol</i>                           |
| NMVOC    | <i>Non-methane Volatile Organic Compounds</i>                         |
| ONG      | Organização Não Governamental   |
| PAG      | Potencial de Aquecimento Global                                       |
| PFCs     | Perfluorcarbonos  |
| SMT      | Secretaria Municipal de Transporte                                    |
| STAQ     | <i>Sustainable Transport and Air Quality</i>                          |
| SVMA     | Secretaria do Verde e do Meio Ambiente                                |

|        |  |
|--------|--|
| UNFCCC | <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> |
| US EPA | <i>United States Environmental Protection Agency</i>         |
| WBCSD  | World Business Council for Sustainable Development           |
| WRI    | World Resource Institute                                     |
| ZMVM   | Zona Metropolitana do Vale do México                         |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. APRESENTAÇÃO .....  | 5  |
| 2. ANÁLISE COMPARATIVA DAS METODOLOGIAS DO IPCC DE 1996 E DE 2006..... | 8  |
| 2.1. Energia .....   | 8  |
| 2.2. Processos Industriais e Uso de Outros Produtos .....              | 10 |
| 2.3. Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra .....                | 11 |
| 2.4. Resíduos .....  | 12 |
| 2.5. Resumo das Principais Alterações do IPCC de 1996 e de 2006.....   | 14 |
| 3. OUTRAS METODOLOGIAS DE INVENTÁRIO DE GEE.....                       | 16 |
| 4. ANÁLISE DE INVENTÁRIOS DE GEE DE 4 MUNICÍPIOS .....                 | 20 |
| 4.1.1. Município de Belo Horizonte – Brasil .....                      | 21 |
| 4.1.2. Zona Metropolitana do Vale do México – México.....              | 24 |
| 4.1.3. Região Metropolitana de Londres – Inglaterra .....              | 26 |
| 4.1.4. Município de Nova Iorque – Estados Unidos .....                 | 29 |
| 4.1.5. Município de São Paulo – Brasil.....                            | 32 |
| 4.1.6. Quadro Comparativo.....   | 34 |
| 5. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES .....                                 | 38 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                     | 41 |

### ANEXOS\*

ANEXO 1 - Inventário Municipal de Emissões de Gases de Efeito Estufa (Belo Horizonte)

ANEXO 2 - Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero y carbón negro de la ZMVM

ANEXO 3 - London Energy and Greenhouse Gas Inventory 2008 Methodology Manual.

ANEXO 4 - Inventory of New York City Greenhouse Gas Emissions

*\*(disponível na versão digital)*

## 1. APRESENTAÇÃO

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

No âmbito do referido Programa, a Prefeitura do Município de São Paulo participa através da Secretaria Municipal de Transporte – SMT e sua Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, e da Secretaria do Verde e do Meio Ambiente – SVMA, cujos funcionários integram as equipes formadas para acompanhar a execução dos trabalhos contratados, em conjunto com a ANTP. Para isto, estas instituições lavraram Convênio entre si<sup>1</sup>, objetivando a realização das ações previstas no Programa STAQ.

Partindo do princípio de que as cidades têm grande potencial de instigar soluções inovadoras, tanto no que se refere à mitigação como à adaptação, a aprovação em São Paulo da lei nº 14.933/09 (lei da política municipal do clima) se constituiu no início da mudança de diversos paradigmas, processo que deverá resultar no longo prazo em alterações de comportamento da sociedade e significativa transformação na forma de construção da cidade.

Uma das estratégias escolhidas pela lei para atingir seus objetivos é o estabelecimento de metas de redução de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Em seu artigo 5º, foi estabelecida para o ano de 2012 uma meta de redução de 30% (trinta por cento) das emissões antrópicas agregadas dos gases de efeito estufa oriundas do Município expressas em dióxido de carbono equivalente em relação ao patamar expresso no inventário realizado pela Prefeitura do Município de São Paulo e concluído em 2005. Destaca-se que, para o seu cumprimento, a Administração Municipal julgou como pertinente também estabelecer a redução de 30% como uma das metas do Plano de Metas, instituído pela alteração da Lei Orgânica do Município, ocorrida em

---

<sup>1</sup> Convênio CET nº 001/2010, lavrado através do processo administrativo/expediente CET 0635/10.

fevereiro de 2009, através da inclusão do artigo 69-A.

Outra estratégia relevante da lei nº 14.933/09 é descrita no artigo 24º, definindo que deverá ser publicado, a cada cinco anos, um documento de comunicação contendo inventários de emissões antrópicas por fontes e de remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa. A lei ainda define diretrizes para as estratégias de mitigação e adaptação para os setores de transportes, energia, gerenciamento de resíduos, saúde, construção e uso do solo.

Para o cumprimento integral do disposto nas leis acima citadas cabe a Secretaria do Verde e do Meio Ambiente (SVMA) realizar o segundo “Inventário Municipal de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa”. Este Inventário abrangerá as emissões e remoções de gases de efeito estufa, restritas ao território do Município de São Paulo, sendo, entretanto, ampliado o escopo dos gases originalmente contemplados no primeiro inventário publicado em 2005. Além das emissões e remoções de dióxido de carbono e metano, deverão ser incorporadas as emissões de óxido nitroso, hidrofluorcarbonos, perfluorcarbonos e hexafluoreto de enxofre. A esse Inventário se associam a construção de cenários, os quais balizarão o processo decisório da administração municipal, e a proposição de Recomendações para a Formulação de Políticas Públicas Relacionadas às Mudanças Climáticas. Tais produtos subsidiarão, também, os trabalhos do Comitê Municipal de Mudanças Climáticas e seus Grupos de Trabalho, a saber: Energia, Transporte, Saúde, Construção, Uso do Solo e Resíduos.<sup>2</sup>

Então, para a elaboração do Inventário Municipal de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (GEE) e outros Produtos, no Município de São Paulo, a parceria entre o Instituto Ekos Brasil e a Geoklock Consultoria e Engenharia Ambiental foi selecionada dentro do processo de seleção e contratação nº107/2011 – ANTP, um subprojeto da janela 5 – Gestão da Demanda do Transporte Individual, do Programa STAQ, patrocinado pelo Banco Mundial, por meio do Global Environment Facility (GEF), com os seguintes objetivos:

---

<sup>2</sup> O Comitê Municipal de Mudança do Clima e Ecoeconomia, instituído pelo artigo 42 da Lei nº 14.933, de 5 de junho de 2009, que estabelece a Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo. Seu funcionamento foi regulamentado pelo decreto 50.866, de 21 de setembro de 2009, modificado pelo decreto 51.295, de 17 de fevereiro de 2010.



- Elaboração de Inventário Municipal de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (GEE) e outros Produtos, no Município de São Paulo, no período de 2003 a 2009;
- Subsidiar a elaboração e a consecução de políticas públicas de mitigação e adaptação aos efeitos da mudança do clima no âmbito do Município de São Paulo;
- Subsidiar as ações de redução de emissões antrópicas de GEE, por setor (em especial, as de responsabilidade da Administração Municipal) observada a meta de redução proposta no artigo 5º da Lei Municipal nº 14.933/09.

Este primeiro relatório é referente ao Produto 1 do inventário, onde foram levantados e avaliados inventários de GEE de 4 municípios e também conta com uma avaliação das metodologias do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) a fim de identificar as principais alterações dos guias técnicos de 1996 e 2006.

## 2. ANÁLISE COMPARATIVA DAS METODOLOGIAS DO IPCC DE 1996 E DE 2006

Os guias técnicos do IPCC para elaboração de Inventários de emissão de GEE, “*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” e “*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”, foram analisados no intuito de identificar as principais alterações metodológicas. A avaliação considerou os setores e subsetores abordados por ambos, bem como a abrangência e detalhamento de cada método apresentado.

O “*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” apresenta metodologias e fatores de emissão para a elaboração de inventários de emissões antrópicas de GEE nacionais, por GEE e categorias de emissão por fontes e remoção por sumidouros. A UNFCCC na COP3 realizada em 1997 em Quioto reafirmou que esse documento deveria ser utilizado como metodologia para estimar as emissões de GEE.

O “*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” é uma revisão das metodologias e fatores de emissão apresentados no “*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”, “*Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*” e “*Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*”.

Os setores de atividade abordados pelo IPCC 1996 são: Energia; Indústria; Solventes e Uso de Outros Produtos; Agricultura; Mudança do Uso da Terra e Floresta; e Resíduos. Já o IPCC 2006 adota a seguinte divisão: Energia; Processos Industriais e Uso de Produtos; Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Floresta e Resíduos. A verificação dos guias técnicos do IPCC é apresentada a seguir utilizando a divisão adotada pelo IPCC 2006.

### 2.1. Energia

O IPCC 1996 subdivide as emissões do setor energético em fontes fixas, fontes móveis e emissões fugitivas, o IPCC 2006 além desses subsetores apresenta metodologia para as emissões oriundas do transporte, injeção e armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>.

### 2.1.1. Combustão em Fontes Fixas

O IPCC 1996 apresenta metodologias para estimar as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> e NMVOC. Já o IPCC 2006 apresenta metodologias para os seguintes GEE: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. Para os demais gases, considerados GEE indiretos, sugere utilizar metodologia da “EMEP/CORINAIR *Emission Inventory Guidebook*”, essa sugestão é válida para todos os setores do inventário que apresentarem emissões desses gases.

No guia do IPCC de 2006 foi observado para este subsetor de atividade, quando comparado com o guia de 1996, a apresentação de fatores de emissão revisados e também de novos fatores. Ainda neste guia foram apresentadas novas informações sobre a avaliação das incertezas dos dados de atividade e dos fatores de emissão.

### 2.1.2. Combustão em Fontes Móveis

As fontes consideradas neste subsetor, para o IPCC 2006, são: transporte rodoviário, veículos terrestres não rodoviários (veículos *off-road*), transporte aéreo, transporte ferroviário e transporte hidroviário. Para o IPCC 1996 as fontes consideradas são: transporte rodoviário, transporte aéreo e transporte não rodoviário de superfície, este último engloba as fontes ferroviárias, hidroviárias e *off-road*.

Para este subsetor, a publicação do IPCC 2006 não apresentou mudanças em relação à metodologia para estimar as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O apresentada pelo IPCC 1996, com exceção dos fatores de emissão do CO<sub>2</sub>, assumindo que os combustíveis sofrem oxidação completa. Para os GEE indiretos segue o mesmo preceito anteriormente descrito.

### 2.1.3. Emissões Fugitivas

As fontes apresentadas nesse subsetor são as provenientes da mineração, armazenamento, processamento e transporte do carvão e dos sistemas de petróleo e gás natural para ambos os

guias técnicos analisados. No IPCC 2006 foram apresentadas metodologias para estimar as emissões de CH<sub>4</sub> de minas de carvão abandonadas.

#### 2.1.4. Transporte, Injeção e Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub>

A captura e armazenamento de dióxido de carbono é uma opção de redução de emissões de gases de efeito estufa. Os locais de armazenamento geológicos podem ser reservatórios naturais de óleo, gás, carvão ou águas salinas. A captura e o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> é um processo sequencial que consiste nos seguintes passos:

- a. Captura e compressão de CO<sub>2</sub>
- b. Transporte até o local de armazenamento
- c. Injeção e retenção em longo prazo / isolamento da atmosfera

No guia do IPCC 2006, é apresentada a metodologia que estima as emissões de forma abrangente, incluindo as perdas que ocorrem nos estágios de transporte e injeção de CO<sub>2</sub> e as perdas no CO<sub>2</sub> estocado no subsolo, complementadas pelas emissões dos consumos energéticos do processo.

## 2.2. Processos Industriais e Uso de Outros Produtos

O IPCC 2006 incorpora as emissões dos processos industriais e do uso de solventes e outros produtos em um mesmo setor de atividade, ao contrário do guia de 1996. No guia mais recente foram identificadas novas fontes de emissão de GEE, incluindo mais setores industriais e novos usos de produtos. Os setores industriais incluídos foram os de produção de zinco, chumbo, dióxido de titânio e LCD (*Liquid Crystal Display*). O guia inclui também metodologias para estimar as emissões de novos gases: NF<sub>3</sub>, SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub> e éteres halogenados.

Dentre as alterações mais relevantes, a metodologia de emissões potenciais de compostos fluorados pela abordagem tipo “*Tier 1*”<sup>3</sup> (grau de detalhamento) descrita no IPCC 1996 não é considerada apropriada pelo guia de 2006. A metodologia de 1996 estima a emissão total de GEE dos compostos no ano em que é feita a utilização dos mesmos, não sendo compatível com as metodologias mais refinadas no tema, as quais preveem emissões ao longo do tempo, consideradas mais adequadas à realidade da dinâmica de uso e impacto destes compostos. Por esse motivo, o “*Tier 1*” proposto no guia de 1996 foi substituído no guia de 2006, passando a ser baseado no método de estimativa da emissão real, considerando o tempo entre o consumo da substância e a emissão de GEE.

O guia de 2006 reporta as emissões provenientes do uso não energético dos combustíveis fósseis no setor de processos industriais e uso de produtos e não mais no setor de energia, como era proposto pelo guia do IPCC de 1996.

### **2.3. Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra**

No guia IPCC 2006 houve uma integração dos setores da agricultura, uso da terra, mudança do uso da terra e floresta para eliminar a distinção arbitrária entre essas categorias e promover uma melhor utilização dos dados existentes e complementares, especialmente para métodos mais detalhados.

O guia de 2006 adota seis categorias de uso da terra: floresta, plantação, pastagem, pântanos, urbanização e outros tipos de terra, enquanto que o IPCC 1996 não abrangia três destas categorias, a saber, pântanos, urbanização e outros tipos de terra. Cada uma das seis categorias de uso da terra apresenta metodologia para duas situações: uso da terra permanecendo na mesma categoria e uso da terra convertida em outra categoria. Também são reportadas todas as emissões e remoções de áreas manejadas, as quais são consideradas emissões antrópicas.

---

<sup>3</sup> Os “*Tiers*” são formas de cálculo com maior ou menor grau de detalhamento. Quanto maior o número do “*Tier*”, maior o detalhamento.

Outra diferença foi a adoção de métodos gerais para contabilização da mudança dos estoques de carbono na biomassa, na matéria orgânica morta e no solo para todas as categorias de uso do solo. Além disso, também foram adotados métodos básicos para emissões de GEE por queima da biomassa, que pode ser usadas para todas as categorias de uso da terra.

No guia de 2006, houve ainda a incorporação de métodos do “*Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*” aos do IPCC 1996 para emissões de GEE não-CO<sub>2</sub> provenientes do manejo dos solos e queima de biomassa e dos sistemas de manejo de dejetos e das características dos rebanhos.

Também foram adotados três “*Tiers*”, ou graus de aprofundamento, que vão da utilização de fatores de emissão padrão (*default*) e de equações simples até o uso de dados nacionais específicos e modelos que se adaptam as circunstâncias nacionais. Para este setor foram descritos métodos alternativos para estimar e reportar mudanças no estoque de carbono associadas aos produtos de florestais. O guia de 2006 apresenta também uma maior consistência nas classificações das áreas de uso da terra para que possibilite uma seleção apropriada dos fatores de emissão e de dados de atividade. E ainda, o guia traz um refinamento dos fatores de emissão e das referências de fatores padrão de carbono para a contabilização dos estoques nas florestas.

## **2.4. Resíduos**

Ambos os guias do IPCC dividem as emissões provenientes do setor de Resíduos em Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos, porém apresentam diferenças metodológicas na abrangência e no detalhamento para estes subsetores.

### **2.4.1. Resíduos Sólidos**

O IPCC 2006 apresenta para o subsetor de Resíduos Sólidos metodologias para disposição em aterro, tratamento biológico e incineração e queima a céu aberto. Em comparação com o IPCC 1996, que não apresentava metodologias para as emissões provenientes do tratamento biológico, o guia do IPCC 2006 é mais abrangente. Além disso, o guia de 1996 apresenta dois métodos para

estimar a emissão oriunda da disposição dos resíduos sólidos: um através do balanço de massa conforme a abordagem do “*Tier 1*” e outro através do cálculo por “*First Order Decay*” – FOD, no “*Tier 2*”. Entretanto o IPCC 2006 não recomenda a utilização do método de balanço de massa, pois os resultados gerados não são comparáveis com os do método FOD, que retrata uma estimativa mais realista. Assim, o guia de 2006 utiliza o método FOD em todos os “*Tiers*”.

#### 2.4.2. Efluentes Líquidos

Para o setor de Efluentes Líquidos, o guia do IPCC 2006 apresenta metodologias para tratamento e lançamento dos efluentes doméstico e industrial, condizentes com mesmas fontes apresentadas no guia de 1996. No entanto, o IPCC 1996 apresenta diferentes abordagens e equações para estimar as emissões do tratamento de efluente líquido e do lodo removido nos tratamentos. No guia de 2006 essa distinção foi removida por considerar que a capacidade de geração de CH<sub>4</sub> é a mesma. O IPCC 2006 inclui uma nova seção que define metodologias para emissão de CH<sub>4</sub> de efluentes não coletados. Além disso, foi incluída uma orientação para estimar as emissões de N<sub>2</sub>O nos tratamentos avançados de efluentes líquidos e sugerido que apenas as emissões dos efluentes líquidos industriais das fontes mais relevantes sejam reportadas. Desta forma, a metodologia apresentada pelo IPCC 2006 foi simplificada, porém contabiliza mais fontes de emissão.

## 2.5. Resumo das Principais Alterações do IPCC de 1996 e de 2006

A seguir são apresentados os quadros resumo destacando as principais alterações da Metodologia do IPCC 1996 e 2006, analisados nos itens anteriores.

| Quadro 1 – Setores de atividade do IPCC de 1996 e de 2006 |  |
|---|--|
| IPCC 1996   | IPCC 2006                                    |
| Energia   | Energia                                      |
| Indústria   | Processos Industriais e Uso de Produtos      |
| Solventes e Uso de Outros Produtos                        |  |
| Agricultura   | Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo |
| Mudança de Uso de Solo e Floresta                         |  |
| Resíduos  | Resíduos                                     |

| Quadro 2 – Principais alterações dos guias IPCC 2006 e 1996, nos setores de atividades |  |
|--|--|
| Energia  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fontes Fixas → <b>Fatores Novos e Revisados</b></li> <li>Fontes Móveis               <ul style="list-style-type: none"> <li>1996: Rodoviário, Aéreo, Não Rodoviário</li> <li>Novas Sub-categorias: <b>Novas - 2006 "Off-road", Hidroviário, Ferroviário</b></li> </ul> </li> <li>Emissões Fugitivas → <b>Mais metodologias</b></li> <li>Transporte e Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> → <b>Novo</b></li> </ul> |
| Processos Industriais e Uso de Produtos  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Maior abrangência de emissões</li> <li>Revisão dos potenciais</li> <li>Novos sub-setores               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Zinco</li> <li>✓ Chumbo</li> <li>✓ Dióxido de Titânio</li> <li>✓ LCD</li> </ul> </li> </ul>   |



| Quadro 2 – Principais alterações dos guias IPCC 2006 e 1996, nos setores de atividades |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <p>Agricultura,<br/>Florestas e Outros<br/>Usos do Solo</p>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Inclusão de mais 3 categorias</li> <li>Aprimoramento dos métodos</li> <li>Inclusão de métodos para estoques de carbono na biomassa</li> </ul>   | <p>1996</p> <p>Floresta<br/>Plantação<br/>Pastagem</p>   | <p>Novas - 2006</p> <p>Pântanos<br/>Urbanização<br/>Outros tipos</p> |
| <p>Resíduos</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Resíduos Sólidos                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Aterro</li> <li>✓ Incineração</li> <li>✓ Trat. Biológico</li> <li>✓ Queima céu aberto</li> </ul> </li> <li>Efluentes Líquidos                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Doméstico</li> <li>✓ Industrial</li> </ul> </li> </ul> | <p style="color: red;">} Maior abrangência</p> <p style="color: red;">} Métodos Revisados e consolidados (Simplificação)</p> |  |

### 3. OUTRAS METODOLOGIAS DE INVENTÁRIO DE GEE

Adicionalmente foram analisadas e comparadas as diretrizes e metodologias do “*GHG Protocol Corporate Standard*”, desenvolvido pelo WRI em colaboração com o WBCSD e muito utilizado para inventários de emissões empresariais, do IEAP (*International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol*), desenvolvido pelo ICLEI, e do LGOP (*Local Government Operations Protocol*), desenvolvido por associação entre o *The California Air Resources Board*; o *The California Climate Action Registry*; o ICLEI e o *The Climate Registry* e que foi baseado no *GHG Protocol*. Em alguns dos inventários municipais avaliados foram também verificadas aplicações destas diretrizes. O resultado encontra-se no **Quadro 3** a seguir.

| <b>Quadro 3 – Comparativo entre as diretrizes do GHG Protocol, IEAP E LGOP</b> |  |   |   |
|--|--|---|---|
| <b>Metodologia</b>   | <i>GHG Protocol Corporate Standard - Edição Revista</i>  | <i>International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol (IEAP) 2009 v 1.0</i>   | <i>Local Government Operations Protocol 2010 v 1.1</i>  |
| <b>Autoria</b>   | WRI e WBCSD  | ICLEI - Local Governments for Sustainability  | The California Air Resources Board; The California Climate Action Registry; ICLEI e The Climate Registry e baseado no GHG Protocol do WRI / WBCSD                               |
| <b>Aplicação</b>   | Colaborar para que as empresas preparem seu inventário de emissões através da utilização de princípios e abordagens padronizadas | Desenhado para a situação de governos locais na construção e reporte de suas emissões dentro de suas jurisdições  | Fornecer um conjunto de diretrizes padronizadas para auxiliar governos locais a quantificar e reportar as emissões de GEE associadas às suas operações governamentais           |
| <b>Princípios</b>  | Aplicabilidade - Integralidade - Consistência - Transparência - Exatidão   | Relevância - Completude - Consistência - Transparência - Exatidão   | Relevância - Completude - Consistência - Transparência - Exatidão   |
| <b>Objetivos</b>   | Gerir riscos de GEE, identificar oportunidades de redução, reportar publicamente e participar de programas de GEE voluntários    | Promover o conhecimento dos impactos de emissões do governo e comunidade. Suportar comparações entre diferentes comunidades e administrações. Avaliar oportunidades de emissões certificadas ou voluntárias | Permitir a governos desenvolver inventários de emissão seguindo protocolos internacionais de contabilização e reporte de GEE voltado exclusivamente às operações governamentais |
| <b>Gases</b>   | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub>  | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub>   | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub>   |
| <b>PAG</b>   | Não definido   | O PAG a ser utilizado é o de 100 anos via IPCC Second Assessment Report, 1995   | O Apêndice E do protocolo apresenta todos os gases e PAGs utilizando dados do IPCC 1995 e 2001  |

| Quadro 3 – Comparativo entre as diretrizes do GHG Protocol, IEAP E LGOP |  |   |  |
|---|--|---|--|
| Metodologia   | <i>GHG Protocol Corporate Standard - Edição Revista</i>  | <i>International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol (IEAP) 2009 v 1.0</i>   | <i>Local Government Operations Protocol 2010 v 1.1</i>   |
| <b>Limites</b>  | <p><u>Limites Organizacionais</u>: Definidos pelo o que é legalmente parte da organização e até onde suas operações se estendem. Abordagem de controle financeiro e operacional</p> <p><u>Limites Operacionais</u>: Envolve a identificação das suas emissões associadas</p> | <p><u>Limites Organizacionais</u> - Análise das operações governamentais: Emissões consequentes das operações governamentais, independente do local onde ela ocorra.</p> <p><u>Limites Geopolíticos</u> - Análise da Comunidade: Emissões que ocorram dentro dos limites geopolíticos do governo.</p>   | <p><u>Limites Organizacionais e Operacionais</u> baseados no GHG Protocol (Promove o entendimento de outros tipos de controle governamental sobre instalações de geração de energia, portos, aeroportos, área com leasing, entre outros)</p> |
| <b>Ano Base</b>   | Um ano específico ou uma média de múltiplos anos a partir da qual se controlam as emissões da empresa ao longo do tempo  | Determinado por um ano civil (ano-calendário)   | Determinado por um ano civil (ano-calendário)  |
| <b>Escopos</b>  | <p>Escopo 1: Emissões Diretas</p> <p>Escopo 2: Emissões Indiretas de Energia</p> <p>Escopo 3: Outras Emissões Indiretas</p>  | <p><u>Emissões das Operações do Governo</u>:</p> <p>Escopo 1: Emissões Diretas</p> <p>Escopo 2: Emissões Indiretas de Eletricidade, aquecimento ou refrigeração do governo</p> <p>Escopo 3: Outras Emissões Indiretas que o governo influencie ou opere</p> <p><u>Emissões da Comunidade</u>:</p> <p>Escopo 1: Emissões Diretas</p> <p>Escopo 2 : Emissões Indiretas de Eletricidade</p> <p>Escopo 3: Outras Emissões Indiretas</p> | <p>Escopo 1: Emissões Diretas</p> <p>Escopo 2: Emissões Indiretas associadas ao consumo ou compra de eletricidade, aquecimento ou refrigeração</p> <p>Escopo 3: Outras Emissões Indiretas</p>  |
| <b>Fatores de Emissão</b>   | Os mais apropriados ao contexto do relatório   | Agências Nacionais/Agências Estaduais/IPCC/Universidades/ONGs/Dados Setoriais   | IPCC 2006; The GHG Protocol for Project Accounting, November 2005; US EPA; California Climate Action Registry Project Protocols, etc. O apêndice G do protocolo apresenta diversos fatores de emissão  |

| Quadro 3 – Comparativo entre as diretrizes do GHG Protocol, IEAP E LGOP |  |  |  |
|---|--|--|--|
| Metodologia   | <i>GHG Protocol Corporate Standard - Edição Revista</i>  | <i>International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol (IEAP) 2009 v 1.0</i>  | <i>Local Government Operations Protocol 2010 v 1.1</i>   |
| Setores   | Não define exclusivamente os setores a serem inventariados, pois se destina ao meio corporativo.   | <u>Emissões das Operações do Governo e da Comunidade</u> : Energia Estacionária, Transporte, Emissões Fugitivas, Processos Industriais, Agricultura, Uso do Solo e Florestas e Resíduos  | <u>Setores Governamentais</u> : Prédios e outras instalações, iluminação pública e semáforos, instalações de distribuição de água, portos, aeroportos, frota de veículos, frota de trânsito, instalações de geração de energia, ETEs, aterros e outros processos e emissões fugitivas  |
| Comunicação das Emissões  | <p>Informações sobre as emissões (escopo 1, 2 e 3)<br/> As emissões devem ser reportadas em toneladas métricas para cada GEE e em toneladas de CO<sub>2</sub>e<br/> Oportunidades de Redução das emissões<br/> Emissões não abrangidas pelo Protocolo de Kyoto devem ser reportadas separadamente<br/> Emissões de CO<sub>2</sub> de carbono biologicamente retido (queima de biomassa) devem ser reportadas separadamente</p> | <p>Separar emissões de escopo 1 e 2 para cada setor. As emissões de escopo 3 devem ser reportadas separadamente da emissão total<br/> No escopo 1 deve-se reportar as emissões por tipo de gás e finalmente em CO<sub>2</sub>e. Nos Escopos 2 e 3 as emissões devem ser reportadas em CO<sub>2</sub>e<br/> Reportar separadamente emissões das operações governamentais e das emissões da comunidade<br/> Emissões de CO<sub>2</sub> provenientes de biomassa devem ser reportadas separadamente como informação, porém as emissões de outros gases, como CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O devem ser contabilizadas em seus escopos</p> | <p>As emissões devem ser reportadas separadas por tipo de GEE e agregadas em CO<sub>2</sub>e, em toneladas métricas<br/> Este protocolo não inclui diretrizes para quantificar as remoções por sumidouros, mas podem ser reportados opcionalmente.<br/> Emissões biogênicas associadas ao uso do solo e florestas não devem ser contabilizadas por este protocolo.<br/> As emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da combustão de biomassa, por serem consideradas de origem biogênica, não devem ser contabilizadas nas emissões do escopo 1, mas devem ser reportadas separadamente como informação</p> |

#### 4. ANÁLISE DE INVENTÁRIOS DE GEE DE 4 MUNICÍPIOS

Foram avaliadas as metodologias aplicadas nos inventários de emissões de GEE de municípios brasileiros e de outros países e preparada uma análise comparativa que pode contribuir com aspectos e questões similares à construção do município de São Paulo.

Para escolha dos inventários estudados verificou-se entre os inventários municipais de GEE publicados aspectos como população e localização geográfica, além do conteúdo técnico e das metodologias utilizadas nas contabilizações. Buscou-se comprar um inventário brasileiro, um da América Latina, um da América do Norte e um da Europa. Além disso, buscaram-se os inventários das maiores cidades nas regiões. Foram escolhidas as seguintes cidades e regiões metropolitanas:

- Belo Horizonte
- Região Metropolitana do Vale do México
- Região Metropolitana de Londres
- Nova Iorque.

Dentre os inventários brasileiros publicados, o de Belo Horizonte é interessante para análise pelo fato de ser tratar de uma publicação recente. Na América Latina e do Norte, os inventários da cidade do México e arredores e do município de Nova Iorque destacam-se pela população e por terem algumas características semelhantes ao município de São Paulo. O inventário de Londres, além de abranger uma grande cidade, adota metodologias diferentes dos guias do IPCC e realiza contabilizações com elevada precisão que podem contribuir o inventário de GEE municipal de São Paulo.

A Prefeitura do Município de São Paulo, através da Secretária do Verde e do Meio Ambiente encaminhou comunicado formal para cada um destes municípios informando da escolha.

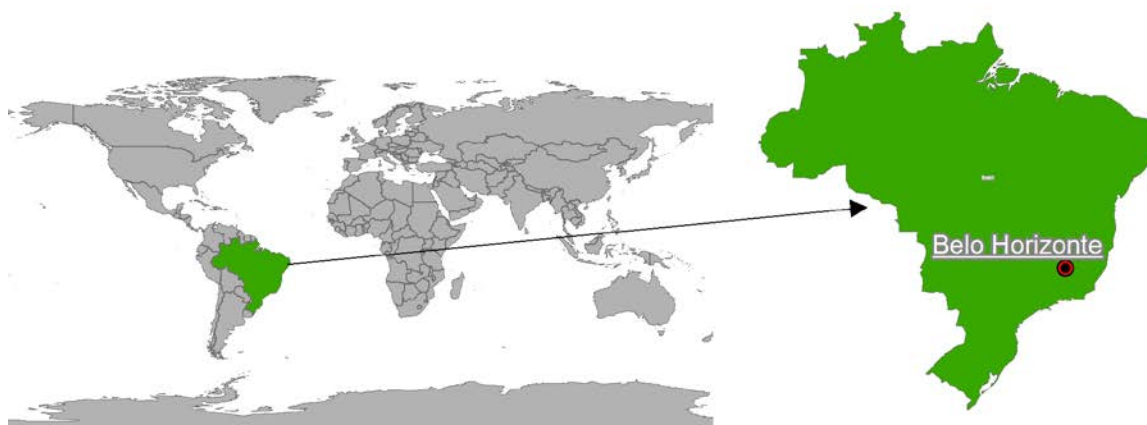
Os inventários selecionados foram verificados em relação aos princípios descritos pela Norma ABNT NBR ISO 14064-1:2007: Gases de efeito estufa - Parte 1: Especificação e orientação a

organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa.

As metodologias e diretrizes utilizadas para a construção dos inventários escolhidos, assim como as formas de contabilização, abordagens adotadas (*top-down* e *bottom-up*), escopos e fronteiras, bases de dados utilizadas, setores avaliados, períodos, fatores de emissão e demais aspectos sempre que disponíveis na publicação, também foram analisados e comparados, buscando embasamento técnico frente às aplicações e limitações de cada metodologia que possa subsidiar o marco conceitual do desenvolvimento do inventário municipal de São Paulo.

#### 4.1.1. Município de Belo Horizonte – Brasil

O Município de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais, localizado na Região Sudeste do Brasil, foi fundado em 1897. O Município é dividido em nove administrações regionais. Atualmente a Região Metropolitana de Belo Horizonte é considerada a terceira maior aglomeração populacional do País, formada por 34 municípios.



**Figura 1 – Localização do Município de Belo Horizonte**

No Inventário Municipal de GEE de Belo Horizonte de 2009 foi feita uma análise histórica, tendo o ano 2000 como ano base e a evolução de suas emissões até o ano de 2007. As emissões referentes ao ano de 1990, quando possível, também foram estimadas, apenas como informação complementar.

Com vista à transparência e possibilidade de comparação dos resultados, as metodologias utilizadas para a elaboração do referido inventário seguiram os preceitos e abordagens propostas pelo “*IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”, as orientações do “*International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol - IEAP*” do ICLEI e os padrões do GHG Protocol e da norma ISO 14064:2006 Parte 1.

No período de 2000 a 2007 foram estimadas as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), para os setores de Energia, Mudança do Uso do Solo e Resíduos, seguindo os escopos setoriais abordados pelo “*IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”. Conforme relatado no inventário, as emissões de hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) não foram estimadas, pois de acordo com o publicado pelo Município não foram identificadas as emissões destes gases no Município. Além disso, as emissões referentes ao setor “Processos Industriais e Uso de Produtos”, conforme preconizado pelo IPCC de 2006, não foram inventariadas devido à impossibilidade ao acesso às informações.

A seguir são apresentadas as fontes de emissão levantadas para cada setor, conforme classificação do IPCC 2006:

- Energia
  - Combustão em fontes estacionárias com finalidade de produção de eletricidade
  - Combustão em fontes estacionárias industriais, comerciais e residenciais
  - Combustão por fontes móveis no transporte
  - Emissões fugitivas
  
- Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra
  - Alteração dos estoques de carbono devido às mudanças no uso do solo
  
- Resíduos
  - Tratamento de resíduos sólidos urbanos
  - Tratamento ou lançamento de esgotos domésticos

Com o intuito de assegurar a comparabilidade dos inventários municipal e estadual, o Município certificou-se de que as origens dos dados utilizados foram as mesmas para ambos.



As emissões geradas pelo Município foram apresentadas em sua totalidade e também desagregadas entre as que se referem ao governo local e as que se referem à comunidade, seguindo o protocolo do ICLEI, que orienta essa divisão para inventários de emissões de GEE de governos locais. As emissões do governo local, ou seja, as emissões geradas pelas operações internas do governo municipal que foram contabilizadas neste inventário foram as provenientes do consumo de eletricidade na iluminação pública, nos edifícios e instalações ocupados pela administração pública e serviços públicos, nas emissões fugitivas na transmissão de energia elétrica e da disposição dos resíduos públicos em aterros. As emissões que foram contabilizadas como sendo da comunidade são as provenientes dos setores residencial, comercial, industrial e rural devido ao consumo de energia, às mudanças no uso da terra e aos resíduos gerados.

Além disso, nas estimativas de emissões de GEE do Município foram incluídas emissões que ocorreram fora das fronteiras de Belo Horizonte, mas que se devem às atividades exercidas no Município. As atividades mencionadas se referem à geração de eletricidade, ao transporte aéreo e à disposição de resíduos sólidos urbanos. As emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da queima de biomassa foram reportadas separadamente como informação adicional por serem consideradas neutras, porém as emissões de CH<sub>4</sub> foram somadas ao total de emissões do Município.

Em 2007 a população do Município de Belo Horizonte era de pouco mais de 2,4 milhões de habitantes e a emissão total, combinando as emissões do governo e da comunidade, de 3,2 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e. Comparado ao ano 2000 houve um crescimento médio anual de 3,0% nas emissões do Município.

Ainda em relação ao ano de 2007, o setor energético contribuiu com 82% das emissões do Município, sendo o subsetor de transportes o mais representativo, ficando o setor de resíduos em segundo com 18% das emissões. Já o setor de mudança do uso do solo contribuiu como sumidouro de emissões de GEE, com uma média de remoção de 6.487 toneladas de CO<sub>2</sub>e por ano dentro do período levantado.

No inventário de GEE do município de Belo Horizonte podem-se listar algumas questões relevantes para a construção do inventário municipal de São Paulo. As bases metodológicas utilizadas contribuem com a qualidade dos resultados e mais especificamente a segregação conforme o ICLEI permite compreender e avaliar separadamente as emissões do governo

municipal e da comunidade, o que possibilita maior clareza nas políticas públicas com vista à redução de emissões de GEE.

Outros aspectos a serem considerados, que reforçam os planos iniciais para o inventário do município de São Paulo, são referentes às contabilizações de emissões que ocorrem fora das fronteiras territoriais na operação dos resíduos sólidos urbanos, as emissões de viagens aéreas e também sobre a contabilização em separado das emissões provenientes de fontes de biomassa.

#### 4.1.2. Zona Metropolitana do Vale do México – México

A Zona Metropolitana do Vale do México (ZMVM) localizada no Estado do México é formada pela Cidade do México e mais 59 municípios. É a região metropolitana que possui a maior população do país e uma das mais populosas do mundo.



**Figura 2 – Localização da Zona Metropolitana do Vale do México**

O Inventário de emissões de GEE e carbono negro<sup>4</sup> da ZMVM (2010) apresentam as estimativas das emissões para o ano de 2008. Este inventário faz parte do “*Programa de Acción Climática 2008-2012*” que integra as principais ações do governo da Cidade do México para reduzir as emissões de GEE e promover a mitigação das mudanças climáticas, fornecendo a base técnica para tais ações.

---

<sup>4</sup> O inventário da ZMVM reporta separadamente as emissões para carbono negro, conhecido também por fuligem, é definido como a fração de material particulado que absorve luz, nos quais se encontram carbono orgânico, carbono elementar e o íon carbonato ( $\text{CO}_3^{-2}$ ). Tem como origem as combustões incompletas. Não é considerado um GEE, porém, o inventário referencia que o carbono negro está relacionado com o aquecimento global devido às suas propriedades físico-químicas, tempo de residência e distribuição de suas emissões na atmosfera.

A metodologia para o cálculo das emissões de GEE e gestão das incertezas do inventário da ZMVM baseou-se nos seguintes documentos: “*IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” e “*IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*”.

Neste inventário foram estimadas as emissões dos seguintes gases: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, para as atividades industriais, de comércio e serviços, residencial, de transporte rodoviário e outras fontes. Os transportes ferroviário e aéreo foram contabilizados em “outras fontes”, dentro de consumos de combustíveis em fontes móveis.

A seguir são apresentadas as fontes de emissão consideradas para cada setor de atividade, conforme reportado pelo documento mexicano:

- Industrial
  - Uso de combustíveis em fontes fixas
- Comércio e Serviços
  - Consumo de combustíveis
  - Consumo de energia elétrica
- Residencial
  - Consumo de combustível
  - Consumo de energia elétrica
- Transporte Rodoviário
  - Consumo de combustíveis em fontes móveis
- Outras Fontes
  - Consumo de combustível em fontes móveis
  - Distribuição e armazenamento de GLP
  - Incêndios florestais
  - Aterros sanitários

Nas estimativas das emissões da ZMVM também foram contabilizadas as emissões provenientes da geração de energia que ocorreram fora das fronteiras da região da ZMVM, mas que foram ocasionadas para suprir o seu consumo energético.

Em 2008 a população da ZMVM era de 19,7 milhões de habitantes e estimou-se que foram geradas 51,5 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e. Os setores mais representativos foram: o transporte rodoviário, responsável por 44% das emissões totais, e o industrial, por 29% das emissões totais. Foram produzidos mapas de distribuição espacial das emissões de CO<sub>2</sub>e da região metropolitana estudada.

Avaliando-se o inventário da ZMVM, compreendem-se as dificuldades na contabilização de grandes cidades. Apesar de o estudo citar o uso da metodologia do IPCC de 2006, a definição de setores segue classes de atividades. A publicação é restrita quanto aos critérios adotados nas análises de relevâncias das fontes de emissão e não permite aprofundamentos a respeito das abordagens “*top-down*” ou “*bottom-up*”, já que os dados apresentados sugerem a abordagem mais simples (*top-down*) enquanto que são apresentados mapas de distribuição espacial de GEE, o que exige um alto nível de detalhamento. Este tipo de apresentação de resultados, porém, é um recurso importante para definição de políticas públicas regionais de redução de emissões de GEE que poderá vir a ser implantado em São Paulo em estudos futuros.

#### **4.1.3. Região Metropolitana de Londres – Inglaterra**

O “*London Energy and Greenhouse Gas Inventory 2008*” (LEGGI) estima as emissões da Região Metropolitana de Londres, que abrange o município de Londres e mais 32 distritos. Todas as emissões contabilizadas ocorreram dentro das fronteiras desta região.



**Figura 3 – Localização da Região Metropolitana de Londres**

O LEGGI 2008 é um banco de dados geograficamente referenciado de consumo de combustível e energia na área metropolitana de Londres e estima as emissões de gases de efeito estufa. As metodologias “*London Atmospheric Emissions Inventory - LAEI 2008*”, “*LEGGI 2006 Methodology*”, “*Department of Energy and Climate Change - DECC (2007 e 2008)*”, entre outras, formam a base do LEGGI 2008, que por sua vez é definido como um manual com informações suportadas pela GLA (*Greater London Authority*), com atualizações e aprimoramentos a cada ano.

O LEGGI 2008 foi compilado com abordagens “*top-down*” e “*bottom-up*” combinadas conforme os fatores de emissão de atividades medidos ou estimados disponibilizados por departamentos governamentais ingleses. O LEGGI 2008 se baseia nas seguintes fontes de emissão: Transporte rodoviário, aviação doméstica, transporte férreo, transporte aquático, eletricidade, gás, óleo, carvão, resíduos e fontes renováveis. O manual inglês classifica as fontes para três grandes setores de usuários: “Doméstico”, “Industrial e Comercial” e “Transportes”.

Foram estimadas as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O para os setores doméstico, industrial e comercial e de transporte, considerando todos os aspectos do uso de energia por estes setores.

As emissões de HFCs, PFCs e SF<sub>6</sub>, não foram contabilizadas no inventário pelo fato de que as informações a respeito do uso destes gases são comercialmente sensíveis para o setor industrial. Além disso, a utilização destes gases ocorre em regiões fora de Londres e estas emissões, mesmo na região metropolitana, são consideradas pouco relevantes perante as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, conforme relatado no documento.

As estimativas de emissão de CO<sub>2</sub> provenientes da biomassa não foram contabilizadas, mas as emissões dos GEE não-CO<sub>2</sub> (metano e óxido nitroso) dessa fonte foram incluídas nas emissões totais do município.

As fontes de emissão de GEE identificadas foram:

- Transporte Rodoviário;
- Aviação Doméstica;
- Transporte Ferroviário;
- Transporte Fluvial/Marítimo
- Consumo de eletricidade
- Consumo de Gás Natural
- Consumo de Petróleo e Carvão
- Resíduos Sólidos e Renováveis (uso de energia e emissão de GEE de gás de aterros, gás de esgoto, madeira, pneus usados, óleo usado, entre outros).

Apesar da definição de “Aviação Doméstica”, o documento faz referência à contabilização das emissões das operações de pousos e decolagens para voos domésticos e internacionais no aeroporto de Heathrow e nos pequenos aeroportos da região metropolitana, além das emissões em solo e da estrutura dos aeroportos. Uma abordagem similar é adotada para o transporte aquático, sendo contabilizadas as emissões dentro um espaço geográfico definido.

A estimativa de emissão para o ano de 2008 totalizou 45 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e, sendo que o setor industrial e comercial foi o mais representativo, contribuindo com 45% das emissões; seguido pelo setor doméstico com 36% das emissões; e o transporte com 19% das emissões.

Em relação à metodologia, o LEGGI aborda os setores em uma classificação diferente do IPCC. O LEGGI segrega coloca os tipos de transporte (rodoviário, férreo, etc.) e fontes de energia (eletricidade, petróleo, etc.) enquanto que estes itens estão dentro do setor “Energia” do IPCC. Além disso, o LEGGI contabiliza em um único setor (Resíduos e Renováveis) as operações de resíduos sólidos urbanos, uso de biogás de aterro e queima de materiais usados para gerar energia, que são abordados em setores diferentes no IPCC. Já em relação às questões do Uso do Solo preconizados pelo IPCC, não é realizada qualquer contabilização pelo LEGGI neste sentido.

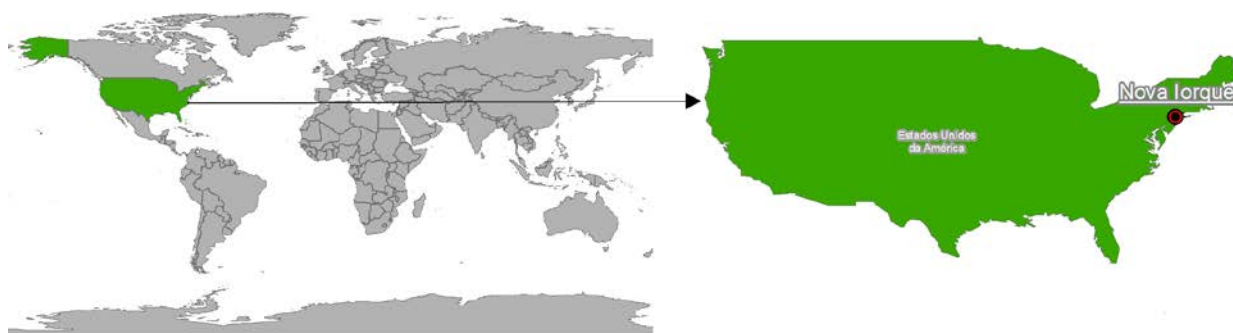
Segundo o relatório, os resultados do inventário são utilizados para formular e avaliar políticas de energia e mudança climática, tendo um papel importante no desenvolvimento e implantação de estratégias de mitigação de mudanças climáticas, eficiência energética e uso de fontes renováveis. Este é um aspecto a ser considerado para a elaboração do inventário municipal de GEE de São Paulo, que tem os mesmos objetivos.

A forma de contabilização das operações nos aeroportos pelo LEGGI pode vir a ser uma referência para a elaboração do inventário municipal de São Paulo, que apresentam condições similares.

O inventário de GEE da região metropolitana de Londres parte de um histórico de estudos bastante aprofundados permitindo a elaboração de mapas com as emissões distribuídas geograficamente. Esta é uma ferramenta que poderá vir a ser incorporada nos futuros inventários municipal de São Paulo associado aos inventários de outros poluentes (material particulado, ozônio, entre outros).

#### 4.1.4. Município de Nova Iorque – Estados Unidos

A cidade de Nova Iorque, localizada na costa leste dos Estados Unidos, pertencente ao Estado de mesmo nome, foi fundada em 1625. A cidade é dividida em cinco distritos e atualmente é a cidade mais populosa do País.



**Figura 4 – Localização do Município de Nova Iorque**

Para a análise de Nova Iorque, foi utilizado o relatório do Inventário de Emissões de GEE da Cidade de Nova Iorque publicado em setembro de 2010, onde são apresentadas as estimativas de emissão do ano de 2009 geradas pelas operações internas do governo municipal e o total do município.

A cidade de Nova Iorque publicou seu primeiro inventário de emissões de GEE em abril de 2007, referente às emissões do ano de 2005, estabelecendo assim a linha de base para as metas de redução de emissões de GEE: reduzir 30% das emissões totais da cidade até 2030 em relação às emissões de 2005 e de reduzir 30% das emissões do governo municipal até 2017.

O inventário de 2009 seguiu as diretrizes da versão revisada do “*Local Government Operations Protocol - LGOP*” e orientação do “*International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol IEAP*” (ICLEI). Foram contabilizadas as emissões dos gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs e SF<sub>6</sub>, para o Município e para o governo municipal, cada qual separado em escopo 1, escopo 2 e escopo 3. As emissões do escopo 3 não foram contabilizadas na emissão total do município, sendo reportadas separadamente apenas como informação. As emissões de CO<sub>2</sub> provenientes de biomassa também seguiram o critério de reporte adicional.

A seguir são apresentadas as fontes de emissão levantadas para cada setor, conforme definido pela metodologia adotada:

- Município:
  - Energia utilizada nas instalações prediais
  - Combustão em fontes móveis no transporte
  - Emissões fugitivas
  
- Governo Municipal
  - Energia utilizada nas instalações prediais do governo municipal e ruas
  - Tratamento de efluentes líquidos
  - Distribuição de água
  - Combustão em fontes móveis no transporte
  - Disposição de resíduos sólidos
  - Emissões fugitivas



Dentre as emissões de transporte, apenas o modal rodoviário é contabilizado. O transporte aéreo é abordado como informação adicional, no escopo 3, a partir de uma estimativa de número de passageiros que utilizaram os aeroportos locais. O transporte aquático não foi contabilizado.

Foram contabilizadas emissões que ocorreram fora das fronteiras do município, mas que foram ocasionadas por atividades exercidas em Nova Iorque, como as emissões referentes à energia utilizada nos prédios e ao transporte e disposição dos resíduos sólidos urbanos para aterros fora da cidade.

Em 2009 a população da cidade de Nova Iorque era de 8,2 milhões de habitantes e a emissão total do Município foi estimada em 49,3 milhões de toneladas de CO<sub>2e</sub>, sendo que predominam as emissões por combustão em fontes móveis no sistema de transporte, responsável por 20% das emissões, e por combustão em fontes estacionárias nos edifícios devido ao aquecimento, refrigeração, eletricidade e iluminação dos mesmos, que corresponde a 78% das emissões.

Em relação ao ano de 2005, ano base das metas estipuladas pelo município, foi reportada uma diminuição de 12,9% das emissões totais de Nova York em 2009. Segundo o município, essa redução se deve a vários fatores, como a ocorrência de um verão com temperaturas mais amenas que evitou o consumo de energia nesta época do ano, a própria redução no uso de energia per capita, os impactos das alterações na matriz energética do país para fontes com emissões menos intensas em GEE e também pela a redução das emissões fugitivas de SF<sub>6</sub> na rede de distribuição de eletricidade.

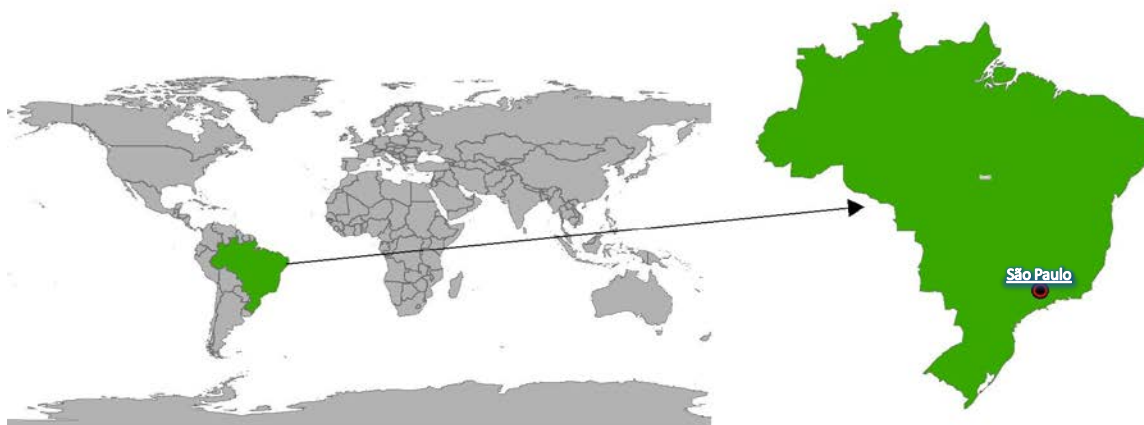
Comparando a metodologia adotada com a do IPCC de 2006, tem-se que a diretriz do ICLEI indica uma separação entre as emissões do governo municipal e do restante do município. Dentre os setores e fontes de emissão, apenas o setor de Uso do Solo (IPCC) não é abordado pelo inventário. Os setores de Energia, processos industriais e resíduos tem seus principais componentes contabilizados no inventário. Um ponto de destaque do inventário está na contabilização segregada para a distribuição de água, uma opção interessante que pode ser adotada no inventário municipal de São Paulo, dependendo da disponibilidade de informação.

Assim como no inventário de Belo Horizonte, a contabilização das emissões de GEE do governo municipal e do município como um todo é um aspecto que permite uma visão mais definida de atuação perante as metas das políticas públicas de redução de emissões de GEE. Este forma de

contabilização é uma opção interessante para ser adotada no inventário municipal de GEE de São Paulo. Um ponto do inventário de Nova Iorque que se destaca é em relação ao SF<sub>6</sub>, que lá se apresentou relevante. A cidade de São Paulo dispõe de redes de transmissão com potencial uso de SF<sub>6</sub>, devendo este ser mapeado e contabilizado.

#### 4.1.5. Município de São Paulo – Brasil

O Município de São Paulo, capital do Estado de mesmo nome, localizado na Região Sudeste do Brasil, foi fundado em 1554. O Município é dividido em cinco regiões, conhecidas como zona leste, oeste, norte, sul e centro. É a quarta maior cidade do mundo e a maior do Hemisfério Sul.



**Figura 5 – Localização do Município São Paulo**

No primeiro Inventário de Emissões de GEE do Município de São Paulo (2005) foram estimadas as emissões para o ano de 2003, utilizando a metodologia apresentada pelo “*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”.

Foram contabilizadas as emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> para os setores de energia, de mudança do uso do solo e florestas, agropecuário e de resíduos. As emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do consumo de biomassa não foram contabilizadas entre as emissões totais do Município, mas as emissões de CH<sub>4</sub> foram contabilizadas nos setores a que pertenciam.

As fontes de emissão de GEE consideradas para cada setor são apresentadas a seguir.

- Energia
  - Combustão em fontes fixas com finalidade de geração de energia elétrica;
  - Combustão em fontes fixas devido a processos térmicos industriais, comerciais e residenciais;
  - Combustão em fontes móveis no transporte
  
- Mudança do Uso do Solo e Florestas
  - Alteração dos estoques de carbono devido às mudanças no uso do solo e da quantidade de carbono estocada no solo.
  
- Agropecuário
  - Fermentação entérica;
  - Manejo de dejetos
  
- Resíduos Sólidos
  - Disposição final dos resíduos sólidos;
  
- Efluentes Líquidos
  - Tratamento de esgotos domésticos e comerciais e efluentes industriais

As emissões de GEE do Município foram apresentadas em sua totalidade e também as de responsabilidade da Prefeitura Municipal. Foram contabilizadas nas emissões totais do Município, as emissões de GEE geradas fora da fronteira da cidade, mas que foram ocasionadas pelo consumo de energia dentro do Município.

Para possibilitar a comparabilidade do inventário municipal com a comunicação nacional brasileira, o inventário do Município foi elaborado com a mesma base metodológica do nacional, o qual adota as diretrizes do guia técnico do IPCC de 1996. Além disso, quando necessário, adaptações e hipóteses seguiram o modelo adotado pela Comunicação Nacional.

Em 2003, a população do Município de São Paulo era de 10,7 milhões de habitantes e as emissões de GEE foram estimadas em 15,7 milhões de tCO<sub>2</sub>e. Dentre os setores abordados, o setor mais representativo foi o de energia, que contribui com 76% das emissões totais do Município, seguido pelo setor de resíduos sólidos com 23%.

Considerando as emissões por tipo de GEE no Município, contabilizadas em toneladas de CO<sub>2</sub>e, as emissões de CO<sub>2</sub> foram mais relevantes que as emissões de CH<sub>4</sub>, apesar do CH<sub>4</sub> apresentar um GWP 21 vezes maior que o CO<sub>2</sub>.

#### 4.1.6. Quadro Comparativo

Na comparação entre os quatro inventários de emissão de GEE municipais foram avaliadas as metodologias utilizadas, as fontes de dados utilizadas, os setores avaliados e o atendimento à Norma ABNT ISO 14064-1:2007.

Para a avaliação dos inventários municipais de emissão de GEE em relação à Norma ABNT ISO 14064-1:2007 verificou-se o atendimento aos princípios apresentados pela norma, os quais são: relevância, integralidade, consistência, transparência e precisão. No **Quadro 4** a seguir, são apresentados os cinco princípios da norma e um breve descritivo do que se enquadra em cada princípio, os quais foram considerados para esta avaliação.

| Quadro 4 – Descrição dos Princípios da Norma ABNT ISO 14064-1:2007 |  |
|--|--|
| Relevância   | Seleção das fontes sumidouros e reservatórios de GEE, dados e metodologias apropriadas às necessidades do usuário. |
| Integralidade  | Inclusão de todas as emissões e remoções pertinentes de GEE.   |
| Consistência   | Possibilidade de comparações significativas de informações relacionadas ao GEE                                     |
| Transparência  | Divulgação de informações suficientes e apropriadas para permitir tomada de decisões com razoável confiança        |
| Precisão   | Redução de incertezas  |

Fonte: NBR ISO 14064-1: 2007

O **Quadro 5** apresenta a comparação entre os inventários envolvendo os municípios de Belo Horizonte, Cidade do México, Londres e Nova Iorque.

**Quadro 5 – Comparação dos Inventários de GEE Municipais**

|                           | Município de Belo Horizonte  | Zona Metropolitana do Vale do México  | Região Metropolitana de Londres  | Município de Nova Iorque   | Município de São Paulo  |
|---------------------------|--|---|--|--|---|
| Área Abrangida            | Município de Belo Horizonte  | Cidade do México + 59 Municípios  | Londres + 32 Municípios  | Município de Nova Iorque   | Município de São Paulo  |
| Ano                       | 2000 a 2007  | 2008  | 2008   | 2009   | 2003  |
| População                 | 2,4 milhões (2007)   | 19,7 milhões  | 7,2 milhões  | 8,2 milhões  | 10,7 milhões  |
| Diretrizes e Metodologias | -IPCC (2006)<br>-ICLEI - orientações<br>-GHG Protocol<br>-ISO 14064:2006 Parte 1<br>( <i>"top-down"</i> e <i>"bottom-up"</i> ) | -IPCC (2006)<br>-IPCC (2000)  | -LAEI<br>-LEGGI 2006 methodology manual<br>-DECC<br>( <i>"top-down"</i> e <i>"bottom-up"</i> ) | -LGOP<br>-IEAP<br>(padrões para governos locais dos EUA)<br>( <i>"top-down"</i> e <i>"bottom-up"</i> ) | -IPCC (1996)  |
| GEE                       | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O   | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O  | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O   | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFCs e SF <sub>6</sub>                           | CO <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub>   |
| Setores                   | -Energia (Fontes móveis e fixas)<br>-Mudança do Uso da Terra<br>-Resíduos  | -Industrial<br>-Comércio e Serviços<br>-Residencial<br>-Transporte Rodoviário<br>-Outras Fontes | -Doméstico<br>-Industrial & Comercial<br>-Transporte   | -Energia (fonte fixa)<br>-Transporte<br>-Iluminação ruas<br>-Emissões Fugitivas                        | -Energia (fontes móveis e fixas)<br>-Mudança do Uso do Solo e Florestas<br>-Agropecuário<br>-Resíduos |

|                                  |   |  |   |  |   |
|----------------------------------|---|--|---|--|---|
| Dados                            | Obtidos de diferentes secretarias da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte e de outras autarquias estaduais e federais | Não foi mencionado   | Obtidos do LAEI 2008, DECC, DEFRA e de diversos departamentos governamentais                | Obtidos de banco de dados de diferentes secretarias, departamentos e empresas de Nova Iorque                 | Obtidos de diferentes secretarias da Prefeitura Municipal, órgãos públicos, empresas e agências     |
| Emissões Totais de GEE           | 3,18 milhões tCO <sub>2</sub> e   | 51,5 milhões tCO <sub>2</sub> e  | 45,0 milhões tCO <sub>2</sub>   | 49,3 milhões tCO <sub>2</sub> e  | 15,7 milhões tCO <sub>2</sub> e   |
| Emissões per capita <sup>5</sup> | 1,3 tCO <sub>2</sub> e/habitante  | 2,6 tCO <sub>2</sub> e/habitante   | 6,2 tCO <sub>2</sub> e/habitante  | 6,0 tCO <sub>2</sub> e/habitante   | 1,5 tCO <sub>2</sub> e/habitante  |
| Finalidade                       | Formular e articular as políticas públicas e conscientização ambiental da sociedade                                     | Ferramenta estratégica para a identificação de fontes emissoras de GEE e implementar medidas mitigadoras | Utilizados para formular e avaliar políticas de energia e relatórios de mudanças climáticas | Utilizado para formular políticas públicas e acompanhar a evolução das emissões frente às metas do município | Identificação de projetos e atividades que possam ser desenvolvidos para reduzir as emissões de GEE |

<sup>5</sup> Indicadores ilustrativos calculados com os dados disponíveis: os valores estão em bases temporais, geográficas e abrangências diferentes, não sendo diretamente comparáveis.

|             |   |  |   |  |  |   |
|-------------|---|--|---|--|--|---|
| ISO 14064   | Relevância  | ✓  | ✓   | ✓  | ✓  | ✓ |
|             | Integralidade   | ✓  | ✓   | ✓  | ✓  | ✓ |
|             | Consistência  | ✓  | ✓   | ✓  | ✓  | ✓ |
|             | Transparência   | ✓  | Não encontrada a fonte dos dados e cálculos   | ✓  | ✓  | ✓ |
|             | Precisão  | ✓  | ✓   | ✓  | ✓  | ✓ |
| Observações | <p>Contabiliza emissões que ocorreram fora do limite geográfico do município, mas devem-se a atividades exercidas dentro do município</p> <p>Utilizou mesmas fontes do Estadual (preocupação em manter a comparabilidade)</p> | <p>Contabiliza emissões que ocorreram fora do limite geográfico da região, mas geradas para suprir a demanda da ZMVM</p> | <p>Contabiliza as emissões que ocorreram dentro das fronteiras da Região Metropolitana de Londres</p> | <p>Reporta separadamente as emissões que ocorreram fora do limite geográfico do Município, mas que foram geradas devido à necessidade do Município</p> | <p>Contabiliza as emissões que ocorreram fora do limite geográfico do município, mas devidas ao consumo de energia dentro do município</p> <p>Preocupação em manter a comparabilidade com a Comunicação Nacional</p> |   |

## 5. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

Foram verificados os inventários de emissões de GEE do Município de Belo Horizonte, da Zona Metropolitana do Vale do México, da Região Metropolitana de Londres, do Município de Nova Iorque e do Município de São Paulo. Nos inventários municipais de emissões de GEE foi verificada a contabilização das emissões que ocorrem fora da fronteira das áreas estudadas, com exceção do inventário de Londres, indicando uma preocupação em estimar as emissões que ocorreram fora do seu território por demanda do município. Para o Inventário Municipal de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (GEE) de São Paulo é prevista a contabilização das emissões que ocorrem fora dos limites geográficos do Município, como por exemplo, da geração de energia elétrica e disposição de resíduos sólidos.

As emissões do transporte aéreo é outra questão que está relacionada à fronteira geográfica. Dentro do município de São Paulo estão o Aeroporto de Congonhas e o Campo de Marte, que contribuem com emissões de GEE em suas atividades locais (em solo) e pela combustão dos aviões e helicópteros, que podem ocorrer dentro ou fora da região do município de São Paulo. Para helicópteros, que atendem à capital paulista em sua maior parte, recomenda-se a contabilização das emissões através dos abastecimentos de combustível realizados no Campo de Marte. Para as estimativas das emissões dos voos do Aeroporto de Congonhas, recomenda-se a contabilização das operações de pousos e decolagens, conforme adotado no inventário de Londres. O Aeroporto Internacional de Guarulhos não está na fronteira geográfica do município e por isto não serão contabilizadas suas emissões no inventário municipal de São Paulo, apesar das operações de Guarulhos atenderem passageiros da cidade de São Paulo.

Os inventários dos municípios de Nova Iorque e Belo Horizonte utilizaram as diretrizes do ICLEI (2009) e apresentando estimativas para as emissões totais do município e as emissões do governo municipal. Esta é uma abordagem interessante para possibilitar a tomada de decisão em relação à redução das emissões de GEE no setor público e na comunidade, através de medidas diretas e indiretas do governo local. Conforme a disponibilidade de dados, serão segregadas no Inventário de GEE Municipal de São Paulo as emissões relativas às responsabilidades diretas do governo e as emissões da comunidade, conforme as diretrizes do ICLEI (2009), permitindo



assim, maior compreensão das emissões e maiores subsídios para as formulação de políticas públicas pela Prefeitura de São Paulo.

Quando estimadas nos inventários municipais, as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da biomassa (ou de carbono de origem biogênica) foram reportadas separadamente conforme as metodologias adotadas. A elaboração do Inventário de GEE Municipal de São Paulo também abordará as emissões provenientes de biomassa nos mesmos moldes de contabilização, em separado. Deve-se ressaltar que o município de São Paulo conta com uma frota relevante de veículos *flex fuel*, que utiliza tanto combustível fóssil (gasolina) quanto de biomassa (etanol) e conta com uma frota de ônibus que utiliza mistura de óleo diesel e biodiesel.

Nos inventários de emissões de GEE da ZMVM e da Região Metropolitana de Londres foram apresentados mapas temáticos da distribuição das emissões de GEE, permitindo a identificação de possíveis focos de emissão que possam auxiliar eventuais decisões regionais em futuras políticas de redução das emissões de GEE. Entretanto, este é um trabalho de detalhamento que não será contemplado no inventário a ser desenvolvido.

Em alguns casos verificou-se a falta de dados detalhados tornando necessária a utilização de metodologias mais simplificadas para não gerar mais incertezas sobre os valores estimados. Em outros casos, para suprir a falta de dados para parte do período estudado foram feitas estimativas através de regressões lineares ou de 2º grau. No inventário da região metropolitana de Londres foi relatada a dificuldade de obtenção de dados de uso de produtos industriais por se tratar de informações comercialmente sensíveis. A elaboração do Inventário de GEE Municipal de São Paulo poderá enfrentar barreiras como as de Londres e estas soluções poderão ser adotadas.

Não é possível fazer uma comparação direta entre as emissões per capita de GEE estimadas nos inventários municipais analisados, entre outras pelas seguintes causas:

- a) A matriz energética brasileira é predominantemente hidrelétrica enquanto a matriz mexicana, americana e inglesa tem maior participação de combustíveis fósseis.
- b) Os distintos inventários apresentam diferenças de abrangência (Município versus Regiões Metropolitanas), o que deve impactar o volume de emissões per capita visto que se espera

que a consideração da região metropolitana aumente de forma significativa a atividade industrial em relação ao município central, aumentando as emissões relativas.

- c) As condições climáticas dos municípios são distintas, com impactos nos hábitos de vida, como no uso de energia para calefação, por exemplo.

Um aspecto interessante verificado nas comparações é referente à contabilização do SF<sub>6</sub> (hexafluoreto de enxofre). No inventário da Região Metropolitana de Londres, foi considerada pouco relevante a contribuição desta substância e não contabilizada. Já no inventário de Nova Iorque, a redução das emissões fugitivas de SF<sub>6</sub> foi um dos fatores contribuintes para a redução de emissões de GEE obtida entre 2005 e 2009. Apesar de ser necessário um maior aprofundamento para o entendimento desta discrepância entre os inventários citados, este é um aspecto que merece ser avaliado no inventário do município de São Paulo.

Um ponto a ser explorado durante a elaboração do inventário municipal de São Paulo, a fim de se obter maior compreensão e sensibilidade, é referente ao *Global Temperature Potential* (GTP). Trata-se de uma nova métrica alternativa de potencial de emissão, definida como uma razão entre a mudança na temperatura média global da superfície em um dado horizonte de tempo para a emissão de um composto em relação a um gás de referência. Devido à inclusão do tempo de resposta do sistema climático, os valores do GTP para emissões pontuais de gases com tempo de vida menores que o do gás de referência serão menores que o valor correspondente ao GWP. A métrica GTP apresenta uma vantagem potencial sobre GWP, por ser relacionada diretamente com a mudança na temperatura da superfície. Apesar da métrica GWP ter deficiências conhecidas, esta continua sendo recomendada pelo IPCC para comparar os futuros impactos climáticos devido às emissões dos gases de longa duração.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR ISO 14064-1:2007, **Gases de efeito estufa Parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa**, 2007

ANTP, **Contratação de Serviços de Consultoria para Elaboração de Inventário Municipal de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (GEE) e outros Produtos, no Município de São Paulo**, SBQ NO 007/2011 - Atividade C 05 - Sustainable Transport and Air Quality Program (STAQ), Banco Mundial, 2011

CIDADE DO MÉXICO. Secretaria do Meio Ambiente. **Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero y carbón negro de La ZMVM 2008**. Cidade do México, 2010 – Disponível em: <<http://www.sma.df.gob.mx/ceina/index.php?bus=inventario&cat=0&op=2&tipo=2>> acesso em: 21.out.2011.

Greater London Authority. **London Energy and Greenhouse Gas Inventory 2008 Methodology Manual**. Londres, 2010. Disponível em: <<http://data.london.gov.uk/datastore/package/leggi-2008-database>> acesso em: 21.out.2011.

ICLEI. **International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol**. 2009. Disponível em: <<http://www.iclei.org/index.php?id=ghgprotocol>> acesso em: 08.dez.2011.

IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Program, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan, 2006. Disponível em: < <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/index.html>> acesso em: 21.out.2011.

IPCC. **2007 Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing**, Piers Forster (UK), Venkatachalam Ramaswamy (USA), Chapter 2, 2007. Disponível em: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2.html)> acesso em: 08.dez.2011.

IPCC. **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, França, 1997. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/index.html>> acesso em: 21.out.2011.

IPCC. **Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories**, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/index.html>> acesso em: 21.out.2011.

IPCC. **Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry**, 2003 Disponível em: <[http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_contents.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html)> acesso em 22.dez.2011.

CALIFORNIA/EUA (Estado), **(LGOP) Local Government Operations Protocol For the quantification and reporting of greenhouse gas emissions inventories**, *California Air Resources Board, California Climate Action Registry, ICLEI - Local Governments for Sustainability e The Climate Registry California ICLEI, Climate Registry*, Versão 1.1, 2010. Disponível em: <[http://sustainca.org/lgop/lgop\\_manual](http://sustainca.org/lgop/lgop_manual)> acesso em: 08.dez.2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **Inventário Municipal de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Minas Gerais, 2009. Disponível em: <<http://blog.munduscarbo.com/2010/03/inventario-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-de-belo-horizonte/>> acesso em: 21.out.2011.

SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E MEIO AMBIENTE - SVMA. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Município de São Paulo**. São Paulo, 2005. Disponível em: <[http://www.respirasaopaulo.com.br/Inventario\\_SVMA\\_SP.pdf](http://www.respirasaopaulo.com.br/Inventario_SVMA_SP.pdf)> acesso em: 08.dez.2011.

SÃO PAULO (Município). Lei nº 14.933, de 5 de junho de 2009. **Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo**. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.nossasaopaulo.org.br/portal/node/8807>> acesso em: 08.dez.2011.

THE CITY OF NEW YORK. **Inventory of New York City Greenhouse Gas Emissions**. Nova Iorque, 2010. Disponível em: <[http://www.nyc.gov/html/om/pdf/2011/pr331-11\\_report.pdf](http://www.nyc.gov/html/om/pdf/2011/pr331-11_report.pdf)> acesso em: 21.out.2011.

WRI/WBCSD World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development. **The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard**. Revised Edition. 2004 Disponível em: <<http://www.ghgprotocol.org/>> acesso em: 21.out.2011.

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

- Site oficial de Turismo da Cidade de São Paulo - <[www.cidadedesaopaulo.com](http://www.cidadedesaopaulo.com)> acesso em 12.dez.2011

## **ANEXO 1**

Inventário Municipal de Emissões de Gases de Efeito Estufa  
(Belo Horizonte)

# Relatório Final

## Inventário Municipal de Emissões de Gases de Efeito Estufa



Prefeitura Municipal de Belo Horizonte

Licitação 201/2008

Processo 01-177584-08-29

Belo Horizonte, Dezembro de 2009

# APRESENTAÇÃO

Ronaldo Vasconcellos\*

Ainda no ano passado, ao encerrar minha gestão como Vice-Prefeito da capital e coordenador do Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência (CMMCE), tive a oportunidade de entregar à população o documento “Diretrizes sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência em Belo Horizonte”.

Naquele momento, fiz questão de ressaltar que se tratava de um primeiro e importante passo para a criação e efetivação de políticas ambientais sustentáveis que garantissem, não somente o progresso, como também uma melhor qualidade de vida para a população da capital.

Agora, como Secretário Municipal de Meio Ambiente, e novamente à frente do CMMCE, estou diante de um grande desafio e responsabilidade. Quando assumi a Secretaria e pude avaliar de perto as ações e projetos em andamento ou a serem implementados, elegi como prioridade a elaboração e conclusão deste “Inventário Municipal de Emissões de Gases de Efeito Estufa”, para o que recebi o apoio do Prefeito Marcio Lacerda.

As mudanças climáticas locais vêm sendo, nos últimos anos, objeto de destaque no setor de pesquisas, constituindo-se num dos maiores desafios encontrados pela comunidade científica e, hoje também, um problema que afeta a maioria dos cidadãos.

A preocupação com os impactos dos gases de efeito estufa provocou uma série de acordos internacionais, uma vez que onde quer que sejam emitidos, eles estarão provocando alterações no padrão climático local e contribuindo para alterações climáticas em todo o planeta.

Diante deste cenário, o município de Belo Horizonte contratou, através de licitação, a empresa MUNDUSCARBO, para a elaboração do Primeiro Inventário Municipal de Emissões de Gases de Efeito Estufa. O inventário é uma ferramenta importante, pois fornecerá dados setoriais de emissões, a partir dos quais poderemos estabelecer políticas públicas e ações localizadas, visando mitigar os impactos nas condições climáticas de nossa cidade e, além disso, propor alterações efetivas para a adoção de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo e uso eficiente de energia, tendo como meta atingir o desenvolvimento sustentável.

O “Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Município de Belo Horizonte” deve ser visto como a etapa mais relevante na elaboração de políticas públicas relativas ao meio ambiente e à melhoria da qualidade de vida da população. Principalmente,

dará subsídios às ações do Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência para formulação de políticas públicas de redução de emissões.

\* Ronaldo Vaconcellos

Secretário Municipal de Meio Ambiente e

Coordenador do CMMCE



# RESPONSABILIDADES GERAIS

## PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE



**Marcio Araújo de Lacerda**

Prefeito

**Ronaldo Vasconcellos Novais**

Secretário Municipal de Meio Ambiente

Coordenador do Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| <b>Coordenação Geral</b>   | Ronaldo Vasconcellos Novais          |
| <b>Coordenação Técnica</b>   | Rogério Pena Siqueira                |
| <b>Equipe Técnica – Grupos Temáticos</b>   |                                      |
| Secretaria Municipal do Meio Ambiente - SMMA   | Agnus Rocha Bittencourt              |
|  | Cyleno dos Reis Guimarães            |
|  | Liliane Ferreira Santos              |
|  | Luciane Souza Cunha Melo             |
|  | Márcia Mourão Parreira Vital         |
|  | Maurício Barbosa Gonçalves Júnior    |
|  | Paulo Freitas de Oliveira            |
|  | Ronald Arreguy Silva                 |
|  | Sandra Maria Jorge de Pádua          |
|  | Sonia Mara Miranda Knauer            |
|  | Soraya Rodrigues                     |
| Weber Coutinho   |                                      |
| Secretaria Municipal de Planejamento - SMPL  | Flávia Mourão Parreira do Amaral     |
| Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte S/A – BHTRANS   | Márcio Cerqueira Batitucci           |
|  | Rogério Carvalho Silva               |
| Superintendência de Limpeza Urbana - SLU   | Wadson Vieira Dias                   |
| Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG   | Carlos Alberto Coelho                |
|  | Ezequiel Teodoro Elorde              |
|  | Rodrigo de Castro Freitas            |
| Companhia de Gás de Minas Gerais - GASMIG  | Frederico Borges Cordeiro            |
|  | Verônica Petri                       |
| Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA   | Célia Regina Alves Rennó             |
|  | Fernanda Chiatti                     |
| Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária - INFRAERO   | Gláucia Silveira Freire              |
|  | Wagner Soares                        |
| Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP  | José Lopes                           |
| Companhia Brasileira de Trens Urbanos – CBTU   | Adão Guimarães e Silva               |
| <b>Apoio Técnico</b>   |                                      |
| Gerência Executiva do Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência da Secretaria Municipal de Meio Ambiente – CMMCE/SMMA | Anna Maria Louzada Drummond Nogueira |

|  |                           |
|--|---------------------------|
|  | Júnia Márcia Bueno Neves  |
|  | Sérgio Cançado Salles     |
| <b>Apoio Administrativo</b>                  |                           |
| Secretaria Municipal de Meio Ambiente - SMMA | Antônio Fernandes Godinho |

**Consultoria Técnica:**



**MundusCarbo Soluções Ambientais e Projetos de Carbono Ltda.**

Rua Sebastião Fabiano Dias, 210 – salas 1102 e 1103 – Belvedere – Belo Horizonte/MG CEP 30320-690

|  |                              |
|--|------------------------------|
| <b>Coordenação e Controle de Qualidade</b> | João Marcelo Horta Mendes    |
| <b>Equipe Técnica</b>                      | Breno Rates Azevedo          |
|  | Felipe Ribeiro Bittencourt   |
|  | Henrique de Almeida Pereira  |
|  | Matheus Alves de Brito       |
|  | Mariana Ubaldino Vasconcelos |

## SUMÁRIO EXECUTIVO

O Inventário Municipal de Gases de Efeito Estufa (GEE) de Belo Horizonte identifica as fontes de emissão e apresenta sua quantificação, traçando uma análise histórica através da qual o Município poderá planejar suas ações para a efetiva mitigação das mudanças climáticas. O uso pretendido do Inventário Municipal é alimentar as ações do Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência, que busca trabalhar a formulação e articulação de políticas públicas e a conscientização ambiental da sociedade.

Belo Horizonte está localizada na Região Sudeste do Brasil, no Estado de Minas Gerais. O clima de Belo Horizonte é classificado como tropical de altitude, devido à altitude média de 900 metros acima do nível do mar e sua latitude e longitude (19,81°S e 43,95°O), sendo caracterizado por verão com chuvas e temperaturas elevadas e inverno com baixas temperaturas e pouca precipitação.

O Município foi fundado em 1897 para ser capital do Estado de Minas Gerais. Atualmente, a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) é formada por 34 municípios, possui uma população estimada em cerca de 5.397.000 habitantes, sendo a terceira maior aglomeração populacional brasileira. Em Belo Horizonte eram 2.413.937 habitantes em 2007.

O PIB do Município em 2006 foi de R\$ 32,7 bilhões o que representa cerca de 15,2% do PIB do Estado. Belo Horizonte se caracteriza pela predominância do setor terciário na economia, cuja participação no PIB municipal foi de aproximadamente 83% (ano 2006), sendo as atividades de serviços financeiros e imobiliários, administração pública e comércio aquelas que mais empregam trabalhadores formais na cidade.

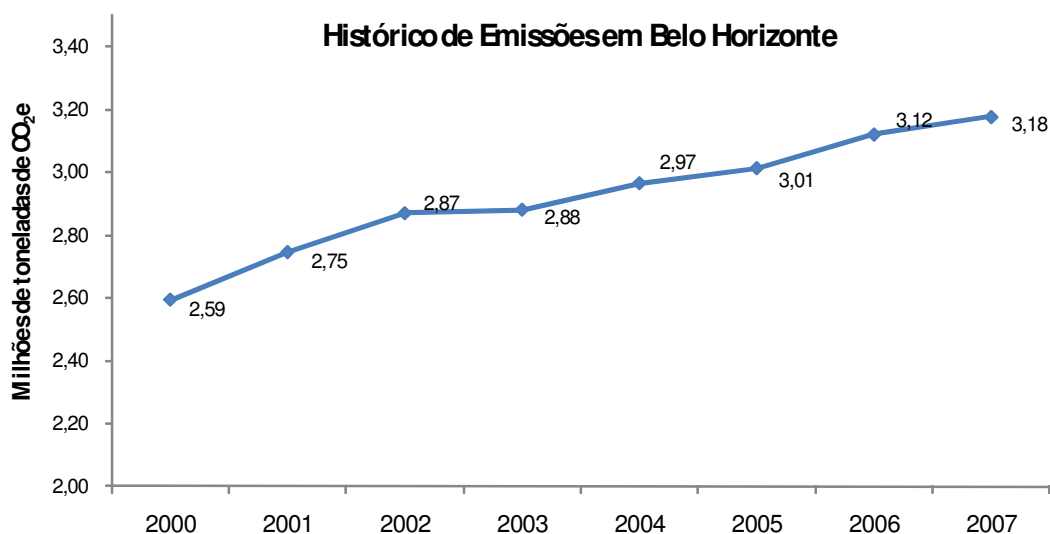
Para uma análise mais consistente do perfil de emissões de GEE do Município de Belo Horizonte, optou-se pela composição de uma série histórica, tendo como referência o ano 2000 como ano base e a evolução das emissões até o ano de 2007.

Foram contabilizadas emissões referentes aos seguintes gases: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Emissões de hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), investigadas de acordo com as diretrizes do IPCC, não foram identificadas no Município. As emissões foram contabilizadas em toneladas do GEE específico e convertidas em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e) de acordo com os potenciais de aquecimento global correspondente de cada gás.

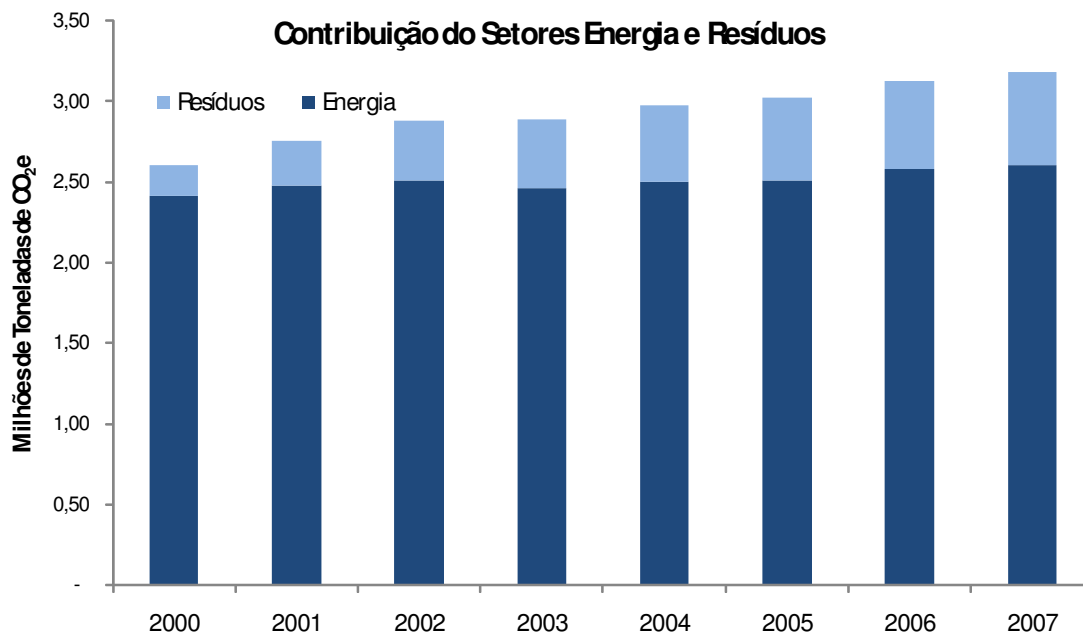
O Inventário Municipal de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Belo Horizonte segue a abordagem de escopos setoriais definida pelo documento "*IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*", que engloba Energia, Processos Industriais e Uso de Produto, Mudança no Uso do Solo e Resíduos. Ao longo da compilação e análise

dos dados, decidiu-se pela exclusão do escopo setorial Processos Industriais e Uso de Produto.

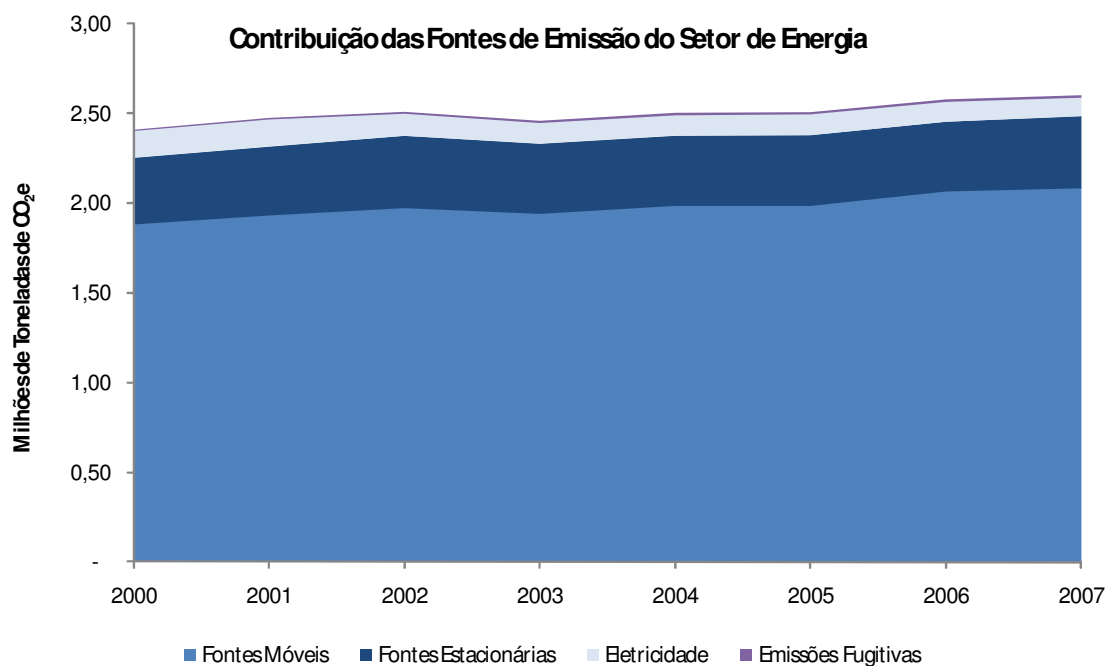
Combinando as emissões do setor governamental e da comunidade, as emissões totais de Belo Horizonte alcançaram em 2007 o número de 3,18 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e. Este valor é 22% superior ao total verificado para o ano 2000, portanto um crescimento médio anual de 2,96%.



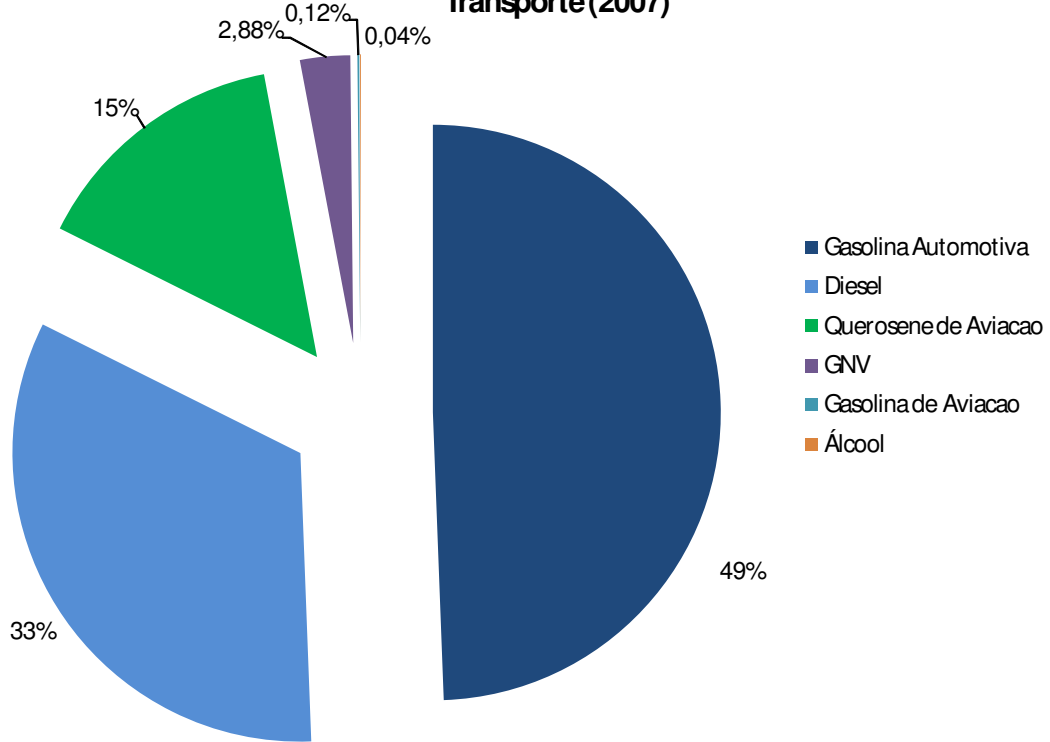
As emissões do escopo setorial Energia revelaram-se predominantes, respondendo por 82% do total verificado em 2007. As emissões do escopo setorial de resíduos contribuíram com 18% e o escopo setorial Mudança do Uso do Solo não contribuiu para as emissões de Belo Horizonte e sim para remoções de GEE da atmosfera.



As emissões de Belo Horizonte do escopo setorial Energia totalizaram 2,61 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e em 2007. Dentre este grupo de emissões, as decorrentes do setor de Transportes foram as mais preponderantes, sendo a Gasolina Automotiva responsável por 49% das emissões totais das fontes móveis e o Diesel B2 responsável por 33% no mesmo ano.

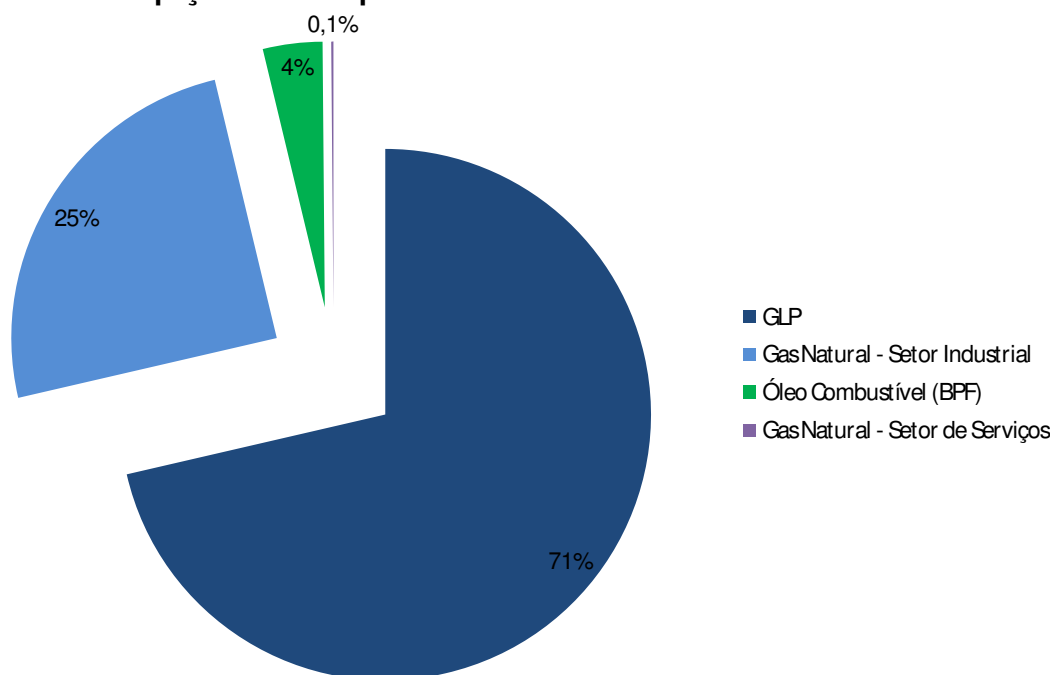


Participação de Cada Combustível nas Emissões do Setor de Transporte (2007)



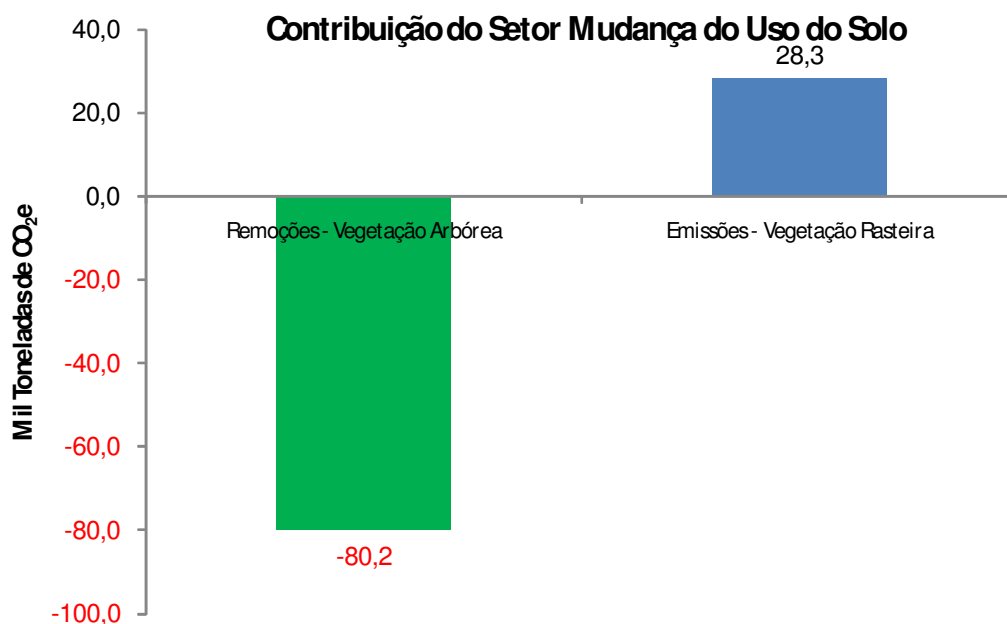
Dentre as fontes estacionárias de emissão de GEE, o gás GLP consumido em residências e no setor de serviços foi o principal emissor (71%), seguido do Gás Natural consumido no setor industrial (25%).

### Participação de Cada Tipo de Combustível nas Emissões Estacionárias

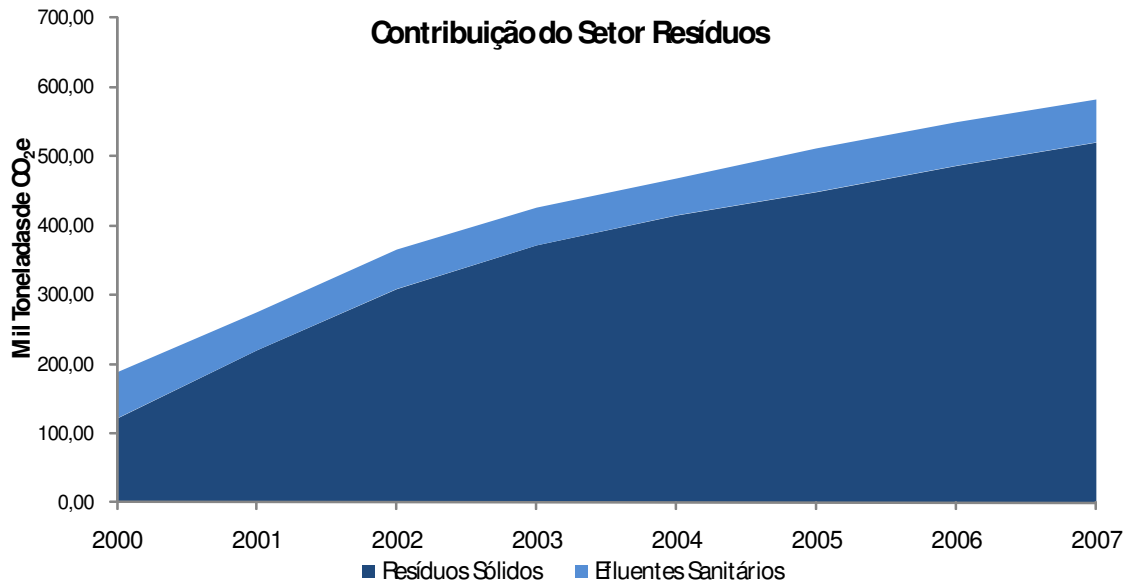


No escopo setorial de Mudança do Uso do Solo, o Município de Belo Horizonte apresentou remoções líquidas de GEE no acumulado do período 2000 a 2007 (remoções médias anuais de 6.487 toneladas de CO<sub>2</sub>e). Isto por que as áreas ocupadas por vegetação arbórea na cidade aumentaram no período em análise.

As áreas ocupadas por gramíneas e outras vegetações rasteiras diminuíram 27% no período mas as emissões correspondentes a esta supressão foram inferiores ao incremento nos estoques de carbono pela vegetação arbórea da cidade.



No escopo setorial de Resíduos, as emissões decorrentes do tratamento de resíduos sólidos urbanos (520 mil toneladas de CO<sub>2</sub>e em 2007) foram mais relevantes do que as emissões decorrentes do tratamento de efluentes sanitários (62 mil toneladas de CO<sub>2</sub>e em 2007). No tratamento de resíduos sólidos, as emissões passivas são as mais preponderantes (75%). Emissões passivas são aquelas decorrentes dos resíduos que foram aterrados em anos anteriores, visto que a degradação anaeróbica destes é lenta. Destaca-se que não foram consideradas emissões passivas de resíduos aterrados anteriormente ao ano base 2000. Para os efluentes sanitários, a digestão de lodo biológico na ETE Arrudas tornou-se em 2006 a principal fonte de emissões (42%).



No curto prazo, o Município reduzirá emissões provenientes do tratamento de resíduos sólidos urbanos da ordem de 400 mil toneladas anuais, através de projeto a ser registrado no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo da ONU. Outras medidas de redução de emissões envolvem produção de energia elétrica por fontes renováveis (resíduos sólidos e efluentes) e transporte urbano coletivo.



# ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| <a href="#">APRESENTAÇÃO</a> .....   | 2  |
| <a href="#">RESPONSABILIDADES GERAIS</a> .....   | 4  |
| <a href="#">SUMÁRIO EXECUTIVO</a> .....  | 6  |
| <a href="#">ÍNDICE</a> .....   | 12 |
| <a href="#">1. INTRODUÇÃO</a> .....  | 15 |
| <a href="#">1.1 Contextualização do Problema e a Experiência do Município de Belo Horizonte</a> ....   | 15 |
| <a href="#">1.2 Informações sobre o Clima de Belo Horizonte</a> .....  | 18 |
| <a href="#">1.3 Informações sobre o Perfil Sócio-econômico de Belo Horizonte</a> .....   | 23 |
| <a href="#">2. DIRETRIZES DO INVENTÁRIO MUNICIPAL DE GEE</a> .....   | 32 |
| <a href="#">2.1 Seleção do Ano Base e Gases de Efeito Estufa Incluídos no Inventário</a> .....   | 32 |
| <a href="#">2.2 Fronteiras do Inventário e Escopos Setoriais Abordados</a> .....   | 34 |
| <a href="#">2.3 Procedimentos de Garantia e Controle de Qualidade</a> .....  | 37 |
| <a href="#">3. METODOLOGIA</a> .....   | 40 |
| <a href="#">3.1 Consolidação das Emissões: Setor Governamental</a> .....   | 40 |
| <a href="#">3.2 Consolidação das Emissões: Comunidade</a> .....  | 42 |
| <a href="#">3.3 Metodologias de Cálculos</a> .....   | 45 |
| <a href="#">3.3.1 Emissão de CO<sub>2</sub> por consumo de combustíveis</a> .....  | 45 |
| <a href="#">3.3.2 Emissão de CH<sub>4</sub> por consumo de combustíveis</a> .....  | 45 |
| <a href="#">3.3.3 Emissão de N<sub>2</sub>O por consumo de combustíveis</a> .....  | 46 |
| <a href="#">3.3.4 Emissões fugitivas de CH<sub>4</sub> pela Rede de Distribuição de Gás Natural em Belo Horizonte e pelos pontos finais de consumo</a> ..... | 46 |
| <a href="#">3.3.5 Emissão de CO<sub>2</sub> por consumo de energia elétrica</a> .....  | 48 |

|  |     |
|--|-----|
| <a href="#">3.3.6 Emissão de CH4 por tratamento de efluentes líquidos</a>  | 49  |
| <a href="#">3.3.7 Emissão de CH4 por tratamento de resíduos sólidos em aterro sanitário</a>  | 53  |
| <a href="#">3.3.8 Cálculo do estoque de carbono, sua variação entre 2000 e 2007 e as remoções e emissões de CO2 associadas</a>                                   | 55  |
| <a href="#">4. RESULTADOS</a>  | 56  |
| <a href="#">4.1 EMISSÕES DO GOVERNO LOCAL</a>  | 56  |
| <a href="#">4.1.1 Escopo Setorial Energia</a>  | 56  |
| <a href="#">4.1.2 Escopo Setorial Resíduos</a>   | 58  |
| <a href="#">4.1.3 Total de Emissões do Setor Governamental</a>   | 60  |
| <a href="#">4.2 EMISSÕES DA COMUNIDADE</a>   | 62  |
| <a href="#">4.2.1 Escopo Setorial Energia</a>  | 62  |
| <a href="#">4.2.2 Escopo Setorial Mudança do Uso do Solo</a>   | 67  |
| <a href="#">4.2.3 Escopo Setorial Resíduos</a>   | 73  |
| <a href="#">4.2.4 Total de Emissões da Comunidade</a>  | 77  |
| <a href="#">4.3 EMISSÕES TOTAIS DO MUNICÍPIO</a>   | 79  |
| <a href="#">4.3.1 Escopo Setorial Energia</a>  | 80  |
| <a href="#">4.3.2 Escopo Setorial Mudança do Uso do Solo</a>   | 82  |
| <a href="#">4.3.3 Escopo Setorial Resíduos</a>   | 84  |
| <a href="#">4.4 1990 – Ano Base da CQNUMC</a>  | 85  |
| <a href="#">4.5 EMISSÕES DA QUEIMA DE BIOMASSA</a>   | 88  |
| <a href="#">5. ANÁLISE DAS INCERTEZAS DAS ESTIMATIVAS DE EMISSÃO</a>   | 90  |
| <a href="#">6. AVALIAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE REDUÇÃO DE EMISSÕES</a>   | 95  |
| <a href="#">7. COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DE BELO HORIZONTE COM EMISSÕES NACIONAIS, EMISSÕES DO ESTADO DE MINAS GERAIS E EMISSÕES DE OUTRAS CIDADES BRASILEIRAS</a> | 98  |
| <a href="#">BIBLIOGRAFIA</a>   | 100 |
| <a href="#">ANEXO I</a>  | 103 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <a href="#">ANEXO II</a> .....  | 109 |
| <a href="#">ANEXO III</a> ..... | 112 |

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização do Problema e a Experiência do Município de Belo Horizonte

### Horizonte

Durante a década de 80, evidências sobre a relação entre mudança global do clima e emissões de gases de efeito estufa despertaram o interesse da comunidade internacional, originando uma série de conferências sobre o tema. Em 1988 foi estabelecido o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*), instituição que congrega cientistas de diversos países e que tem o ofício de relatar à comunidade internacional o estado das alterações climáticas e os seus potenciais impactos ambientais e sócio-econômicos, através da compilação de estudos científicos.

Em 1990 foi divulgado o primeiro Relatório de Avaliação do IPCC, que levou ao reconhecimento em nível internacional quanto à importância do estabelecimento de uma plataforma política entre os países para enfrentar as alterações climáticas. O Relatório teve peso decisivo na criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (CQNUMC ou UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*). Em sua terceira Conferência das Partes<sup>1</sup>, em Kyoto, no Japão, em 1997, os países integrantes da CQNUMC definiram metas quantificáveis de redução de emissões para os países listados no Anexo I da Convenção (países industrializados e economias do antigo bloco soviético). Tais metas entraram em vigor em 16 de fevereiro de 2005, após a ratificação da Rússia ao Protocolo de Kyoto, e diz respeito ao período de 2008 a 2012, levando em consideração as emissões de 1990.

Economias emergentes e outros países em desenvolvimento (não relacionados no Anexo I da Convenção), como o Brasil, não possuem metas de redução de emissões neste primeiro período de vigência das mesmas, mas assumiram outros compromissos entre os quais o de desenvolver e atualizar periodicamente um inventário de emissões antrópicas e remoções de Gases de Efeito Estufa (GEE).

No Brasil, a elaboração de inventários de emissões em nível estadual ou municipal ainda é uma prática pouco disseminada, porém de extrema relevância para a orientação de políticas públicas. O Estado de Minas Gerais apresentou seu Inventário de Emissões de GEE em 2008, referente ao ano de 2005. Os municípios de São Paulo e Rio de Janeiro também já apresentaram seus inventários, além de outros que estão com o trabalho em andamento. O Estado de São Paulo aprovou em 11 de Novembro

---

<sup>1</sup> Conferência das Partes: Órgão supremo da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) que inclui os países que ratificaram ou aderiram à Convenção, sendo responsável pela sua implementação. Reúne-se anualmente e o primeiro período de sessões da Conferência das Partes (COP-1) ocorreu em Berlim em 1995.

de 2009 sua Política Estadual de Mudanças Climáticas, através da qual o Estado compromete-se com uma meta de redução de emissões de 20% até 2020, em relação ao ano de 2005. O Município de São Paulo também teve uma Política de Mudanças do Clima sancionada em 05 de Junho de 2009.

O Município de Belo Horizonte insere-se no cenário internacional de mudanças climáticas através de iniciativas como a Campanha para Liderança Climática 2020 (2020 *Climate Leadership Campaign*), organizada pela *State of the World Forum*<sup>2</sup> (SWF). A Campanha foi lançada em agosto de 2009, no próprio Município, e conta com a participação de cientistas, especialistas, governos, empresas e a sociedade civil organizada, e busca garantir a redução em 80% dos níveis de emissão de carbono, em relação ano de 2006, até 2020. O Estado de Minas Gerais, juntamente com os municípios do Rio de Janeiro e Curitiba, já aderiram à causa.

Além da Campanha para Liderança Climática 2020, Belo Horizonte integra o movimento internacional Governos Locais pela Sustentabilidade (ICLEI – *International Council for Local Environmental Initiatives*, posteriormente renomeado como *Local Governments for Sustainability*<sup>3</sup>). Dentre os programas do ICLEI está a campanha “Cidades pela Proteção do Clima”, através da qual um assessoramento técnico é prestado aos integrantes com vistas à adoção de políticas e medidas para a redução de emissões locais de gases de efeito estufa. Ao participar desta campanha, o Município se comprometeu a construir um inventário de emissões e adotar metas de redução, além de desenvolver um Plano de Ação Local e monitorar os resultados.

O Município de Belo Horizonte também se insere no projeto do ICLEI denominado PoliCS - Políticas de Construção Sustentável, que inclui, além do Município, as cidades de Buenos Aires (Argentina) e Montevideu (Uruguai) entre os governos-piloto, além dos municípios parceiros de Porto Alegre e São Paulo. O projeto visa criar uma rede de apoio para auxiliar os municípios a desenvolverem planos de ação e políticas setoriais para a construção civil, estimulando soluções para o uso eficiente de insumos nas edificações e redução significativa das emissões de carbono pelo ambiente construído. Desta forma, são discutidas em âmbito municipal a disposição de ferramentas administrativas e regulatórias para a operação sustentável das edificações públicas e privadas, a criação de políticas públicas para compras sustentáveis, a regulação de padrões construtivos, a mobilização e sensibilização da sociedade, assim como a criação incentivos econômicos.

---

<sup>2</sup> State of the World Forum: Organização não-governamental fundada nos Estados Unidos em 1995 que tem como objetivo criar uma rede de lideranças globais, entre governantes, prêmios Nobel, líderes empresariais, ativistas sociais etc. – comprometidos a identificar e implementar princípios, valores e ações necessárias para guiar a humanidade durante a consolidação de um mundo globalizado e interdependente

<sup>3</sup> ICLEI: associação democrática e internacional de governos locais e organizações governamentais nacionais e regionais que assumiram um compromisso com o desenvolvimento sustentável. Mais de 1000 cidades, municípios e associações fazem parte da comunidade de membros do ICLEI. O ICLEI, enquanto movimento, desenvolve e gerencia diversas campanhas e programas que abordam questões de sustentabilidade local e protegem bens comuns globais (como qualidade do ar, clima e água), fazendo a ligação entre a ação local e as metas e objetivos de acordos internacionais.

No âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo<sup>4</sup>, o Município licitou em 2007 o desenvolvimento de um projeto de recuperação de biogás no aterro sanitário da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos. Anteriormente, na esfera privada, a V&M do Brasil S.A. implantou, em 2005, na Regional Barreiro, o primeiro projeto de MDL em Belo Horizonte. Ainda, a COPASA MG (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) desenvolve um projeto para implantação de uma pequena usina termelétrica movida a biogás na Estação de Tratamento de Esgotos do Arrudas, a principal de Belo Horizonte.

Ainda, foi recentemente organizado o Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência, que busca trabalhar a formulação e articulação de políticas públicas e a conscientização ambiental da sociedade. O Comitê é composto por membros da Prefeitura, da Câmara Municipal, do Estado, universidades, ONGs e entidades representativas da indústria e do comércio que estudam formas de estimular a ampliação de políticas públicas já existentes, como o aproveitamento do biogás produzido no aterro sanitário de resíduos sólidos, o uso de energia solar nas residências e a ampliação dos sistemas de reciclagem de resíduos, além de propor novas ações.

Dentre as políticas públicas relevantes para a questão de emissões de gases de efeito estufa já implementadas pelo Município destacam-se as intervenções no trânsito. Foram feitas adequações viárias, correções geométricas, nova distribuição das linhas do transporte coletivo por pontos de embarque e desembarque, novas travessias de pedestres, melhoria nas condições de segurança viária e aprimoramento das sinalizações vertical e horizontal. As intervenções permitem dar mais fluidez ao transporte coletivo, maior velocidade dos ônibus e redução do tempo de viagem. Ao permitir maior fluidez e melhoria das condições do trânsito, garantem a redução de emissões de gases de efeito estufa pelos veículos que circulam na cidade.

O presente Inventário Municipal de Gases de Efeito Estufa identifica as fontes de emissão de GEE em Belo Horizonte e apresenta sua quantificação. Assim, foi traçada uma análise histórica das emissões do Município através da qual o poderão ser planejadas outras ações visando à mitigação das mudanças climáticas. Nesse sentido, o Inventário deverá alimentar as ações do Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência.

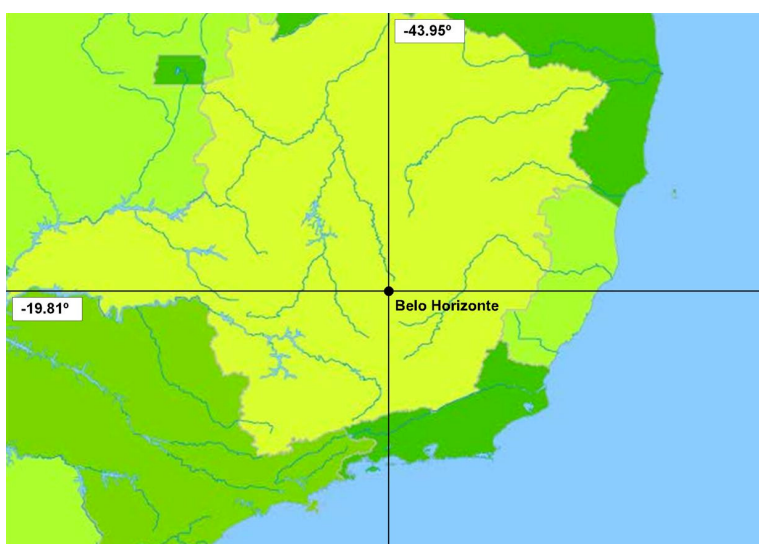
---

<sup>4</sup> O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): é um dos mecanismos de flexibilização criados pelo Protocolo de Kyoto para auxiliar o processo de redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE) ou de sequestro de carbono. As Partes no Anexo I que têm tetos de emissão de GEE (limites de emissão) auxiliam as Partes não-Anexo I, que não têm limites de emissão, a implementar atividades de projetos de redução de emissões de GEE (ou remoção por sumidouros), e créditos serão emitidos com base nas reduções de emissões (ou remoções por sumidouros) obtidas pelas atividades de projeto.

## 1.2 Informações sobre o Clima de Belo Horizonte

A caracterização do clima típico de Belo Horizonte é importante por dois fatores: (i) para registrar os padrões climáticos do Município na época da compilação de seu primeiro inventário de emissões de GEE; e (ii) para justificar a escolha de variáveis importantes relacionadas aos cálculos das emissões por disposição de resíduos sólidos e tratamento de efluentes. As emissões provenientes destes sub-escopos setoriais, por serem decorrentes de processos microbiológicos, são sensíveis a variáveis climáticas como temperatura e precipitação.

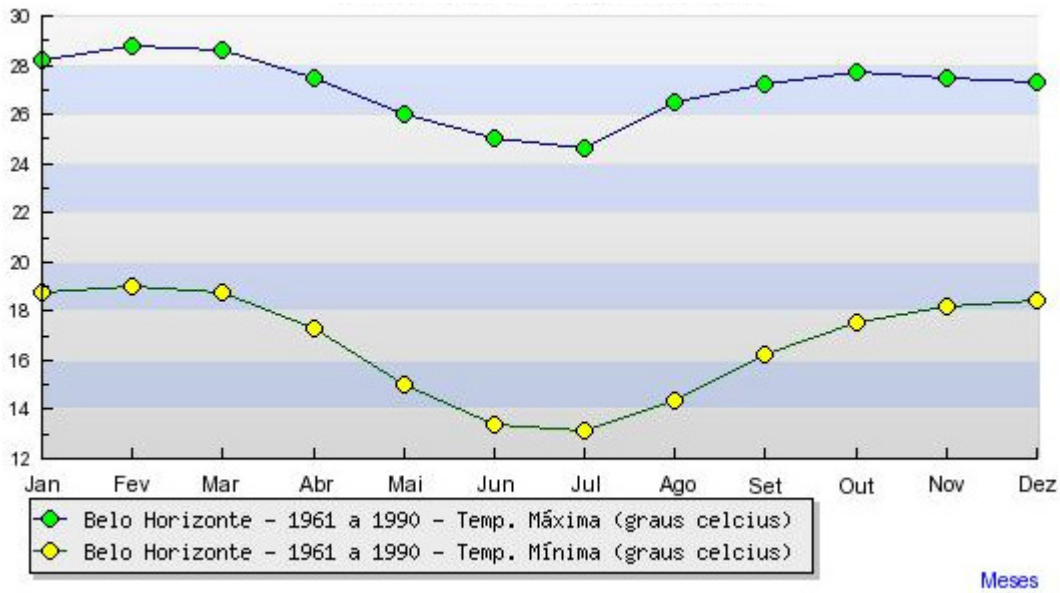
O Município de Belo Horizonte está localizado na Região Sudeste do Brasil, no Estado de Minas Gerais. O clima de Belo Horizonte é classificado como tropical de altitude, devido à altitude média de 900 metros acima do nível do mar e sua latitude e longitude (19,81°S e 43,95°O) (Figura 1), sendo caracterizado por verão com chuvas e temperaturas elevadas e inverno com baixas temperaturas e pouca precipitação.



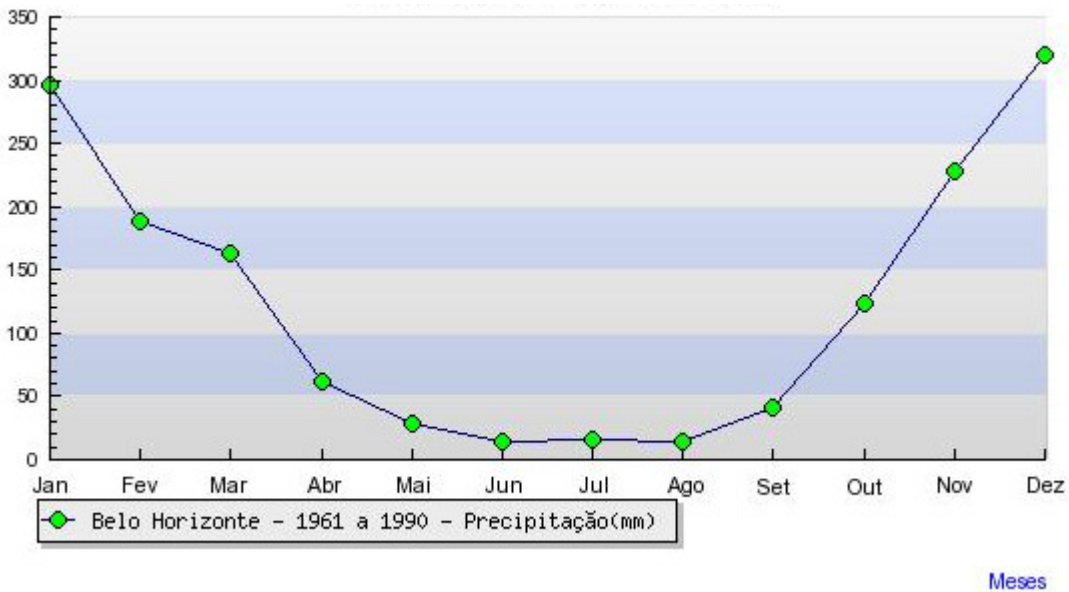
**Figura 1: Localização do município de Belo Horizonte. Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**

Segundo as normais climatológicas<sup>5</sup> medidas entre 1961 e 1990, a temperatura média mensal de Belo Horizonte está entre 13 e 29 °C (Figura 2) e a precipitação pode alcançar até 320 mm mensais na estação chuvosa, sendo a precipitação anual em torno de 1450 mm em média (Figura 3).

<sup>5</sup> Normal climatológica corresponde a uma média de 30 anos de elementos climáticos (neste caso os elementos considerados são Precipitação, Temperatura Mínima e Temperatura Máxima). A Organização Meteorológica Mundial (OMM) fixou 30 anos como sendo tempo suficiente para se poder admitir que os dados representem o valor predominante daquele elemento no local considerado começando no primeiro ano de cada década (1901-30, 1931-1960, 1941-1970, 1961-1990, 1971-2000). "Normal" significa a distribuição dos dados dentro de uma faixa de incidência habitual. Os parâmetros podem incluir temperatura, pressão, precipitação, ventos, temporais, quantidade de nuvens, percentagem de umidade relativa, dentre outros.



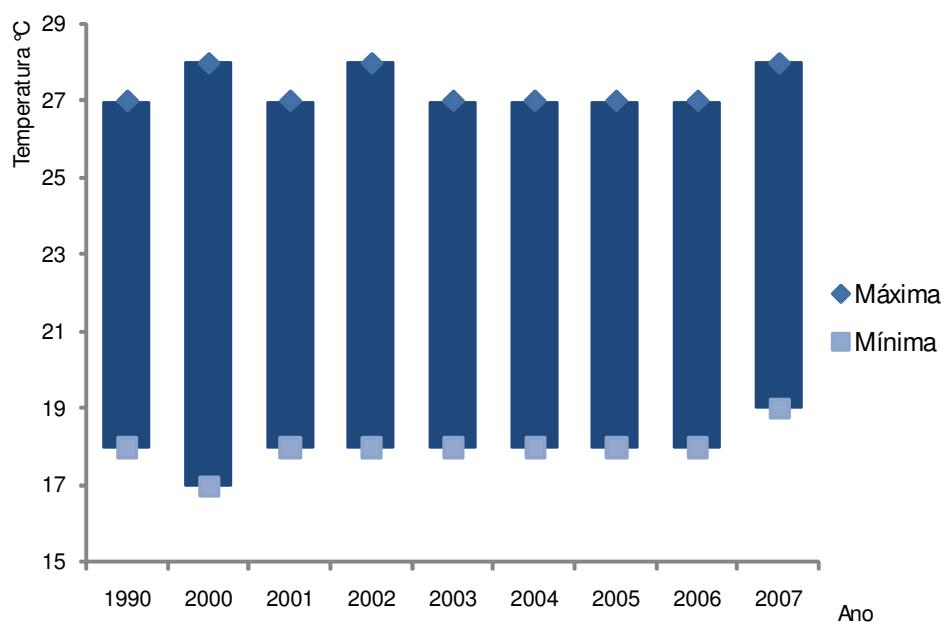
**Figura 2: Temperatura Máxima e Mínima segundo a Normal Climatológica (1961-1990) de Belo Horizonte. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)**



**Figura 3: Precipitação segundo a Normal Climatológica (1961-1990) de Belo Horizonte. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)**

As temperaturas médias máxima e mínima anuais de 1990 e do período de 2000 a 2007 se apresentaram da seguinte forma:





**Figura 4: Temperaturas médias máximas e mínimas em Belo Horizonte (INPE/INMET)**

A temperatura média máxima no Município de Belo Horizonte distribuída de acordo com o número de dias entre os anos de 2001 e 2007 apresentou-se como exposto a seguir:

**Tabela 1: Temperatura média máxima no Município de Belo Horizonte distribuída de acordo com os dias do ano entre os anos de 2001 e 2007**

| Ano  | Temperatura Média Máxima (n.º de dias por ano) |             | Total (dias) |
|------|--|-------------|--------------|
|      | <30°C  | 30°C a 35°C |              |
| 2001 | 290  | 75          | 365          |
| 2002 | 283  | 82          | 365          |
| 2003 | 269  | 96          | 365          |
| 2004 | 298  | 68          | 366          |
| 2005 | 290  | 75          | 365          |
| 2006 | 291  | 74          | 365          |
| 2007 | 260  | 105         | 365          |

Fonte: Confeccionada a partir de dados fornecidos por gráficos de temperatura média máxima no site do INMET

A temperatura média mínima no Município de Belo Horizonte distribuída de acordo com o número de dias entre os anos de 2001 e 2007 apresentou-se como exposto a seguir:

**Tabela 2: Temperatura média mínima no Município de Belo Horizonte distribuída de acordo com os dias do ano entre os anos de 2001 e 2007**

| Ano  | Temperatura Média Mínima (n.º de dias por ano) |       | Total (dias) |
|------|--|-------|--------------|
|      | 15°C a 20°C                                    | >20°C |              |
| 2001 | 310  | 55    | 365          |
| 2002 | 316  | 49    | 365          |
| 2003 | 307  | 58    | 365          |
| 2004 | 351  | 15    | 366          |
| 2005 | 313  | 52    | 365          |
| 2006 | 304  | 61    | 365          |
| 2007 | 293  | 72    | 365          |

Fonte: Confeccionada a partir de dados fornecidos por gráficos de temperatura média mínima no site do INMET

A precipitação no Município de Belo Horizonte entre os anos de 2001 e 2007 apresentou-se como exposto nas tabelas a seguir:

**Tabela 3: Precipitação total no Município de Belo Horizonte entre os anos de 2001 e 2007**

| Ano  | Precipitação Total (mm) |
|------|-------------------------|
| 2001 | 1490                    |
| 2002 | 1450                    |
| 2003 | 1740                    |
| 2004 | 1950                    |
| 2005 | 1640                    |
| 2006 | 1570                    |
| 2007 | 1160                    |

Fonte: Confeccionada a partir de dados fornecidos por gráficos de precipitação mensal no site do INMET

**Tabela 4: Ocorrência de chuvas de maior intensidade no Município de Belo Horizonte entre os anos de 2001 e 2007**

| Ano  | Precipitação Diária (n.º de dias por ano) |        |           |        | Total (dias) |
|------|---|--------|-----------|--------|--------------|
|      | Sem Chuva                                 | < 50mm | 50 - 79mm | > 80mm |              |
| 2001 | 275                                       | 85     | 5         | 0      | 365          |
| 2002 | 269                                       | 91     | 5         | 0      | 365          |
| 2003 | 269                                       | 87     | 7         | 2      | 365          |
| 2004 | 254                                       | 102    | 8         | 2      | 366          |

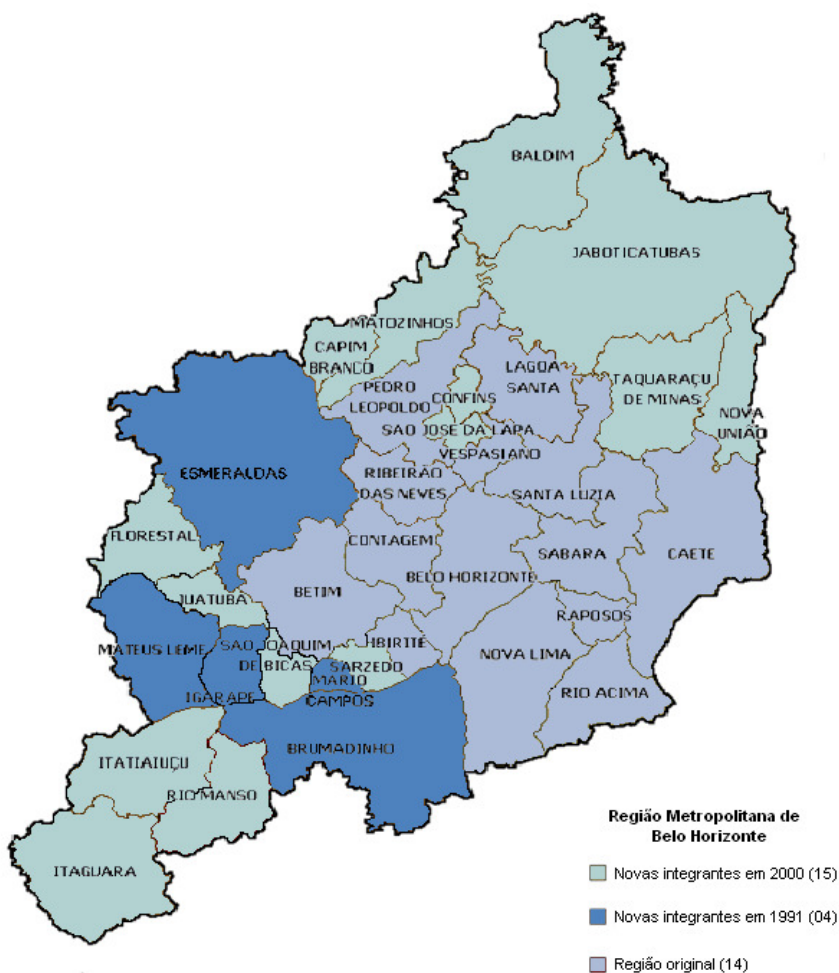
|      |     |     |   |   |     |
|------|-----|-----|---|---|-----|
| 2005 | 252 | 110 | 2 | 1 | 365 |
| 2006 | 256 | 107 | 1 | 1 | 365 |
| 2007 | 283 | 81  | 1 | 0 | 365 |

Fonte: Confeccionada a partir de dados fornecidos por gráficos de precipitação mensal no site do INMET

### **1.3 Informações sobre o Perfil Sócio-econômico de Belo Horizonte**

A caracterização do perfil sócio-econômico da cidade é importante para propiciar um melhor entendimento das relações entre atividade econômica e emissões de GEE. Em outras palavras, o perfil de emissões de GEE de uma comunidade está diretamente relacionado às atividades econômicas exercidas nesta comunidade e também ao padrão de consumo e geração de resíduos/efluentes de sua população.

Belo Horizonte foi a primeira capital planejada do país, construída a partir de uma concepção urbanística do engenheiro Aarão Reis. Tendo a Avenida do Contorno como um elemento delimitante da área central urbanizada, organizada na forma de um tabuleiro de xadrez de ruas cruzando-se em ângulos retos com grandes avenidas, formando quarteirões simétricos e abrigando um grande parque central, o Município fundado em 1897 foi projetado para abrigar 200 mil habitantes. Nas primeiras décadas após a inauguração da capital, não houve muita evolução populacional e econômica sobretudo em função de duas crises econômicas (em 1912 e em 1914). Durante as décadas seguintes (1920-1940) houve grande expansão do setor industrial da região, levando à geração de empregos e expansão de mercados e serviços. No início da década de 50, o Município contava com uma população de 350 mil habitantes, número que dobrou durante aquela década devido ao intenso êxodo rural em Minas Gerais. O crescimento da população fez com que, nos anos 60, o Município passasse por acelerado crescimento urbano com modificação da estrutura física e descaracterização da estrutura original planejada. O crescimento desordenado levou à expansão para municípios vizinhos, levando à instituição da região metropolitana. Atualmente, a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) é formada por 34 municípios (Figura 4), possui uma população estimada em cerca de 5.397.000 habitantes, sendo a terceira maior aglomeração populacional brasileira.



**Figura 5: Evolução da região metropolitana de Belo Horizonte até o ano 2000. Fonte: Dados Prefeitura de Belo Horizonte. Mapa modificado com base em: [http://www.observatoriodasmetrosoles.ufrj.br/metrodata/ibrm/ibrm\\_bh\\_ich.htm](http://www.observatoriodasmetrosoles.ufrj.br/metrodata/ibrm/ibrm_bh_ich.htm)**

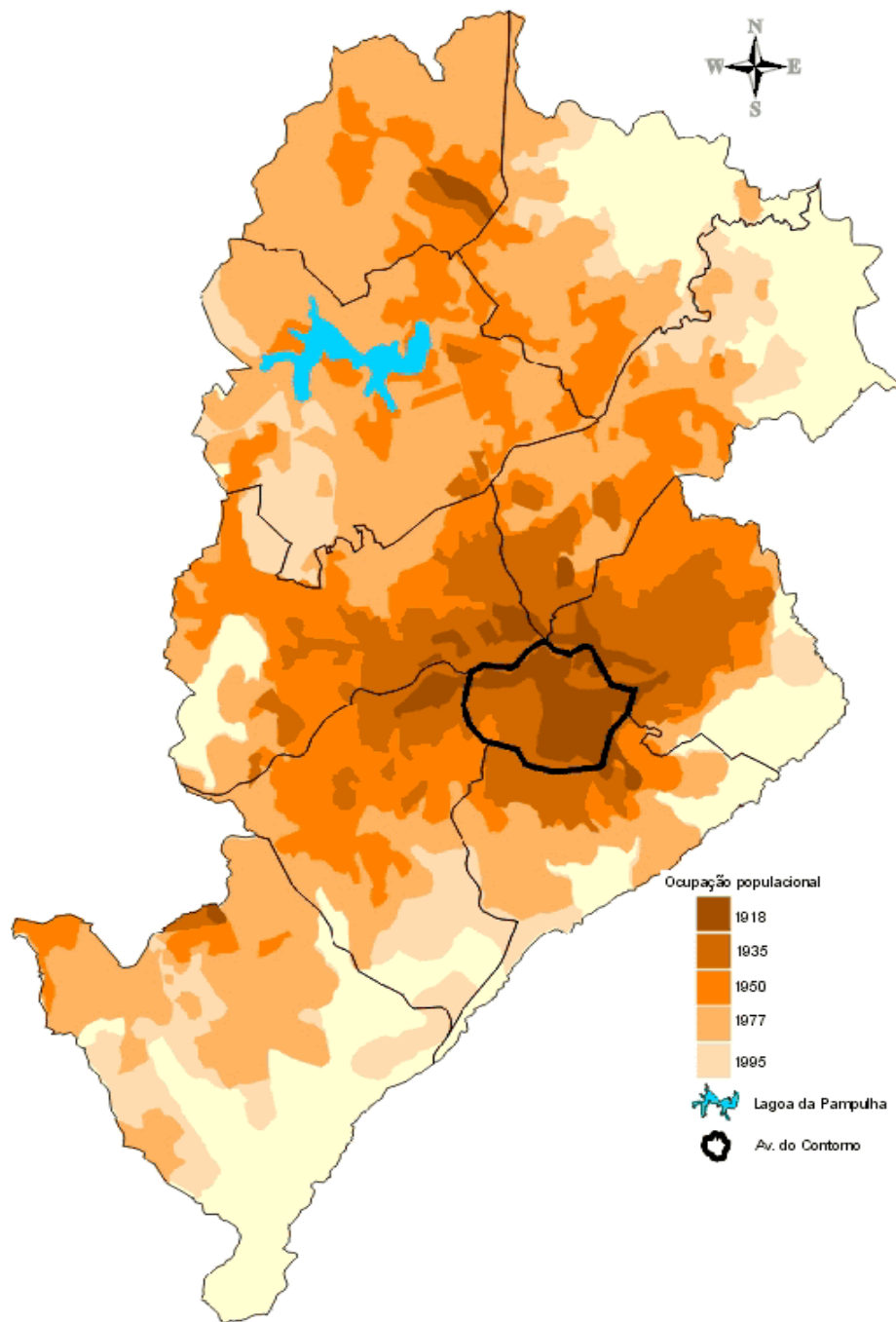
O Município de Belo Horizonte está dividido em nove administrações regionais (Figura 6) que são divididas em bairros, visando a desconcentração e descentralização administrativas para atendimento ao público e manutenção e execução de obras de pequeno porte, além de outras atividades.



**Figura 6: Regionais do município de Belo Horizonte. Fonte: Mapa modificado com base em:**

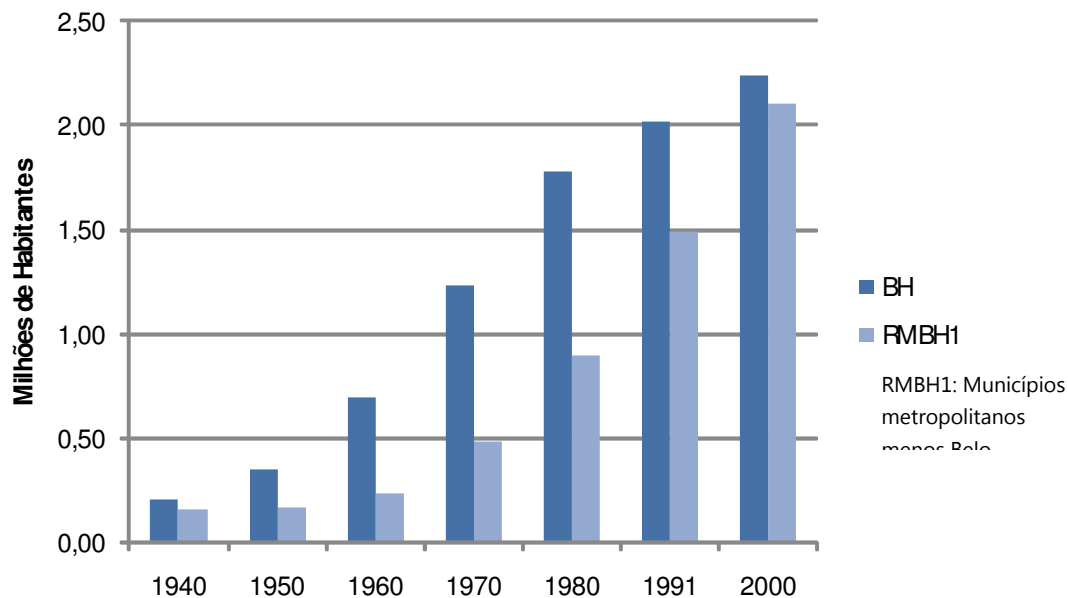
**[http://www.zonu.com/imapa/americas/Mapa\\_Limite\\_Municipio\\_Belo\\_Horizonte\\_Divisao\\_Regionais\\_Brasil.jpg](http://www.zonu.com/imapa/americas/Mapa_Limite_Municipio_Belo_Horizonte_Divisao_Regionais_Brasil.jpg)**

Na ocasião de sua fundação, Belo Horizonte contava com uma população de 10.000 habitantes. Em 2007, sua população era de 2.413.937 habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A Figura 6 abaixo ilustra a expansão da ocupação urbana no Município ao longo de sua existência.



**Figura 7: Evolução da Mancha Urbana de Belo Horizonte. Fonte: Mapa modificado com base em mapa disponível no site da Prefeitura de Belo Horizonte**

Nos últimos anos, a saturação das áreas disponíveis tem incentivado a verticalização das construções no Município e a especulação imobiliária nas cidades da região metropolitana mais próximas à capital. A evolução da população residente na capital e nos demais municípios da região metropolitana pode ser avaliada pela figura abaixo.

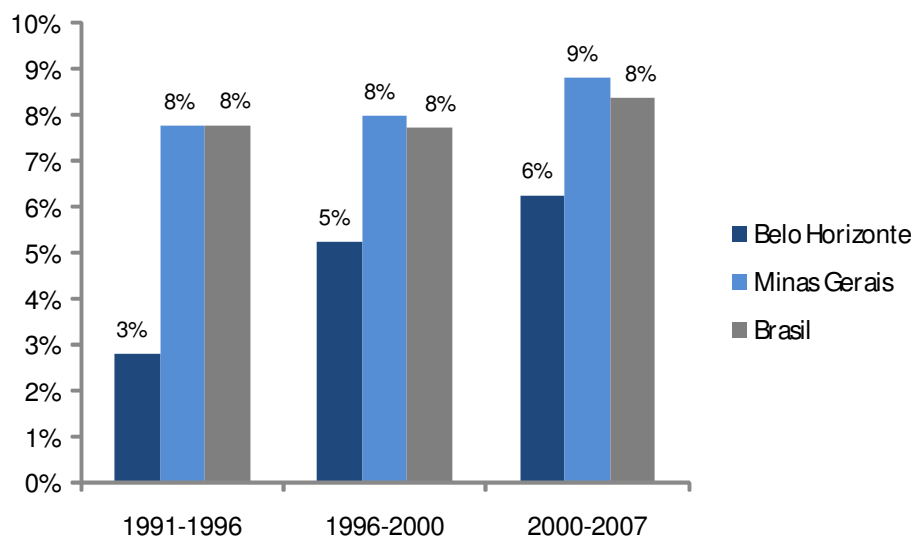


**Figura 8: População de Belo Horizonte e RMBH entre 1940-2000. Fonte dos dados:**

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392005000400003&lng=en&nrm=isso)

[88392005000400003&lng=en&nrm=isso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392005000400003&lng=en&nrm=isso)

Vale notar que o aumento da população do município foi inferior ao crescimento observado no Estado de Minas Gerais e do Brasil como um todo (Figura 9).





**Figura 9: Crescimento da população de Belo Horizonte, Minas Gerais e Brasil em relação ao ano de 1991, 1996 e 2000. Fonte dos dados: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**

Belo Horizonte possui o quarto maior Produto Interno Bruto (PIB) entre os municípios brasileiros, representando 1,38% do total das riquezas produzidas no país em 2006<sup>6</sup> (Tabela 5). Entre os anos 2000 e 2006, o PIB do Município sofreu um aumento superior a 100% (Figura 10).

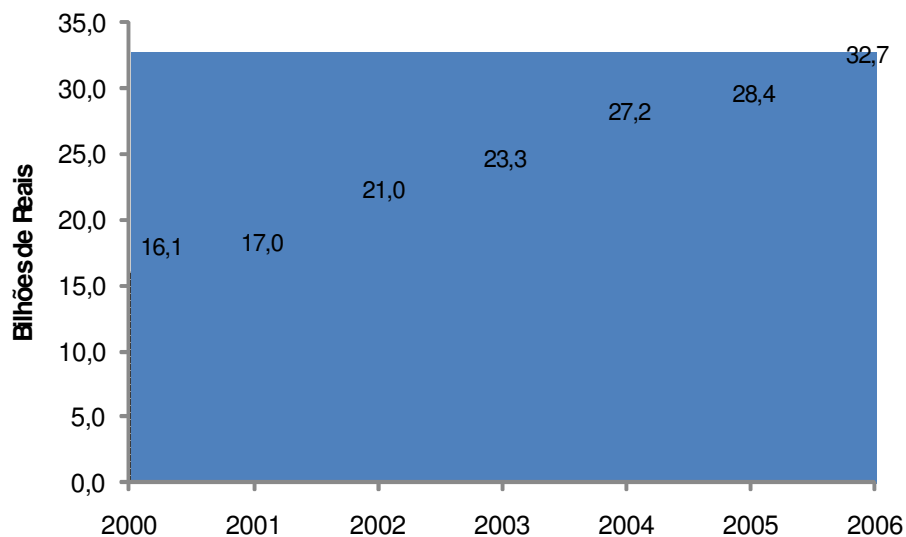
**Tabela 5: Posição dos cinco maiores municípios em relação ao Produto Interno Bruto**

| Municípios        | Posição dos municípios brasileiros com maior PIB |      |      |      |      | Participação Relativa em 2006 |                      |
|-------------------|--|------|------|------|------|-------------------------------|----------------------|
|                   | 2002   | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | PIB Brasil (%)                | População Brasil (%) |
| São Paulo/SP      | 1  | 1    | 1    | 1    | 1    | 11,94                         | 5,90                 |
| Rio de Janeiro/RJ | 2  | 2    | 2    | 2    | 2    | 5,40                          | 3,29                 |
| Brasília/DF       | 3  | 3    | 3    | 3    | 3    | 3,78                          | 1,28                 |
| Belo Horizonte/MG | 4  | 5    | 4    | 5    | 4    | 1,38                          | 1,29                 |
| Curitiba/PR       | 6  | 4    | 5    | 4    | 5    | 1,36                          | 0,96                 |

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

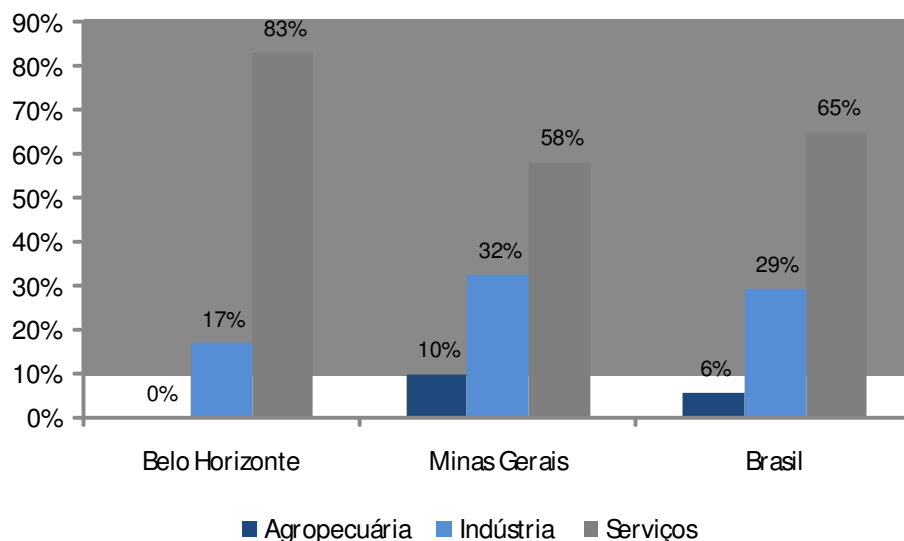
O PIB do Município em 2006 foi de R\$ 32,7 bilhões o que representa cerca de 15,2% do PIB do Estado. O PIB da Região Metropolitana de Belo Horizonte em 2006 foi cerca de R\$74,16 bilhões, representando 34,5% do PIB mineiro.

<sup>6</sup> Até o momento de conclusão deste documento, a última informações sobre o PIB da cidade era referente ao ano de 2006.

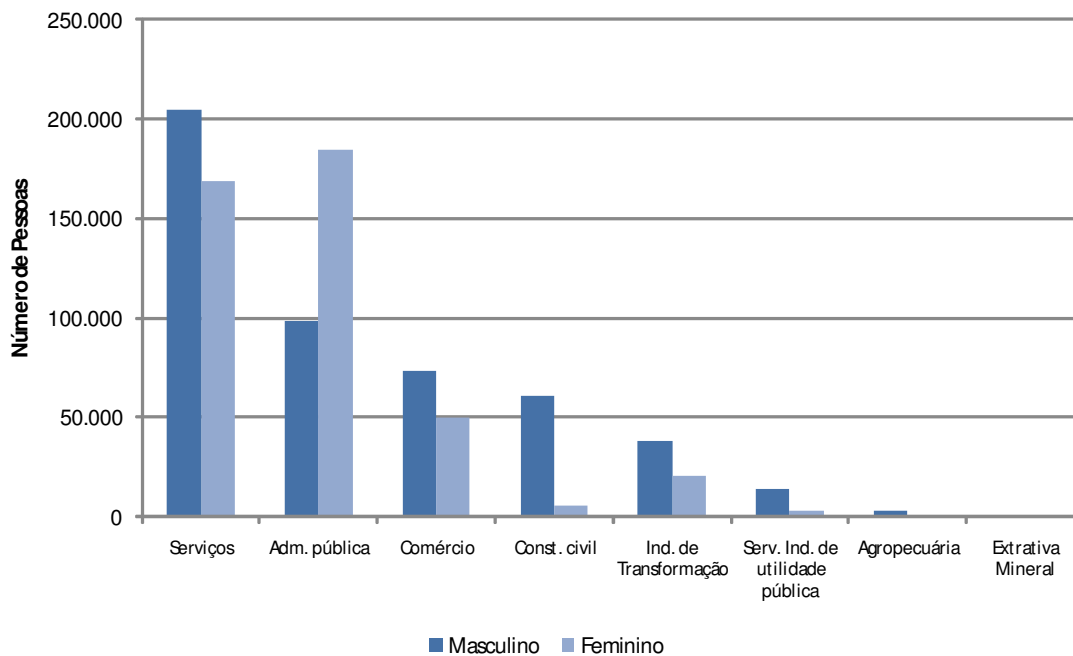


**Figura 10: Produto Interno Bruto de Belo Horizonte entre os anos de 2000 e 2006. Fonte dos dados: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**

Belo Horizonte se caracteriza pela predominância do setor terciário na economia (Figura 11), cuja participação no PIB foi de 83% em 2006. As atividades de serviços financeiros e imobiliários, administração pública e comércio são as que mais empregam trabalhadores formais na cidade (Figura 12).



**Figura 11: Participação dos setores econômicos na composição do Produto Interno Bruto (PIB) de Belo Horizonte, Minas Gerais e Brasil. Ano 2006. Fonte dos dados: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**



**Figura 12: Trabalhadores no mercado de trabalho formal por setores de atividade econômica e sexo - Belo Horizonte – 2002. Fonte dos dados: Prefeitura de Belo Horizonte**

As atividades industriais no Município de Belo Horizonte tiveram início nos primeiros anos após a inauguração da capital e foi se estruturando ao longo dos anos. A partir da década de 1970, houve a chegada de multinacionais ao Município e região metropolitana devido a incentivos fiscais. As décadas seguintes, 1980 e 1990, foram marcadas por recessão e estagnação econômica. A ampliação da participação popular e a discussão sobre o perfil da indústria localizada na área urbana fizeram com que houvesse transferências para áreas industriais. As exigências por melhor qualidade de vida e medidas de proteção ao meio ambiente estimularam o estabelecimento de um perfil industrial novo, baseado em indústrias não-poluentes e de alta tecnologia. Atualmente, Belo Horizonte se caracteriza como um dos mais importantes pólos industriais do Brasil, com empresas de ponta nas áreas de confecção, calçados, informática, alimentação, aparelhos elétricos e eletrônicos, perfumaria e turismo de negócios.

O setor terciário apresenta-se como predominante no Município em contraponto à tendência de instalação de centros industriais nas cidades do entorno que correspondem ao Eixo Industrial da Região Metropolitana (Betim e Contagem). Dentre os fatores responsáveis pela predominância do setor terciário está a existência de mão-de-obra excedente que não é absorvida pelo setor industrial e a implantação de

indústrias manufatureiras, de bens de capital e de bens de consumo duráveis, que provocam impactos positivos no setor de serviços.

Atividades auxiliares do setor industrial, que envolvem basicamente os serviços profissionais e de negócios, setor financeiro e de seguros, serviços imobiliários e de *leasing*, locação e transportes, engenharia, *design* e científicos, apresentam-se concentrados na regional Centro-Sul. Atividades comerciais tradicionais estão distribuídas de forma mais homogênea entre as regionais do Município. Recentemente, Belo Horizonte tem se destacado no setor de turismo de eventos e turismo cultural, causando uma grande movimentação na economia, aumentando os níveis de ocupação da rede hoteleira e do consumo dos serviços de bares, restaurantes e transportes.

Em 2009, Belo Horizonte foi relacionada no ranking da revista *América Economía* como uma das 10 melhores cidades da América Latina para fazer negócios, sendo a segunda do Brasil, o que demonstra o grande desenvolvimento da economia do Município nos últimos anos. Além disso, Belo Horizonte aparece entre as 7 cidades com melhor infraestrutura de transportes (Tabela 6), energia (Tabela 7) e saneamento (Tabela 8) do país, fator decisivo para a atração de investimentos.

Tabela 6: Infraestrutura de Transportes

| Município             | Frota de (Todos os tipos)<br>1000 unid. | Frota de ônibus e Microônibus<br>unidades | Aeroportos  |                            | Movimento de Carga Aérea<br>toneladas | Frota de Caminhões<br>1000 unid. |
|-----------------------|---|---|-------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
|                       |   |   | Passageiros | Passageiros Internacionais |                                       |                                  |
| São Paulo (SP)        | 4.887,6                                 | 60.914                                    | 24.571      | 8.578                      | 514.189                               | 122,8                            |
| Rio de Janeiro RJ)    | 1.639,6                                 | 23.149                                    | 9.885       | 2.403                      | 2.403                                 | 26,6                             |
| Curitiba (PR)         | 957,8                                   | 7.836                                     | 3.387       | 56                         | 56                                    | 30,6                             |
| Brasília (DF)         | 855,4                                   | 11.410                                    | 9.392       | 35                         | 35                                    | 15,5                             |
| Campinas (SP)         | 502,1                                   | 5.933                                     | 801         | 16                         | 16                                    | 13,0                             |
| Porto Alegre (RS)     | 563,3                                   | 5.486                                     | 3.268       | 254                        | 254                                   | 12,6                             |
| Belo Horizonte (MG)   | 880,6                                   | 9.787                                     | 4.146       | 42                         | 42                                    | 24,8                             |
| Goiânia (GO)          | 605,2                                   | 6.692                                     | 1.236       | 1                          | 1                                     | 20,4                             |
| São Bernardo do Campo | 332,9                                   | 3.468                                     | ND          | ND                         | ND                                    | 9,5                              |
| Guarulhos (SP)        | 298,9                                   | 4.956                                     | 7.257       | 8.578                      | 8.578                                 | 13,1                             |

Dados dos passageiros referem-se a 2005; frota refere-se a junho de 2006; dados de carga aérea referem-se a 2005 / ND: Dados não disponíveis. Fonte: Revista Exame

([http://portalexame.abril.com.br/static/aberto/infraestrutura/edicoes\\_2006/m0116417.html](http://portalexame.abril.com.br/static/aberto/infraestrutura/edicoes_2006/m0116417.html)).

Tabela 7: Infraestrutura de Energia

| Município      | Consumo de Energia Elétrica |                           |                            | Postos de GNV<br>Número de |
|----------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                | Residencial<br>kWh por hab. | Comercial<br>kWh por hab. | Industrial<br>kWh por hab. |                            |
| São Paulo (SP) | 708                         | 653                       | 381                        | 205                        |

|                     |     |     |      |     |
|---------------------|-----|-----|------|-----|
| Rio de Janeiro RJ)  | 977 | 794 | 701  | 246 |
| Curitiba (PR)       | 709 | 572 | 616  | 20  |
| Brasília (DF)       | 570 | ND  | ND   | ND  |
| Campinas (SP)       | 679 | 566 | 566  | 11  |
| Porto Alegre (RS)   | 779 | 804 | 246  | 12  |
| Belo Horizonte (MG) | 607 | 476 | 280  | 33  |
| Goiânia (GO)        | 654 | 472 | 231  | ND  |
| São Bernardo do     | 578 | 384 | 1946 | 11  |
| Guarulhos (SP)      | 485 | 324 | 998  | 13  |

ND: Dados não disponíveis. Fonte: Revista Exame

[http://portalexame.abril.com.br/static/aberto/infraestrutura/edicoes\\_2006/m0116417](http://portalexame.abril.com.br/static/aberto/infraestrutura/edicoes_2006/m0116417).

Tabela 8: Infraestrutura de Saneamento

| Município             | Água       |             |                                | Esgoto     |             |            |
|-----------------------|------------|-------------|--------------------------------|------------|-------------|------------|
|                       | Ligações   | Atendimento | Volume                         | Ligações   | Atendimento | Tratamento |
|                       | 1000 unid. | %           | milhões de m <sup>3</sup> /ano | 1000 unid. | %           | %          |
| São Paulo (SP)        | 2680       | 98,8        | 1.289                          | 2.180      | 91,4        | 68,5       |
| Rio de Janeiro RJ)    | 802        | 98,7        | 1.058                          | 636        | 81,5        | 82,7       |
| Curitiba (PR)         | 422        | 99,7        | 165                            | 288        | 75,5        | 93,8       |
| Brasília (DF)         | 416        | 90,8        | 190                            | 345        | 84,3        | 75,4       |
| Campinas (SP)         | 234        | 96,2        | 100                            | 208        | 85,8        | 17,1       |
| Porto Alegre (RS)     | 264        | 99,5        | 161                            | 192        | 85,5        | 25,1       |
| Belo Horizonte (MG)   | 495        | 100         | 229                            | 456        | 93,7        | 38         |
| Goiânia (GO)          | 306        | 100         | 93                             | 213        | 82,1        | 31         |
| São Bernardo do Campo | 151        | 89,7        | 95                             | 122        | 78          | 24,9       |
| Guarulhos (SP)        | 280        | 91,5        | 12                             | 208        | 69,4        | ND         |

Os dados são referentes a 2004 / O volume produzido não inclui importado de outros locais / ND: Dados não disponíveis. Fonte:

Revista Exame ([http://portalexame.abril.com.br/static/aberto/infraestrutura/edicoes\\_2006/m0116417.html](http://portalexame.abril.com.br/static/aberto/infraestrutura/edicoes_2006/m0116417.html))

## 2. DIRETRIZES DO INVENTÁRIO MUNICIPAL DE GEE

### 2.1 Seleção do Ano Base e Gases de Efeito Estufa Incluídos no Inventário

Para uma análise mais consistente do perfil de emissões de GEE do Município de Belo Horizonte, optou-se pela composição de uma série histórica entre os anos 2000 a 2007. O ano 2000 foi escolhido como ano-base, cujas emissões serão comparadas às de inventários de anos subsequentes.

Quando factível, as emissões relativas a 1990 também foram calculadas, como complemento de informação. O ano de 1990 é a data de referência utilizada na CQNUMC para estabelecimento de metas de redução de emissões. Este foi o caso das emissões por consumo de combustíveis (em fontes móveis, estacionárias e emissões

fugitivas), no escopo setorial de Energia, bem como para as atividades de tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos, no escopo setorial de Resíduos. Não foi possível calcular as emissões de 1990 para a atividade de consumo de eletricidade, pela complexidade de estabelecer o fator de emissão da rede servindo ao Município naquele ano. Também não foram estimadas as emissões/remoções referentes ao escopo setorial de Mudança no Uso do Solo, em função da abordagem metodológica escolhida (diferença de estoques de carbono, que requer pelo menos 2 pontos no tempo para compor a análise).

Foram contabilizadas emissões referentes aos seguintes gases: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Emissões de hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), investigadas de acordo com as diretrizes do IPCC, não foram identificadas no Município. As emissões foram contabilizadas em toneladas do GEE específico e convertidas em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e) de acordo com os potenciais de aquecimento global<sup>7</sup> informados abaixo (Tabela 9).

**Tabela 9: GWP dos gases de efeito estufa**

| <b>Gás de Efeito Estufa</b>      | <b>Potencial de Aquecimento Global</b> |
|----------------------------------|--|
| Dióxido de carbono               | 1                                      |
| Metano (CH <sub>4</sub> )        | 21                                     |
| Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O) | 310                                    |

No presente inventário buscou-se a compatibilidade com padrões internacionais definidos pelo ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade e pelo IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*, visando garantir a comparabilidade com outros inventários de GEE.

---

<sup>7</sup> Potencial de Aquecimento Global (GWP): medida de como uma determinada quantidade de gás do efeito estufa (GEE) contribui ao aquecimento global, comparando o gás em questão com a mesma quantidade de dióxido de carbono (cujo potencial é definido como 1). Este cálculo leva em consideração fatores como a habilidade de absorver o calor e a quantidade de determinado gás removida da atmosfera num certo número de anos.

## 2.2 Fronteiras do Inventário e Escopos Setoriais Abordados

O Inventário Municipal de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Belo Horizonte segue a abordagem de escopos setoriais definida pelo documento "*IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*". Estas diretrizes foram originalmente desenvolvidas para compilação de inventários dentro das fronteiras geográficas dos países membros da Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas, para que estes pudessem reportar suas emissões nacionais em bases comparáveis. Entretanto, no contexto da aplicação das diretrizes do IPCC para compilação de um Inventário Municipal, adaptações à abordagem metodológica foram necessárias, notadamente quanto à definição de fronteiras e quanto aos objetivos pretendidos, que no caso do Município de Belo Horizonte será o de fundamentar a formulação de políticas públicas municipais para mitigação das mudanças climáticas globais.

Na prática, tais adaptações levaram à decisão de incluir, no Inventário Municipal, emissões que ocorreram fora das fronteiras do Município, mas que foram ocasionadas por atividades exercidas em Belo Horizonte (casos do consumo de eletricidade, do transporte aéreo e da geração e disposição de resíduos sólidos urbanos).

Os escopos setoriais são:

### a) Energia:

- Emissões por combustão em fontes estacionárias para produção de eletricidade: quase a totalidade da energia elétrica consumida em Belo Horizonte é produzida fora das fronteiras geográficas do Município. No Inventário Municipal, serão incluídas as emissões ocorridas fora do município correspondentes ao consumo de energia elétrica ocorrido na cidade;
- Emissões por combustão em fontes estacionárias em processos térmicos industriais, comerciais e residenciais: consumos de combustíveis fósseis em caldeiras, fornos e outras fontes estacionárias cujo objetivo é fornecer energia térmica para processos industriais, comerciais e residenciais;
- Emissões por combustão em fontes móveis no sistema de transportes em operação no Município: consumo de combustíveis fósseis por frotas rodoviárias de veículos leves e pesados, frotas de ônibus e táxis e transporte aéreo (consumo de combustíveis de aviação nas rotas que atendem o Aeroporto de Confins foram incluídas nas fronteiras do Inventário Municipal);

- Emissões fugitivas: vazamentos na rede de distribuição de gás natural no município.
- b) Processos Industriais e Uso de Produto:
- Emissões decorrentes de processos produtivos de setores específicos que podem envolver alguma das seguintes atividades: degradação térmica de carbonatos, síntese de fertilizantes nitrogenados ou outras substâncias contendo nitrogênio, síntese de polímeros e/ou fluoroquímicos, síntese de cera parafínica, produção de solventes, produção de circuitos integrados ou semicondutores, produção de sistemas de refrigeração, aerossóis ou gases propelentes.
- c) Mudanças no Uso do Solo:
- Emissões ou Remoções líquidas por alteração dos estoques de carbono contidos em florestas, áreas agrícolas, áreas de pastagens e áreas de edificação urbana.
- d) Resíduos:
- Emissões pelo tratamento de resíduos sólidos urbanos: disposição em aterro sanitário dos resíduos sólidos urbanos gerados no município, ainda que a localização do aterro sanitário seja fora de Belo Horizonte;
  - Emissões pelo tratamento ou lançamento de esgotos domésticos: processos biológicos anaeróbios empregados nas estações de tratamento de esgotos que recebem efluentes domésticos provenientes do Município ou autodepuração da carga orgânica lançada em corpos hídricos sem tratamento;

Exclusões foram feitas em relação aos escopos setoriais informados acima. Ao longo da compilação e análise dos dados, decidiu-se pela exclusão do escopo setorial Processos Industriais e Uso de Produto. As razões para tal decisão seguem explicadas a seguir.

De acordo com o IPCC, algumas emissões deste escopo setorial ocorrem na etapa de síntese (transformação física ou química) de determinados produtos (como por exemplo na fabricação de cimento, cal, vidro ou cerâmicas, entre outros) enquanto outras ocorrem na etapa de uso ou consumo dos mesmos (como é o caso dos solventes, amônia, óxido nitroso e cera parafínica, entre outros). Dentre as tipologias industriais que encontram-se em operação em Belo Horizonte, nenhuma delas é emissora de GEE na síntese de seu produto final. Algumas delas, no entanto, utilizam como insumos ou matérias primas algumas substâncias que implicam em emissões de GEE durante a etapa de uso ou consumo das mesmas. Em virtude da impossibilidade de acessar as informações de consumo de tais substâncias na esfera privada, optou-se



pela exclusão em definitivo deste escopo setorial. Vale nota o fato de que o Inventário Estadual considerou somente as tipologias industriais que emitem GEE na síntese do produto final, não incluindo as emissões decorrentes do uso ou consumo de outras substâncias relacionadas no IPCC. Como forma de superar a dificuldade de acessar informações que encontram-se pulverizadas na esfera privada, o IPCC propõe uma abordagem para contabilizar este tipo de emissão na fonte produtora de tais substâncias, ainda que as emissões ocorram somente na etapa de uso ou consumo das mesmas.

Os demais escopos setoriais foram abordados sem maiores dificuldades e encontram-se relatados na sessão de resultados deste documento.

### 2.3 Procedimentos de Garantia e Controle de Qualidade

Visando garantir eficácia e acuidade na coleta de dados, foram estabelecidos Grupos Temáticos para abordar os escopos setoriais definidos anteriormente. O papel dos Grupos Temáticos foi discutir a natureza e a disponibilidade dos dados necessários para calcular as emissões provenientes de cada escopo setorial, além de coletar as informações necessárias para o período de referência do inventário.

Os Grupos Temáticos são formados por servidores de diferentes secretarias da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte e de outras autarquias estaduais e federais que foram envolvidas no trabalho, com a coordenação técnica da MundusCarbo.

Os Grupos Temáticos foram definidos da seguinte forma:

**Tabela 10: Definição dos Grupos Temáticos**

| <b>Grupo Temático</b>  | <b>Entidades Envolvidas</b>  |
|--|--|
| Grupo 1: Energia – Emissões por Fontes Estacionárias, Consumo de Eletricidade e Emissões Fugitivas | <ul style="list-style-type: none"><li>- Secretaria Municipal de Meio Ambiente</li><li>- Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência</li><li>- Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) / GASMIG</li><li>- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)</li></ul>   |
| Grupo 2: Energia – Emissões por Fontes Móveis  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Secretaria Municipal de Meio Ambiente</li><li>- Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte (BHTrans)</li><li>- Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU)</li><li>- Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero)</li><li>- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)</li></ul> |
| Grupo 3: Processos Industriais e Uso do Solo   | <ul style="list-style-type: none"><li>- Secretaria Municipal de Meio Ambiente</li><li>- Gerência de Planejamento e Monitoramento Ambiental</li><li>- Gerência de Licenciamento Ambiental e Empreendimentos de Impacto</li></ul>  |

|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gerência de Fiscalização, Avaliação Ambiental e Articulação Regional</li> <li>- Gerência de Gestão Ambiental</li> <li>- Secretaria Municipal de Políticas Urbanas – SMURBE</li> <li>- Empresa de Informática e Informação de Belo Horizonte (PRODABEL)</li> </ul> |
| Grupo 4: Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Secretaria Municipal de Meio Ambiente</li> <li>- Superintendência de Limpeza Urbana</li> <li>- Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)</li> </ul>  |

O Inventário Municipal de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Belo Horizonte observou os preceitos e abordagens propostas pelo “*IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”, além das orientações do ICLEI, os padrões do *GHG Protocol* e da norma internacional ISO 14064:2006 Parte 1 (ainda que estes dois últimos padrões tenham sido desenvolvidos para aplicação em inventários corporativos, algumas premissas relacionadas a organização da estrutura do relatório e apresentação de resultados foram incorporados a este documento). O amparo metodológico e a padronização internacional asseguram ao inventário total transparência e permitem a comparação deste com outros produzidos no Brasil e no exterior.

No intuito de assegurar a comparabilidade do Inventário Municipal com o Inventário Estadual, foi realizado encontro com a Coordenação Técnica do Inventário Estadual de Emissões de GEE para certificar que a origem dos dados de entrada são as mesmas para ambos. Na ocasião, discutiu-se ainda as lições aprendidas e as oportunidades de melhoria no âmbito estadual, na tentativa de agregar tais pontos ao documento municipal. As dificuldades enfrentadas pela Coordenação do Inventário Estadual em relação às informações referentes à geração e tratamento de resíduos sólidos industriais e de efluentes líquidos industriais também estiveram presentes durante a compilação do Inventário Municipal. As emissões daí decorrentes, por consequência, ficaram excluídas do Inventário Municipal (mesma tratativa dada no Inventário Estadual). Para fins de transparência e rastreabilidade, estão indicadas abaixo as responsabilidades pelo monitoramento de todos os dados utilizados neste inventário.

**Tabela 11: Especificação de dados de entrada e origem das informações**

| Fonte / Sumidouro | Dado de Atividade | Origem da Informação |
|-------------------|-------------------|----------------------|
|-------------------|-------------------|----------------------|

|                                     |  |  |
|-------------------------------------|--|--|
| Combustíveis - Fontes Estacionárias | Vendas realizadas em Belo Horizonte*   | GASMIG (GN) e ANP (demais combustíveis)  |
| Combustíveis - Fontes Móveis        | Vendas realizadas em Belo Horizonte*   | GASMIG (GNV) e ANP (demais combustíveis) |
| Emissões Fugitivas                  | Extensão da rede de distribuição de GN/GNV e vendas realizadas para setores industrial e de serviços                             | GASMIG                                   |
| Eletricidade                        | Consumo de eletricidade por setores residencial, comercial, rural e públicos   | CEMIG                                    |
| Uso do Solo                         | Imagens georreferenciadas de Belo Horizonte (2000 e 2007) e layers do Município / Regionais                                      | INPE (imagens) e PRODABEL (layers)       |
| Processos Industriais               | Quantitativo de tipologias industriais em operação em Belo Horizonte   | SMMA                                     |
| Resíduos Sólidos                    | Quantitativos de disposição e composição gravimétrica de resíduos sólidos urbanos  | SLU                                      |
| Efluentes Líquidos                  | Dados operacionais de ETEs em operação em Belo Horizonte; Cobertura de coleta e percentual de tratamento de esgotos no Município | COPASA                                   |

\*As informações relativas às vendas de Gás Natural (para o setor industrial e de serviços) e de GNV nos anos de 2000 a 2002 em Belo Horizonte não estavam disponíveis, apesar de ter havido consumo destes combustíveis no período especificado. Portanto, foi realizada uma estimativa das vendas destes combustíveis para o período 2000 a 2002. A metodologia de estimativa encontra-se descrita no Anexo II deste documento.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Consolidação das Emissões: Setor Governamental

Segundo o protocolo internacional fornecido pelo ICLEI, um inventário de emissões de gases de efeito estufa de governos locais deve ser composto por análises separadas das emissões geradas pelas operações internas do governo local e das associadas à comunidade como um todo.

Ao abordar o governo local, as emissões foram categorizadas segundo escopos setoriais definidos pelo IPCC e setores de atividades governamentais definidos pelo ICLEI da seguinte forma:

**Tabela 12: Categorização das emissões do setor governamental segundo escopos setoriais**

| Escopo Setorial |  | Setor Governamental       |
|-----------------|--|---------------------------|
| Energia         | Consumo de Eletricidade                | Poder Público             |
|                 |  | Iluminação Pública        |
|                 |  | Serviços Públicos         |
|                 | Emissões Fugitivas                     | Transmissão               |
| Resíduos        | Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos | Resíduos Sólidos Públicos |

No escopo setorial de Energia, sub-escopo “Consumo de Eletricidade”, o setor “Poder Público” se refere a todos os edifícios e instalações ocupados pela administração pública municipal, estadual e federal em Belo Horizonte. O setor “Iluminação Pública” se refere à iluminação de ruas, avenidas, praças e outros locais públicos dentro dos limites do Município. O setor “Serviços Públicos” se refere à iluminação semafórica, trens urbanos elétricos, bombeamento de água e esgotos e outros consumos elétricos referentes a serviços prestados pelo poder público.

Ainda no escopo setorial de Energia, sub-escopo “Emissões Fugitivas”, o setor “Transmissão” é referente às emissões fugitivas (perdas) de Gás Natural contendo metano (CH<sub>4</sub>) ao longo da Rede de Distribuição desse combustível situada dentro dos limites do Município.

No escopo setorial de Resíduos, sub-escopo “Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos”, o setor “Resíduos Sólidos Públicos” se refere à disposição em aterro sanitário dos resíduos produzidos pela poda, capina e varrição de áreas públicas. Os demais resíduos produzidos nos edifícios e instalações pertencentes a órgãos públicos estão sujeitos a coleta convencional de resíduos domiciliares, sendo inseridos em conjunto com as emissões da comunidade.



### 3.2 Consolidação das Emissões: Comunidade

Ao abordar a comunidade, as emissões foram categorizadas segundo escopos setoriais definidos pelo IPCC e setores de atividades da comunidade definidos pelo ICLEI da seguinte forma:

**Tabela 13: Categorização das emissões da comunidade segundo escopos setoriais**

| Escopo Setorial        |  | Setor da Comunidade   |                        |  |
|------------------------|--|---|------------------------|--|
| Energia                | Consumo de Eletricidade                              | Residencial   |                        |  |
|                        |  | Comercial   |                        |  |
|                        |  | Industrial  |                        |  |
|                        |  | Rural   |                        |  |
|                        | Combustão Estacionária                               | Industrial  | Óleo Combustível (BPF) |  |
|                        |  |   | Gás Natural            |  |
|                        |  |   | Querosene              |  |
|                        |  | Comercial/Residencial                                       | GLP                    |  |
|                        |  |   | Gás natural            |  |
|                        |  |   |                        |  |
|                        | Combustão Móvel                                      | Transporte  | GNV                    |  |
|                        |  |   | Álcool                 |  |
|                        |  |   | Gasolina de Aviação    |  |
| Querosene de Aviação   |  |   |                        |  |
| Gasolina Automotiva    |  |   |                        |  |
| Diesel                 |  |   |                        |  |
| Emissões Fugitivas     | Uso Industrial                                       |   |                        |  |
|                        | Postos de GNV e Uso no Setor de Serviços             |   |                        |  |
| Mudança no Uso do Solo |  | Vegetação arbórea   |                        |  |
|                        |  | Vegetação rasteira  |                        |  |
|                        |  | Malha Urbana  |                        |  |
| Resíduos               | Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos               | Resíduos Domiciliares Coleta Convencional                   |                        |  |
|                        |  | Resíduos Domiciliares Clandestinos                          |                        |  |
|                        |  | Passivo de Emissões de Anos Anteriores                      |                        |  |
|                        | Tratamento Biológico de Águas Residuárias e Descarte | ETE Arrudas   |                        |  |
|                        |  | ETE Onça  |                        |  |
|                        |  | ETE Olhos D'Água  |                        |  |
|                        |  | ETE Minas Solidária   |                        |  |
|                        |  | Esgotos sanitários sem tratamento lançados em corpo hídrico |                        |  |
|                        |  | Esgotos sanitários não coletados tratados em fossa séptica  |                        |  |

No escopo setorial de Energia, no sub-escopo "Consumo de Eletricidade", foram incluídos os consumos elétricos pelos setores residencial, comercial, industrial e rural.

Como a eletricidade consumida em Belo Horizonte é produzida quase em sua totalidade fora das fronteiras do Município, decidiu-se pela inclusão destas emissões no Inventário como forma de atribuir responsabilidade pelas mesmas ao Município.

No sub-escopo "Combustão Estacionária" foram incluídos os consumos de combustíveis para geração de energia térmica pelos setores industrial, comercial e residencial.

Ainda no escopo setorial de Energia, no sub-escopo "Combustão Móvel", foram incluídos os consumos de combustíveis pelo setor "Transportes" que é composto pelas frotas de veículos rodoviários leves e pesados e também pelo transporte aéreo. Neste setor foram incluídos os consumos de combustíveis vendidos dentro dos limites do Município de Belo Horizonte. Em relação ao consumo de combustíveis no transporte aéreo, foram incluídos não só os combustíveis vendidos no Aeroporto Carlos Drummond de Andrade (Aeroporto da Pampulha) e no Aeroporto Carlos Prates, situados dentro dos limites do Município, como também os combustíveis vendidos no Aeroporto Internacional Tancredo Neves (Aeroporto de Confins), situado fora dos limites do Município, mas que direciona a maior parte do seu fluxo de passageiros a Belo Horizonte e Região Metropolitana. Como não foram identificados estudos de origem e destino de passageiros neste aeroporto, 100% do consumo foi atribuído a Belo Horizonte, por medida de simplificação.

Ainda no sub-escopo "Combustão Móvel", para o cálculo das emissões de GEE por consumo de Gasolina Automotiva e Diesel, foram considerados os percentuais de biocombustível aplicáveis a estes combustíveis. No caso da Gasolina Automotiva, ou Gasolina Tipo C ou ainda Gasolina E-22, considerou-se o teor de 22% em volume de etanol ao total consumido. Para o Diesel, considerou-se que em 2007 o combustível tinha 2% em volume de biodiesel (Diesel B2). Para ambos os casos, o poder calorífico inferior do combustível e os respectivos fatores de emissão (de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) foram ajustados para esta realidade.

As "Emissões Fugitivas" são referentes aos vazamentos de Gás Natural contendo metano nos pontos de abastecimento no setor de serviços, nos postos de abastecimento de veículos (GNV) e nos terminais de conexão de gás natural em indústrias.

No escopo setorial de Mudança no Uso do Solo, os setores "Vegetação Arbórea", "Vegetação Rasteira" e "Malha Urbana" se referem às emissões líquidas devido à conversão de uma destas classes em outra que implique em mudança nos estoques de carbono.

No escopo setorial de Resíduos, no sub-escopo "Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos", o setor "Resíduos Domiciliares Coleta Convencional" se refere à disposição em aterro sanitário de resíduos coletados em caminhões compactadores (coleta



convencional) provenientes de residências, indústrias e serviços; ainda, foram incluídos neste setor os resíduos provenientes da coleta em Vilas e Favelas e os resíduos Particulares, ou seja, as demais classes de resíduos sólidos urbanos coletados pela Superintendência de Limpeza Urbana que apresentam características de resíduos domiciliares, à exceção dos resíduos clandestinos, definidos abaixo.

O setor "Coleta de Resíduos Domiciliares Clandestinos" se refere à disposição em aterro sanitário de resíduos sólidos com características domiciliares coletados em locais onde houve depósito irregular. O setor "Passivo de Emissões de Anos Anteriores" se refere a emissões provenientes da disposição de resíduos feita em anos anteriores, cuja decomposição microbiológica ainda não tenha estabilizado. Para os fins deste inventário, considerou-se que tal decomposição microbiológica de resíduos sólidos emitirá metano de forma decrescente, conforme o Modelo de Decaimento de Primeira Ordem (FOD), durante 10 (dez) anos consecutivos iniciando-se no ano de disposição dos resíduos.

Ainda no escopo setorial de Resíduos, no sub-escopo "Tratamento Biológico de Águas Residuárias e Descarte", foram consideradas as emissões de metano provenientes dos Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (RAFAs) em operação nas ETEs Onça, Olhos D'Água e Minas Solidária, e também as emissões de metano provenientes do digestor anaeróbio de lodo biológico em operação na ETE Arrudas. Para as ETEs Arrudas e Onça, onde existem dispositivos queimadores de biogás, foi aplicado um fator de eficiência de 50% para a queima do biogás em função destes queimadores serem do tipo aberto (recomendação dada pela UNFCCC no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo). Além das emissões provenientes das Estações de Tratamento de Esgotos, foram consideradas as emissões decorrentes da autodepuração de esgotos sanitários lançados sem tratamento em corpos hídricos e as emissões decorrentes do tratamento em fossas sépticas de esgotos sanitários não coletados.

### 3.3 Metodologias de Cálculos

#### 3.3.1 Emissão de CO<sub>2</sub> por consumo de combustíveis

Para o cálculo de emissões de CO<sub>2</sub> por consumo de diversos tipos de combustíveis (tanto em sistemas de combustão móvel como estacionária) empregou-se a seguinte fórmula:

$$(1) \quad Em_{comb,y}^{CO_2} = \sum_c (Q_y^c \cdot NCV^c \cdot EF^c)$$

Onde:

$Em_{comb,y}^{CO_2}$  emissão de CO<sub>2</sub> por consumo de combustíveis, no ano  $y$  (Mg CO<sub>2</sub>);

$Q_y^c$  quantidade de combustível do tipo  $c$  consumida no ano  $y$  (Mg);

$NCV^c$  poder calorífico inferior do combustível  $c$  (TJ.Gg<sup>-1</sup>);

$EF^c$  fator de emissão de CO<sub>2</sub> pela queima do combustível  $c$  (Mg CO<sub>2</sub>.TJ<sup>-1</sup>).

#### 3.3.2 Emissão de CH<sub>4</sub> por consumo de combustíveis

Além do tipo de combustível utilizado, as emissões de CH<sub>4</sub> por consumo de combustíveis dependem da tecnologia empregada na queima. Portanto, para o cálculo de emissões de CH<sub>4</sub> por consumo de combustíveis, empregou-se a seguinte fórmula:

$$(2) \quad Em_{comb,y}^{CH_4} = GWP_{CH_4} \cdot \sum_{c,t} (Q_y^{c,t} \cdot NCV^c \cdot EF_{CH_4}^{c,t})$$

Onde:

$Em_{comb,y}^{CH_4}$  emissão de CH<sub>4</sub> por consumo combustíveis, no ano  $y$ ;

$GWP_{CH_4}$  potencial de aquecimento global do CH<sub>4</sub>;

$Q_y^{c,t}$  quantidade de combustível  $c$  consumido através da tecnologia  $t$ , no ano  $y$  (Mg);

$NCV^c$  poder calorífico inferior do combustível  $c$  (TJ.Gg<sup>-1</sup>);

$EF_{CH_4}^{c,t}$  fator de emissão de  $CH_4$  pelo consumo do combustível  $c$  através da tecnologia  $t$  ( $Mg\ N_2O.TJ^{-1}$ ).

### 3.3.3 Emissão de $N_2O$ por consumo de combustíveis

Assim como as emissões de  $CH_4$ , as emissões de  $N_2O$  dependem da tecnologia empregada na queima do combustível. Portanto, para o cálculo de emissões de  $N_2O$  por consumo de combustíveis, empregou-se a seguinte fórmula:

$$(3) \quad Em_{comb,y}^{N_2O} = GWP_{N_2O} \cdot \sum_{c,t} (Q_y^{c,t} \cdot NCV^c \cdot EF_{N_2O}^{c,t})$$

Onde:

$Em_{comb,y}^{N_2O}$  emissão de  $N_2O$  por consumo de combustíveis, no ano  $y$  ( $Mg\ CO_2e$ );

$GWP_{N_2O}$  potencial de aquecimento global do  $N_2O$ ;

$Q_y^{c,t}$  quantidade de combustível  $c$  consumido através da tecnologia  $t$ , no ano  $y$  ( $Mg$ );

$NCV^c$  poder calorífico inferior do combustível  $c$  ( $TJ.Gg^{-1}$ );

$EF_{N_2O}^{c,t}$  fator de emissão de  $N_2O$  pelo consumo do combustível  $c$  através da tecnologia  $t$  ( $Mg\ N_2O.TJ^{-1}$ ).

### 3.3.4 Emissões fugitivas de $CH_4$ pela Rede de Distribuição de Gás Natural em Belo Horizonte e pelos pontos finais de consumo

A Região Metropolitana de Belo Horizonte é abastecida por Gás Natural desde 1996. A extensão da RDGN (Rede de Distribuição de Gás Natural) no Município é de aproximadamente 74,24 km, com diâmetros de 2, 4, 6, 12 e 14 polegadas. A pressão de operação é licenciada para 19 kgf/cm<sup>2</sup>. As redes são construídas em aço carbono e revestidas com tripla camada de polietileno extrudado. Geralmente, os dutos são enterrados a uma profundidade de 1,20m. Todos os consumidores possuem um conjunto de medição de gás e uma caixa de válvula dedicada para o ramal, e não há medição sistemática de eventuais vazamentos ao longo da malha de distribuição.

Seguindo a abordagem simplificada do IPCC 1996 para este escopo setorial, as emissões fugitivas que ocorrem em Belo Horizonte cobertas por este inventário constituem-se das emissões de CH<sub>4</sub> decorrentes de perdas (vazamentos) de Gás Natural durante sua transmissão, ao longo da Rede de Distribuição de Gás Natural operada pela GASMIG no Município, como também das perdas do mesmo gás nos diversos terminais de uso como postos de abastecimento de GNV, terminais industriais e outros pontos de entrega do gás no Setor de Serviços.

Assim, as emissões fugitivas de CH<sub>4</sub> decorrentes da transmissão de Gás Natural em Belo Horizonte foram calculadas conforme a seguinte fórmula:

$$(4) \quad EFUG_{Trans.,y}^{CH_4} = EX_{RDGN,BH,y} \cdot V_{med} \cdot D_{GN} \cdot FM_{GN}^{CH_4} \cdot GWP_{CH_4} \cdot 10^{-3}$$

Sendo:

$EFUG_{Trans.,y}^{CH_4}$  emissões fugitivas de CH<sub>4</sub> decorrentes de vazamentos na Rede de Distribuição de Gás Natural em Belo Horizonte, no ano y (Mg CO<sub>2</sub>e);

$EX_{RDGN,BH,y}$  extensão da Rede de Distribuição de Gás Natural em Belo Horizonte, no ano y (km);

$V_{med}$  fator médio de vazamento (Nm<sup>3</sup> GN / km.ano) (IPCC, 1996: 2.000);

$D_{GN}$  densidade do Gás Natural (kg/Nm<sup>3</sup>) (PETROBRAS: 0,6);

$FM_{GN}^{CH_4}$  fração em massa de metano (fração) (GASMIG: 0,826);

$GWP_{CH_4}$  poder de aquecimento global do metano (IPCC, 2006:21).

As emissões fugitivas de CH<sub>4</sub> decorrentes das perdas nos pontos de uso (Postos de GNV, terminais industriais e terminais no Setor de Serviços) de Gás Natural em Belo Horizonte foram calculadas conforme a seguinte fórmula:

$$(5) \quad EFUG_{Uso,y}^{CH_4} = Q_{GN,y} \cdot NCV_{GN} \cdot 10^{-12} \cdot V_{max,uso}^{CH_4} \cdot GWP_{CH_4}$$

Sendo:

|                       |  |
|-----------------------|--|
| $EFUG_{Uso,y}^{CH_4}$ | emissões fugitivas de CH <sub>4</sub> decorrentes de vazamentos nos pontos de uso de Gás Natural em Belo Horizonte, no ano y (Mg CO <sub>2</sub> e);       |
| $Q_{GN,y}$            | quantidade de Gás Natural consumida no ano y (m <sup>3</sup> );  |
| $NCV_{GN}$            | poder calorífico inferior do Gás Natural (kJ/m <sup>3</sup> );   |
| $V_{max,uso}^{CH_4}$  | fator máximo de emissão de metano para o ponto de uso (kg CH <sub>4</sub> /PJ) (IPCC 1996: 175.000 para setor industrial e 87.000 para setor de serviços); |
| $GWP_{CH_4}$          | poder de aquecimento global do metano (IPCC, 2006:21).   |

Vale notar que as informações sobre vendas de Gás Natural em Belo Horizonte por tipo de setor (Industrial, Serviços e GNV) estavam disponíveis para os anos de 2003 a 2007. Para os anos de 2000 a 2002, apesar de ter existido consumo de Gás Natural no Município, as informações sobre as vendas deste gás não estavam disponíveis. Para estimar as vendas de Gás Natural em Belo Horizonte para o período compreendido pelos anos 2000 a 2002, foi empregada a metodologia descrita na Anexo II deste documento. No ano de 1990, não houve consumo de Gás Natural em Belo Horizonte.

### 3.3.5 Emissão de CO<sub>2</sub> por consumo de energia elétrica

As emissões indiretas de CO<sub>2</sub> por consumo de eletricidade foram calculadas levando em conta o fator de emissão médio do Sistema Interligado Nacional em cada ano do período considerado. Assim as emissões indiretas por consumo de energia foram calculadas conforme a seguinte fórmula:

$$Em_{ee,y}^{CO_2} = CE_y \cdot EF_y^{rede}$$

Onde:

|                    |   |
|--------------------|---|
| $Em_{ee,y}^{CO_2}$ | emissão de CO <sub>2</sub> por consumo de energia elétrica, no ano y (Mg CO <sub>2</sub> ); |
| $CE_y$             | consumo de energia elétrica, no ano y (GWh);  |

$EF_y^{rede}$  fator de emissão de CO<sub>2</sub>, do ano y, pela rede elétrica servindo ao Município (Mg CO<sub>2</sub>.GWh<sup>-1</sup>). Os fatores referentes aos anos de 2006 e 2007 foram publicados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT). Os fatores referentes aos anos de 2000 a 2005 foram desenvolvidos pela MundusCarbo. Tal desenvolvimento segue descrito no Anexo I deste documento.

### 3.3.6 Emissão de CH<sub>4</sub> por tratamento de efluentes líquidos

#### ETE Arrudas

A ETE Arrudas emprega um sistema de lodos ativados para tratamento de esgotos sanitários, um sistema aeróbio não emissor de metano porém gerador de um volume elevado de lodo biológico. Este lodo biológico é levado para estabilização em reatores anaeróbios emissores de metano, dotados de medidores de vazão e teor de metano do biogás, e ainda um dispositivo de queima de biogás, do tipo aberto.

Para calcular as emissões de GEE decorrentes da operação da ETE Arrudas, foi empregada a seguinte fórmula:

$$(6) \quad E_{ETE\ Arrudas}^{CH_4} = Q_{Biogás,y} \cdot FV_{CH_4,y} \cdot D_{CH_4} \cdot (1 - EF_{Queima}) \cdot GWP_{CH_4} \cdot 10^{-3}$$

Sendo:

$E_{ETE\ Arrudas}^{CH_4}$  emissão de CH<sub>4</sub> por tratamento de lodo biológico na ETE Arrudas, no ano y (Mg CO<sub>2</sub>e);

$Q_{Biogás,y}$  volume de biogás registrado em medidor de vazão, em base normal, no ano y (m<sup>3</sup>);

$FV_{CH_4,y}$  fração volumétrica média de metano no biogás, registrada em analisador de biogás, em base normal, no ano y (%);

$D_{CH_4}$  densidade do metano, em base normal (0,72 kg/m<sup>3</sup>);

$EF_{Queima}$  eficiência de queima do dispositivo de destruição de biogás do tipo aberto (fração) (UNFCCC EB28, Annex 13: 0,5);

$GWP_{CH_4}$  Poder de aquecimento global do metano (IPCC, 2006: 21)

### ETE Onça

A ETE Onça emprega um conjunto de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente para tratamento de esgotos sanitários, um sistema emissor de metano. A ETE dispõe de medidores de vazão e teor de metano do biogás, e ainda um dispositivo de queima de biogás, do tipo aberto.

Para calcular as emissões de GEE decorrentes da operação da ETE Onça, foi empregada a seguinte fórmula:

$$(7) \quad E_{ETE\ Onça}^{CH_4} = Q_{Biogás,y} \cdot FV_{CH_4,y} \cdot D_{CH_4} \cdot (1 - EF_{Queima}) \cdot GWP_{CH_4} \cdot 10^{-3}$$

Sendo:

$E_{ETE\ Onça}^{CH_4}$  emissão de CH<sub>4</sub> por tratamento de efluentes sanitários na ETE Onça, no ano y (Mg CO<sub>2</sub>e);

$Q_{Biogás,y}$  volume de biogás registrado em medidor de vazão, em base normal, no ano y (m<sup>3</sup>);

$FV_{CH_4,y}$  fração volumétrica média de metano no biogás, registrada em analisador de biogás, em base normal, no ano y (%);

$D_{CH_4}$  densidade do metano, em base normal (0,72 kg/m<sup>3</sup>);

$EF_{Queima}$  eficiência de queima do dispositivo de destruição de biogás do tipo aberto (fração) (UNFCCC EB28, Annex 13: 0,5);

$GWP_{CH_4}$  Poder de aquecimento global do metano (IPCC, 2006: 21)

### ETEs Olhos D'Água e Minas Solidária

As ETEs Olhos D'Água e Minas Solidária empregam Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente para tratamento de esgotos sanitários, um tipo de sistema emissor de metano. As ETEs não dispõem de medidores de vazão e de teor de metano do biogás. Portanto, para o cálculo das emissões de GEE decorrentes da operação dos Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente nas ETEs Olhos D'Água e Minas Solidária, foi empregada a seguinte fórmula:

$$(8) E_{RAFA}^{CH_4} = Q_{Efluente,y} \cdot (DBO_{Afluente,y} - DBO_{Efluente,y}) \cdot 10^{-6} \cdot B_0 \cdot MCF_{RAFA} \cdot GWP_{CH_4}$$

Sendo:

$E_{RAFA}^{CH_4}$  emissão de metano por tratamento de efluentes sanitários em Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente, no ano y (Mg CO<sub>2</sub>e);

$Q_{Efluente,y}$  vazão de efluentes admitidos nos reatores no ano y (m<sup>3</sup>);

$DBO_{Afluente,y}$  média anual de demanda bioquímica de oxigênio do efluente entrando no reator, no ano y (mg/L);

$DBO_{Efluente,y}$  demanda bioquímica de oxigênio do efluente saindo do reator, no ano y (mg/L) (este parâmetro foi obtido através do produto da DBO afluente pela eficiência média de remoção de DBO do reator);

$B_0$  produção máxima de metano para efluentes sanitários (kg CH<sub>4</sub> / kg DBO) (IPCC, 2006: 0,6);

$MCF_{RAFA}$  fator de correção de metano para reatores anaeróbios (fração) (IPCC, 2006: 0,8);

$GWP_{CH_4}$  Poder de aquecimento global do metano (IPCC, 2006: 21)

### Autodepuração de Esgotos Sanitários em Corpos Hídricos

Uma parte dos esgotos sanitários coletados pela concessionária local é lançada sem nenhum tipo de tratamento em algum corpo hídrico, que naturalmente promove a depuração dos efluentes através de processos microbiológicos que podem emitir metano.

Para calcular as emissões de GEE decorrentes do lançamento de esgotos sanitários sem tratamento em corpos hídricos foi utilizada a seguinte fórmula:

$$(9) E_{Rio}^{CH_4} = POP_{BH,y} \cdot GE_{BH,y} \cdot 365 \cdot F_{descarte,y} \cdot DBO_{Ef.bruto} \cdot 10^{-9} \cdot B_0 \cdot MCF_{auto dep} \cdot GWP_{CH_4}$$

Sendo:

$E_{Rio}^{CH_4}$  emissão de metano por autodepuração em corpo hídrico de efluentes sanitários não tratados, no ano y (Mg CO<sub>2</sub>e);



|                  |  |
|------------------|--|
| $POP_{BH,y}$     | população residente em Belo Horizonte no ano y (número de habitantes);   |
| $GE_{BH,y}$      | taxa de geração de efluentes por habitante em Belo Horizonte, no ano y (litros/habitante.dia) (estimativa fornecida pela COPASA-MG: 80% do abastecimento de água potável por habitante é revertido em efluentes sanitários); |
| $F_{descarte,y}$ | fração de efluentes sanitários gerados em Belo Horizonte que são despejados sem tratamento em corpo hídrico, no ano y (fração) (estimativas fornecidas pela COPASA-MG);  |
| $DBO_{Ef.bruto}$ | demanda bioquímica de oxigênio média do efluente sanitário bruto (mg/L) (estimativas fornecidas pela COPASA-MG: 268,45 mg/L);  |
| $B_0$            | produção máxima de metano para efluentes sanitários (kg CH <sub>4</sub> /kg DBO) (IPCC, 2006: 0,6);  |
| $MCF_{auto dep}$ | fator de correção de metano para autodepuração em corpo hídrico (fração) (IPCC, 2006: 0,1);  |
| $GWP_{CH_4}$     | Poder de aquecimento global do metano (IPCC, 2006: 21)   |

### Tratamento de Esgotos Sanitários Não Coletados

A parcela de esgotos sanitários que não é coletada pela concessionária local pode ser disposta de várias maneiras. Para fins de simplificação, adotou-se a premissa de que os esgotos sanitários não coletados serão tratados em sistemas independentes representados por fossas sépticas.

Para calcular as emissões de GEE decorrentes do tratamento de esgotos sanitários em fossas sépticas foi utilizada a seguinte fórmula:

$$(10) \quad E_{Fossa}^{CH_4} = POP_{BH,y} \cdot GE_{BH,y} \cdot 365 \cdot F_{fossa,y} \cdot DBO_{Ef.bruto} \cdot 10^{-9} \cdot B_0 \cdot MCF_{fossa} \cdot GWP_{CH_4}$$

Sendo:

|                    |   |
|--------------------|---|
| $E_{Fossa}^{CH_4}$ | emissão de metano por tratamento de efluentes sanitários em fossa séptica, no ano y (Mg CO <sub>2</sub> e); |
| $POP_{BH,y}$       | população residente em Belo Horizonte no ano y (número de habitantes);                                      |

|                  |   |
|------------------|---|
| $GE_{BH,y}$      | taxa de geração de efluentes por habitante em Belo Horizonte, no ano y (litros/habitante.dia) (estimativa fornecida pela COPASA-MG: 80% do abastecimento de água potável por pessoa.dia é revertido em efluentes sanitários); |
| $F_{fossa,y}$    | fração de efluentes sanitários gerados em Belo Horizonte que são tratados de forma independente em sistemas de fossas sépticas, no ano y (fração) (estimativas fornecidas pela COPASA-MG);                                    |
| $DBO_{Ef.bruto}$ | demanda bioquímica de oxigênio média do efluente sanitário bruto (mg/L);  |
| $B_0$            | produção máxima de metano para efluentes sanitários (kg CH <sub>4</sub> /kg DBO) (IPCC, 2006: 0,6);   |
| $MCF_{fossa}$    | fator de correção de metano para fossas sépticas (fração) (IPCC, 2006: 0,5);  |
| $GWP_{CH_4}$     | Poder de aquecimento global do metano (IPCC, 2006: 21)  |

### 3.3.7 Emissão de CH<sub>4</sub> por tratamento de resíduos sólidos em aterro sanitário

Os resíduos sólidos urbanos gerados em Belo Horizonte são levados para disposição em aterro sanitário sem sistema eficiente de destruição de biogás. Como medida de simplificação, considerou-se que 100% do biogás gerado no maciço de resíduos sólidos urbanos será liberado para a atmosfera.

Informações sobre as quantidades de resíduos domiciliares e públicos gerados em Belo Horizonte bem como sua composição gravimétrica foram levantados junto a Superintendência de Limpeza Urbana (SLU) do Município.

Para o cálculo das emissões de CH<sub>4</sub> decorrentes da decomposição microbiológica de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário foi empregado o modelo de Decaimento de Primeira Ordem (FOD), através da seguinte fórmula:

$$(11) \quad MB_y = GWP_{CH_4} \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF_{aterro} \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j \cdot (y-x)} \cdot (1 - e^{-k_j})$$

Sendo:

|                 |  |
|-----------------|--|
| $MB_y$          | potencial de geração de metano no ano y, através de decomposição anaeróbica de resíduos do tipo j, no local de disposição (Mg CO <sub>2</sub> e);  |
| $GWP_{CH_4}$    | potencial de aquecimento global do metano (IPCC, 2007);  |
| $\frac{16}{12}$ | fator de conversão de massa molecular de C para CH <sub>4</sub> ;  |
| $F$             | fração de metano no biogás (IPCC, 2007);   |
| $DOC_f$         | fração do carbono degradável total dissimilado para o biogás (IPCC, 2007);   |
| $MCF_{aterro}$  | fator de correção de metano (IPCC, 2007). O MCF exprime a proporção do resíduo disposto no local que será degradada anaerobicamente. Esta fração em parte irá se decompor (DOCf) para gerar CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> do biogás; |
| $W_{j,x}$       | quantidade de resíduo j gerada no ano y (Mg);  |
| $DOC_j$         | fração de carbono degradável (p/p) no resíduo do tipo j (IPCC, 2007);  |
| $y$             | ano para o qual as emissões são calculadas;  |
| $x$             | ano no qual os resíduos foram dispostos;   |
| $k_j$           | taxa de decomposição do resíduo do tipo j.   |

Vale salientar que, segundo este modelo de decaimento de primeira ordem, as emissões de GEE devidas à disposição de resíduos em aterro sanitário em um dado ano serão distribuídas nos anos seguintes (passivo de emissões), de forma decrescente. Tal distribuição ocorrerá em função do grau de degradabilidade dos materiais dispostos sob condições ambientais que favoreçam a decomposição anaeróbica. Para os fins deste inventário, adotou-se um período de 10 (dez) anos como horizonte de degradação dos resíduos no interior do maciço.

### 3.3.8 Emissões e Remoções por mudança de uso do solo entre 2000 e 2007

A abordagem utilizada para cálculo das emissões de GEE decorrentes de alteração no uso do solo em Belo Horizonte entre 2000 e 2007 foi a do cálculo das diferenças entre estoques de carbono. Portanto, as diversas fisionomias vegetais e usos do solo ocorrentes em Belo Horizonte nos anos de 2000 e 2007 foram identificados. Feito isso, foi calculada a diferença entre os estoques de carbono de 2000 e 2007, a partir das diferenças de área atribuíveis a cada uma das fisionomias vegetais e tipos de uso do solo identificados nesses períodos. A metodologia de identificação destas fisionomias encontra-se descrita no Anexo III deste documento.

#### Cálculo da Variação dos Estoques de Carbono entre 2000 e 2007

Os estoques de carbono representados pelas diferentes fisionomias vegetais e usos do solo identificados foram calculados de modo a permitir a avaliação de sua variação entre 2000 e 2007, conforme fórmulas abaixo:

$$(12) \quad EC_y^{CO_2e} = \frac{44}{12} \cdot F \cdot \sum_b ha_b \cdot (1 + R_b) \cdot AG_b$$

Sendo:

$EC_y^{CO_2e}$  estoque de carbono no município, no ano y (Mg CO<sub>2</sub>e);

$\frac{44}{12}$  fator de conversão de massa molecular de C para CO<sub>2</sub>;

$F$  teor de carbono na biomassa (Mg C/Mg biomassa) (valor default IPCC: 0,47);

$ha_b$  área ocupada pela fisionomia vegetal ou uso do solo b no ano y (em ha);

$R_b$  razão de biomassa abaixo e acima do solo para a vegetal ou uso do solo (fração);

$AG_b$  biomassa acima do solo para a fisionomia vegetal ou uso do solo b (Mg de matéria seca/ha).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 EMISSÕES DO GOVERNO LOCAL

#### 4.1.1 Escopo Setorial Energia

As emissões do escopo setorial Energia atribuíveis ao setor governamental são divididas em dois grupos: emissões por consumo de eletricidade e emissões fugitivas.

Dentre as emissões por consumo de eletricidade, há uma sub-divisão entre Poder Público (edifícios e instalações ocupadas pela administração pública federal, estadual e municipal em Belo Horizonte), Serviços Públicos (trens urbanos, bombeamento de água e esgotos, iluminação semafórica, etc.) e Iluminação Pública (iluminação de vias, praças e demais espaços públicos). No campo das emissões fugitivas, há emissões decorrentes de vazamentos de Gás Natural na etapa de transmissão desse combustível pela Rede de Distribuição localizada na cidade.

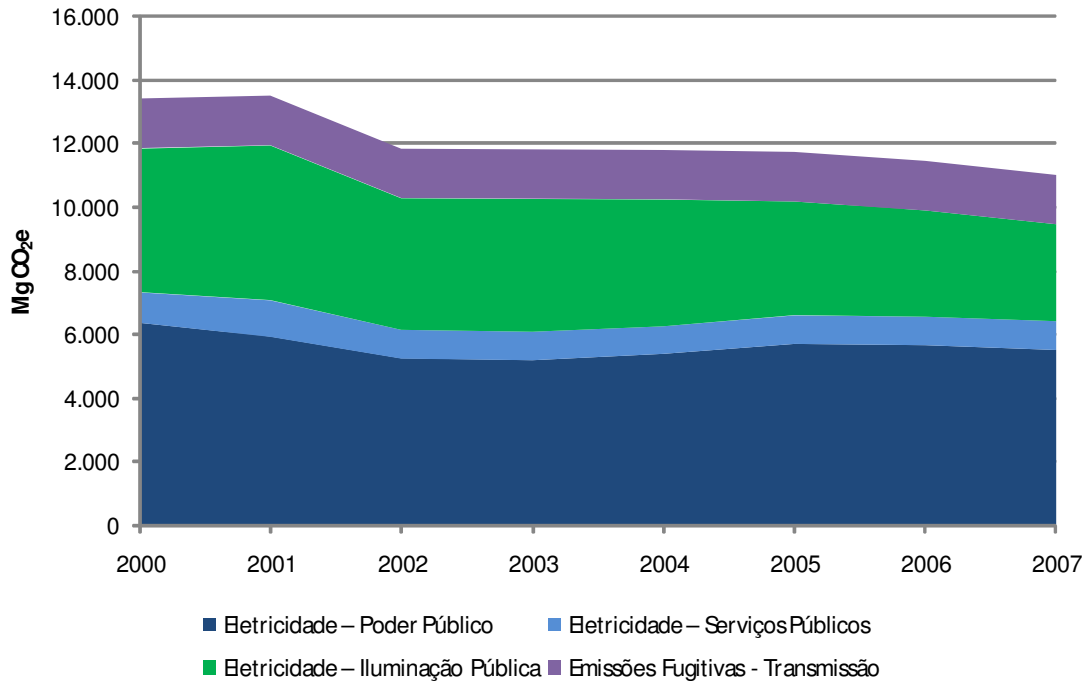
A tabela abaixo apresenta as emissões decorrentes do uso de energia atribuíveis ao Setor Governamental em Belo Horizonte:

**Tabela 14: Evolução das emissões do Setor Governamental em Belo Horizonte entre os anos 2000 e 2007**

| Fonte de Emissão                  | Emissões de GEE (Mg CO <sub>2</sub> e) |               |               |               |               |               |               |               |
|-----------------------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                                   | 2000                                   | 2001          | 2002          | 2003          | 2004          | 2005          | 2006          | 2007          |
| Eletricidade – Poder Público      | 6.365                                  | 5.926         | 5.242         | 5.186         | 5.384         | 5.699         | 5.664         | 5.509         |
| Eletricidade – Serviços Públicos  | 967                                    | 1.152         | 901           | 901           | 874           | 907           | 892           | 911           |
| Eletricidade – Iluminação Pública | 4.527                                  | 4.875         | 4.155         | 4.186         | 3.997         | 3.585         | 3.353         | 3.052         |
| Emissões Fugitivas - Transmissão  | 1.546                                  | 1.546         | 1.546         | 1.546         | 1.546         | 1.546         | 1.546         | 1.546         |
| <b>Total</b>                      | <b>13.405</b>                          | <b>13.499</b> | <b>11.844</b> | <b>11.819</b> | <b>11.801</b> | <b>11.737</b> | <b>11.455</b> | <b>11.018</b> |

A figura a seguir apresenta a evolução das emissões pelo uso de energia no setor governamental ao longo do período coberto pelo Inventário. Através dela percebe-se que a maior fonte de emissão do setor governamental entre 2000 a 2007 neste escopo

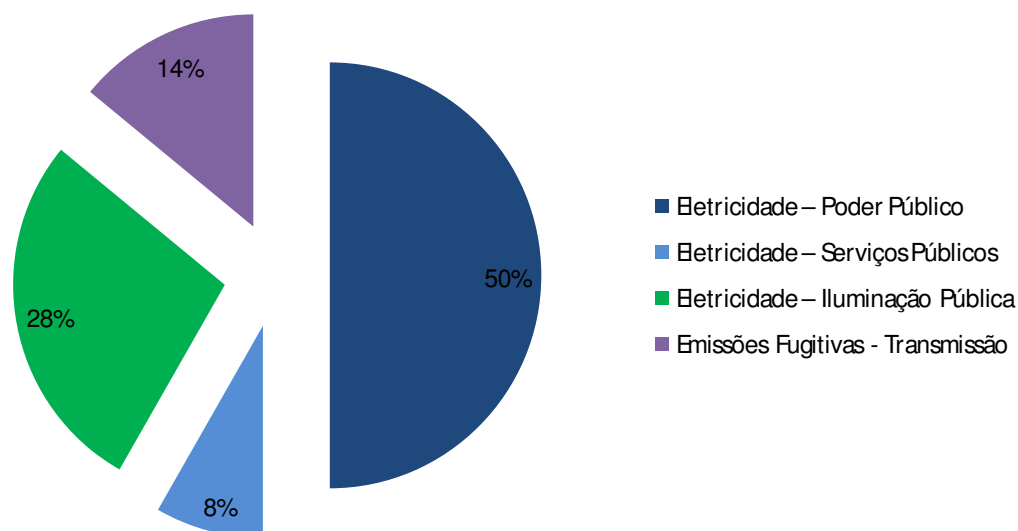
setorial foi o consumo de eletricidade pelos edifícios e instalações ocupados pelas diversas instâncias da administração pública alocada em Belo Horizonte (chegando a representar 50% do total de emissões do governo em 2007), seguida pelo consumo de eletricidade pela Iluminação Pública (28% do total em 2007). No último ano da série, as emissões fugitivas decorrentes da transmissão de Gás Natural e as emissões pelo consumo de eletricidade dos Serviços Públicos representaram 14% e 8%, respectivamente, do total de emissões do setor governamental.



**Figura 13: Evolução das emissões do Setor Governamental em Belo Horizonte entre os anos 2000 e 2007**

Percebe-se um leve declínio nas emissões por consumo de eletricidade entre 2001 e 2002. Tal redução é explicada pelo menor fator de emissão de CO<sub>2</sub> da rede elétrica servindo ao Município em 2002 em relação a 2001, uma vez que não foram detectadas alterações significativas na demanda de eletricidade nestes setores.

A figura abaixo expressa a distribuição das emissões do escopo setorial de energia atribuíveis ao governo, no ano de 2007.



**Figura 14: Distribuição das emissões do Setor Governamental em Belo Horizonte no ano de 2007, do escopo setorial de energia**

#### 4.1.2 Escopo Setorial Resíduos

No escopo setorial “Resíduos”, sub-escopo “Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos”, são atribuíveis ao governo as emissões decorrentes da degradação microbiológica de resíduos sólidos públicos em aterro sanitário. Os resíduos sólidos públicos são compostos por resíduos de podas, varrição e capinas realizadas em espaços públicos. Estes resíduos, de alta biodegradabilidade, produzirão metano enquanto sofrem decomposição anaeróbia no aterro sanitário.

É importante notar que as emissões decorrentes da disposição de resíduos em aterro sanitário não ocorrerão somente no ano de disposição dos mesmos, mas ocorrerão ao longo de vários anos até que a decomposição dos resíduos seja estabilizada. Portanto, há que se considerar um passivo de emissões para os anos seguintes à geração e disposição de qualquer resíduo. Este passivo de emissões representará, ao longo dos anos, a maior fração das emissões do aterro sanitário por seu caráter acumulativo. Para os fins deste inventário, foi considerado um modelo de decomposição de primeira ordem no qual as emissões ocorrerão ao longo dos anos subsequentes à disposição do resíduo no aterro sanitário. Não foram contabilizados os passivos de emissão referentes à disposição de resíduos em anos anteriores a 2000.

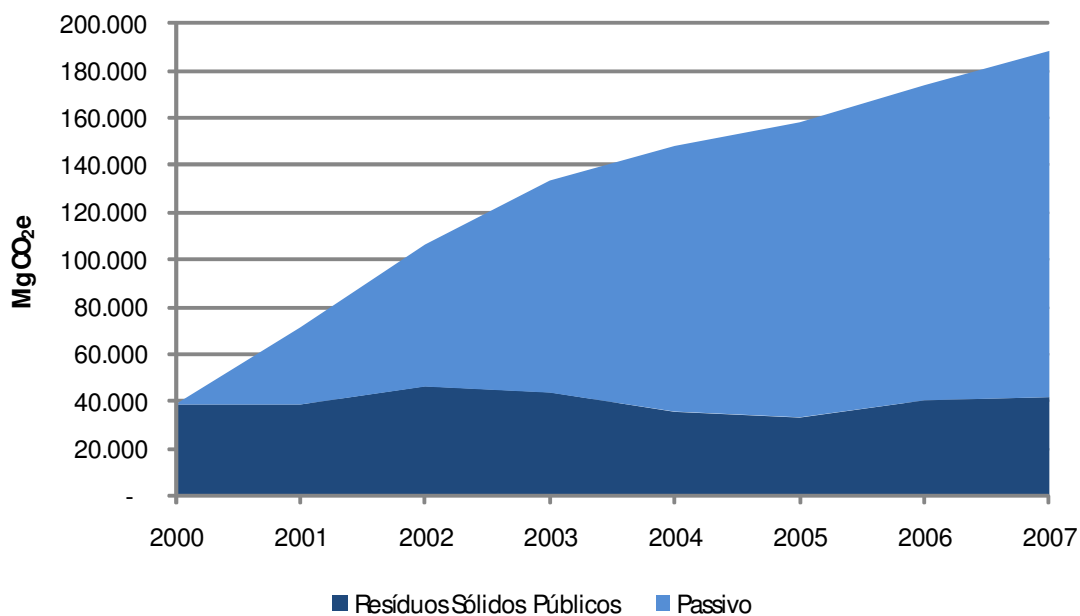
As emissões relativas a este escopo setorial estão apresentadas na tabela abaixo.

**Tabela 15: Emissões de GEE devido à disposição de resíduos sólidos públicos em aterro sanitário**

| Fonte de Emissão | Emissões de GEE (Mg CO <sub>2</sub> e) |
|------------------|--|
|                  |  |

|                           | 2000   | 2001   | 2002    | 2003    | 2004    | 2005    | 2006    | 2007    |
|---------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Resíduos Sólidos Públicos | 38.638 | 38.629 | 46.233  | 43.653  | 35.525  | 33.162  | 40.361  | 41.662  |
| Passivo de Emissões       | -      | 32.598 | 60.091  | 89.702  | 112.507 | 124.890 | 133.343 | 146.548 |
| Total                     | 38.638 | 71.226 | 106.324 | 133.355 | 148.033 | 158.052 | 173.704 | 188.209 |

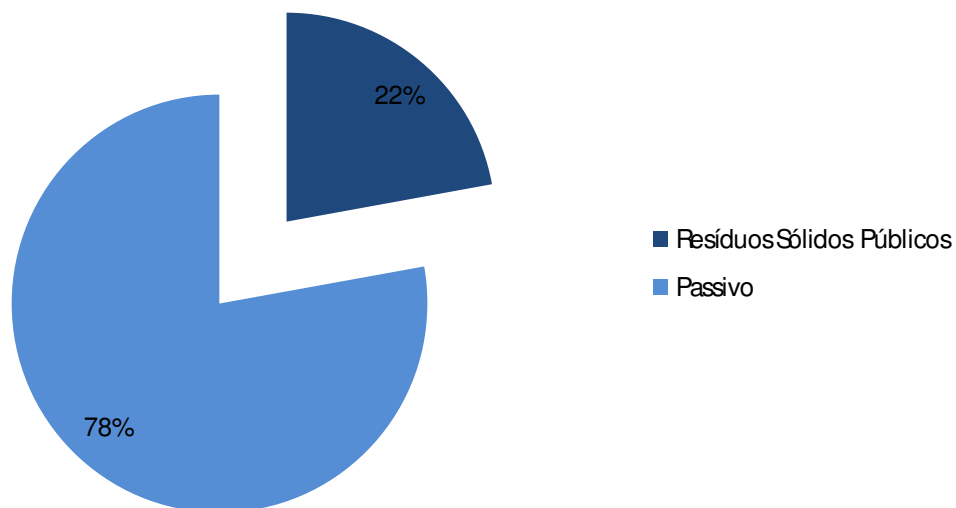
A figura abaixo expressa as emissões de GEE entre os anos 2000 e 2007 devido à disposição de resíduos sólidos públicos em aterro sanitário, considerando o passivo de emissões.



**Figura 15: Emissões de GEE entre os anos 2000 e 2007 devido à disposição de resíduos sólidos públicos com o passivo correspondente**

A figura abaixo expressa a distribuição das emissões do escopo setorial de resíduos atribuíveis ao governo, no ano de 2007. Percebe-se que as emissões de metano decorrentes de resíduos dispostos em anos anteriores a 2007 representam a maior parcela das emissões.





**Figura 16: Distribuição das emissões do Setor Governamental em Belo Horizonte no ano de 2007, do escopo setorial de resíduos**

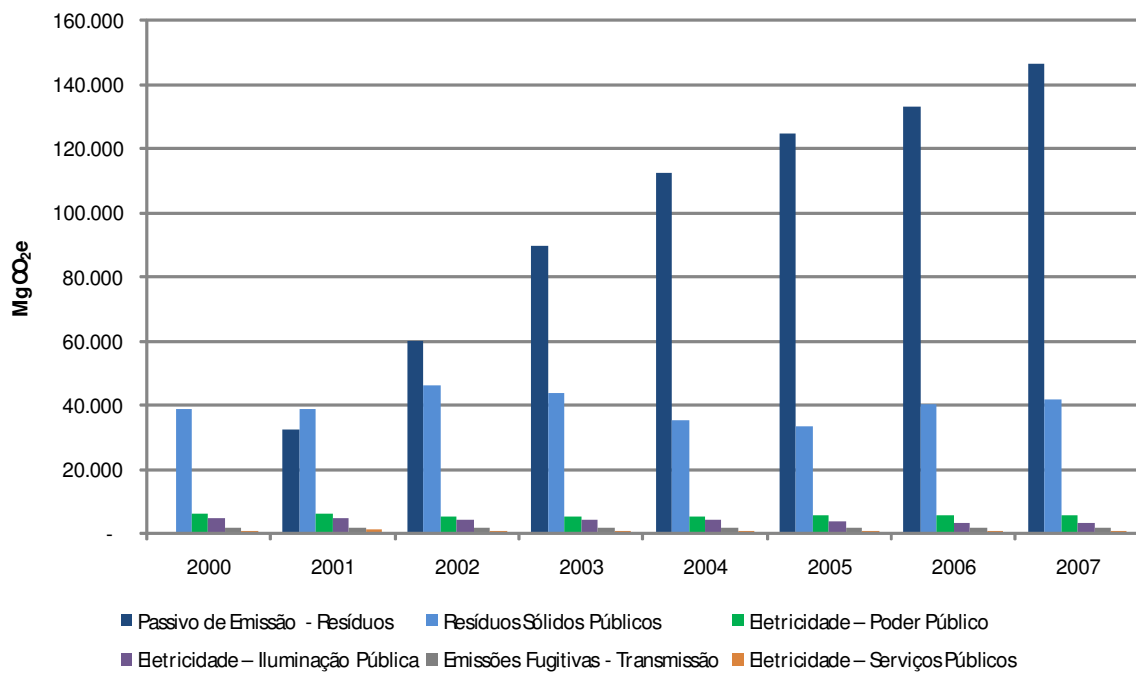
#### 4.1.3 Total de Emissões do Setor Governamental

Ao todo, o setor governamental em Belo Horizonte emitiu 199.227 toneladas de CO<sub>2</sub>e em 2007. Reunindo as emissões dos escopos de Energia e Resíduos, é possível identificar as fontes que mais contribuíram para as emissões do setor governamental. A tabela e a figura abaixo expressam essa avaliação.

**Tabela 16: Emissões totais de GEE do setor governamental entre 2000 e 2007**

| Fonte de Emissão                  | Emissões de GEE (Mg CO <sub>2</sub> e) |        |        |        |         |         |         |         |
|-----------------------------------|--|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
|                                   | 2000                                   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004    | 2005    | 2006    | 2007    |
| Passivo de Emissão - Resíduos     | -                                      | 32.598 | 60.091 | 89.702 | 112.507 | 124.890 | 133.343 | 146.548 |
| Resíduos Sólidos Públicos         | 38.638                                 | 38.629 | 46.233 | 43.653 | 35.525  | 33.162  | 40.361  | 41.662  |
| Eletricidade - Poder Público      | 6.365                                  | 5.926  | 5.242  | 5.186  | 5.384   | 5.699   | 5.664   | 5.509   |
| Eletricidade - Iluminação Pública | 4.527                                  | 4.875  | 4.155  | 4.186  | 3.997   | 3.585   | 3.353   | 3.052   |

|                                  |   |               |               |                |                |                |                |                |                |
|----------------------------------|---|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Emissões Fugitivas Transmissão   | - | 1.546         | 1.546         | 1.546          | 1.546          | 1.546          | 1.546          | 1.546          | 1.546          |
| Eletricidade – Serviços Públicos | - | 967           | 1.152         | 901            | 901            | 874            | 907            | 892            | 911            |
| <b>Total</b>                     |   | <b>52.043</b> | <b>84.725</b> | <b>118.168</b> | <b>145.174</b> | <b>159.834</b> | <b>169.789</b> | <b>185.159</b> | <b>199.227</b> |



**Figura 17: Identificação das fontes de emissão mais preponderantes do setor governamental em Belo Horizonte**

## 4.2 EMISSÕES DA COMUNIDADE

### 4.2.1 Escopo Setorial Energia

As emissões do escopo setorial Energia atribuíveis à comunidade de Belo Horizonte são decorrentes do consumo de eletricidade, da combustão por fontes móveis e estacionárias, além de emissões fugitivas ocasionadas por perdas de Gás Natural e GNV nos terminais de uso. As emissões desse escopo revelaram-se as mais preponderantes dentre as da cidade, dada a característica sócio-econômica e infra-estrutura de transportes utilizada pela população.

Dentre as emissões por consumo de eletricidade, foi considerada a sub-divisão entre consumidores Residenciais, Industriais, Comerciais e Rurais. Dentre as emissões por combustão em fontes móveis, todas relacionadas ao setor de transportes, encontram-se as decorrentes do consumo de Diesel, consumo de Gasolina Automotiva (gasolina tipo C – 22% de etanol), consumo de Álcool (etanol hidratado), Gás Natural Veicular – GNV, consumo de Gasolina de Aviação e de Querosene de Aviação. No caso específico do Diesel, considerou-se que até 2006 o Diesel comercializado na cidade era do tipo convencional (100% diesel de petróleo) e para o ano 2007 foi considerado o Diesel do tipo B2 (2% de biodiesel).

Para todos os combustíveis incluídos no sub-escopo de combustão móvel citados acima, a exceção do Álcool (etanol hidratado), foram consideradas emissões de CO<sub>2</sub> (dada a origem fóssil do carbono presente nestes combustíveis) além de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. As emissões de CH<sub>4</sub> ocorrem em função da queima incompleta dos combustíveis e as emissões de N<sub>2</sub>O ocorrem em função da queima em temperaturas inferiores à temperatura ótima de combustão. No caso das emissões por consumo de álcool, somente as emissões de CH<sub>4</sub> (combustão incompleta) foram consideradas. As emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da queima de materiais de origem biogênica não estão incluídas no total do inventário, mas apresentadas a parte em sessão específica. Emissões de N<sub>2</sub>O relacionadas ao consumo de álcool não foram consideradas por inexistência de fatores de emissão aplicáveis.

No caso das emissões do sub-escopo de combustão estacionária, foram considerados os consumos de combustíveis fósseis no setor industrial, residencial e de serviços. Os combustíveis incluídos neste sub-escopo são o Óleo Combustível (óleo BPF), o GLP, O Gás Natural e o Querosene Iluminante. Emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O foram contabilizadas para todos os combustíveis incluídos nesse sub-escopo.

No campo das emissões fugitivas, foram contabilizadas emissões decorrentes de vazamentos de Gás Natural nos terminais de abastecimento no setor de serviços e na indústria, além de vazamentos em postos de GNV.

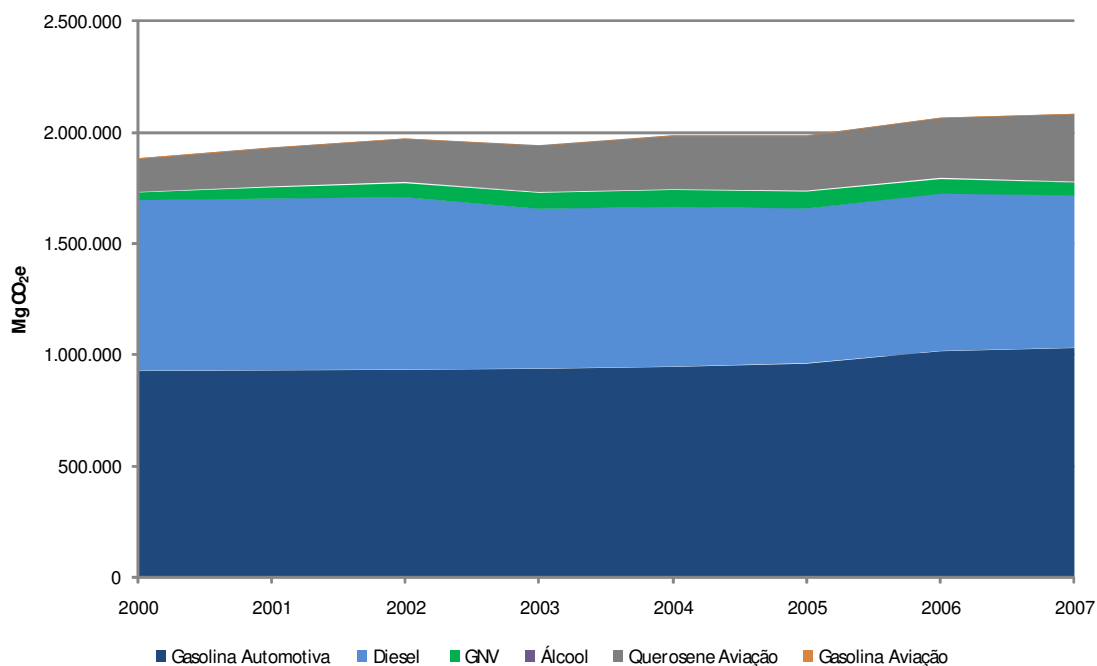
A tabela abaixo apresenta as emissões decorrentes do uso de energia atribuíveis à comunidade de Belo Horizonte.

**Tabela 17: Evolução das emissões da Comunidade de Belo Horizonte entre os anos 2000 e 2007**

| Fonte de Emissão                  |                          | Emissões de GEE (Mg CO <sub>2</sub> e) |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|-----------------------------------|--------------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                   |                          | 2000                                   | 2001             | 2002             | 2003             | 2004             | 2005             | 2006             | 2007             |
| Combustão Móvel                   | Gasolina Automotiva      | 926.482                                | 929.642          | 932.034          | 936.821          | 945.028          | 960.362          | 1.015.371        | 1.030.217        |
|                                   | Diesel                   | 769.983                                | 773.195          | 776.142          | 719.243          | 719.788          | 697.754          | 709.576          | 687.712          |
|                                   | GNV                      | 33.707                                 | 52.141           | 65.576           | 73.929           | 77.109           | 77.359           | 67.657           | 58.310           |
|                                   | Álcool                   | 675                                    | 514              | 556              | 479              | 493              | 503              | 537              | 931              |
|                                   | Querosene de Aviação     | 151.173                                | 175.091          | 197.864          | 210.054          | 242.833          | 249.199          | 271.356          | 305.599          |
|                                   | Gasolina de Aviação      | 3.188                                  | 2.963            | 2.393            | 2.086            | 1.958            | 2.056            | 2.621            | 2.558            |
| <b>Subtotal – Combustão Móvel</b> |                          | <b>1.885.207</b>                       | <b>1.933.546</b> | <b>1.974.564</b> | <b>1.942.612</b> | <b>1.987.208</b> | <b>1.987.233</b> | <b>2.067.118</b> | <b>2.085.328</b> |
| Combustão Estacionária            | GLP                      | 257.367                                | 263.143          | 269.717          | 266.411          | 275.771          | 282.552          | 283.741          | 284.527          |
|                                   | Gás Natural - Indústrias | 44.572                                 | 51.933           | 59.294           | 67.809           | 76.143           | 76.623           | 87.244           | 99.063           |
|                                   | Óleo Combustível         | 66.213                                 | 66.762           | 70.552           | 54.256           | 35.989           | 31.844           | 13.435           | 14.387           |
|                                   | Gás Natural - Serviços   | 0                                      | 0                | 0                | 102              | 330              | 464              | 598              | 595              |
|                                   | Querosene Iluminante     | 4                                      | 4                | 3                | 3                | 3                | 2                | 2                | 2                |
| <b>Subtotal – Combustão</b>       |                          | <b>368.156</b>                         | <b>381.842</b>   | <b>399.566</b>   | <b>388.581</b>   | <b>388.237</b>   | <b>391.485</b>   | <b>385.019</b>   | <b>398.574</b>   |

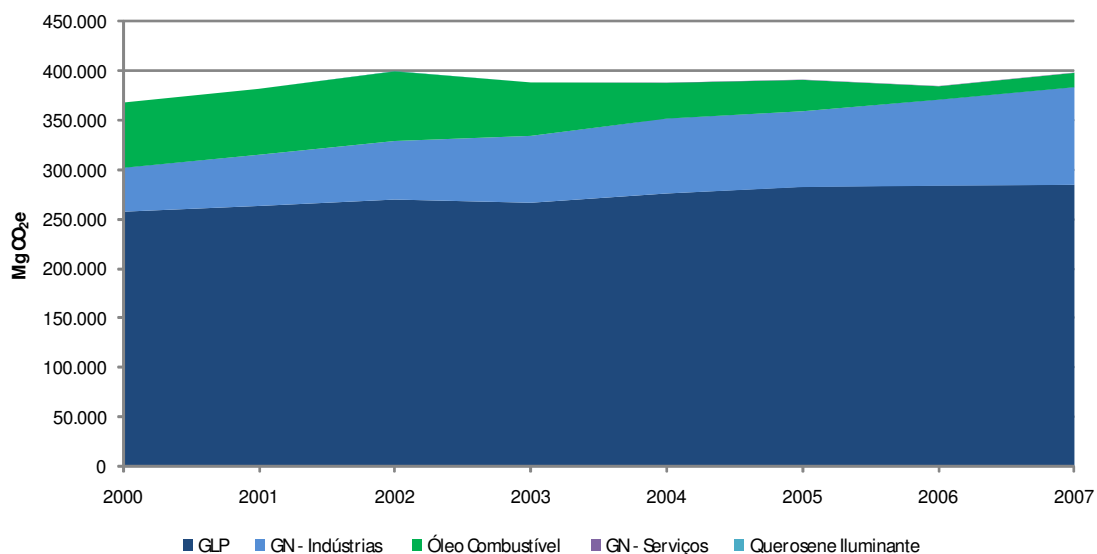
| Est.                            |                       |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|---------------------------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Consumo de Eletricidade         | Residencial           | 67.334           | 64.710           | 52.166           | 48.178           | 46.972           | 46.414           | 43.158           | 39.240           |
|                                 | Comercial             | 46.417           | 48.998           | 40.406           | 37.797           | 39.122           | 41.274           | 38.988           | 36.605           |
|                                 | Industrial            | 25.513           | 26.957           | 23.051           | 22.219           | 19.712           | 19.491           | 20.728           | 17.848           |
|                                 | Rural                 | 16               | 17               | 7                | 3                | 4                | 3                | 3                | 3                |
| <b>Subtotal – Eletricidade</b>  |                       | <b>151.139</b>   | <b>152.636</b>   | <b>125.929</b>   | <b>118.470</b>   | <b>116.066</b>   | <b>117.373</b>   | <b>112.786</b>   | <b>103.168</b>   |
| Emissões Fugitivas              | Uso Industrial        | 4.329            | 5.044            | 5.759            | 6.586            | 7.395            | 7.442            | 8.473            | 9.621            |
|                                 | Postos GNV / Serviços | 1.628            | 2.518            | 3.166            | 3.575            | 3.739            | 3.758            | 3.296            | 2.844            |
| <b>Subtotal – Em. Fugitivas</b> |                       | <b>7.502</b>     | <b>9.107</b>     | <b>10.471</b>    | <b>11.706</b>    | <b>12.680</b>    | <b>12.745</b>    | <b>13.315</b>    | <b>14.011</b>    |
| <b>Total</b>                    |                       | <b>2.412.005</b> | <b>2.477.130</b> | <b>2.510.530</b> | <b>2.461.369</b> | <b>2.504.191</b> | <b>2.508.837</b> | <b>2.578.238</b> | <b>2.601.081</b> |

A figura a seguir apresenta a evolução das emissões pelas fontes móveis em Belo Horizonte ao longo do período coberto pelo Inventário. Através dela percebe-se que a maior fonte de emissão neste sub-escopo setorial foi a Gasolina Automotiva (representando 49,4% do total de emissões do setor transportes em 2007), seguida pelo Diesel (33% do total em 2007).



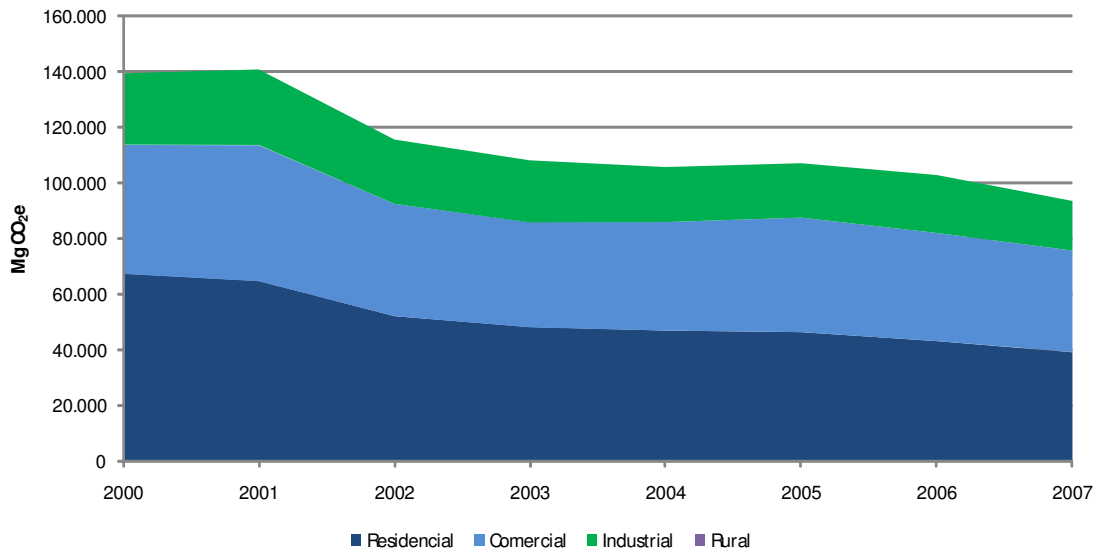
**Figura 18: Evolução das emissões do setor de transportes (combustão móvel) em Belo Horizonte – 2000 a 2007**

Dentre as emissões por fontes estacionárias o GLP foi o mais preponderante (71,4% em 2007), sendo consumido sobretudo no setor de serviços e residências. Vale notar que o Óleo Combustível reduziu sua participação na matriz energética da indústria local, sendo substituído pelo Gás Natural, combustível menos intenso em carbono, durante o período em questão. Em 2000, o Óleo Combustível representava 18% das emissões por fontes estacionárias, ao passo que o Gás Natural representava 12,1%; em 2007, as emissões decorrentes do consumo de Óleo Combustível caiu para apenas 3,6%, enquanto as emissões por consumo de Gás Natural na indústria alcançou 24,9% (Figura 19).



**Figura 19: Evolução das emissões de combustão estacionária em Belo Horizonte – 2000 a 2007**

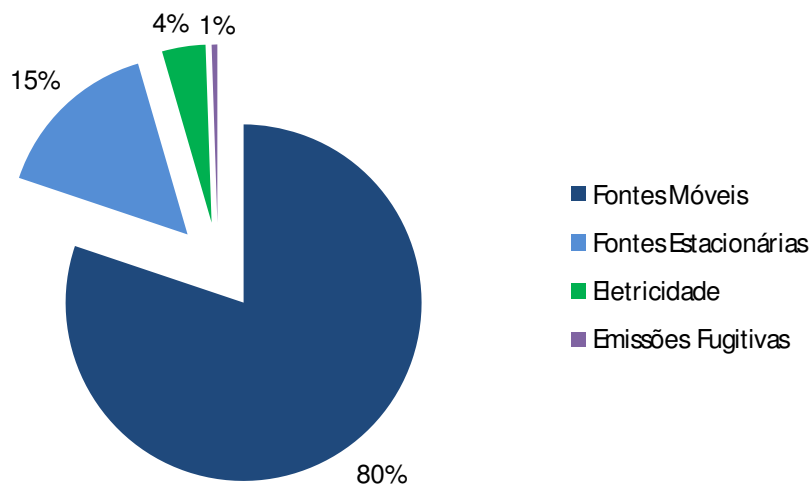
Em relação às emissões por consumo de eletricidade, o setor residencial foi quem mais emitiu GEEs ao longo do período em análise, alcançando 42% das emissões relacionadas ao consumo elétrico da comunidade em 2007, seguido pelo setor comercial, também bastante relevante, com participação de 39% destas emissões em 2007. O setor industrial apresentou participação de 19% no mesmo ano (Figura 20).



**Figura 20: Evolução das emissões de combustão estacionária em Belo Horizonte – 2000 a 2007**

Percebe-se um declínio nas emissões por consumo de eletricidade a partir de 2001, sobretudo em relação a 2002. Tal redução é explicada pelo menor fator de emissão de CO<sub>2</sub> pela rede elétrica servindo ao Município em 2002 em relação a 2001<sup>8</sup>; além disso, não foram detectadas alterações significativas na demanda de eletricidade nestes setores.

A figura abaixo expressa a distribuição das emissões do escopo setorial de energia atribuíveis à comunidade de Belo Horizonte, no ano de 2007.

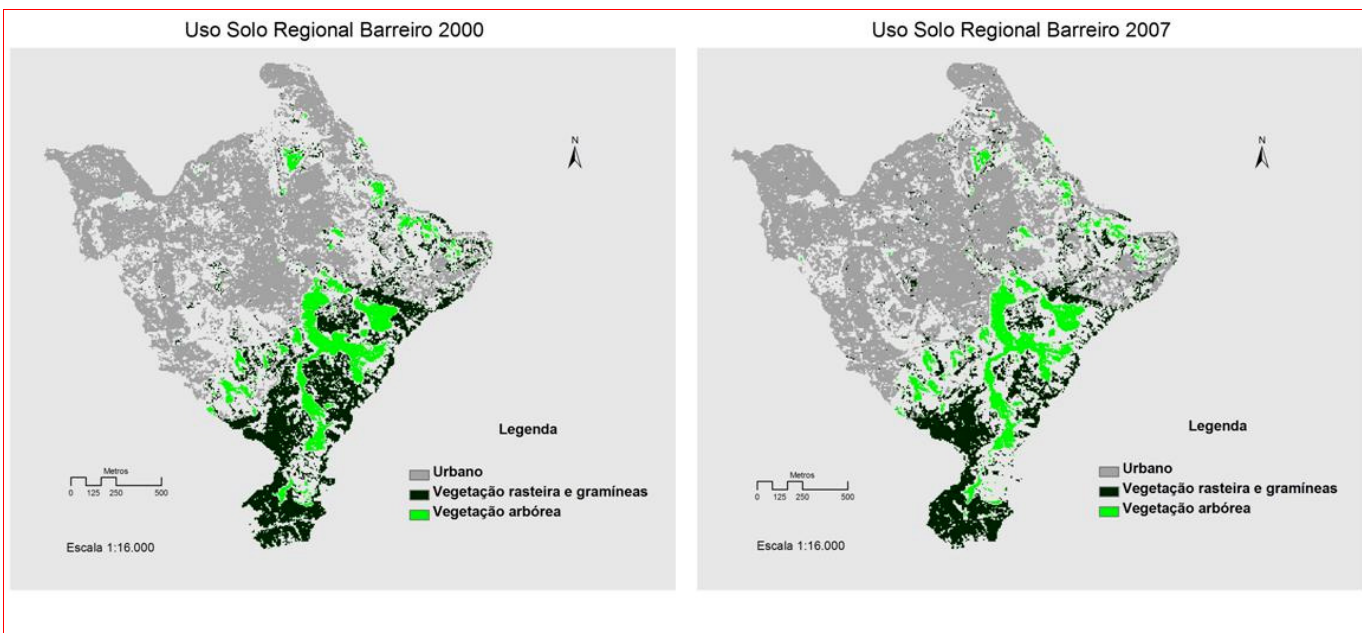


<sup>8</sup> Para 2001 este fator foi de 0,046 Mg CO<sub>2</sub>/MWh; para 2002, o valor foi de 0,038 Mg CO<sub>2</sub>e/MWh. O desenvolvimento dos fatores de emissão de CO<sub>2</sub> pela rede elétrica servindo Belo Horizonte no período 2000 a 2005 está apresentado no Anexo I deste documento.

**Figura 21: Distribuição das emissões da comunidade de Belo Horizonte no ano de 2007, do escopo setorial de energia**

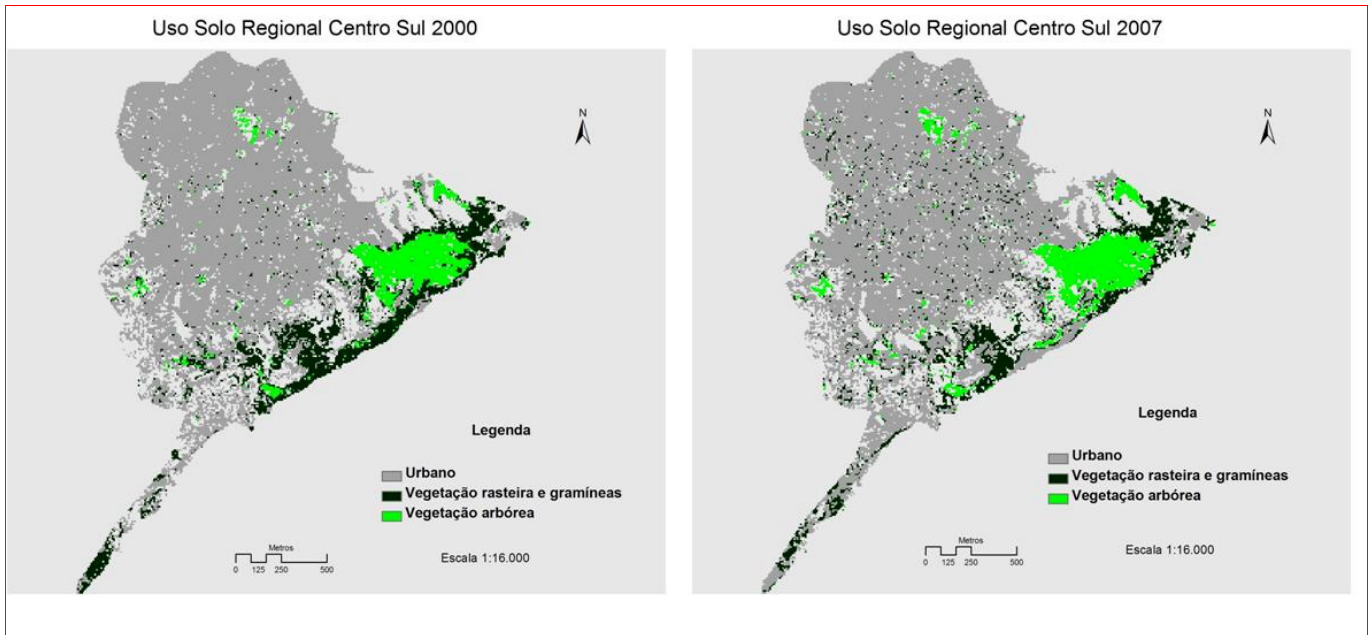
#### 4.2.2 Escopo Setorial Mudança do Uso do Solo

Neste escopo setorial foram incluídas as emissões líquidas de GEE decorrentes da conversão de diversas fisionomias vegetais e usos do solo ocorrentes em Belo Horizonte em áreas edificadas e/ou urbanizadas, como também as remoções de GEE decorrentes de plantio e crescimento de árvores. A expansão da malha urbana do Município sobre tais fisionomias vegetais implica em supressão de estoques de carbono enquanto o crescimento de áreas verdes significa incremento de estoques. Neste Inventário, tais conversões foram avaliadas entre o par de anos 2000 e 2007 nas diversas Regionais Administrativas de Belo Horizonte, como mostram as figuras abaixo.

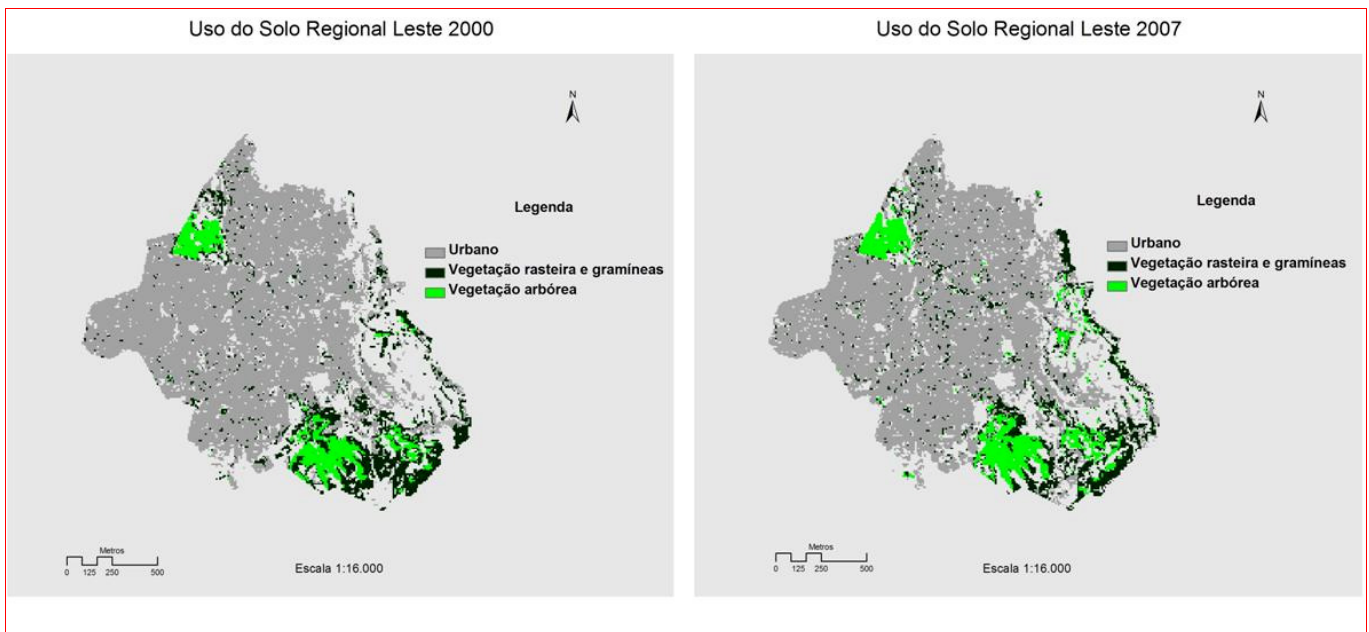


**Figura 22 – Regional Barreiro**

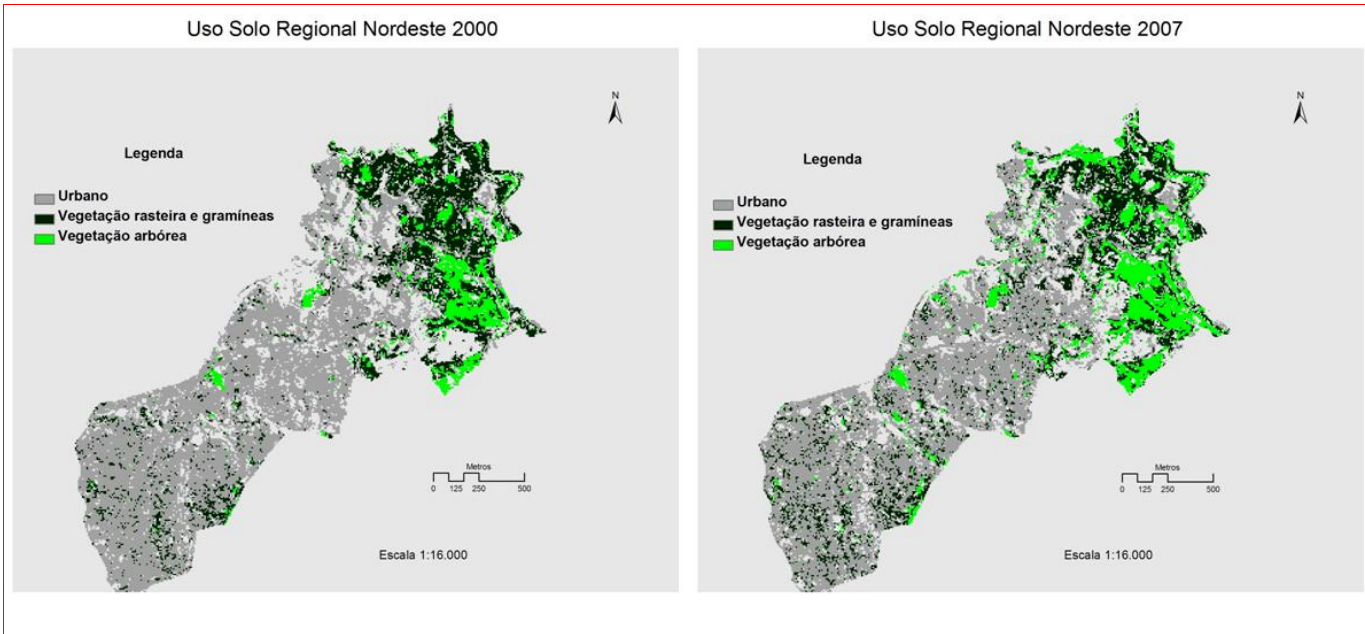




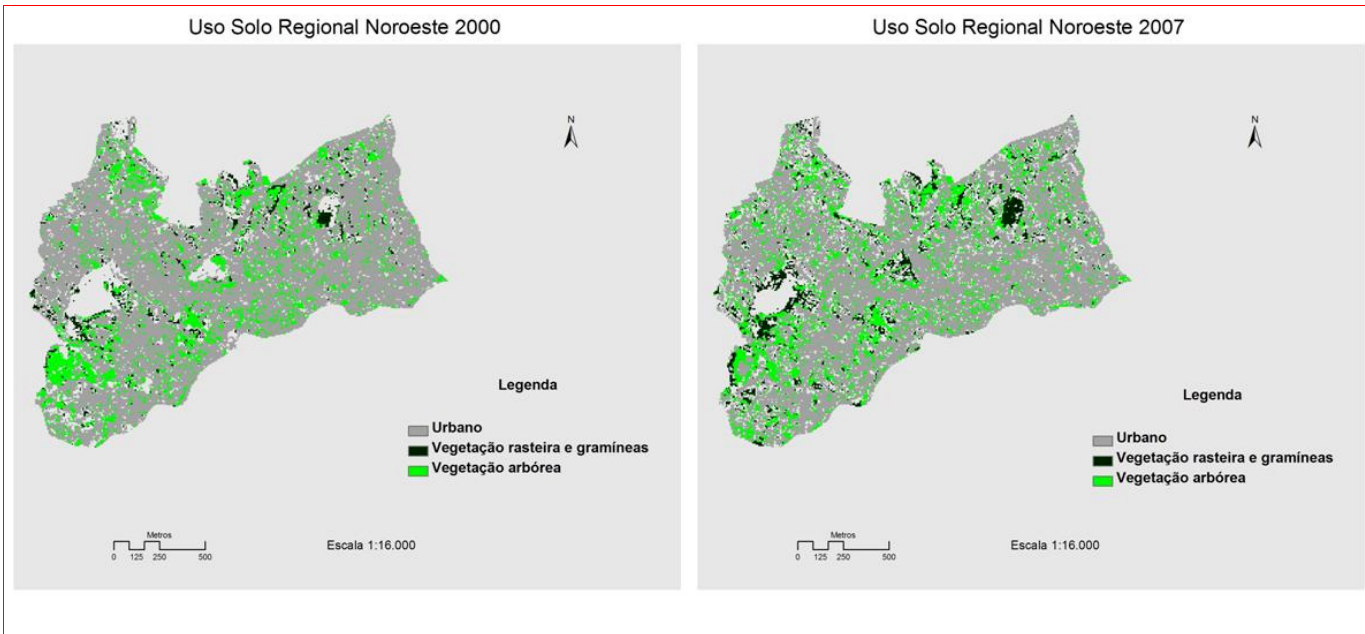
**Figura 23 – Regional Centro Sul**



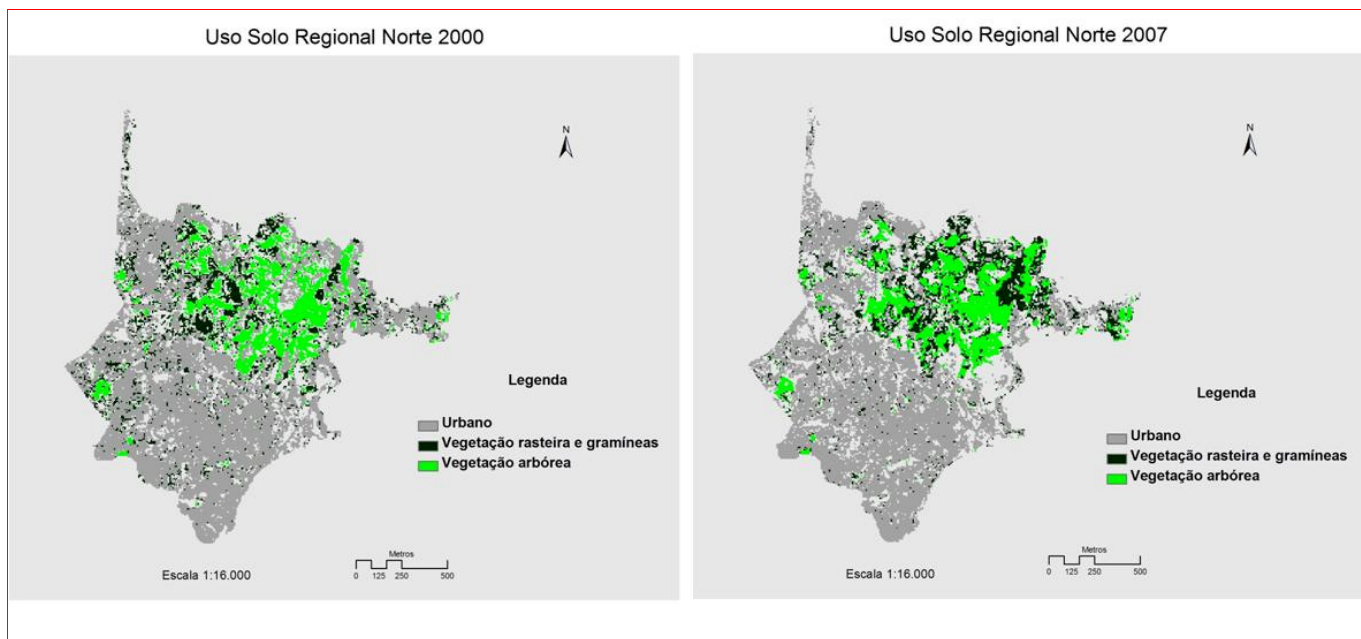
**Figura 24 – Regional Leste**



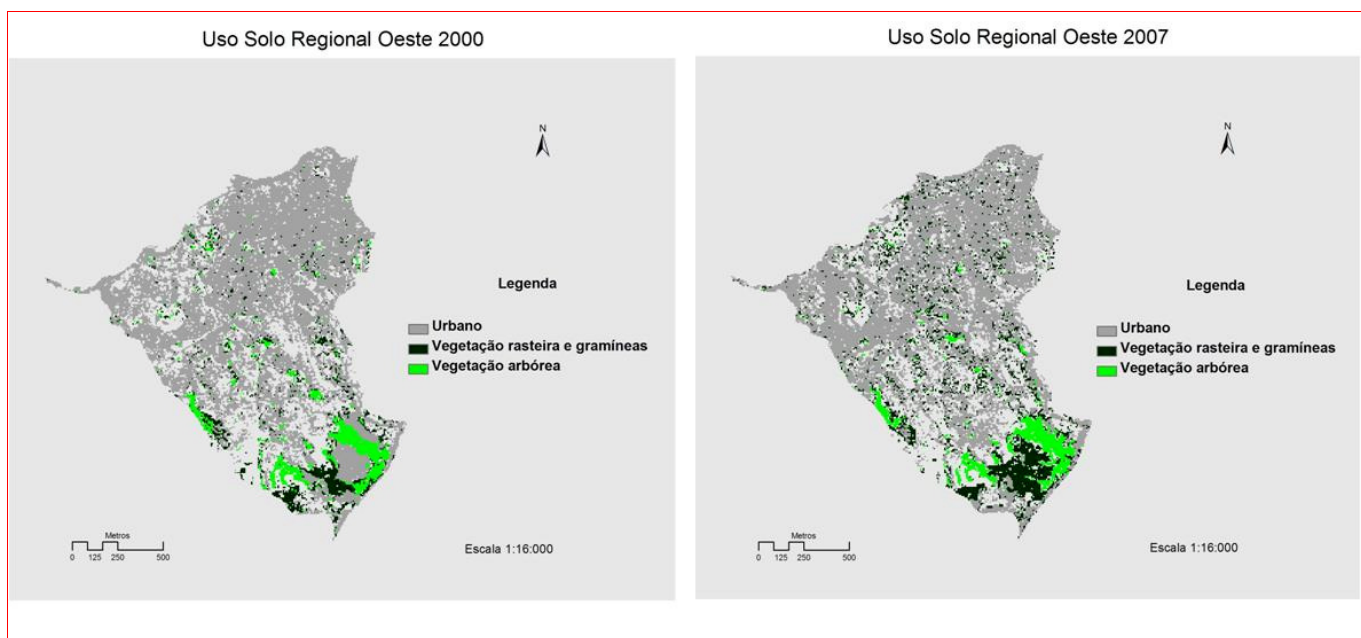
**Figura 25 – Regional Nordeste**



**Figura 26 – Regional Noroeste**



**Figura 27 – Regional Norte**



**Figura 28 – Regional Oeste**

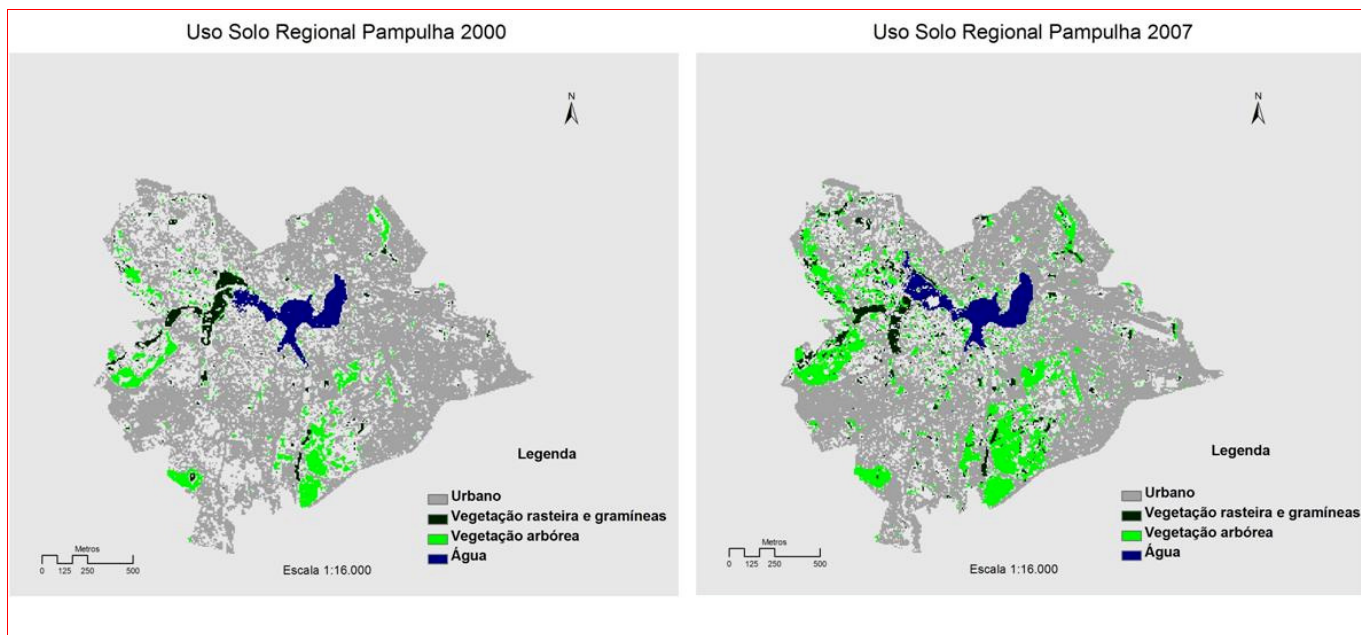


Figura 29 – Regional Pampulha

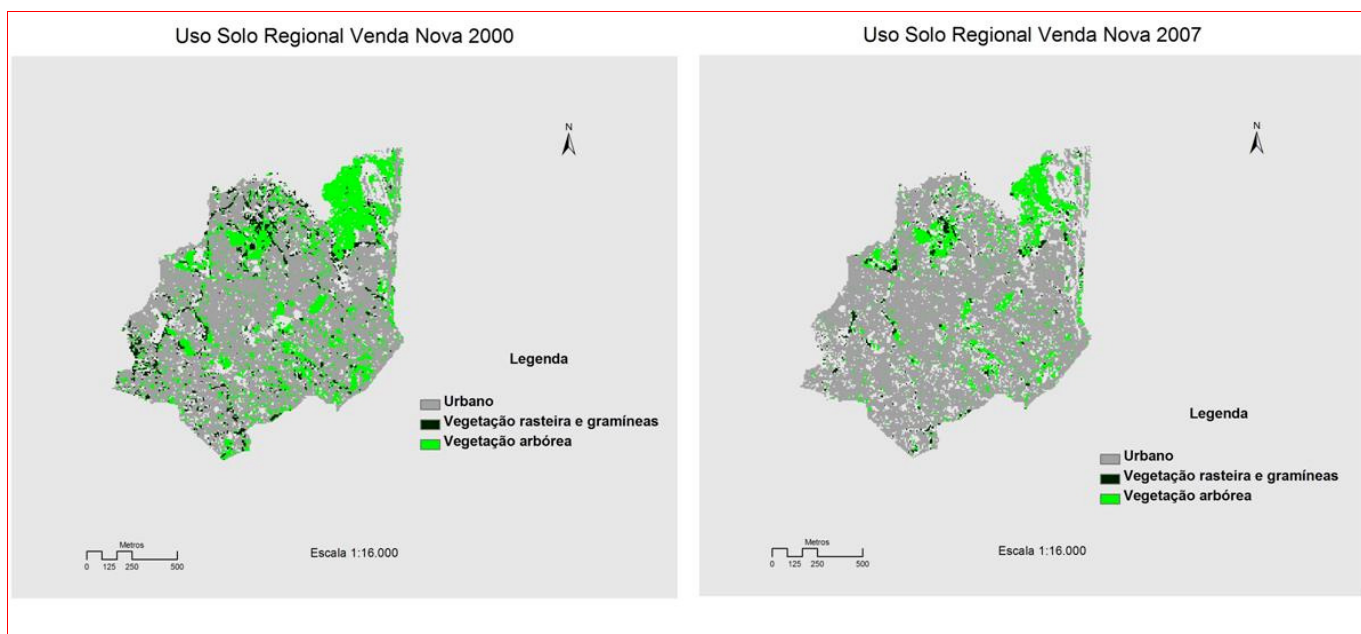


Figura 30 – Regional Venda Nova

Em todas as regionais analisadas, não foram identificadas alterações significativas no uso do solo uma vez que as áreas passíveis de urbanização já encontravam-se ocupadas como tal no ano 2000. Entre 2000 e 2007, 1.018 hectares inicialmente ocupados por gramíneas e vegetação rasteira foram convertidos em malha urbana, especialmente nas Regionais Barreiro, Centro-Sul e Oeste. No caso específico da Regional Pampulha é possível perceber o recuo na área da lagoa tomada por aguapés, bem como uma significativa expansão da área de vegetação arbórea, principalmente na

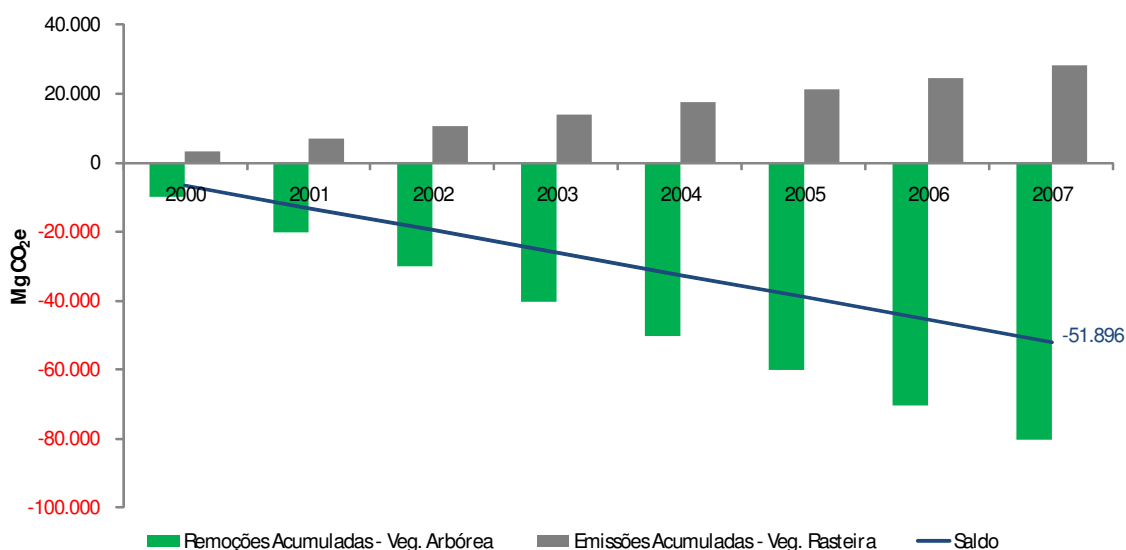
região da Universidade Federal de Minas Gerais. Na Regional Venda Nova foi onde mais se observou redução nas áreas ocupadas por vegetação arbórea ao longo do período coberto pelo Inventário.

A sumarização da dinâmica de uso do solo em 2000 e 2007 em Belo Horizonte encontra-se relatada na tabela abaixo.

**Tabela 18: Ocupação do solo em Belo Horizonte em 2000 e 2007 quanto as principais fisionomias vegetais**

| Classe                         | Área em 2000 (%) | Área em 2007 (%) | Variação (%) |
|--------------------------------|------------------|------------------|--------------|
| Água                           | 0,3%             | 0,3%             | -            |
| Vegetação Arbórea              | 5,0%             | 5,5%             | 12%          |
| Gramíneas / Vegetação Rasteira | 13,1%            | 9,6%             | (27%)        |
| Malha Urbana                   | 81,6%            | 84,6%            | 4%           |

Apesar dos números indicarem que a área de vegetação rasteira suprimida foi 6 vezes maior do que a área de vegetação arbórea adicionada, em termos de emissões de GEE a supressão de vegetação em determinadas regiões foi compensada pelo crescimento de indivíduos arbóreos em outros, resultando ao fim do período em análise um saldo acumulado de 51.896 toneladas de CO<sub>2</sub>e de remoções, conforme ilustrado na figura abaixo.



**Figura 31: Acumulado de remoções e emissões de GEE em Belo Horizonte por mudança no uso do solo entre 2000 e 2007**

O incremento anual dos estoques de carbono no Município foi equivalente à neutralização de 0,2% das emissões anuais no mesmo período.

#### **4.2.3 Escopo Setorial Resíduos**

No escopo setorial “Resíduos” estão alocadas as emissões dos sub-escopos “Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos” e “Tratamento Biológico de Águas Residuárias e Descarte”. São atribuíveis à comunidade de Belo Horizonte as emissões decorrentes da degradação microbiológica de resíduos sólidos domiciliares em aterro sanitário e do tratamento biológico de efluentes sanitários.

Em relação aos resíduos sólidos, é importante reforçar que as emissões associadas à sua disposição em aterro sanitário não ocorrerão somente no ano de disposição dos mesmos, mas ocorrerão ao longo de vários anos até que sua decomposição seja estabilizada. Portanto, há que se considerar um passivo de emissões para os anos seguintes à geração e disposição de qualquer resíduo. Este passivo de emissões representará, ao longo dos anos, a maior fração das emissões do aterro sanitário por seu caráter acumulativo. Para os fins deste inventário, foi considerado um modelo de decomposição de primeira ordem no qual as emissões ocorrerão ao longo dos anos após a disposição do resíduo no aterro sanitário. Não foram contabilizados os passivos de emissão de resíduos dispostos em anos anteriores a 2000.

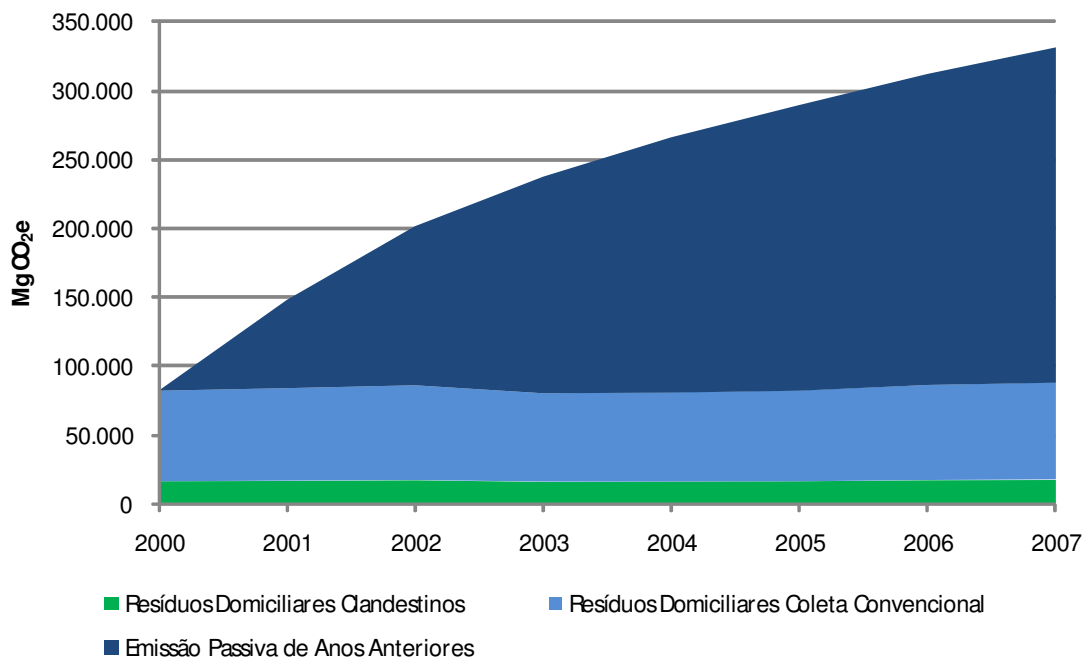
Diferentemente, no caso dos efluentes sanitários, as emissões ocorrerão no momento de seu tratamento, que no caso de Belo Horizonte, é realizado por meio de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (RAFAs) ou digestores de lodo biológico. Esta premissa também foi adotada para o lançamento de efluentes sanitários não tratados em corpo hídrico e para tratamento de efluentes sanitários em sistemas independentes (presumidos como fossas sépticas) não conectados à rede pública de coleta de esgotos. Vale notar que as Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) de Belo Horizonte cobertas por este inventário iniciaram sua operação em anos diferentes, após o ano 2000. Portanto, para alguns anos do período em análise, a emissão de determinadas ETEs será igual a zero por que a mesma não havia iniciado suas operações.

As emissões pertinentes a este escopo setorial estão apresentadas na tabela abaixo.

**Tabela 19: Emissões de GEE da comunidade de Belo Horizonte no escopo setorial de Resíduos**

| Fonte de Emissão  | Emissões de GEE (Mg CO <sub>2</sub> e) |                |                |                |                |                |                |                |
|---|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|   | 2000                                   | 2001           | 2002           | 2003           | 2004           | 2005           | 2006           | 2007           |
| Resíduos Domiciliares Coleta Convencional               | 65.941                                 | 67.447         | 69.048         | 64.471         | 64.919         | 66.032         | 69.296         | 70.683         |
| Resíduos Domiciliares Clandestinos                      | 16.568                                 | 16.947         | 17.349         | 16.199         | 16.311         | 16.591         | 17.411         | 17.760         |
| Passivo de Emissões – Resíduos Sólidos                  | 0                                      | 64.258         | 115.770        | 157.448        | 185.447        | 207.689        | 226.095        | 243.611        |
| <b>Subtotal Resíduos</b>                                | <b>82.510</b>                          | <b>148.652</b> | <b>202.168</b> | <b>238.118</b> | <b>266.677</b> | <b>290.312</b> | <b>312.802</b> | <b>332.053</b> |
| ETE Arrudas   | 0                                      | 8.791          | 8.403          | 6.588          | 7.385          | 19.458         | 23.801         | 26.192         |
| ETE Onça  | 0                                      | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 328            |
| ETE Olhos D'Água  | 0                                      | 0              | 925            | 472            | 431            | 426            | 523            | 423            |
| ETE Minas Solidária                                     | 0                                      | 0              | 0              | 105            | 78             | 90             | 98             | 107            |
| Lançamento de efluentes não tratados em corpos hídricos | 40.881                                 | 27.856         | 29.165         | 29.281         | 27.661         | 27.090         | 23.515         | 19.315         |
| Tratamento de efluentes em sistemas independentes       | 26.061                                 | 18.253         | 18.557         | 18.251         | 17.641         | 16.043         | 14.922         | 15.743         |
| <b>Subtotal Efluentes</b>                               | <b>66.942</b>                          | <b>54.900</b>  | <b>57.051</b>  | <b>54.697</b>  | <b>53.196</b>  | <b>63.107</b>  | <b>62.858</b>  | <b>62.108</b>  |
| <b>Total</b>  | <b>149.451</b>                         | <b>203.553</b> | <b>259.218</b> | <b>292.816</b> | <b>319.873</b> | <b>353.418</b> | <b>375.661</b> | <b>394.161</b> |

A figura abaixo expressa as emissões de GEE entre os anos 2000 e 2007 devido à disposição de resíduos sólidos domiciliares em aterro sanitário, considerando o passivo de emissões. O passivo de emissões de anos anteriores, em função de sua característica acumulativa, representa a maior parcela das emissões associadas a esta atividade, alcançando 73% das emissões deste sub-escopo setorial em 2007. Os resíduos domiciliares provenientes da coleta convencional representaram 21% destas emissões no mesmo ano.



**Figura 32: Emissões de GEE entre os anos 2000 e 2007 devido à disposição de resíduos sólidos públicos com o passivo correspondente**

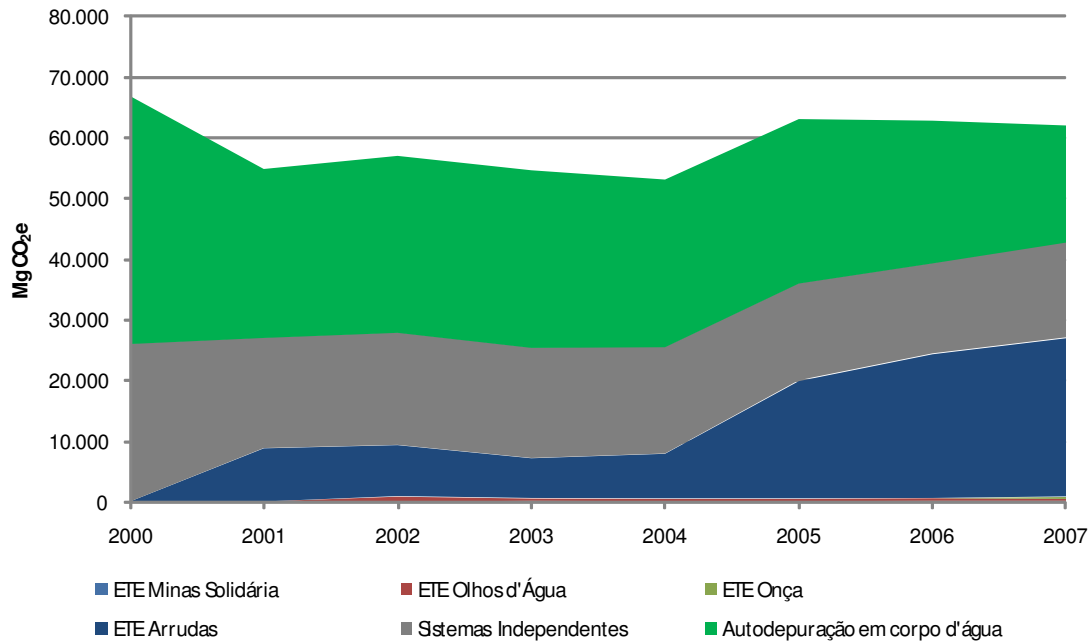
Quanto sub-escopo de tratamento de efluentes, os resultados apontaram que, de forma geral, em função da tendência de redução do consumo específico de água<sup>9</sup> em Belo Horizonte (tal como observado pela COPASA desde 2000), a geração específica de efluentes sanitários e as emissões de GEE associadas também apresentaram redução. Em 2000, a geração específica de efluentes sanitários foi de 147,92 litros/habitante.ano; em 2007 a geração específica foi de 134,80 litros/habitante.ano. Porém, apesar da redução geral destas emissões em valores absolutos neste período, percebeu-se que o aumento das operações das ETEs com algum componente anaeróbio levou a saltos no padrão de emissões.

A autodepuração de corpos hídricos que recebem efluentes sanitários sem tratamento foi a principal fonte de emissão deste sub-escopo setorial em 2000, com 61% das emissões. Em 2007, a participação desta fonte de emissões caiu pela metade (31%), ao passo que a ETE Arrudas tornou-se a maior emissora (mesmo sendo equipada com dispositivos queimadores de biogás), contribuindo com 42% destas emissões em 2007.

<sup>9</sup> Consumo de água por habitante (litros/hab.dia)

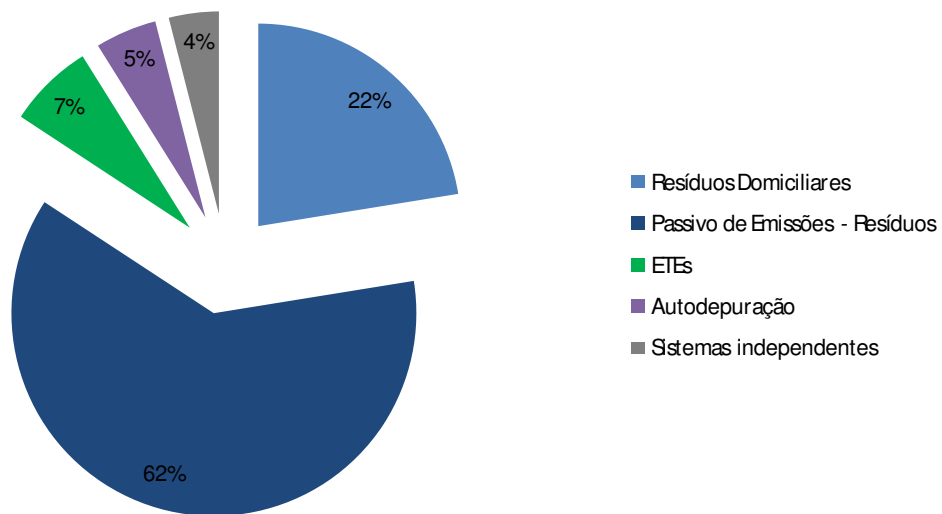


A figura a seguir expressa a evolução das emissões de GEE entre os anos 2000 e 2007 devido ao tratamento de efluentes sanitários e de seu descarte.



**Figura 33: Emissões de GEE entre os anos 2000 e 2007 devido tratamento e lançamento de efluentes sanitários**

A figura abaixo expressa a distribuição das emissões do escopo setorial de resíduos atribuíveis a comunidade de Belo Horizonte no ano de 2007.



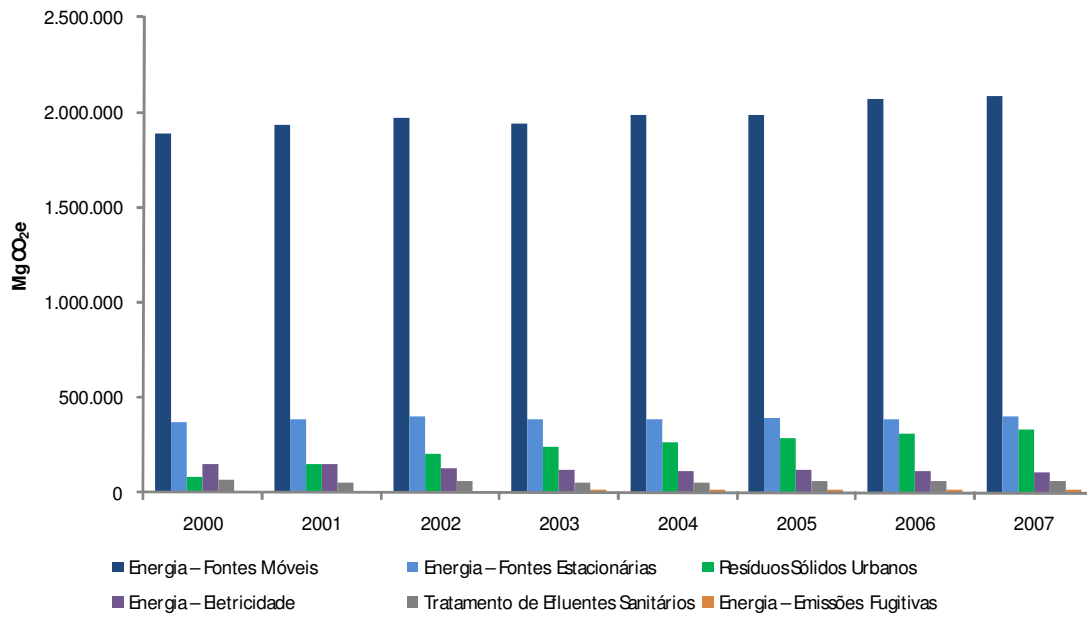
**Figura 34: Distribuição das emissões da comunidade de Belo Horizonte no ano de 2007, do escopo setorial de resíduos**

#### 4.2.4 Total de Emissões da Comunidade

Ao todo, a comunidade de Belo Horizonte emitiu 2.988.756 toneladas de CO<sub>2</sub>e em 2007. Reunindo as emissões dos escopos de Energia, Mudança do Uso do Solo e Resíduos, é possível identificar as fontes que mais contribuíram para as emissões da comunidade. A tabela e a figura abaixo expressam essa avaliação.

**Tabela 20: Emissões totais de GEE da comunidade de Belo Horizonte entre 2000 e 2007**

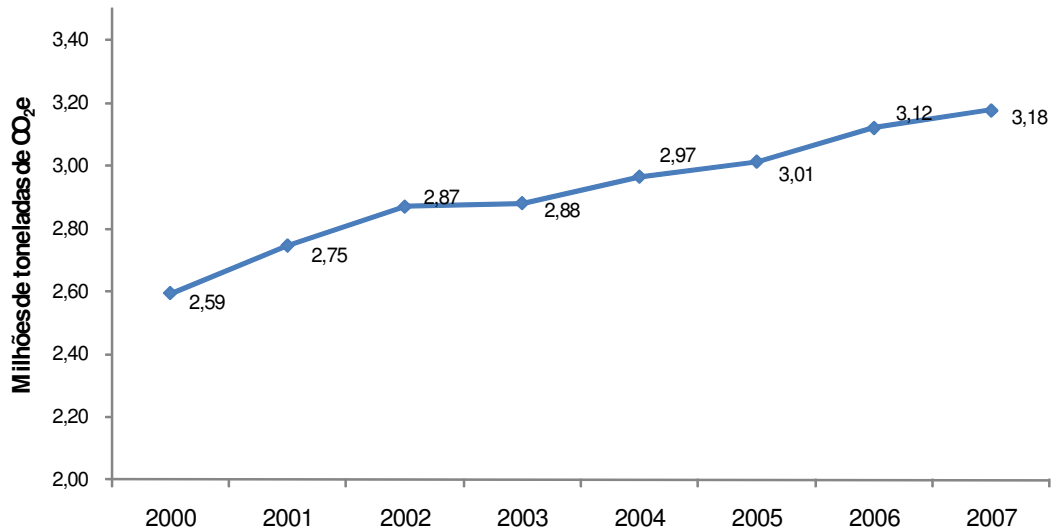
| Fonte de Emissão                | Emissões de GEE (Mg CO <sub>2</sub> e) |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                 | 2000                                   | 2001      | 2002      | 2003      | 2004      | 2005      | 2006      | 2007      |
| Energia – F. Móveis             | 1.885.207                              | 1.933.546 | 1.974.564 | 1.942.612 | 1.987.208 | 1.987.233 | 2.067.118 | 2.085.328 |
| Energia – F. Estacionárias      | 368.156                                | 381.842   | 399.566   | 388.581   | 388.237   | 391.485   | 385.019   | 398.574   |
| Energia – Eletricidade          | 139.280                                | 140.683   | 115.630   | 108.196   | 105.810   | 107.182   | 102.877   | 93.697    |
| Energia – Em. Fugitivas         | 7.502                                  | 9.107     | 10.471    | 11.706    | 12.680    | 12.745    | 13.315    | 14.011    |
| Mudança no Uso do Solo          | -6.487                                 | -6.487    | -6.487    | -6.487    | -6.487    | -6.487    | -6.487    | -6.487    |
| Resíduos Sólidos Urbanos        | 82.510                                 | 148.652   | 202.168   | 238.118   | 266.677   | 290.312   | 312.802   | 332.053   |
| Tratamento Efluentes Sanitários | 66.942                                 | 54.900    | 57.051    | 54.697    | 53.196    | 63.107    | 62.858    | 62.108    |
| <b>Total</b>                    | 2.554.969                              | 2.674.196 | 2.763.261 | 2.747.698 | 2.817.577 | 2.855.768 | 2.947.411 | 2.988.756 |



**Figura 35: Identificação das fontes de emissão mais preponderantes da comunidade de Belo Horizonte**

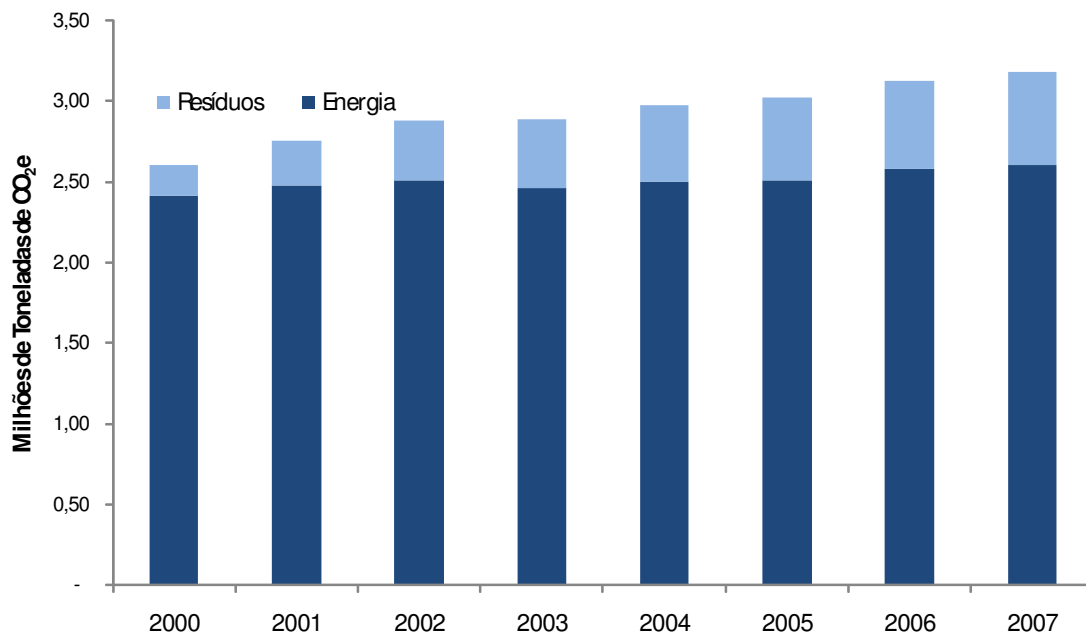
### 4.3 EMISSÕES TOTAIS DO MUNICÍPIO

Combinando as emissões do setor governamental e da comunidade, as emissões totais de Belo Horizonte alcançaram em 2007 o número de 3.176.966 toneladas de CO<sub>2</sub>e. Este valor é 22% superior ao total verificado para o ano 2000, portanto um crescimento médio anual de 2,96%.



**Figura 36: Evolução das emissões de GEE de Belo Horizonte entre 2000 e 2007**

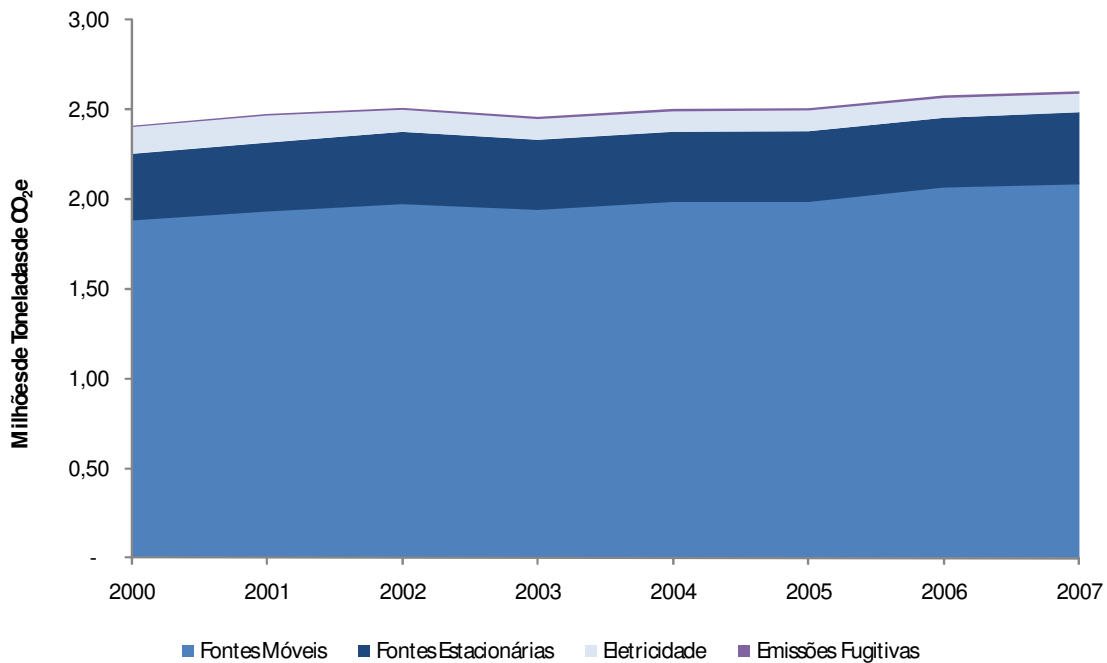
As emissões do escopo setorial Energia revelaram-se predominantes, respondendo por 82% do total verificado em 2007. As emissões do escopo setorial de resíduos contribuíram com 18%, sendo que o escopo setorial Mudança do Uso do Solo não contribuiu para as emissões de Belo Horizonte.



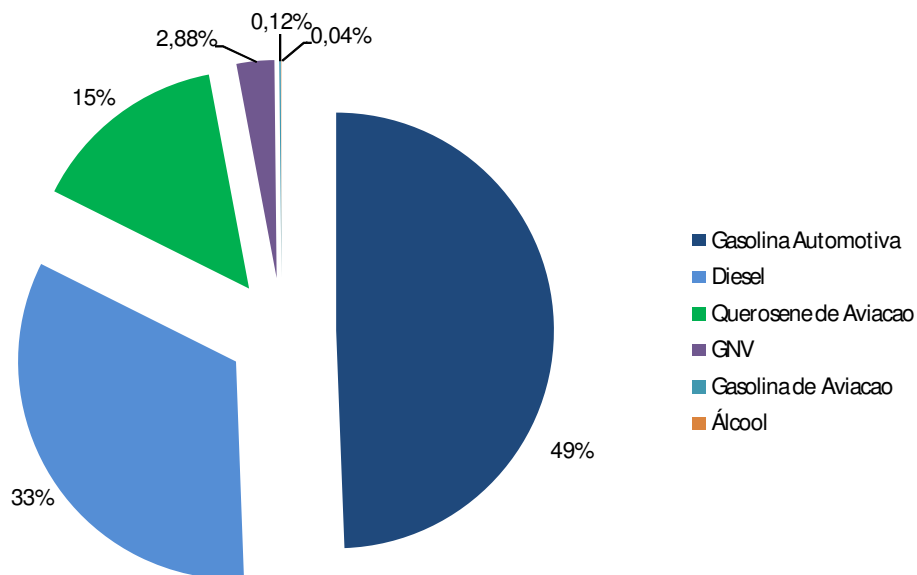
**Figura 37: Identificação das fontes de emissão mais preponderantes da comunidade de Belo Horizonte**

#### 4.3.1 Escopo Setorial Energia

As emissões de Belo Horizonte do escopo setorial Energia totalizaram 2.601.081 toneladas de CO<sub>2</sub>e em 2007, representando 82% do total. Dentre este grupo de emissões, as decorrentes do setor de Transportes foram as mais preponderantes, sendo a Gasolina Automotiva responsável por 49% das emissões totais das fontes móveis e o Diesel responsável por 33% no mesmo ano.

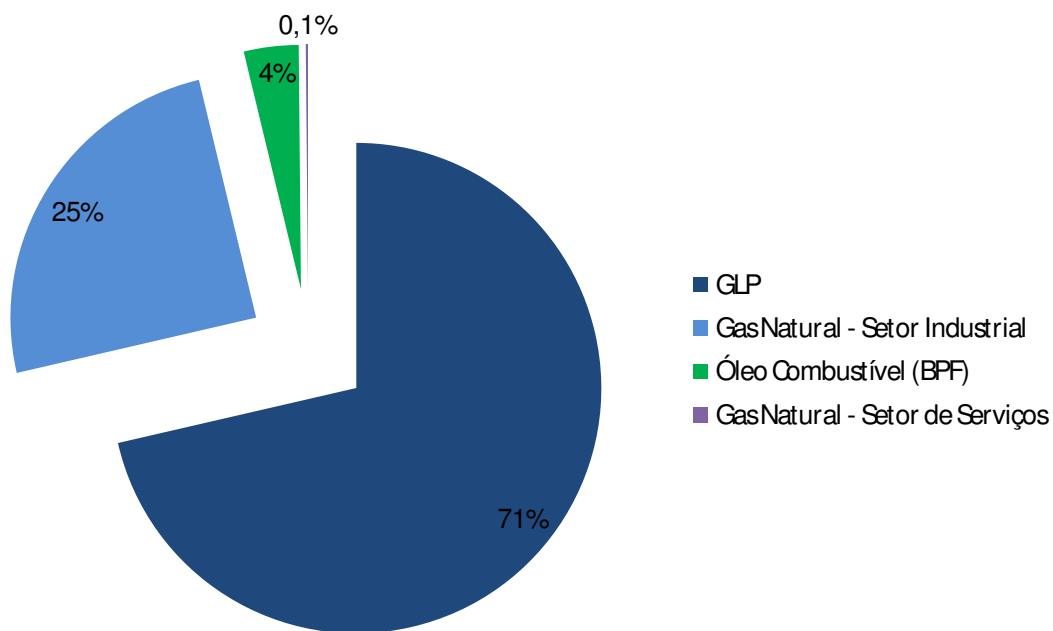


**Figura 38: Evolução das emissões do escopo setorial de Energia em Belo Horizonte, 2000 a 2007**



**Figura 39: Distribuição das emissões por fontes móveis em Belo Horizonte no ano 2007**

Dentre as fontes estacionárias de emissão de GEE, o gás GLP consumido em residências e no setor de serviços foi o principal emissor (71%), seguido do Gás Natural consumido no setor industrial (25%).

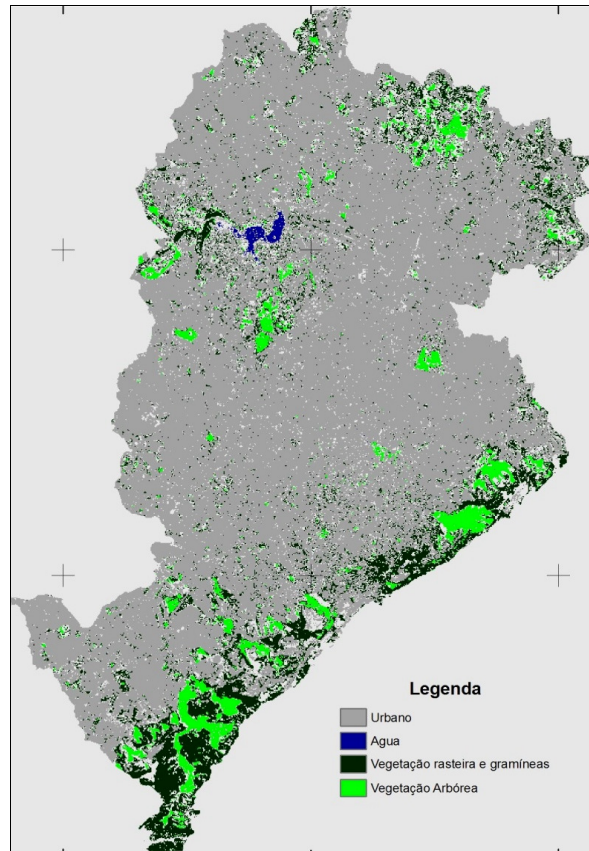


**Figura 40: Distribuição das emissões por fontes estacionárias em Belo Horizonte no ano 2007**

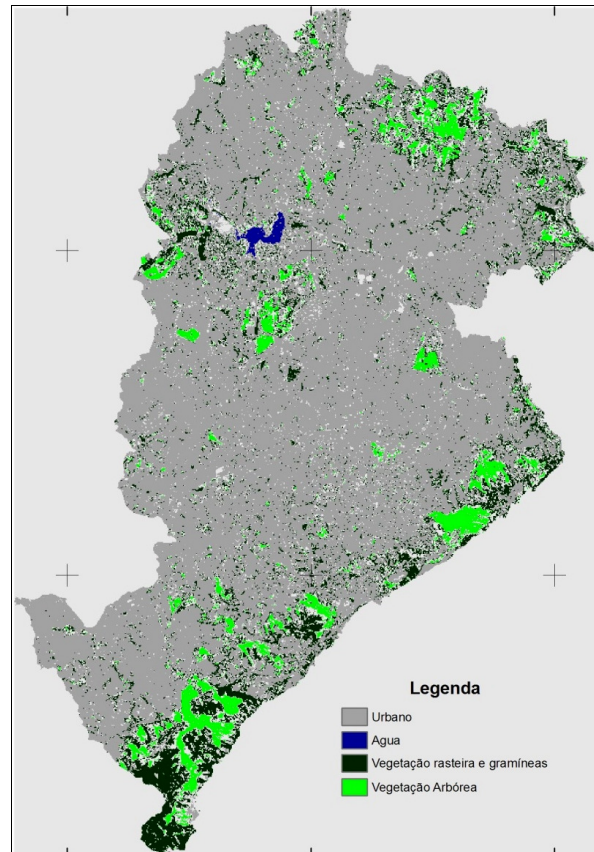
### 4.3.2 Escopo Setorial Mudança do Uso do Solo

No escopo setorial de Mudança do Uso do Solo, o Município de Belo Horizonte apresentou remoções líquidas de GEE no acumulado do período 2000 a 2007 (remoções médias anuais de 6.487 toneladas de CO<sub>2</sub>e). Isto por que as áreas ocupadas por vegetação arbórea na cidade aumentaram no período em análise.

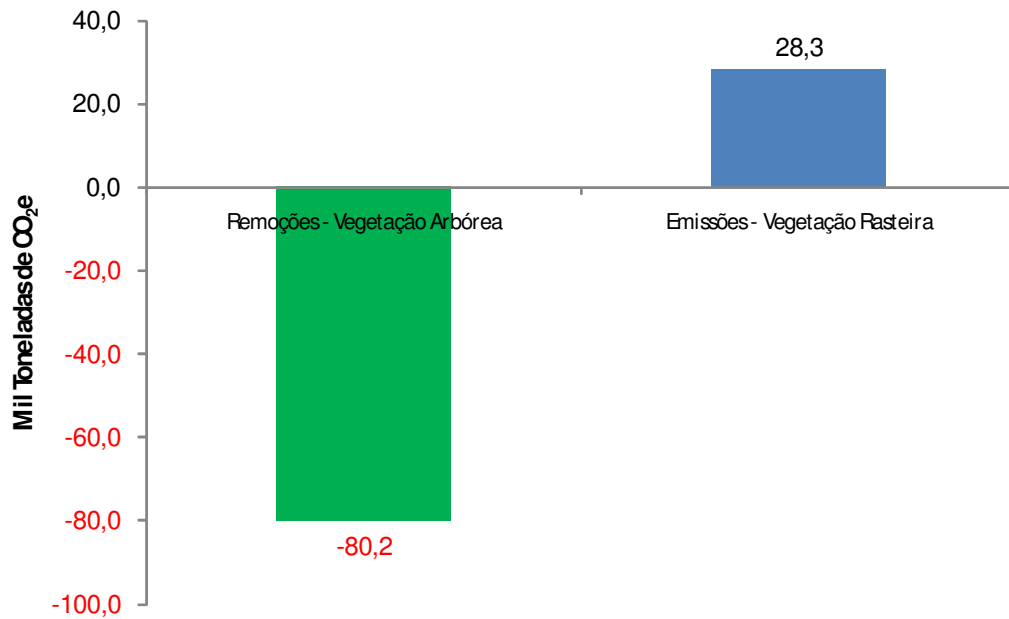
As áreas ocupadas por gramíneas e outras vegetações rasteiras diminuiu 27% no período mas as emissões correspondentes a esta supressão foram inferiores ao incremento nos estoques de carbono pela vegetação arbórea da cidade.



**Figura 41: Classificação do uso do solo em Belo Horizonte no ano 2000**



**Figura 42: Classificação do uso do solo em Belo Horizonte no ano 2007**

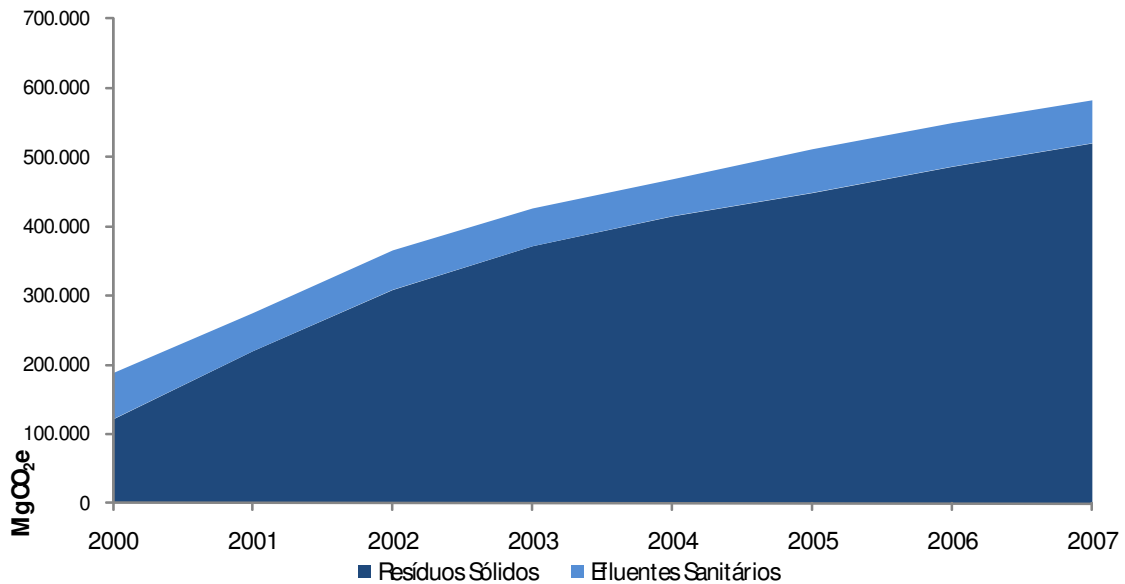


**Figura 43: Remoções e Emissões de GEE por alteração no uso do solo em Belo Horizonte, 2000 a 2007**



### 4.3.3 Escopo Setorial Resíduos

No escopo setorial de Resíduos, as emissões decorrentes do tratamento de resíduos sólidos urbanos (520.263 toneladas de CO<sub>2</sub>e em 2007) foram mais relevantes do que as emissões decorrentes do tratamento de efluentes sanitários (62.108 t CO<sub>2</sub>e em 2007). No tratamento de resíduos sólidos, as emissões passivas (isto é, emissões acumuladas de anos anteriores) são as mais preponderantes (75%). Para os efluentes sanitários, a digestão de lodo biológico na ETE Arrudas tornou-se em 2006 a principal fonte de emissões (42%).



**Figura 44: Emissões de GEE do escopo setorial de Resíduos em Belo Horizonte, 2000 a 2007**

#### 4.4 1990 – Ano Base da CQNUMC

No intuito de comparar as emissões de GEE de Belo Horizonte no período 2000-2007 com as emissões de 1990, algumas informações referentes ao ano base da Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas foram levantadas e as emissões de GEE associadas foram calculadas, na extensão da disponibilidade de dados. Foram calculadas as emissões referentes a 1990 dos escopos setoriais de Energia – Combustão Móvel e Combustão Estacionária, como também do escopo setorial Resíduos – Disposição de Resíduos Sólidos e Tratamento/Descarte de Efluentes Líquidos, com algumas restrições.

O escopo setorial de Energia, particularmente os sub-escopos Combustão Móvel e Combustão Estacionária, foram responsáveis por 66% e 13% respectivamente do total de emissões de GEE em Belo Horizonte no ano de 2007 e, portanto, são categorias chave no perfil de emissões do Município. As informações sobre vendas de combustíveis para fontes móveis e estacionárias referentes a 1990 foram fornecidas pela ANP, mesma fonte de dados sobre esta categoria para o período 2000-2007, à exceção das informações sobre Gás Natural/GNV, que ficam sob controle da GASMIG. No entanto, como em 1990 não havia suprimento de Gás Natural/GNV à Região Metropolitana de Belo Horizonte, as únicas informações necessárias foram provenientes da ANP. A tabela abaixo compara as emissões dos sub-escopos de Energia – Fontes Móveis e Fontes Estacionárias dos anos de 1990 e 2007 em Belo Horizonte.

**Tabela 21: Emissões de GEE em Belo Horizonte por combustão em fontes móveis e estacionárias, 1990 e 2007**

| Fonte de Emissão                |                      | Emissões em 1990<br>(Mg CO2e) | Emissões em 2007<br>(Mg CO2e) | Variação (%) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|
| Combustão Móvel                 | Gasolina Automotiva  | 409.443                       | 1.030.217                     | 151,6%       |
|                                 | Diesel               | 761.771                       | 687.712                       | -9,7%        |
|                                 | Querosene de Aviação | 48.949                        | 305.599                       | 524,3%       |
|                                 | GNV                  | -                             | 58.310                        | N/A          |
|                                 | Gasolina de Aviação  | 5.143                         | 2.558                         | -50,3%       |
|                                 | Álcool               | 2.034                         | 931                           | -54,2%       |
| <b>Subtotal Combustão Móvel</b> |                      | <b>1.227.340</b>              | <b>2.085.328</b>              | <b>69,9%</b> |
| Combustão Estacionária          | GLP                  | 253.601                       | 284.527                       | 12,2%        |

|  |                  |                  |              |
|--|------------------|------------------|--------------|
| Gás Natural - Setor Industrial         | -                | 99.063           | N/A          |
| Óleo Combustível (BPF)                 | 187.804          | 14.387           | -92,3%       |
| Gas Natural - Setor de Serviços        | -                | 595              | N/A          |
| Querosene Iluminante                   | 26               | 2                | -92,3%       |
| <b>Subtotal Combustão Estacionária</b> | <b>441.431</b>   | <b>398.574</b>   | <b>-9,7%</b> |
| <b>Total</b>                           | <b>1.668.771</b> | <b>2.483.902</b> | <b>48,8%</b> |

Entre 1990 e 2007 o aumento das emissões correspondentes a estes sub-escopos setoriais em Belo Horizonte foi de 49%, com mudanças significativas na composição dos maiores responsáveis pelas emissões, tanto em fontes móveis como em fontes estacionárias. No campo das fontes móveis, o Diesel, maior emissor de GEE em 1990 com 62% das emissões, teve participação reduzida a 33% em 2007, atrás da Gasolina Automotiva cujas emissões passaram de 33% em 1990 a 49% em 2007. A participação do Querosene de Aviação aumentou de 4% em 1990 para 15% em 2007, enquanto as emissões do consumo de Álcool caíram 54% entre 1990 e 2007.

No campo das fontes estacionárias, GLP manteve-se como maior emissor, aumentando sua participação de 57% em 1990 para 71% em 2007. O Óleo Combustível reduziu sensivelmente sua participação de 43% em 1990 para apenas 4% em 2007. Em 2007 a participação do Gás Natural consumido na indústria foi de 25%, sendo o segundo maior emissor deste grupo.

Quanto às emissões fugitivas, como não havia suprimento de Gás Natural em Belo Horizonte em 1990, este sub-escopo setorial foi considerado nulo.

Quanto às emissões do escopo setorial de Resíduos, particularmente quanto a disposição de resíduos sólidos urbanos, foram consideradas na tabela abaixo somente as emissões do ano em que os resíduos são dispostos em aterro sanitário, ignorando emissões passivas futuras ou de anos anteriores. A tabela abaixo mostra o aumento destas emissões de 59% entre 1990 e 2007.

**Tabela 22: Emissões de GEE em Belo Horizonte por disposição de resíduos sólidos urbanos, 1990 e 2007**

| Resíduo | Emissões em 1990 | Emissões em 2007 | Varição (%) |
|---------|------------------|------------------|-------------|
|---------|------------------|------------------|-------------|

|   | (Mg CO2e)     | (Mg CO2e)      |              |
|---|---------------|----------------|--------------|
| Resíduos Domiciliares Coleta Convencional | 20.713        | 70.683         | 241,2%       |
| Resíduos Domiciliares Clandestinos        | 5.204         | 17.760         | 241,3%       |
| Resíduos Sólidos Públicos                 | 55.868        | 41.662         | -25,4%       |
| <b>Total</b>                              | <b>81.786</b> | <b>130.104</b> | <b>59,1%</b> |

Quanto aos efluentes sanitários, como não havia ETEs em operação em 1990, a estimativa levou em consideração que 100% dos efluentes sanitários gerados em Belo Horizonte naquele ano foram lançados diretamente em corpo hídrico sem qualquer tipo de tratamento. Neste cenário, as emissões foram de 34.482 Mg CO<sub>2</sub>e. Em 2007 as emissões foram 80% superiores a este número.

#### 4.5 EMISSÕES DA QUEIMA DE BIOMASSA

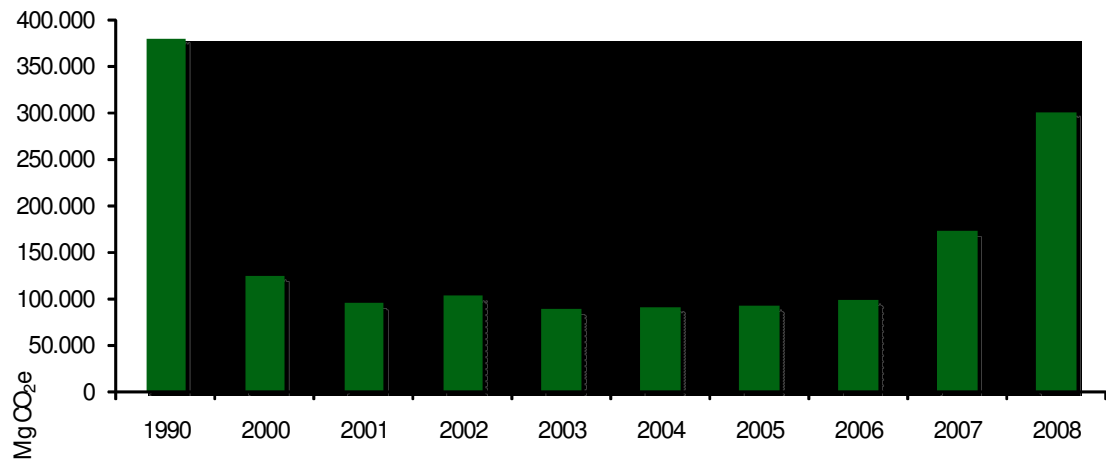
As emissões de CO<sub>2</sub> oriundas da queima de combustíveis provenientes de biomassa renovável, tais como o etanol hidratado (álcool) incluído neste relatório, não contribuem para o agravamento do efeito estufa por que o carbono presente em tais combustíveis tem origem na biosfera: durante o crescimento da cana-de-açúcar, através da fotossíntese, o carbono é sequestrado da atmosfera e transformado em glicose; posteriormente, a glicose presente no caldo de cana sofre fermentação para produção de etanol e este, quando queimado, libera o carbono novamente para a atmosfera. Por esta razão estas emissões são consideradas neutras e não foram incluídas no resultado final do Inventário. Foram incluídas no Inventário somente as emissões de CH<sub>4</sub> decorrentes da combustão incompleta do etanol.

No entanto, para fins informativos, as emissões de CO<sub>2</sub> pela queima de biomassa são relatadas separadamente, conforme mostrado pela tabela e figura abaixo.

**Tabela 23: Emissões de CO<sub>2</sub> por queima de etanol hidratado em Belo Horizonte**

| <b>Ano</b> | <b>Volume Consumido (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Emissão de CO<sub>2</sub> (Mg)</b> |
|------------|---|---------------------------------------|
| 1990       | 260.111                                 | 380.976                               |
| 2000       | 86.268                                  | 126.353                               |
| 2001       | 65.674                                  | 96.191                                |
| 2002       | 71.137                                  | 104.193                               |
| 2003       | 61.285                                  | 89.762                                |
| 2004       | 63.036                                  | 92.327                                |
| 2005       | 64.295                                  | 94.171                                |
| 2006       | 68.663                                  | 100.569                               |
| 2007       | 119.116                                 | 174.465                               |
| 2008       | 206.125                                 | 301.905                               |

É interessante notar como este combustível tinha elevada participação de mercado em 1990, superior em volume de vendas à Gasolina Automotiva. Em 2007 as vendas de Gasolina Automotiva superaram a de Álcool em quase 5 vezes. A figura abaixo mostra como a evolução das emissões de CO<sub>2</sub> de Álcool entre 2000 e 2008 não foi suficiente para alcançar os níveis de 1990.



**Figura 45: Emissões de CO<sub>2</sub> por queima de etanol hidratado em Belo Horizonte**

## 5. ANÁLISE DAS INCERTEZAS DAS ESTIMATIVAS DE EMISSÃO

A análise de incertezas é um elemento essencial de um inventário de gases de efeito estufa, devendo essas serem identificadas e quantificadas para as variáveis individuais e para o resultado total do inventário. Portanto, essa sessão descreve os métodos utilizados para a redução e a quantificação das incertezas do resultado do presente documento.

Uma possível fonte de incerteza refere-se aos casos onde há fontes ou sumidouros de GEE que não são contemplados em um inventário devido a fatores como indisponibilidade ou inexistência de dados ou ao não reconhecimento de um dado processo. No presente inventário, tal fonte de incerteza foi minimizada através da criação dos Grupos Temáticos que proporcionaram discussões sobre a natureza e a disponibilidade das informações de entrada para os cálculos. As fontes de emissão que não foram contempladas neste inventário foram devidamente identificadas na sessão de Diretrizes Gerais do Inventário Municipal de GEE. Dessa forma, garantiu-se que todos os escopos setoriais propostos pelo IPCC 2006 tenham sido reconhecidos e discutidos.

Para os modelos de quantificação escolhidos todos os dados necessários eram existentes e disponíveis. Tais dados foram analisados criticamente para evitar contagens duplas, omissões ou outras inconsistências.

Para a quantificação das incertezas foram utilizados os intervalos de confiança de 95% associados aos fatores empregados. Para os dados de atividade, foram utilizados valores de referência ou foram assumidos intervalos de confiança (95%) conservadores conforme a origem e técnica de medição.

Os próximos parágrafos descrevem os procedimentos utilizados para o cálculo de combinação de incertezas (IPCC, 2006).

Combinação de incerteza de componentes (não correlacionados) de uma *multiplicação* ou *divisão*:

$$(9) U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

Onde:

$U_{total}$  Incerteza percentual total do produto de quantidades (metade do intervalo de confiança de 95% expresso como porcentagem). Para intervalos de confiança assimétricos foi considerada a maior diferença percentual entre a média e o limite de confiança;

$U_i$  Incerteza percentual associada a cada uma das quantidades de uma multiplicação.

Combinação de incerteza de componentes (não correlacionados) de uma *soma ou subtração*:

$$(10) U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot x_1)^2 + (U_2 \cdot x_2)^2 + \dots + (U_n \cdot x_n)^2}}{|x_1 + x_2 + \dots + x_n|}$$

Onde:

$U_{total}$  Incerteza percentual total da soma ou subtração de quantidades (metade do intervalo de confiança de 95% expresso como porcentagem). Para intervalos de confiança assimétricos foi considerada a maior diferença percentual entre a média e o limite de confiança;

$x_i$  e  $U_i$  Quantidades e incerteza percentual associada a cada dessas, respectivamente.

Através do modelo de propagação de incertezas, descrito acima, é produzido uma estimativa da metade do intervalo de confiança de 95%, expresso como uma porcentagem do resultado do inventário. À medida que a incerteza do inventário aumenta, a abordagem de propagação, descrita acima, sistematicamente subestima a incerteza, exceto nos casos em que os modelos de quantificação são puramente



aditivos. Portanto, nos casos em que a incerteza é superior a 100% e inferior a 230% essa deve ser corrigida através dos procedimentos descritos abaixo:

$$(11) \quad U_{corrected} = U \cdot F_C$$

$$(12) \quad F_C = \left[ \frac{(-0,720 + 1,0921 \cdot U - 1,63 \cdot 10^{-3} \cdot U^2 + 1,11 \cdot 10^{-5} \cdot U^3)}{U} \right]^2$$

Onde:

$U_{corrected}$  Incerteza total corrigida (metade do intervalo de confiança de 95% expresso como porcentagem);

$U$  Incerteza total não corrigida (metade do intervalo de confiança de 95% expresso como porcentagem);

$F_C$  Fator de correção de incerteza.

Para o cálculo de intervalos de confiança do resultado total a partir do modelo baseado na média e da metade do intervalo de confiança de 95% das quantidades componentes, uma determinada distribuição deve ser assumida. Se o modelo é puramente aditivo e a metade do intervalo de confiança é menor que 50%, uma distribuição normal é uma estimativa acurada. Nesse caso pode ser assumida uma distribuição de probabilidade simétrica. Para modelos multiplicativos ou nos casos em que a incerteza é maior que 50% para variáveis que devem ser não-negativas, uma distribuição lognormal é tipicamente uma suposição acurada. Nesses casos a distribuição de probabilidade não é simétrica em relação à média. Para essas situações as seguintes fórmulas serão aplicadas para o cálculo dos limites superior e inferior do intervalo de confiança de 95%:

$$(13) \quad U_{low} = \left\{ \frac{\exp[\ln(\mu_g) - 1,96 \cdot \ln(\sigma_g)] - \mu}{\mu} \right\} \cdot 100$$

$$(14) \quad U_{high} = \left\{ \frac{\exp[\ln(\mu_g) + 1,96 \cdot \ln(\sigma_g)] - \mu}{\mu} \right\} \cdot 100$$

$$\sigma_g = \exp\left\{\sqrt{\ln\left(1 + \left[\frac{U}{200}\right]^2\right)}\right\}$$

(15)

$$\mu_g = \exp\left\{\ln(\mu) - \frac{1}{2} \cdot \ln\left(1 + \left[\frac{U}{200}\right]^2\right)\right\}$$

(16)

Onde:

$U_{low}$  Limite inferior do intervalo de confiança de 95%, em %;

$U_{high}$  Limite superior do intervalo de confiança de 95%, em %;

$\mu_g$  Média geométrica;

$\mu$  Média aritmética;

$\sigma_g$  Desvio padrão geométrico;

$U$  Incerteza total simétrica do intervalo de confiança de 95%, em %.

Seguindo o protocolo acima, foram calculadas as incertezas combinadas das emissões e remoções de cada ano coberto pelo inventário. Os resultados estão apresentados na tabela abaixo:

**Tabela 24: Resultados anuais, incerteza combinada e faixas de variação de incertezas**

| Ano  | Resultado (Mg CO <sub>2</sub> e) | Incerteza Combinada | Limite Inferior (Mg CO <sub>2</sub> e) | Limite Superior (Mg CO <sub>2</sub> e) |
|------|----------------------------------|---------------------|--|--|
| 2000 | 2.593.931                        | 4,94%               | 2.465.419                              | 2.721.795                              |
| 2001 | 2.987.106                        | 5,42%               | 2.596.592                              | 2.894.252                              |
| 2002 | 2.869.585                        | 6,73%               | 2.676.484                              | 3.062.686                              |
| 2003 | 2.881.053                        | 8,32%               | 2.641.481                              | 3.120.625                              |
| 2004 | 2.965.610                        | 9,33%               | 2.688.807                              | 3.242.413                              |

|          |           |        |           |           |
|----------|-----------|--------|-----------|-----------|
| 200<br>5 | 3.013.821 | 10,06% | 2.710.577 | 3.317.064 |
| 200<br>6 | 3.121.115 | 10,42% | 2.795.764 | 3.446.467 |
| 200<br>7 | 3.176.966 | 11,00% | 2.827.441 | 3.526.490 |

## 6. AVALIAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE REDUÇÃO DE EMISSÕES

Tendo em vista que as categorias chave de emissão de GEE no Município de Belo Horizonte recaem sobre o consumo de combustíveis fósseis no setor de Transporte, notadamente a Gasolina Automotiva e o Óleo Diesel, e ainda a disposição de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário, foi realizado um levantamento e uma avaliação de oportunidades de redução de emissões provenientes destes sub-escopos setoriais.

Para os resíduos sólidos urbanos, foi iniciado em 2007 um processo licitatório para a atividade de exploração de biogás gerado no aterro sanitário da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) localizado na rodovia BR-040, em Belo Horizonte, com vistas a registro no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e obtenção de créditos de carbono (RCEs). Em 2009 este processo foi concluído, tendo a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte recebido parte dos recursos relativos a este projeto. Com a exploração do biogás gerado na CTRS – BR-040, que já esgotou sua capacidade de recebimento de resíduos, é esperada uma redução anual de cerca de 400.000 toneladas de CO<sub>2</sub>e, ou aproximadamente 12,5% das emissões totais do Município em 2007. Estas reduções podem ser ainda maiores quando o biogás estiver sendo usado para produção de eletricidade: foi estimada uma potência instalada de 5 MW e uma geração anual de 35.000 MWh, o que evitaria outras 1.000 toneladas de CO<sub>2</sub>e por ano oriundas do consumo de eletricidade produzida na rede nacional (considerando o fator de emissão médio de 2007). Ainda, novas tecnologias não emissoras de metano, tais como os tratamentos térmicos avançados, a serem testadas e implantadas no novo aterro sanitário instalado na Região Metropolitana, poderão anular as emissões deste sub-escopo setorial.

No tocante às emissões do setor de Transporte (a Gasolina Automotiva representou um pouco mais de 32% das emissões totais da cidade e o Diesel, cerca de 21,5%), políticas públicas voltadas ao aumento da eficiência do sistema de transporte público e ao desencorajamento do uso de automóveis particulares são centrais para a mitigação deste grupo de emissões. Trens e ônibus são as soluções óbvias mas, adicionalmente, modais de emissão zero tais como a caminhada e a bicicleta também são alternativas reais. Uma estratégia comum para encorajar a utilização do sistema de transporte público é aumentar os custos de uso dos automóveis particulares através de taxas indiretas, como por exemplo o aumento dos custos de estacionamento rotativo ou sobretaxas para combustíveis urbanos. Anable e Boardman (2005), em estudo realizado no Reino Unido, concluem que um aumento de 10% no preço dos combustíveis resulta em uma redução de usuários de carros entre 1% e 3%. Outro exemplo bem sucedido no exterior são as taxas de congestionamento que reduziram o tráfego na área central

em 40% e 30% em Cingapura e Londres, respectivamente. Todavia, políticas de taxação indireta são normalmente impopulares e a aceitação pública pode ser baixa, ao menos que as receitas sejam reinvestidas apropriadamente no transporte coletivo (Chapman, 2007).

Neste sentido, a implantação de Sistemas de Transporte Rápido por Ônibus (TROs), ou Corredores de Ônibus, foi avaliada como uma medida de redução de emissões de GEE. Os sistemas de TRO combinam a qualidade dos sistemas ferroviários (trens urbanos e metrô) com a flexibilidade dos ônibus. Um sistema de TRO é composto por três elementos complementares que visam aumentar o fluxo de ônibus: (i) construção de vias exclusivas de ônibus ou a separação de faixas exclusivas para ônibus em vias mistas; (ii) sistema orientado ao usuário, dotado de recursos tais como ônibus modernos e confortáveis, estações de embarque e desembarque, tecnologias de cobrança, integração modal e excelência no atendimento ao cliente; e (iii) transformações institucionais que implicam na criação e/ou fortalecimento da agência municipal encarregada pela gestão do sistema TRO. Experiências bem sucedidas de sistemas TRO são observadas em Bogotá, Colômbia (*TransMilenio*), em Curitiba/PR, em Sidney, Austrália, entre outros lugares, inclusive apontando maior eficiência do sistema TRO no transporte de passageiros por hora em uma determinada direção em relação aos metrôs. Os sistemas TRO de Bogotá, Cali e Pereira, na Colômbia, estão em processo de registro no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo para a geração de RCEs.

Belo Horizonte está avaliando a implantação de 5 sistemas de TRO. Em fase mais avançada, o corredor de ônibus da Avenida Antônio Carlos foi o foco desta avaliação. Outros projetos em análise pela Prefeitura são os corredores da Avenida Pedro II e Avenida Carlos Luz, o corredor da Avenida Amazonas, o corredor da Avenida Cristiano Machado e o corredor da Avenida Senhora do Carmo. O projeto de TRO da Avenida Antônio Carlos é prioritário pela sua possibilidade de integração com a linha do metrô Lagoinha – Savassi. Aliás, este corredor de ônibus e sua integração ao metrô é um elemento básico da infra-estrutura necessária para a realização dos jogos da Copa do Mundo de 2014 em Belo Horizonte. Outrossim, enquanto a linha de Trem Metropolitano não for estendida até o novo Centro Administrativo do Estado de Minas Gerais, o TRO deverá ser o principal meio de escoamento dos funcionários públicos para a região norte da cidade. O Sistema TRO da Avenida Antônio Carlos pretende transportar cerca de 20 mil passageiros no trecho mais carregado, numa hora pico da manhã.

As estimativas apontam para uma potencial redução de emissões da ordem de 60.000 toneladas de CO<sub>2</sub> e anualmente com a implantação do sistema TRO na Avenida Antônio Carlos, cerca 3% do total de emissões do setor de Transporte. Este valor está fundamentado em cálculos de viagens e quantidades de passageiros transportados em horário de pico. Recomenda-se o aprofundamento da análise de redução de emissões

considerando as 5 propostas de TRO, inclusive considerando o registro destas atividades no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, o que proporcionará recursos financeiros de créditos de carbono para melhoria do próprio sistema.

## 7. COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DE BELO HORIZONTE COM EMISSÕES NACIONAIS, EMISSÕES DO ESTADO DE MINAS GERAIS E EMISSÕES DE OUTRAS CIDADES BRASILEIRAS

No intuito de estabelecer parâmetros comparativos entre os resultados do Inventário de Belo Horizonte e outros inventários similares, foram levantados os dados que estão apresentados na tabela abaixo. São colocados para comparação os dados referentes à população, produto interno bruto, emissões totais, emissões por habitante e emissões por PIB do Brasil, Minas Gerais, Município de São Paulo e Município do Rio de Janeiro, além de Belo Horizonte.

As informações sobre as emissões de GEE no Brasil foram obtidas a partir da versão preliminar do segundo Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCT, 2009), referentes ao ano de 2005. As emissões de GEE do Estado de Minas Gerais foram obtidas do Inventário Estadual de Emissões (FEAM, 2008) também referentes a 2005. Os inventários do Município de São Paulo, referente ao ano de 2003, e do Município do Rio de Janeiro, referente a 1998, foram elaborados pelo Centro Clima/COPPE/UFRJ. Todas as informações apresentadas na tabela abaixo (população, PIB e emissões de GEE) são referentes ao ano específico coberto pelos inventários citados. Somente no caso de Belo Horizonte, o PIB informado na tabela é referente ao ano de 2006, por ser a informação mais recente disponível.

**Tabela 25: Comparação de Emissões Totais, por Habitante e por PIB**

| Inventário            | População * | PIB*            | Emissões Totais      | Emissões por habitante   | Emissões por PIB        |
|-----------------------|-------------|-----------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|
|                       | X 1.000     | X R\$ 1.000.000 | Gg CO <sub>2</sub> e | Mg CO <sub>2</sub> e/hab | kg CO <sub>2</sub> /R\$ |
| Brasil (2005)         | 179.934     | 2.147.239       | 2.203.362            | 12,25                    | 1.026,14                |
| Minas Gerais (2005)   | 18.857      | 192.639         | 122.949              | 6,52                     | 638,24                  |
| São Paulo (2003)      | 10.711      | 209.555         | 15.738               | 1,47                     | 75,10                   |
| Rio de Janeiro (1998) | 5.633       | 73.961          | 12.798               | 2,27                     | 173,04                  |
| Belo Horizonte (2007) | 2.414       | 32.725          | 3.177                | 1,32                     | 97,08                   |

\*Fonte: IBGE

Note-se que as informações da tabela acima são referentes a anos diferenciados, portanto tem caráter meramente ilustrativo, por retratarem realidades sócio-econômicas também diferenciadas. Percebe-se, no entanto, que a intensidade de carbono de economias municipais, expressa através da relação entre emissões de CO<sub>2</sub>e

e PIB, é consideravelmente inferior à intensidade de carbono da economia nacional e estadual. Isto decorre do fato de não existirem, nos grandes centros urbanos, fontes de emissão importantes tais como as representadas pelo desmatamento, agricultura e pecuária, consideradas categorias chave tanto no Inventário Nacional como no Inventário Estadual.



## BIBLIOGRAFIA

**Anable, J and B. Boardman (2005)** Transport and CO<sub>2</sub>. UKERC. London, Working Paper.

**ANP (2009)** Dados de venda de derivados de petróleo em Belo Horizonte. Comunicação pessoal.

**Baird, C e Cann, M (2004)** Environmental Chemistry. W. H. Freeman; 3rd edition.

**BHTrans (2009)** Indicadores estatísticos BHTrans 2007. Disponível em [www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/portalpublico/Estat%C3%ADsticas%20e%20Publica%C3%A7%C3%B5es/Indicadores](http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/portalpublico/Estat%C3%ADsticas%20e%20Publica%C3%A7%C3%B5es/Indicadores). Acessado em Jul 2009.

**Canadell et al. (2007)** Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. PNAS Early Edition. Edited by William C. Clark, Harvard University, Cambridge, MA, approved September 17, 2007. Disponível em [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0702737104](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0702737104). Acesso em Jan 2008.

**CEMIG (2008)** Companhia Energética de Minas Gerais. 22º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais.

**Centro Clima/COPPE/UFRJ (2001)** Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

**Centro Clima/COPPE/UFRJ (2005)** Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa da Cidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil.

**Chapman L. (2007)** Transport and climate change: a review. Journal of Transport Geography 15(5): 354-367.

**Climate Group, The. (2008)** Breaking the Climate Deadlock: a global deal for our low-carbon future. Disponível em [www.theclimategroup.org](http://www.theclimategroup.org). Acesso em 20/11/2008.

**COPASA (2009)** Dados de operação de estações de tratamento de esgotos sanitários em Belo Horizonte. Comunicação pessoal.

**Easterling, et al. (2000)** Climate Extremes: Observation Modeling and Impacts. In: Science, Science 289, Sept., 2068.

**FEAM (2008)** Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado de Minas Gerais. Consultoria técnica do Centro Clima / COPPE / UFRJ. Disponível em <http://www.feam.br/mudancas-climaticas>. Acesso em: Dez 2008

**GASMIG (2009)** Dados de venda de gás natural em Belo Horizonte. Comunicação pessoal.

**Global Reporting Initiative** [www.globalreporting.org](http://www.globalreporting.org) Acesso em Nov 2007

**IBGE (2000)** Censo Demográfico 2000. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/censo/>. Acesso em Nov 2009.

**ICLEI (2009)** International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol. Version 1.0 (October 2009).

**INMET (2009)** Instituto Nacional de Meteorologia. Normas climatológicas de Belo Horizonte. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>. Acesso em Set 2009.

**INPE (2009)** Dados sobre variáveis climáticas em Belo Horizonte. Disponível em <http://bancodedados.cptec.inpe.br/>. Acesso em Set 2009.

**INPE (2007)** Cenário Climático Futuro: avaliações e considerações para tomada de decisões. No Prelo.

**International Standardization Organization (ISO)** ISO 14.064:2007 Part 1, Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. First edition, 01/03/2007.

**IPCC (2006)** 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

**IPCC (2007)** Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

**IPCC (2007):** Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Synthesis Report. Disponível em [www.ipccc.int](http://www.ipccc.int). Acesso em Fev 2008.

**ISO/IEC (1995)** Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement. Guide 98-3, first edition 2008.

**McCarthy et al., (2001)** Climate Change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. IPCC Third Assessment Report.

**McKinsey&Company (2009)** Caminhos para uma economia de baixo carbono no Brasil.

**MCT, Brasil (1994)** Inventário de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal: comunicação inicial do Brasil. Disponível em: <http://mct.gov.br/>. Acesso em: jul 07.

**MCT, Brasil (2005)** Inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa – Informações gerais e valores preliminares. Documento para consulta pública. 24/11/2009.

**NOAA (2007)** Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Disponível em: <http://www.cmdl.noaa.gov/ccgg/trends/>. Acesso em: Jan/07

**OECD (2007)** Climate change and urban centres. ENV/EPOC/GSP(2007)10/FINAL.

**Parcerias Estratégicas / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (1996)**- v. 1, n. 5 (set. 1998); n. 6 (mar. 1999)-. – Brasília : Centro de Gestão e Estudos Estratégicos : Ministério da Ciência e Tecnologia, 1996-1998; 1999-

**Prefeitura de Belo Horizonte (2008)** Relatório Anual: Belo Horizonte em números – Administração com responsabilidade social.

**Prefeitura de Belo Horizonte (2009)** PoliCS – Políticas de Construção Sustentável em Belo Horizonte: diagnóstico preliminar.

**SLU (2007)** Superintendência de Limpeza Urbana. Histórico da destinação de resíduos sólidos urbanos no município de Belo Horizonte: 1975 a 2006.

**Stern N. (2007)** Stern Review: the Economics of Climate change. Disponível em: [http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/sternreview\\_index.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm). Acesso em: Nov 2007

**World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development (2004)** The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition.

## **ANEXO I**

### **Estimativa do Fator de Emissão de CO<sub>2</sub> por consumo de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) (2000 - 2005)**

#### Contextualização

O presente inventário propõe-se a avaliar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) do período compreendido entre os anos 2000 e 2007, atribuíveis ao município de Belo Horizonte. Uma das categorias de emissão mais preponderantes no município refere-se às 'emissões indiretas por consumo de energia elétrica', que são calculadas multiplicando-se o consumo de energia elétrica em um dado período pelo fator de emissão médio correspondente. O presente estudo, que integrará os anexos do Relatório Final do Inventário Municipal, tem como objetivo descrever a metodologia de estimativa dos fatores de emissão para os meses em que não existem fatores de emissão publicados.

O Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) publica fatores médios mensais (tCO<sub>2</sub>/MWh) para consumo de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN), os quais são calculados a partir dos dados de despacho das usinas conectadas ao SIN, do consumo de combustíveis fósseis pelas plantas termoelétricas e dos respectivos poderes caloríficos e fatores de emissão dos combustíveis fósseis. No entanto, tais fatores de emissão só foram publicados para o período posterior a janeiro de 2006. Uma vez que o fator de emissão do SIN apresenta uma notável variação sazonal, em virtude das diferentes participações relativas das tipologias de plantas elétricas em um dado período, e do fato que o presente inventário abrange o período entre 2000 e 2007, fez-se necessário o desenvolvimento de fatores aplicáveis ao cálculo de emissões indiretas por consumo de energia elétrica de Belo Horizonte nos anos 2000 a 2005.

Em vista da dificuldade em se obter os dados relativos ao consumo de combustíveis pelas plantas termoelétricas conectadas ao SIN, foi avaliada a possibilidade de se estimar os fatores de emissão dos anos 2000 a 2005 a partir da razão entre a geração

de energia elétrica por usinas termelétricas convencionais e emergenciais e a geração total de energia elétrica, disponíveis no sítio do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Foi verificada uma correlação positiva significativa entre razão da geração por termelétricas convencionais e emergenciais e a geração total de energia elétrica ( $RE_m$ ) e os fatores de emissão publicados pelo MCT (janeiro de 2006 até abril de 2009) ( $FE_m$ ) nos meses (m) correspondentes. No entanto, para que  $RE_m$  pudesse ser um bom estimador de  $FE_m$  em anos anteriores, a composição da geração termoelétrica, com relação à participação relativa de diferentes tipologias (carvão mineral, gás natural, óleo diesel, óleo combustível, biomassa e outros), deveria manter-se similar durante o período para o qual fosse estimado  $FE_m$ . No entanto, por meio da análise do perfil da geração termoelétrica conectada ao SIN nos anos 2000 a 2009 (dados da ONS), verificou-se que existem pronunciadas diferenças.

Em primeiro lugar, no ano 2000 praticamente não existia geração por termoelétricas a gás natural, tipologia essa que seria preponderante a partir de 2001. Por outro lado, a geração por termoelétricas a diesel, virtualmente desapareceu a partir do ano de 2002. De maneira similar, foi verificada uma diminuição gradual na geração de termelétricas a óleo combustível e carvão mineral. Ainda, a partir de 2006 iniciou-se a geração de termelétricas a biomassa e outros aproveitamentos (e.g. gás de siderurgia). Dessa maneira, a extrapolação da relação entre  $RE$  e  $FE$ , tal qual observada para o período entre janeiro de 2006 até abril de 2009, resultaria em uma subestimação de  $FE$  calculado para períodos anteriores a 2006.

Assim, um esforço adicional foi empreendido para a obtenção dos dados relativos ao consumo de combustíveis pelas plantas termoelétricas conectadas ao SIN. Enfim, tais dados foram fornecidos pela Coordenação Geral de Estudos Integrados da Secretaria de Energia do Ministério de Minas e Energia o que permitiu que o fator de emissão para consumo de energia elétrica do SIN nos anos 2000 a 2005 fosse calculado como segue.

#### Metodologia de Estimativa

A seguinte fórmula foi empregada:

$$FE_{SIN,y} = \frac{\sum_{c,p} Q_{c,p,y} \cdot NCV_c \cdot FE_c \cdot Ox_c}{GT_y \cdot 1000}$$

Sendo:

$FE_{SIN,y}$  Fator de emissão para consumo de energia elétrica do SIN no ano y (tCO<sub>2</sub>/MWh).

$Q_{c,p,y}$  Quantidade do combustível c consumido pela planta c no ano y (toneladas). Os dados de entrada para gás natural e óleo diesel foram fornecidos em unidades de volume: Nm<sup>3</sup> e L, respectivamente. Nesses casos a quantidade (toneladas) foi calculada a partir da multiplicação pela densidade.

$FE_c$  Fator de emissão do combustível c (tCO<sub>2</sub>/TJ).

$NCV_c$  Poder calorífico inferior do combustível c (tCO<sub>2</sub>e/ton).

$Ox_c$  Fator de oxidação do combustível c (Fração).

$GT_y$  Geração total das fontes conectadas ao SIN (GWh).

1000 Fator de conversão de GWh para MWh.

Os fatores de emissão, poderes caloríficos inferiores e fatores de oxidação utilizados nesse estudo foram consistentes com aqueles utilizados pelo MCT no cálculo do fator de emissão do SIN publicado pelo ministério.

Vale notar que não foram informados os valores referentes ao consumo de gás natural para as usinas Campos (Ciclo simples. Código ONS: RJUSCP) e Cuiabá-Enron (Ciclo combinado. Códigos ONS: MTUSCU) para os anos 2002 e 2002 a 2005, respectivamente. No entanto, foi possível estimar essas informações a partir da geração de energia dessas plantas nos anos em questão multiplicadas pelo consumo médio de gás natural de outras plantas empregando a mesma tecnologia (ciclo simples ou combinado). Tal modelo de estimativa foi sugerido pela equipe da Geral de Estudos Integrados da Secretaria de Energia do Ministério de Minas e Energia.

Esse estudo adota a premissa que as restrições de transmissão entre os submercados do SIN não eram significativas entre 2000 e 2005, de modo que foi considerada a

configuração de um único sistema elétrico no Brasil, tal qual adotado pelo MCT para o cálculo dos fatores de emissão do SIN a partir de 2006. Ainda, emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O não são consideradas.

## Resultados

Os resultados estão compilados na Tabela .

**Tabela 26.** Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> do SIN (tCO<sub>2</sub>e/MWh)

| 2000         | 2001         | 2002         | 2003         | 2004         | 2005         |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0,03883<br>0 | 0,04561<br>5 | 0,03761<br>4 | 0,02760<br>1 | 0,03438<br>0 | 0,03456<br>4 |

## Avaliação de Incertezas

Como afirmado anteriormente, os dados de consumo de combustível utilizados para o cálculo do fator de emissão do SIN no foram fornecidos pela Coordenação Geral de Estudos Integrados da Secretaria de Energia do Ministério de Minas e Energia, os quais são utilizados compilar o Balanço Energético Nacional. O IPCC recomenda que, por padrão, para dados dessa natureza seja adotada uma incerteza de  $\pm 5\%$ . De maneira similar, foi adotada uma incerteza de 5% para os dados de geração de eletricidade, obtidos no sítio da ONS. Para os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> e PCI dos combustíveis fósseis foram adotadas as incertezas informados no IPCC Guidelines 2006. Como medida de simplificação e conservadorismo para intervalos de confiança assimétricos foi considerada a maior diferença porcentual entre a média e o limite do intervalo de confiança (IPCC, 2006).

A incerteza combinada dos parâmetros utilizados para o cálculo do fator de emissão do SIN foi calculada para cada ano conforme modelos abaixo aplicados as etapas de cálculo descritas na fórmula 1:

Combinação de incerteza de componentes de uma *multiplicação* ou *divisão*:

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

Sendo:

$U_{total}$  Incerteza percentual total do produto de quantidades (metade do intervalo de confiança de 95% expresso como percentagem). Para intervalos de confiança assimétricos foi considerada a maior diferença percentual entre a média e o limite de confiança;

$U_i$  Incerteza percentual associada a cada uma das quantidades de uma multiplicação.

Combinação de incerteza de componentes (não correlacionados) de uma *soma ou subtração*:

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot x_1)^2 + (U_2 \cdot x_2)^2 + \dots + (U_n \cdot x_n)^2}}{|x_1 + x_2 + \dots + x_n|}$$

Sendo:

$U_{total}$  Incerteza percentual total da soma ou subtração de quantidades (metade do intervalo de confiança de 95% expresso como percentagem). Para intervalos de confiança assimétricos foi considerada a maior diferença percentual entre a média e o limite de confiança;

$x_i$  e  $U_i$  Quantidades e incerteza percentual associada a cada dessas, respectivamente.

Através do modelo de propagação de incertezas, descrito acima, foi produzida uma estimativa da metade do intervalo de confiança de 95%, expresso como uma percentagem do resultado do cálculo do fator de emissão (Tabela 27).

**Tabela 27.** Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> do SIN e incertezas associadas

|               | 2000    | 2001    | 2002    | 2003    | 2004    | 2005    |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>EF SIN</b> | 0,03883 | 0,04561 | 0,03761 | 0,02760 | 0,03438 | 0,03456 |



|                               |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>(tCO<sub>2</sub>e/MWh)</b> | 0   | 5   | 4   | 1   | 0   | 4   |
| <b>Incerteza Combinada</b>    | 24% | 18% | 18% | 22% | 20% | 21% |

Na impossibilidade de reproduzir o cálculo de estimativa de incertezas para o fator de emissão nos anos 2006 e 2007 adotou-se para esses anos uma incerteza de 20%, estimada como a média aritmética da incerteza calculada para 2000 a 2005.

## ANEXO II

### Estimativa de Vendas de Gás Natural e GNV em Belo Horizonte no Período 2000-2002

As informações sobre vendas de Gás Natural e GNV em Belo Horizonte foram levantadas junto à GASMIG. O abastecimento deste combustível na Região Metropolitana de Belo Horizonte teve início em 1996. Contudo, informações detalhadas sobre as vendas dentro dos limites geográficos do Município somente estavam disponíveis para os anos de 2003 em diante.

Para estimar as vendas de Gás Natural para o setor industrial nos anos de 2000 a 2002, foi feita regressão linear com os dados de 2003 a 2007. A figura abaixo ilustra os resultados e a equação de referência. O consumo neste setor em 2003 representou 47,81% do total transmitido pela Rede de Distribuição de Gás Natural em Belo Horizonte.

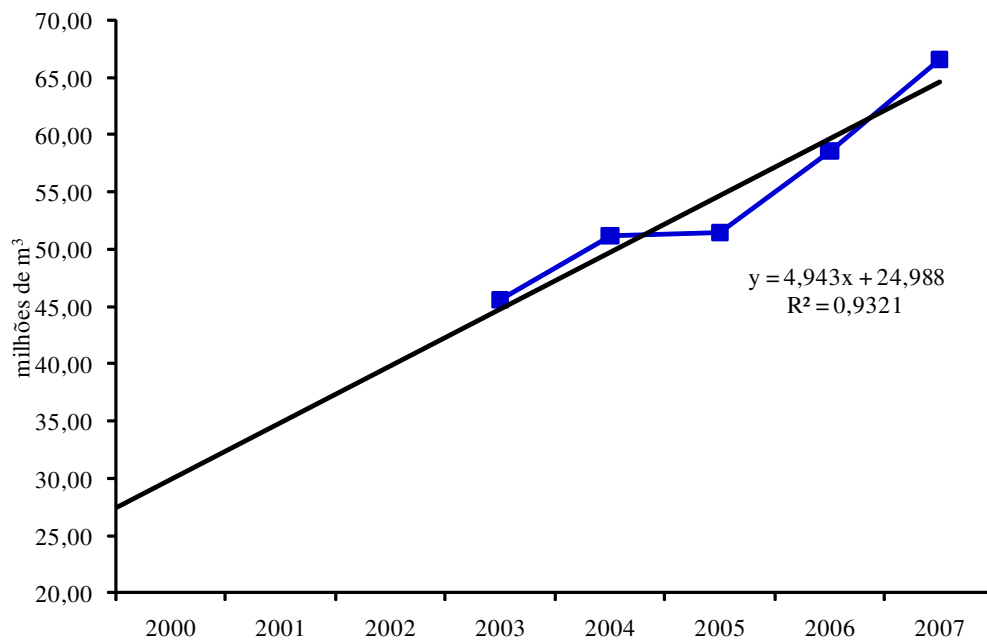


Figura 46: Estimativa de vendas de Gás Natural no setor industrial de Belo Horizonte no período 2000 a 2007

Já para as vendas de Gás Natural para o setor de serviços no mesmo período, uma regressão de 2º grau foi aplicada aos dados de 2003 a 2007, conforme a figura abaixo.

Tal regressão indica que, no setor de serviços, não houve consumo de Gás Natural anterior a 2003. O consumo neste setor em 2003 representou apenas 0,07% do total transmitido pela Rede de Distribuição de Gás Natural em Belo Horizonte.

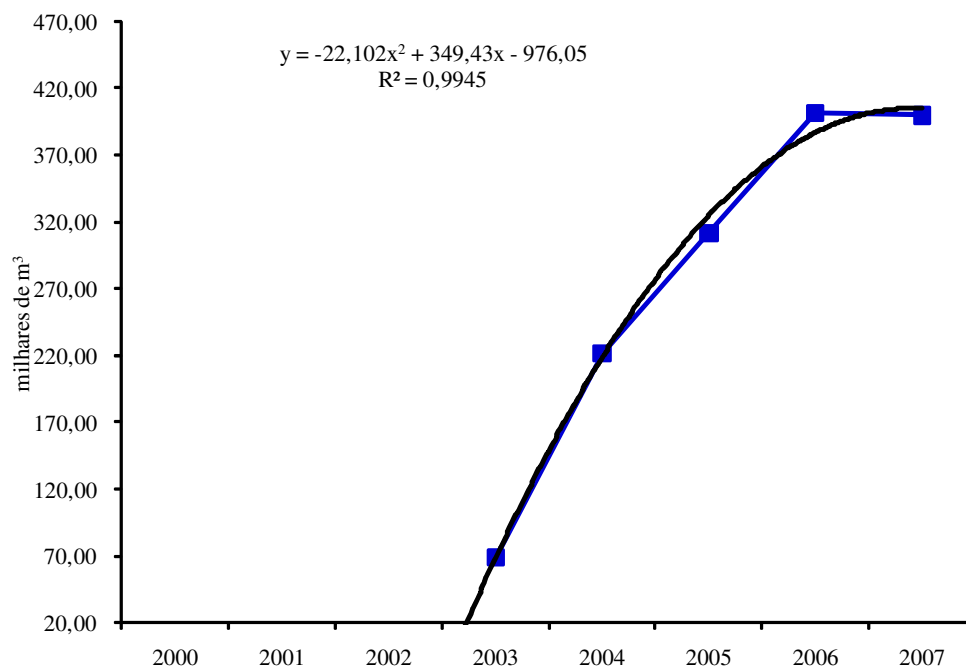


Figura 47: Estimativa de vendas de Gás Natural no setor de serviços de Belo Horizonte no período 2000 a 2007

Também para estimar as vendas de GNV, uma regressão de 2º grau foi aplicada aos dados de 2003 a 2007. O consumo neste setor em 2003 representou apenas 52,12% do total transmitido pela Rede de Distribuição de Gás Natural em Belo Horizonte.

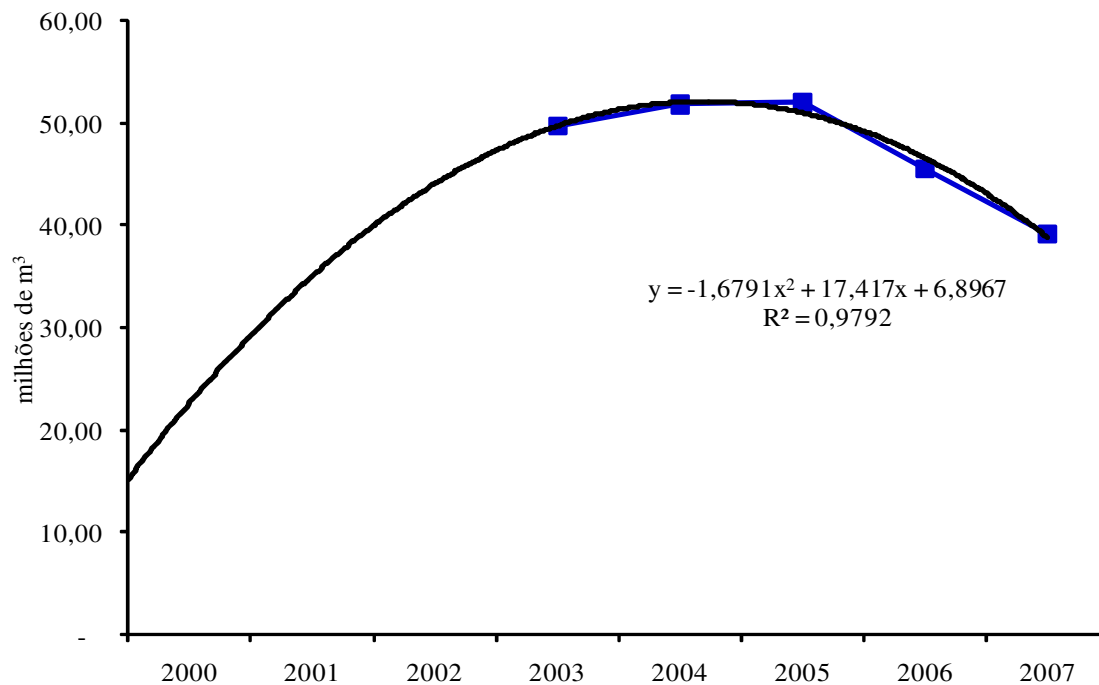


Figura 48: Estimativa de vendas de Gás Natural no setor de serviços de Belo Horizonte no período 2000 a 2007

A tabela abaixo sumariza as estimativas consolidadas para Gás Natural (setores industrial e de serviços) e GNV.

Tabela 28: Estimativas de vendas de Gás Natural e GNV em Belo Horizonte no período 2000 a 2003

| <b>Ano</b> | <b>GN Industrial<br/>(Milhões de<br/>m<sup>3</sup>)</b> | <b>GN Serviços<br/>(Milhões de<br/>m<sup>3</sup>)</b> | <b>GNV<br/>(Milhões de<br/>m<sup>3</sup>)</b> |
|------------|---|---|---|
| 2000       | 29,931  | -   | 22,6346                                       |
| 2001       | 34,874  | -   | 35,0143                                       |
| 2002       | 39,817  | -   | 44,0358                                       |

## ANEXO III

### Metodologia de Identificação de Fisionomias Vegetais em Belo Horizonte

O cálculo das emissões por mudanças no uso do solo em Belo Horizonte foi fundamentado na diferença entre os estoques de carbono presentes na cidade no ano 2000 e 2007. Portanto, foram realizados cálculos dos estoques de carbono em ambos os anos.

Os estoques de carbono são constituídos por fisionomias vegetais que realizam fotossíntese e com isso removem carbono da atmosfera (na forma de CO<sub>2</sub>) e o armazenam no solo (em forma de biomassa). Para determinar a área do Município coberta por cada tipo de fisionomia vegetal foram utilizadas imagens Landsat 5, sensor TM, órbitas 218/74 obtidas respectivamente em 22/09/2000 e 25/08/2007, disponibilizadas pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>), além de shapefiles dos contornos de Belo Horizonte e de suas regionais, obtidos junto a Prodabel.

As imagens brutas foram processadas em ambiente Spring 5.1.3, e os procedimentos consistiram no georeferenciamento, filtragem, restauração e aplicação da composição colorida RGB. O georeferenciamento foi realizado tendo como base imagens Landsat , Zona S-23-15 do programa NASA-GEOCOVER (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>) dentro dos seguintes critérios: Projeção: UTM (Transverse\_Mercator); Datum: South American 1969. A filtragem e restauração foram aplicadas com objetivos de, respectivamente, remover possíveis ruídos e corrigir as distorções inseridas pelo sensor óptico no processo de geração das imagens e resultaram em melhoria na resolução da imagem.

A composição colorida utilizada é denominada “cores naturais” e consiste em utilizar o azul na banda 2, o vermelho na 3 e o verde na 4 (B2\_R3\_G4) conforme Figuras 49.

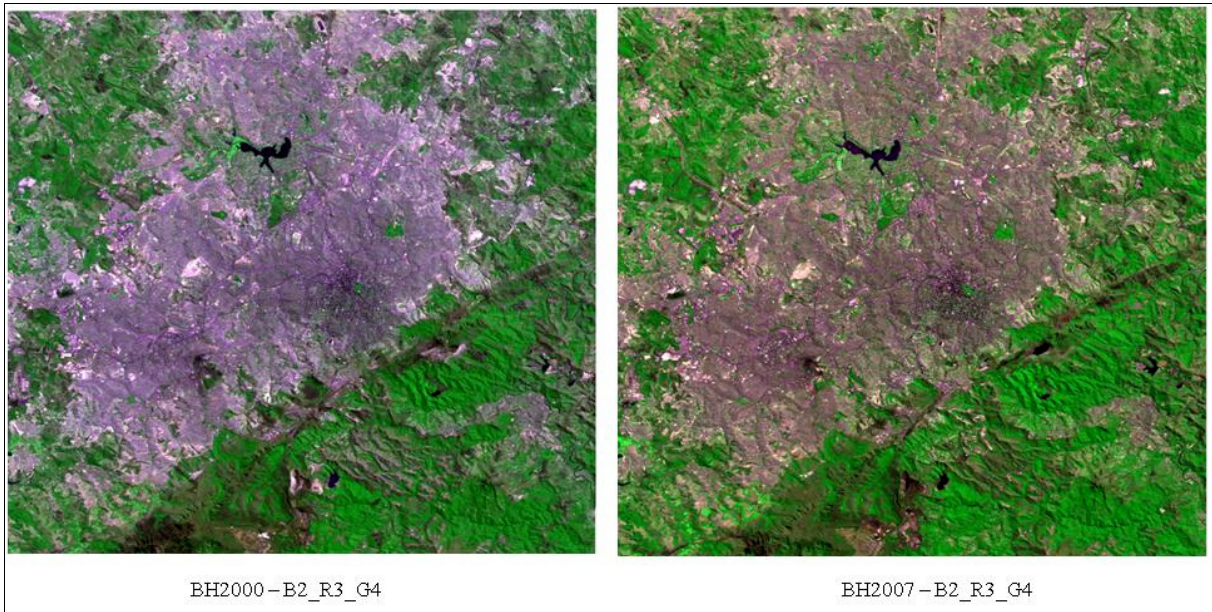


Figura 49 – Imagens Landsat de Belo Horizonte em composição colorida RGB

Após o processamento das imagens foi realizada a seleção das áreas de estudo com uso do software ArcGig 9.3 e shapefiles de Belo Horizonte (Figura 50). Este mesmo procedimento foi efetuado para a distinção de cada regional do município (Figura 51).

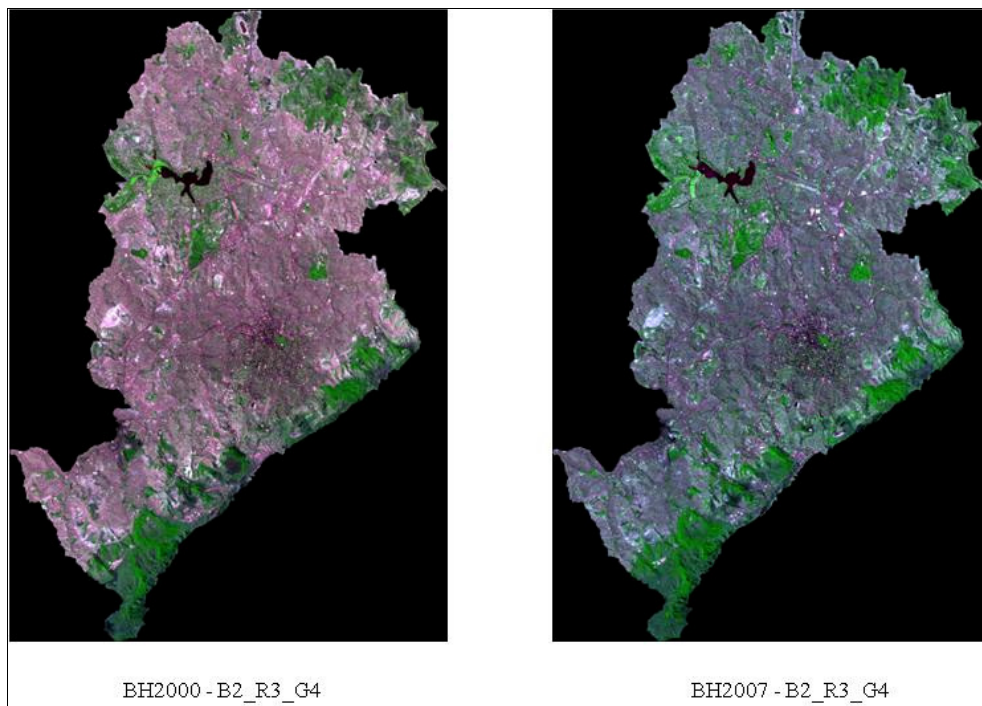


Figura 50 – Áreas de estudo selecionadas

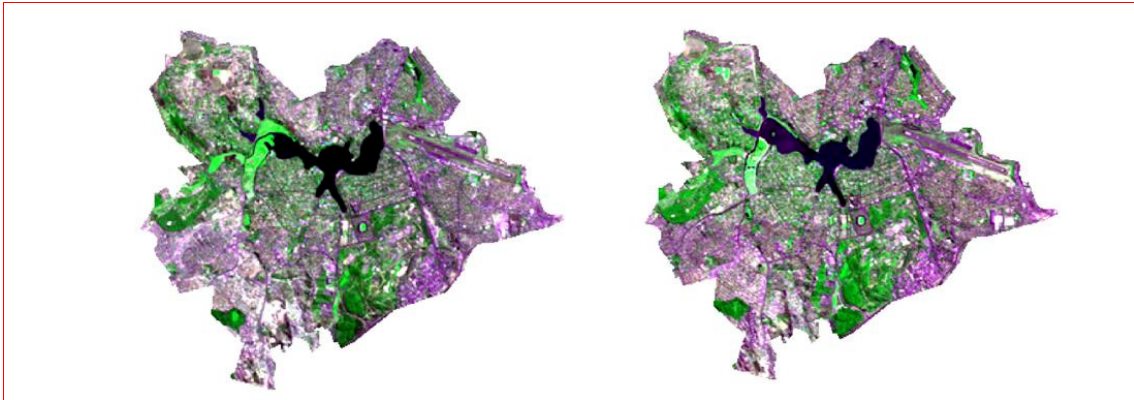


Figura 51 – Regional Pampulha 2000 e 2007

A classificação das imagens foi realizada com o uso do software MultisPec W32, com uso da técnica “pixel a pixel” e o método da Máxima semelhança (Maximum likelihood). Em função das características do projeto e das feições (objetos) presentes na imagem, foram criadas e discriminadas quatro classes de ocupação do uso do solo: Malha Urbana; Vegetação Rasteira e Gramíneas; e Vegetação Arbórea. O detalhamento destas classes está apresentado a seguir:

- a) Malha Urbana: engloba construções, avenidas, lotes vagos, córregos, ribeirões etc, uma vez que a resposta espectral destes objetos é muito semelhante;
- b) Vegetação Rasteira e Gramíneas: é constituída por árvores de pequeno porte, arbustos, gramíneas e gramados em geral;
- c) Vegetação Arbórea: constituída por árvores de maior porte, nas quais estão inseridas tanto as matas nativas como as plantas exóticas plantadas em parques, avenidas, jardins etc.

Esta distinção entre as feições de vegetação é possível em função de: a) conhecimento geográfico da área de estudo; b) resposta espectral diferenciada da vegetação quando a cor verde é aplicada na banda 4 (região do infravermelho próximo na divisão do comprimento de ondas). Vegetação de grande porte se apresenta na imagem com um verde de tonalidade mais escura enquanto as demais em tonalidades mais suaves.

Para identificação de corpos hídricos, a resolução espacial da imagem Landsat não permite uma distinção apropriada para os córregos, ribeirões e riachos presentes no

Município. Esta dificuldade é potencializada pelo fato destes corpos d'água se encontrarem poluídos e com uma presença abundante de sedimentos. Neste caso sua resposta espectral é igual a do solo exposto ou de construções. Os corpos d'água, exceto a Lagoa da Pampulha foram agregados a classe "Malha Urbana".

Vale ressaltar ainda que a classificação em imagens recortadas (que apresentam obrigatoriamente um plano de fundo) está sujeita, na maioria das vezes a desvios na determinação da área, em função de resposta espectral semelhante de pixels da área do plano de fundo e da imagem. Esta situação acontece tanto na borda da imagem como em outras regiões da imagem. Este conflito se torna mais significativo na medida em que se trabalha com escalas maiores (imagens das regionais). Em escalas menores (1:100.000 e acima) na maioria das situações, não compromete o resultado final.

Foram gerados inicialmente dois mapas temáticos do uso do solo no Município dos anos de 2000 e 2007 (Figuras 52 e 53) cujos resultados são apresentados nas tabelas 29 e 30 respectivamente.



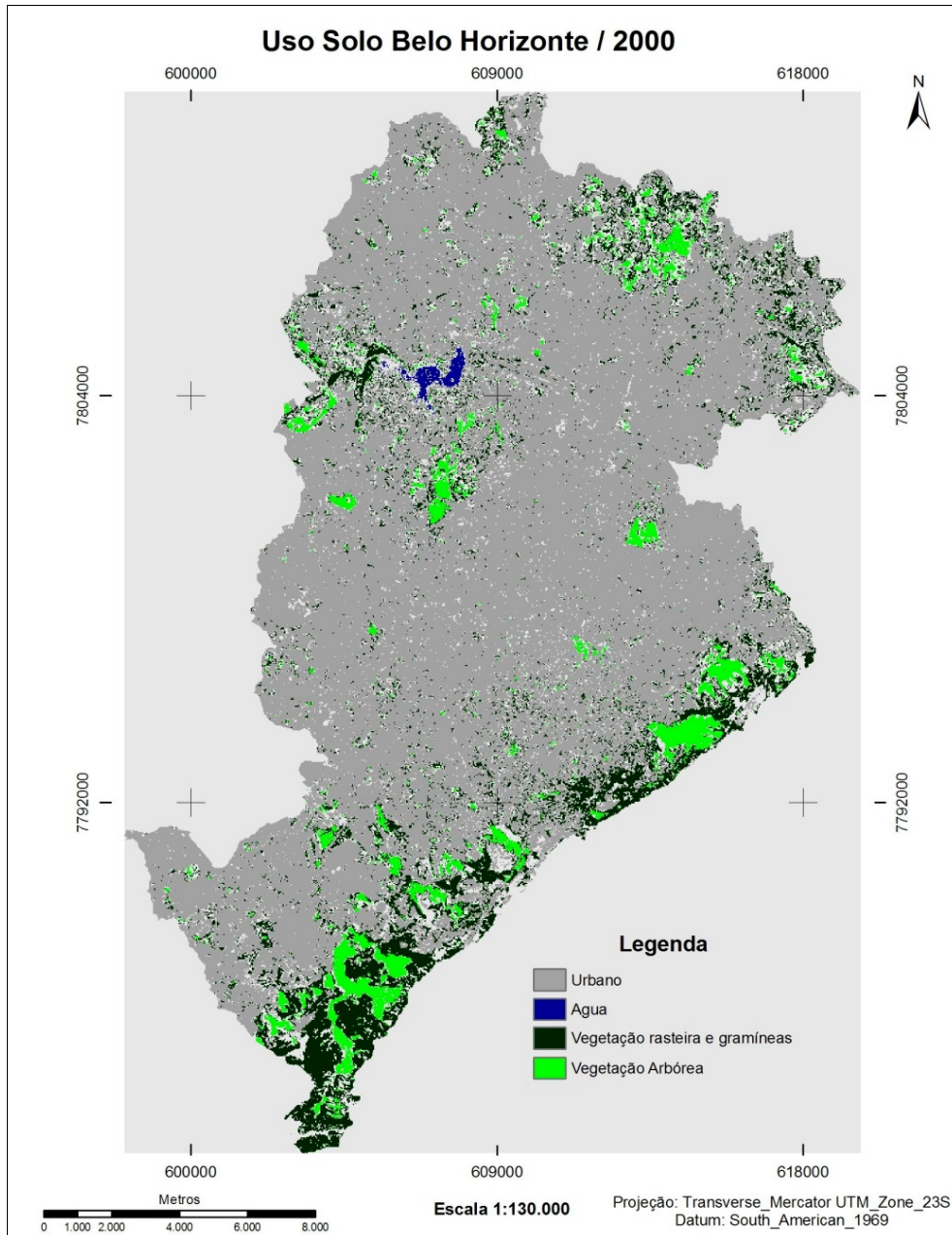


Figura 52 – Mapa de Uso do Solo BH 2000

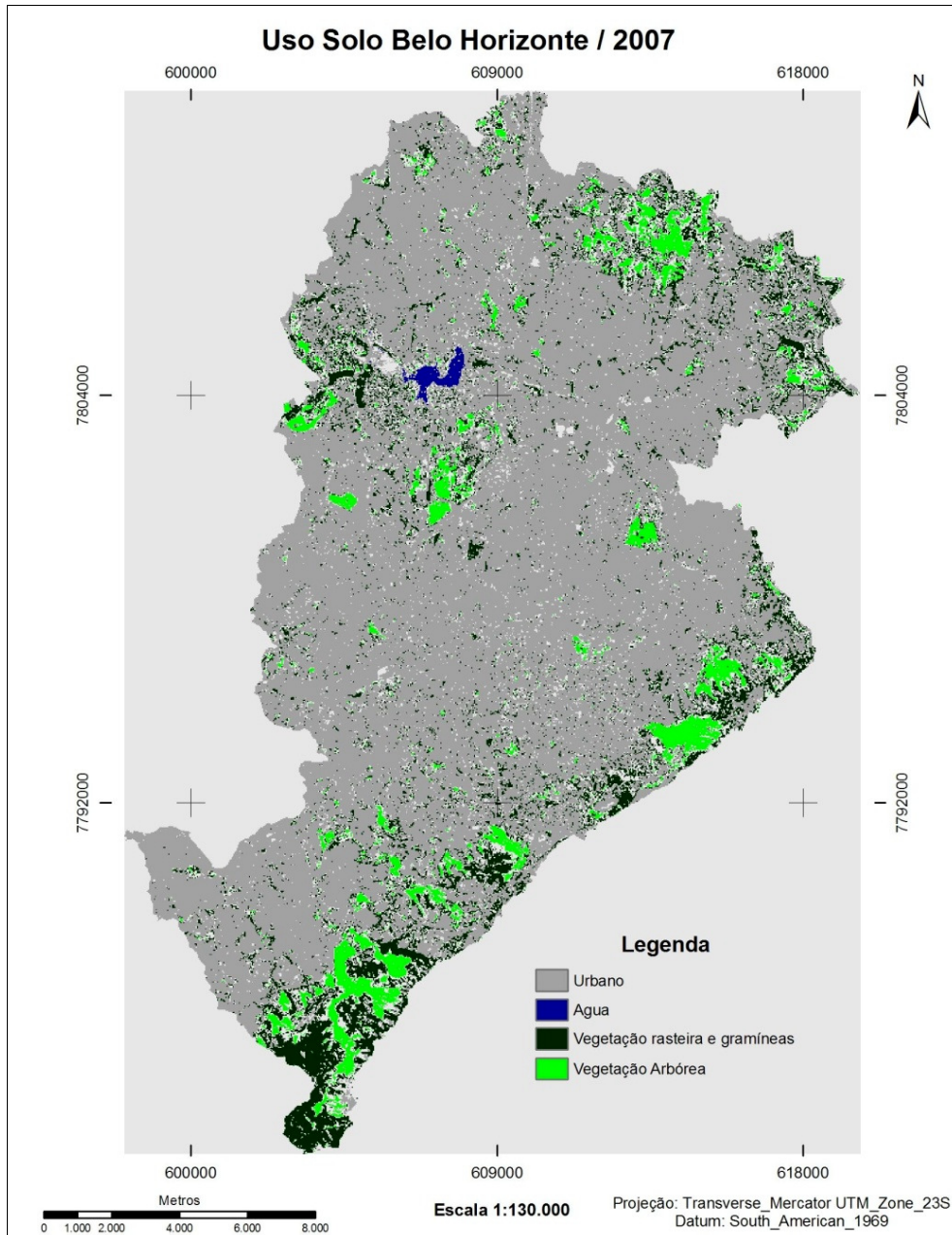


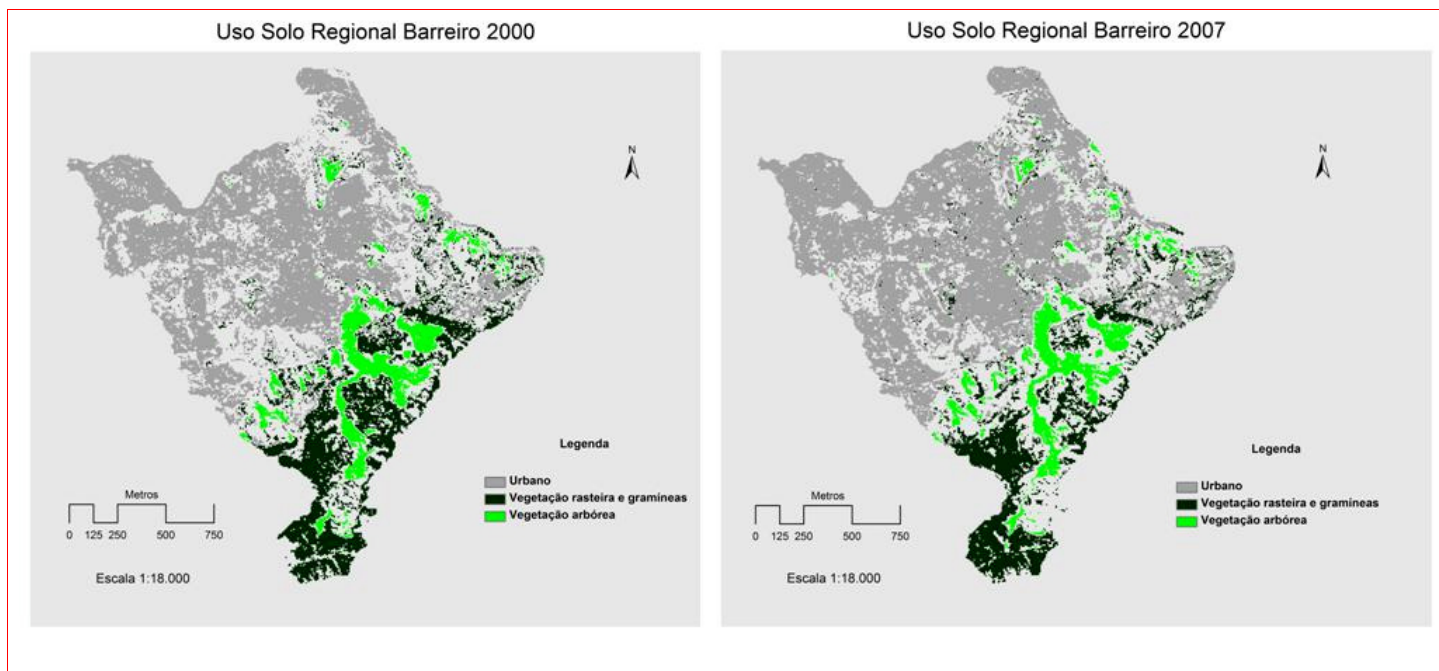
Figura 53 – Mapa de Uso Solo BH 2007

Tabela 29 - Distribuição de Classes para a Área Seleccionada – Belo Horizonte, ano 2000

| <b>Classe</b> |                                | <b>Amostras</b> | <b>Percentual</b> | <b>Área (Hectares)</b> |
|---------------|--------------------------------|-----------------|-------------------|------------------------|
| 1             | Água                           | 1.029           | 0.31              | 92,61                  |
| 2             | Vegetação rasteira e gramíneas | 45.552          | 13.15             | 3.829,09               |
| 3             | Vegetação Arbórea              | 16.154          | 4.99              | 1.453,86               |
| 4             | Malha Urbana                   | 263.955         | 81.55             | 23.755,95              |
| <b>Total</b>  |                                | <b>323.690</b>  | <b>100.00</b>     | <b>29.132,10</b>       |

Tabela 30 - Distribuição de Classes para a Área Seleccionada – Belo Horizonte, ano 2007

| <b>Classe</b> |                                | <b>Amostras</b> | <b>Percentual</b> | <b>Área (Hectares)</b> |
|---------------|--------------------------------|-----------------|-------------------|------------------------|
| 1             | Água                           | 1.038           | 0.32              | 93,42                  |
| 2             | Vegetação rasteira e gramíneas | 42405           | 9.59              | 2811,05                |
| 3             | Vegetação Arbórea              | 18.047          | 5.53              | 1.624,23               |
| 4             | Malha Urbana                   | 264.631         | 84.56             | 24.816,79              |
| <b>Total</b>  |                                | <b>326.061</b>  | <b>100.00</b>     | <b>29.345,49</b>       |



Assim, percebeu-se que a área ocupada pela malha urbana no Município avançou em cerca de mil hectares sobre as áreas de vegetação rasteira e gramíneas, localizadas sobretudo nos arredores ao leste e ao sudeste do Município. O leve aumento da área ocupada por vegetação arbórea pode ser atribuído ao crescimento dos indivíduos já existentes em 2000, uma vez que estas encontram-se concentradas em áreas de preservação permanente não sujeitas a supressão de vegetação.

## **ANEXO 2**

Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero y carbón negro de  
la ZMVM 2008

# Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero y carbón negro de la ZMVM

---

# 2008

METANO  
DIOXIDO DE CARBONO  
ÓXIDO NITROSO





Inventario de emisiones de gases de efecto  
invernadero y carbón negro de la ZMVM

---

**2008**



MARCELO LUIS EBRARD CASAUBÓN

JEFE DE GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

MARTHA DELGADO PERALTA

SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE DEL DISTRITO FEDERAL

J. VÍCTOR HUGO PÁRAMO FIGUEROA

DIRECTOR GENERAL DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

JORGE SARMIENTO RENTERÍA

DIRECTOR DE PROGRAMAS DE CALIDAD DEL AIRE E INVENTARIO DE EMISIONES

## COORDINADORES

Saúl Rodríguez Rivera

Subdirector de Inventario y Modelación

María Cristina Ruiz Ramírez

Subdirectora de Planeación y Evaluación de Programas de Calidad del Aire.

## INTEGRACIÓN DEL DOCUMENTO

María Magdalena Armenta Martínez

Patricia Camacho Rodríguez

Miguel Ángel Flores Román

Gabriela García Márquez

Francisco Hernández Ortega

Ana Lourdes López Pablos

María del Carmen Mendoza Pelcastre

Saira Mendoza Pelcastre

Guadalupe Graciela Ramos Rodríguez

Saúl Pablo Siles Tapia

**Coordinador editorial:** Patricia Camacho Rodríguez

**Corrección y edición:** Patricia Camacho Rodríguez, Ana Lourdes López Pablos, Saira Mendoza Pelcastre y Miguel Ángel Flores Román.

**Diseño de portada e interiores:** Ivalu Loya Moreno

Primera edición 2010

D.R. © Secretaría del Medio Ambiente  
del Gobierno del Distrito Federal  
Plaza de la Constitución, N° 1 3er. Piso  
Col. Centro, C.P. 06068, Del. Cuauhtémoc,  
México, D.F., [www.sma.df.gob.mx](http://www.sma.df.gob.mx).

# CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| PRESENTACIÓN   | 5  |
| AGRADECIMIENTOS  | 7  |
| 1 INTRODUCCIÓN   | 9  |
| 2 ASPECTOS GENERALES DE LA ZMVM                                      | 13 |
| 2.1 Zona de estudio  | 15 |
| 2.2 Población de la ZMVM, 2008                                       | 16 |
| 2.3 Consumo de energía en la ZMVM                                    | 17 |
| 2.4 Sector industrial  | 18 |
| 2.5 Comercios y servicios  | 18 |
| 2.6 Sector habitacional  | 19 |
| 2.7 Medios de transporte   | 19 |
| 3 INVENTARIO DE EMISIONES DE GEI Y CARBÓN NEGRO                      | 21 |
| 3.1 Metodología de cálculo utilizada                                 | 25 |
| 3.2 Distribución espacial (eq. CO <sub>2</sub> )                     | 25 |
| 3.3 Emisiones anuales en unidades equivalentes de CO <sub>2</sub>    | 28 |
| 3.4 Emisiones anuales de carbón negro (CN)                           | 30 |
| 4 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y CARBÓN NEGRO POR SECTOR | 33 |
| 4.1 Sector industrial  | 35 |
| 4.2 Sector comercial y de servicios                                  | 38 |
| 4.2.1 Emisiones por uso de combustibles                              | 38 |
| 4.2.2 Emisiones por uso de energía eléctrica                         | 39 |
| 4.3 Sector habitacional  | 40 |
| 4.3.1 Emisiones por uso de combustibles                              | 40 |
| 4.3.2 Emisiones por uso de energía eléctrica                         | 44 |
| 4.4 Sector transporte  | 48 |
| 4.4.1 Emisiones por tipo de combustible y estrato tecnológico        | 50 |
| 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES                                     | 55 |
| 5.1 Conclusiones   | 57 |
| 5.2 Recomendaciones  | 57 |
| 6 BIBLIOGRAFÍA   | 59 |



# PRESENTACIÓN

Para resolver los problemas de la contaminación atmosférica, las autoridades ambientales que convergen en la Zona Metropolitana del Valle de México, además de medir permanentemente las concentraciones de los contaminantes atmosféricos, elaboran los inventarios de emisiones, éstos constituyen una herramienta estratégica para la identificación de las fuentes emisoras y la caracterización de los contaminantes que se generan, así como para implementar medidas de mitigación.

5

En años recientes se ha incrementado la preocupación por el calentamiento global, provocado principalmente por el aumento de las emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero (GEI). El cambio climático y el aumento de la temperatura del planeta tienen repercusiones a nivel mundial, por lo que algunos países en cumplimiento al Protocolo de Kyoto y el acuerdo de Copenhague, pretenden reducir la generación de gases de efecto invernadero. Por su parte, en México, algunos gobiernos locales así como el gobierno federal, han implementado una serie de estrategias tendientes a mitigar la generación de dichos gases.

A fin de coadyuvar a mitigar el problema del calentamiento global, el gobierno del Distrito Federal en el marco del Plan Verde y de un conjunto de políticas públicas y programas dirigidos a mejorar la calidad de vida de sus habitantes, ha instrumentado un Programa de Acción Climática 2008-2012 (PAC), el cual integra las principales acciones que realiza actualmente el gobierno del Distrito Federal para reducir las emisiones de GEI y atenuar el cambio climático.

En este mismo contexto, la publicación del presente *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Carbón Negro del año 2008*, viene a fortalecer la política ambiental local y global, al proporcionar las bases técnicas para la evaluación y mitigación de emisiones, además de dar cumplimiento a las directrices de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCC por sus siglas en inglés), como parte del no-Anexo I de dicha convención.

El contenido del presente documento está estructurado de la siguiente manera: una introducción en la cual se presenta una reseña del desarrollo de diversos inventarios de emisiones de GEI; el capítulo 2 incluye una breve descripción de la ZMVM y de su consumo energético. En el capítulo 3 se reporta el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero y de carbón negro del año 2008, además, se incluye la distribución espacial de las emisiones. En el capítulo 4 se analizan las emisiones por cada sector contaminante y, por último, se incorpora un apartado de conclusiones y recomendaciones, generadas con base en los resultados obtenidos.

MARTHA DELGADO PERALTA  
SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE  
GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

METANO  
DIOXIDO DE CARBONO  
ÓXIDO NITROSO



# AGRADECIMIENTOS

La Dirección de Programas de Calidad del Aire e Inventario de Emisiones, adscrita a la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, quiere agradecer a las siguientes instituciones de gobierno y no gubernamentales, por sus amables aportes, comentarios e intensa colaboración:

- Aeropuertos y Servicios Auxiliares - Dirección General Adjunta de Finanzas y Operación-Subdirección de Operaciones ASA/Gerencia de Informática y Estadística de ASA,
- Asociación Mexicana Industria Automotriz.
- Cámara Nacional de la Industria de Artes Gráficas (CANAGRAF),
- Cámara Nacional de la Industria de Baños y Balnearios (CANAIBAL),
- Comisión Nacional Forestal – Regional Estado de México,
- Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, del Gobierno del Distrito Federal,
- Dirección General del Heroico Cuerpo de Bomberos del Gobierno del Distrito Federal,
- Ferrocarril y Terminal del Valle de México, S.A. de C.V.-Dirección de Operación,
- PEMEX Refinación-Gerencia de Coordinación Comercial/ Subgerencia de la Administración de la Demanda,
- PEMEX Gas y Petroquímica Básica-Gerencia de Comercialización de Gas LP en la ZMVM/Subgerencia de Mercado Nacional,
- Planta de Asfalto del Gobierno del Distrito Federal,
- Red de Transporte de Pasajeros del Gobierno del Distrito Federal,
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Delegación Distrito Federal-Centro de Estadística Agropecuaria,
- Secretaría de Energía - Dirección de Enlace, Estadística y Asuntos Especiales de la Dirección General de Gas LP,
- Secretaría de Transporte y Vialidad,
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal - Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural,
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México,
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno Federal,
- Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros-METROBÚS

Así mismo, se extiende este agradecimiento a todas aquellas personas que aportaron datos relevantes, e hicieron posible actualizar y elaborar este Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Carbón Negro de la Zona Metropolitana del Valle de México para el año 2008.



# 1. INTRODUCCIÓN

METANO  
DIOXIDO DE CARBONO  
ÓXIDO NITROSO





En la actualidad, el cambio climático es un problema ambiental que presenta un desafío a superar por la sociedad en general, pues a medida que aumenta la concentración de emisiones de contaminantes y de gases de efecto invernadero (GEI), los cambios en el clima se tornan más agresivos. Entre dichos cambios se pueden mencionar: aumento de temperatura, sequías o lluvias intensas, deshielo en los polos, disminución de la biodiversidad, daño en cultivos con sus respectivas consecuencias económicas y sociales, entre otros. En general, las emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero, básicamente son resultado de la cantidad de combustibles fósiles utilizados, así como de la generación de residuos sólidos.

Aún cuando las zonas urbanas ocupan menos del 1% del territorio del planeta, la gran concentración de población, su mayor nivel de consumo de bienes y servicios, su actividad económica y las necesidades de movilidad, son responsables de la mayor parte de las emisiones contaminantes de gases de efecto invernadero. Además, según las Naciones Unidas, en poco tiempo, alrededor del 50% de la población mundial habitará en ciudades que serán responsables del 75% del consumo total de energía. (SMA-GDF, 2008).

En general, las zonas urbanas con alta densidad de población y elevada actividad económica son las que más contribuyen al cambio climático, como es el caso de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la cual concentra el 19% (19.7 millones de habitantes) de la población nacional y genera aproximadamente el 25% del PIB nacional. Debido a que la ZMVM puede considerarse una ciudad vulnerable a los efectos del cambio climático, es necesario realizar acciones para mitigar las emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero, así como establecer medidas de adaptación, que reduzcan el impacto local y por consiguiente global.

Las estimaciones publicadas por la autoridad federal mexicana, referente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel nacional y presentadas en la Cuarta Comunicación de México ante la UNFCCC, muestran que México generó en el año 2006, un total de 711.6 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>; es decir, nuestro país contribuye con el 1.5% a las emisiones mundiales generadas por el consumo de combustibles fósiles. Las emisiones antes mencionadas representan un incremento del 40%, durante el periodo de 1990 a 2006 lo que equivale a una tasa de crecimiento anual del 2.4%<sup>1</sup> (SEMARNAT-INE, 2009).

El gobierno de la Ciudad de México en su *Estrategia Local de Acción Climática del Distrito Federal*, elaborada en el año 2006, incluyó un capítulo de inventario de emisiones de gases de efecto invernadero para la ZMVM al año 2000, aquí se menciona que se generaron 54.1 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>; además, se definieron un conjunto de acciones para disminuir dichas emisiones, mediante programas de eficiencia energética en los sectores transporte, habitacional e industrial principalmente.

---

<sup>1</sup> Emisiones reportadas con base en Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, 1990-2006.

Asimismo, para el año 2008, se estableció el *Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012*, el cual contiene una serie de políticas públicas a realizar en el Distrito Federal, para reducir las emisiones de GEI y lograr la adaptación al cambio climático en la Ciudad.

Como complemento a las acciones anteriores, la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, desarrolló de manera oficial, el Primer Inventario de Emisiones de GEI para el año 2006, en el cual se reportan a mayor detalle los sectores contaminantes, con emisiones de GEI que ascienden a 43.5 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>, lo cual significa una reducción del 20% en el periodo de años del 2000 a 2006.

12

Para dar continuidad al Inventario de GEI 2006, se elaboró el presente documento con información del año 2008; el cual presenta las emisiones de los sectores: energético, industrial, habitacional, comercial y de transporte, con emisiones de 51.5 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>, lo que representa el 7.2% de las emisiones nacionales de GEI reportadas por la Federación en la Cuarta Comunicación de México ante la UNFCCC.

Además, en este documento se presentan por primera vez las emisiones de carbón negro<sup>2</sup>, el cual no es un gas de efecto invernadero, sin embargo, la comunidad científica lo relaciona como un factor determinante en el calentamiento global, ya que por sus propiedades químicas y físicas, tiempo de residencia y distribución de sus emisiones en la atmósfera, contribuye directamente al calentamiento del planeta. En la literatura, se ha sugerido que algunas veces, el carbón negro compite con el metano a la contribución del calentamiento global.

De acuerdo con el IPCC, el carbón negro ocupa el tercer lugar en la contribución al forzamiento radiativo positivo<sup>3</sup> que causa el cambio climático (ICCT, 2009), sin embargo, también presenta forzamiento negativo como parte de los aerosoles. Las emisiones de carbón negro de la ZMVM del año 2008, se estimaron en 1,671 toneladas, es decir 768,660 toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>2</sup> Es un componente del material particulado, con importantes efectos en el cambio climático, por su propiedad refractaria y capacidad de absorción de luz para convertirla en calor.

<sup>3</sup> El forzamiento radiativo es un término utilizado para cuantificar y comparar los factores humanos y naturales sobre el cambio climático. Es una medida de cómo varía el balance de energía tierra-atmósfera, cuando se alteran algunos factores que afectan el clima. Representa el cambio en el flujo de energía. Positivo=calentamiento, Negativo=enfriamiento (IPCC, 2007).

## 2. ASPECTOS GENERALES DE LA ZMVM

METANO  
DIOXIDO DE CARBONO  
ÓXIDO NITROSO



La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), se encuentra rodeada por una cadena montañosa y está situada a una altitud de 2,240 metros sobre el nivel medio del mar. El entorno montañoso que la rodea, constituye una barrera natural que dificulta la libre circulación del viento y la dispersión de los contaminantes, por esto se considera una región propicia para la acumulación de los mismos. La elevada altitud de la ZMVM, ocasiona regularmente que los procesos de combustión operen deficientemente y emitan una mayor cantidad de contaminantes a la atmósfera; esto como consecuencia del bajo contenido de oxígeno del aire, el cual es aproximadamente 23% menor que al nivel del mar (Molina, 2002).

Por su posición continental entre dos océanos, los sistemas anticiclónicos que se registran son frecuentes en la región centro del país, manteniendo el cielo despejado y aumentan la capacidad fotoquímica de la atmósfera (SMA-GDF, 2006), éstos tienen la capacidad de generar grandes masas de aire inmóvil en áreas que pueden abarcar regiones mucho mayores que el Valle de México.

Asimismo, en esta zona ocurren frecuentes inversiones térmicas de tipo radiativas, causando un estancamiento temporal de las masas de aire en la atmósfera, reduciendo su capacidad de auto depuración y favoreciendo la acumulación de los contaminantes.

Es importante destacar que en los últimos veinte años, las condiciones meteorológicas y climáticas del Valle de México han cambiado significativamente, provocando que no se distingan radicalmente los cambios estacionales, sin embargo, aún se puede reconocer una estación climática húmeda (lluvias) y una estación seca que se caracteriza por presentar contenidos de baja humedad.

Por ser la zona con mayor desarrollo socioeconómico del país, existe una gran demanda de energía, empleada en el desarrollo de las actividades antropogénicas de esta metrópoli, lo cual propicia la generación de gases de efecto invernadero y carbón negro, responsables del calentamiento global.

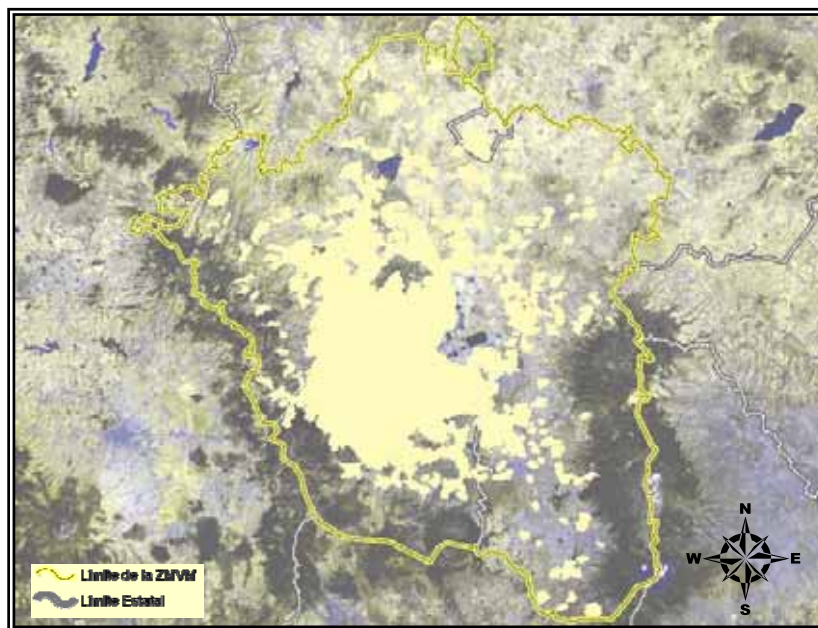
## 2.1 ZONA DE ESTUDIO

La ZMVM comprende a las 16 delegaciones del Distrito Federal y 59 municipios del Estado de México, publicados en la Gaceta Oficial del Distrito Federal en diciembre de 2006 (Ver Tabla 2.1). Abarca una superficie de 7,732 km<sup>2</sup>, de la cual el 19% lo cubre el Distrito Federal y el 81% restante, el Estado de México (Figura 2.1).

Los usos del suelo que predominan en la ZMVM se pueden clasificar en: bosques, pastizales, matorrales, agricultura y zona urbana. En particular, con respecto a la agricultura, las tierras de temporal son las que ocupan mayor superficie y se localizan desde las llanuras hasta las altas sierras.

Tabla 2.1 Delegaciones y municipios de la ZMVM, 2008

| Delegación          | Municipio               |                             |                             |
|---------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Álvaro Obregón      | Acolman                 | Huehuetoca                  | Temamatla                   |
| Azcapotzalco        | Amecameca               | Hueyoxtla                   | Temascalapa                 |
| Benito Juárez       | Apaxco                  | Huixquilucan                | Tenango del Aire            |
| Coyoacán            | Atenco                  | Isidro Fabela               | Teoloyucán                  |
| Cuajimalpa          | Atizapán de Zaragoza    | Ixtapaluca                  | Teotihuacán                 |
| Cuauhtémoc          | Atlautla                | Jaltenco                    | Tepetlaxtoc                 |
| Gustavo A. Madero   | Axapusco                | Jilotzingo                  | Tepetlixpa                  |
| Iztacalco           | Ayapango                | Juchitepec                  | Tepotztlán                  |
| Iztapalapa          | Coacalco de Berriozábal | La Paz                      | Tequixquiac                 |
| M. Contreras        | Cocotitlán              | Melchor Ocampo              | Texcoco                     |
| Miguel Hidalgo      | Coyotepec               | Naucalpan de Juárez         | Tezoyuca                    |
| Milpa Alta          | Cuautitlán              | Nextlalpan                  | Tlalmanalco                 |
| Tláhuac             | Cuautitlán Izcalli      | Nezahualcóyotl              | Tlalnepantla de Baz         |
| Tlalpan             | Chalco                  | Nicolás Romero              | Tonanitla                   |
| Venustiano Carranza | Chiautla                | Nopaltepec                  | Tultepec                    |
| Xochimilco          | Chicoloapan             | Otumba                      | Tultitlán                   |
|                     | Chiconcuac              | Ozumba                      | Valle de Chalco Solidaridad |
|                     | Chimalhuacán            | Papalotla                   | Villa del carbón            |
|                     | Ecatepec de Morelos     | San Martín de las Pirámides | Zumpango                    |
|                     | Ecatzingo               | Tecámac                     |                             |



Fuente: ©Metrópoli 2025 (<http://www.metropoli.org.mx>, agosto, 2009)

Figura 2.1 Mancha urbana de la Zona Metropolitana del Valle de México

## 2.2 POBLACIÓN DE LA ZMVM, 2008

En la ZMVM convergen las dos entidades más pobladas del país, como consecuencia del gran desarrollo de actividades económicas y sociales que se generan. El Estado de México es la entidad con mayor número de habitantes, seguida por el Distrito Federal. De acuerdo con las Proyecciones de la Población de México 2005-2030 (CONAPO, 2008), para el año 2008, la ZMVM registró un total de 19.7 millones de habitantes, el 45% (8.8 millones) pertenecen al Distrito Federal y el 55% restante (10.9 millones) residen en los 59 municipios conurbados del Estado de México.

## 2.3 CONSUMO DE ENERGÍA EN LA ZMVM

Las emisiones de GEI y carbón negro generadas en la ZMVM, resultan básicamente de la transformación de combustibles fósiles en energía, por ejemplo: en energía mecánica para la movilidad de los autos; en energía eléctrica para iluminación y uso de aparatos electrodomésticos; así como en vapor para los procesos industriales, entre otros.

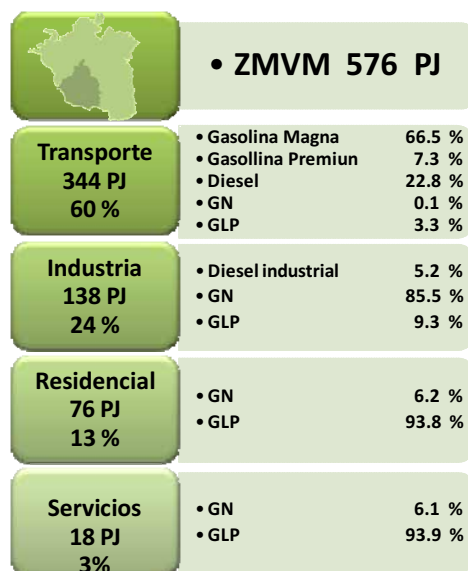
La energía destinada al consumo final de la ZMVM para el año 2008, se estimó en 576 Peta Joules (PJ), a diferencia del año 1990 que fue de 443 PJ, lo que representó un aumento del 30% del consumo en este periodo. En la Tabla 2.2 se muestra el consumo por tipo de combustible, en ella se observa que la gasolina (Magna y Premium) obtuvo el 44.1% de la demanda. En segundo lugar se tiene al gas natural, el cual participó con el 21.5% y el 34.3% restante fue cubierto por el gas Licuado de Petróleo y el Diesel.

Tabla 2.2 Consumo energético por tipo de combustible, ZMVM-2008

| Tipo de combustible           | Consumo anual          |                      | Energía disponible |            |
|-------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|------------|
|                               | [millones de barriles] | [millones de litros] | [PJ]               | [%]        |
| Gasolina Premium              | 5.0                    | 797                  | 25.2               | 4.4        |
| Gasolina Magna                | 45.6                   | 7,246                | 229.0              | 39.7       |
| Diesel Industrial bajo Azufre | 1.3                    | 201                  | 7.1                | 1.2        |
| PEMEX Diesel                  | 13.9                   | 2,211                | 78.6               | 13.6       |
| Gas Natural                   | 22,057.6               | 3,506,880            | 124.2              | 21.5       |
| Gas LP                        | 26.7                   | 4,244                | 112.3              | 19.5       |
| <b>Total ZMVM</b>             | <b>22,150</b>          | <b>3,521,579</b>     | <b>576</b>         | <b>100</b> |

Nota: No incluye turbosina, ya que la mayoría se consume fuera de la ZMVM y por encima de la altura de capa de mezclado.

El consumo promedio diario de los combustibles, se estimó en 314 mil barriles equivalentes de gasolina; es decir 50 millones de litros equivalentes de gasolina por día. En los sectores habitacional y servicios de la ZMVM, para satisfacer los requerimientos de cocción, iluminación y calentamiento; se utiliza en su mayoría gas licuado de petróleo y en menor proporción gas natural (Gráfica 2.1).



Gráfica 2.1 Demanda de energía por sector, ZMVM 2008



## 2.4 SECTOR INDUSTRIAL

La ZMVM ha experimentado un proceso de descentralización de la actividad industrial de transformación a partir de los últimos años de la década de 1980. Este proceso fue estimulado por los gobiernos, en virtud de los peligrosos niveles de contaminación del aire que se alcanzaron en esos años, así como a los problemas urbanos derivados de la alta concentración demográfica (SEDECO-DF, 2009). No obstante las emisiones industriales ubicadas en la ZMVM, siguen impactando significativamente la calidad del aire y esto se ve reflejado en el alto consumo energético de este sector, que en el año 2008 demandó 138 PJ. Ver Tabla 2.3

18

Tabla 2.3 Consumo energético industrial, ZMVM-2008

| Tipo de combustible           | Consumo energético |              |
|-------------------------------|--------------------|--------------|
|                               | [PJ]               | [%]          |
| Diesel Industrial bajo azufre | 7.2                | 5.2          |
| Gas Natural                   | 118.0              | 85.5         |
| Gas LP                        | 12.8               | 9.3          |
| <b>Total</b>                  | <b>138.0</b>       | <b>100.0</b> |

## 2.5 COMERCIOS Y SERVICIOS

Las actividades comerciales y de servicios tienen una participación cada vez mayor en la economía nacional y se han concentrado en zonas urbanas. Parte de su explicación proviene de los flujos migratorios campo-ciudad y ciudad-ciudad, además de la débil capacidad de respuesta de las actividades industriales para absorber la sobreoferta de mano de obra. El resultado entonces, viene siendo la terciarización de esta economía urbana y con un gran sector informal en constante crecimiento, en el cual no hay prestaciones salariales, ni contribuciones fiscales.

Con base en el Sistema Empresarial Mexicano (SIEM), se sabe que al 2008 la ZMVM concentraba 259,811 establecimientos registrados, el 95% se dedicaba al sector comercial y de servicios y de éstos, el 94% se clasificaban como micro empresas.

La demanda de energía obtenida de la quema de combustibles fósiles de este sector en el año 2008, fue de 17.5 PJ, cubierta en su mayoría por el gas licuado de petróleo (94%). Ver Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Consumo energético del sector servicios, ZMVM 2008

| Tipo de combustible | Consumo energético |            |
|---------------------|--------------------|------------|
|                     | [PJ]               | [%]        |
| Gas Natural         | 1.1                | 6          |
| Gas LP              | 16.4               | 94         |
| <b>Total</b>        | <b>17.5</b>        | <b>100</b> |

## 2.6 SECTOR HABITACIONAL

La vivienda, además de tener un lugar relevante en el desarrollo urbano de la ZMVM, representa uno de los sectores con mayor consumo de gas LP, para realizar las actividades internas cotidianas como la cocción de alimentos, el calentamiento de agua, así como de grandes cantidades de energía eléctrica para iluminación y uso de electrodomésticos.

En el año 2008, la ZMVM registró más de cinco millones de viviendas, de las cuales, el 47% (2,377,184) pertenecen al Distrito Federal y el 53% restante (2,650,729) a los 59 municipios conurbados del Estado de México (CONAPO, 2008). En promedio, el 98% de las viviendas ubicadas en la ZMVM cuenta con electricidad y consumen algún tipo de combustible, para satisfacer sus necesidades. Referente al consumo de combustible del año 2008, este sector consumió aproximadamente 76 PJ; utilizando gas licuado de petróleo y gas natural en un 94% y un 6% respectivamente (Ver Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Consumo energético del sector habitacional, ZMVM 2008

| Tipo de combustible | Consumo energético |              |
|---------------------|--------------------|--------------|
|                     | [PJ]               | [%]          |
| Gas Natural         | 4.7                | 6.2          |
| Gas LP              | 71.0               | 93.8         |
| <b>Total</b>        | <b>75.7</b>        | <b>100.0</b> |

## 2.7 MEDIOS DE TRANSPORTE

### Masivo

En cuanto a transporte masivo se refiere, existen diversos medios de transporte en la ZMVM, entre ellos, el Sistema de Transporte Colectivo–Metro (STC-M), que es la columna vertebral del transporte en esta metrópoli; cuenta con 11 líneas y 175 estaciones. Debido a la demanda ciudadana, el gobierno capitalino impulsó el proyecto de construcción de la nueva línea 12, que contará con un total de 24 km, conectará al sur-oriente desde la delegación Tláhuac con el poniente en la delegación Álvaro Obregón. Se estima que ocupará el cuarto lugar de la Red en traslado de pasajeros (STC-M, 2009).

Al metro se articulan en diferentes estaciones, el servicio de la Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal (RTP) que presta sus servicios de transporte en autobús en 88 rutas, con un promedio de 260 mil pasajeros cada día. Además, el GDF administra el Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal (STE-DF), que se encarga de la operación de las quince líneas de trolebuses, y el Tren Ligero de la Ciudad de México (RTP y STE, 2009).

Por otra parte, el GDF creó el organismo público descentralizado *Metrobús*, el cual cuenta actualmente con 2 corredores, la primera línea de Indios Verdes a El caminero, sobre la avenida Insurgentes, y la línea 2, que va de la estación Tepalcates en el oriente de la Ciudad a Tacubaya en el poniente, recorriendo el Eje 4 Sur (Metrobús, 2009).

En el territorio del Estado de México se está construyendo una ruta de autobuses biarticulados denominada Mexibús que partirá de Tecámac a Ciudad Azteca y además, entró en operación el primer sistema ferroviario suburbano de pasajeros, el Tren Suburbano, que recorre en sólo 25 minutos, de Huehuetoca a la estación Buenavista,

Aunado a los modos de transporte anteriores, en la ZMVM existe una sólida flota de autobuses, taxis y microbuses urbanos y suburbanos; los cuales están organizados en casi un centenar de rutas concesionadas. Cabe mencionar que de aproximadamente 22 millones de viajes que se llevan a cabo diariamente en la ZMVM, dos terceras partes se realizan en transporte público (GDF, INEGI y GEM, 2007).

## Particular

La falta de una mayor cobertura y eficiencia del transporte público masivo en la ZMVM, ha ocasionado que la flota vehicular de uso particular continúe creciendo rápidamente. Los autos particulares en el año 2008, representan el 81% de las unidades destinadas al transporte de personas (3.6 millones de vehículos).

En el presente inventario, el sector transporte registró un consumo de 344.5 PJ, que representan el 60% de la demanda total de energía, del cual la gasolina contribuye con el 74% y el diesel con 23%, siendo los principales combustibles utilizados. Ver Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Consumo energético del sector transporte, ZMVM 2008

| Tipo de combustible     | Consumo energético |              |
|-------------------------|--------------------|--------------|
|                         | [PJ]               | [%]          |
| Gasolina Magna          | 229                | 66.5         |
| Gasolina Premium        | 25.2               | 7.3          |
| PEMEX diesel            | 78.6               | 22.8         |
| Gas Natural Comprimido  | 0.4                | 0.1          |
| Gas Licuado de Petróleo | 11.3               | 3.3          |
| <b>Total</b>            | <b>344.5</b>       | <b>100.0</b> |

Los desarrollos tecnológicos en los vehículos recientes, han dado como resultado que sus procesos de combustión demanden menos combustible, sin embargo, la generación de gases de efecto invernadero se ha incrementado debido al constante aumento de la flota vehicular y por consiguiente, del aumento de la demanda energética en este sector.

### 3. INVENTARIO DE EMISIONES DE GEI Y CARBÓN NEGRO

METANO  
DIOXIDO DE CARBONO  
ÓXIDO NITROSO



De acuerdo con la Cuarta Comunicación Nacional, presentada por México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Inventario Nacional de Emisiones 1990-2006; en el año 2006, nuestro país emitió 711.6 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono (ton eq. CO<sub>2</sub>), ubicándose en el lugar 12 entre los países con mayores emisiones, generadas por la quema de combustibles fósiles, a nivel mundial (SEMARNAT-INE, 2009). Con el dato anterior y considerando el presente inventario 2008, se estima que la ZMVM aporta el 7.2% de las emisiones nacionales de GEI, con aproximadamente 51.5 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.

Los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y los estudios de cambio climático se han enfocado generalmente a los principales gases compuestos que son: el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Sin embargo, recientemente el carbón negro del material particulado, ha sido identificado por su participación en el calentamiento global, además de ser un contaminante tóxico.

A continuación se describen brevemente los cuatro compuestos que se incluyen en el presente inventario de emisiones.

### Dióxido de Carbono

Se libera principalmente por la respiración y la combustión de compuestos con carbono. Aunque es generado de forma natural y por las actividades antropogénicas, las concentraciones de este gas en la atmósfera terrestre se han incrementado a nivel mundial, debido a las actividades realizadas dentro de las grandes ciudades, en particular, por la quema de combustibles.

### Metano

Es generado en su mayoría por la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas, se genera principalmente en los rellenos sanitarios y en menor proporción por la quema de combustibles fósiles. Por la capacidad de este gas para retener la radiación infrarroja y potenciar el efecto invernadero en la atmósfera, se tiene que 1 kilogramo de CH<sub>4</sub> equivale a 25 kilogramos de CO<sub>2</sub>.

### Óxido Nitroso

En la ZMVM, el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) se genera en los procesos antropogénicos que incluyen la combustión del gas natural en las industrias manufactureras y de generación de energía eléctrica, así como por la combustión de gasolina y diesel en los motores de combustión interna. El potencial de calentamiento<sup>4</sup> para 1 kilogramo de N<sub>2</sub>O es de 298 kilogramos equivalentes de CO<sub>2</sub>.

<sup>4</sup> Índice que describe las características radiativas de los gases de efecto invernadero bien mezclados y que representa el efecto combinado de los diferentes tiempos que estos gases permanecen en la atmósfera y su eficiencia relativa en la absorción de radiación infrarroja saliente. Este índice se aproxima el efecto de calentamiento integrado en el tiempo de una masa-unidad de determinados gases de efecto invernadero en la atmósfera actual, en relación con una unidad de dióxido de carbono (IPCC, 2001).

### Carbón negro (CN)

En la mayoría de los análisis de carbón negro se reconocen algunas ambigüedades acerca de la definición de este contaminante (Battye *et al.*, 2002). El carbón en el material particulado se encuentra en varias formas y se divide básicamente en tres: el carbón orgánico (OC), un componente refractario conocido como carbono elemental (EC) y el ión carbonato (CO<sub>3</sub>). Para propósitos de cambio climático y de inventario de emisiones, el CN se define como la fracción de material particulado que absorbe luz.

De manera general y para efecto de emisiones, se puede decir que el carbón negro es equivalente al carbón elemental (Battye *et al.*, 2002 y Reisinger *et al.*, 2007). Además, en términos de ciencias atmosféricas, el carbón elemental también es conocido como la fracción de carbón que es oxidado por procesos de combustión y generalmente, es referido como parte de las partículas menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>), debido a esto, es que muchas veces se le conoce como hollín.

El carbón negro se considera carcinogénico pues contiene compuesto tóxicos y metales (Páramo, 2009), tiene un potencial de calentamiento de 460 kg equivalentes de CO<sub>2</sub> (ICCT<sup>5</sup>, 2009), sin embargo, también presenta un forzamiento radiativo negativo, al ser considerado un aerosol primario (IPCC, 2007).

### Emisiones totales de GEI y carbón negro de la ZMVM

Las emisiones de gases de efecto invernadero y de carbón negro, ascienden a 52.2 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>. En esta sección sólo se describirán las emisiones de los gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) y las emisiones de carbón negro se analizarán por separado, toda vez que no es un GEI.

En la Zona Metropolitana del Valle de México en el año 2008, se generaron 43.7 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 291 mil toneladas de metano (CH<sub>4</sub>) y 1,500 toneladas de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Dichas emisiones son generadas básicamente por el consumo de energéticos (gasolinas, diesel, gas natural y gas licuado de petróleo), así como por la descomposición de la basura en los rellenos sanitarios.

Tabla 3.1 Emisiones totales de GEI, ZMVM, 2008

| Sector               | Emisiones de GEI<br>[ton /año] |                 |                  |
|----------------------|--------------------------------|-----------------|------------------|
|                      | CO <sub>2</sub>                | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O |
| Industrial           | 14,805,764                     | 351             | 53               |
| Comercial-servicios  | 1,096,550                      | 24              | 2                |
| Habitacional         | 4,686,980                      | 141             | 7                |
| Transporte carretero | 22,290,505                     | 3,080           | 1,411            |
| Otras fuentes*       | 889,249                        | 287,501         | 27               |
| <b>Total</b>         | <b>43,769,048</b>              | <b>291,097</b>  | <b>1,500</b>     |

\*Incluye operación de aeronaves, locomotoras (foráneas/patio), terminales de autobuses, distribución y almacenamiento de gas LP, incendios forestales y rellenos sanitarios.

<sup>5</sup> The International Council on Clean Transportation. El valor de potencial de calentamiento es una estimación del IPCC, sin embargo no es oficial ya que no fue publicado.

### 3.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO UTILIZADA

La metodología empleada para el cálculo de las emisiones de GEI y el manejo de incertidumbre del presente inventario, se basó en la establecida por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y su panel de expertos, en:

- *Directrices para los inventarios nacionales de Gases de Efecto Invernadero (IPCC, 2006).*
- *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre, en los inventarios nacionales de Gases de Efecto Invernadero (IPCC, 2000).*

Para el caso de las emisiones de carbón negro, estas fueron estimadas con base en perfiles de especiación de las  $PM_{2.5}$  (U. S. EPA, 2009 y Batty y Boyer, 2002).

25

### 3.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE EMISIONES

La distribución espacial de las emisiones tiene varias aplicaciones, permite localizar los sectores que generan mayor cantidad de emisiones y ubicar áreas prioritarias de atención, ayuda a la planeación del uso del suelo y el establecimiento y/o reubicación de fuentes contaminantes, además de ser el insumo base para la generación de escenarios en los modelos de calidad del aire.

Para el presente Inventario de Emisiones, la distribución espacial se realizó en una malla de celdas de 1km x 1km, donde se ubicaron 4,772 fuentes puntuales; para el caso de las fuentes de área, éstas se distribuyeron con base en los AGEBS<sup>6</sup> en dichas celdas. Las principales calles y avenidas se intersectaron con la malla para distribuir las emisiones de las fuentes móviles. Por último, se utilizó el uso de suelo y tipo de vegetación en cada celda, para el caso de las emisiones de las fuentes naturales.

Lo anterior se realizó con cartografía digital<sup>7</sup> en un sistema de información geográfica y para fines de visualización, se realizó una interpolación con los valores de las emisiones por celda (ver Mapa 3.1 de equivalentes de  $CO_2$ . y Mapa 3.2 de carbón negro).

Toda vez que la emisión de  $CO_2$  está directamente relacionada con la actividad vehicular y en menor proporción con la industrial, se observa que la región central de la ZMVM, es donde se presenta mayor cantidad de emisiones. Otros puntos que sobresalen son las zonas industriales de Azcapotzalco, Tlalnepantla y Naucalpan, teniendo a la industria del papel, la alimenticia y la de fabricación de productos metálicos, como las responsables de dichas emisiones.

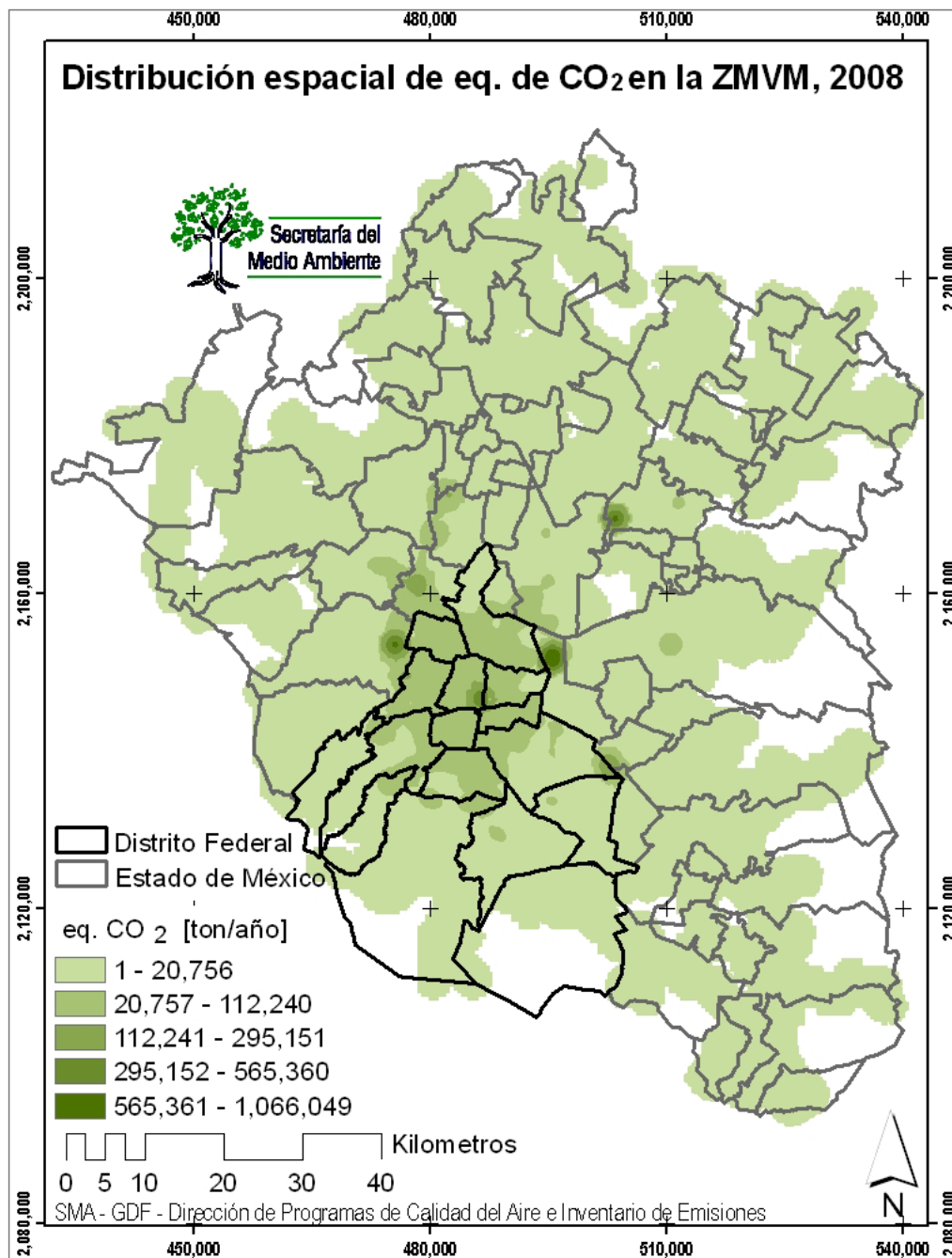
En el caso del Estado de México, la generación de energía eléctrica es la más emisora del sector industrial y en el mapa se puede observar su ubicación en el municipio de Acolman.

La delegación Álvaro Obregón y los municipios de La Paz y Nezahualcóyotl presentan altas emisiones debidas a los rellenos sanitarios, cabe mencionar que estos emiten el 99% de las emisiones de metano de la ZMVM.

<sup>6</sup> Área Geoestadística Básica del INEGI

<sup>7</sup> Cartografía digital de INEGI, SEMARNAT y cartografía creada en la propia Secretaría del Medio Ambiente del GDF.

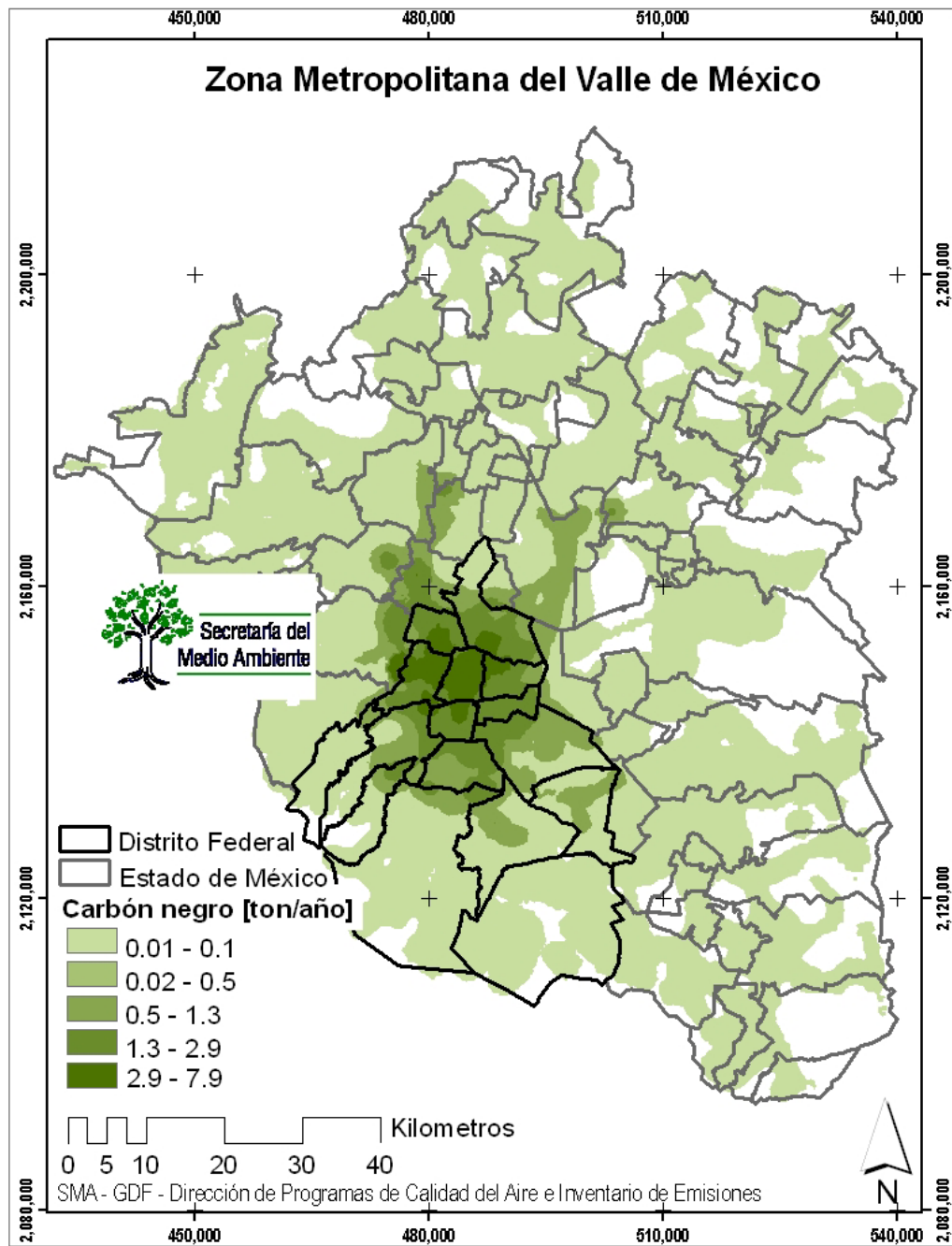




Mapa 3.1 Distribución espacial de la generación de CO<sub>2</sub>

Según estudios realizados en la atmósfera de la ZMVM<sup>8</sup>, en el centro y el suroeste de la Ciudad de México, el carbón negro representa del 10% al 20% de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> (Retama *et al.*, 2004 y Salcedo *et al.*, 2006). Asimismo, han determinado que los picos en la concentración de carbón orgánico coinciden con las horas de mayor tráfico vehicular y que además, muestra una correlación significativa con el azufre y el vanadio, ambos provenientes del diesel (Retama *et al.* 2004).

<sup>8</sup> Mediciones del ININ, SMA-GDF y Campaña de Medición MCMA-2003.



Mapa 3.2 Distribución espacial de carbón negro

Confirmando los estudios mencionados, en el Mapa 3.2 se puede observar que las emisiones más altas se concentran en el área central de la ZMVM, la cual presenta elevado flujo vehicular, las emisiones se van desvaneciendo conforme se alejan de las delegaciones centrales, y muestran un patrón de distribución conforme el tránsito vehicular de las principales calles y avenidas.

En el municipio de Tlalnepantla destacan las emisiones del sector industrial, en particular por la industria mineral no metálica, y en el municipio de Acolman, la industria de generación de energía eléctrica.

### 3.3 EMISIONES ANUALES EN EQUIVALENTES DE CO<sub>2</sub>

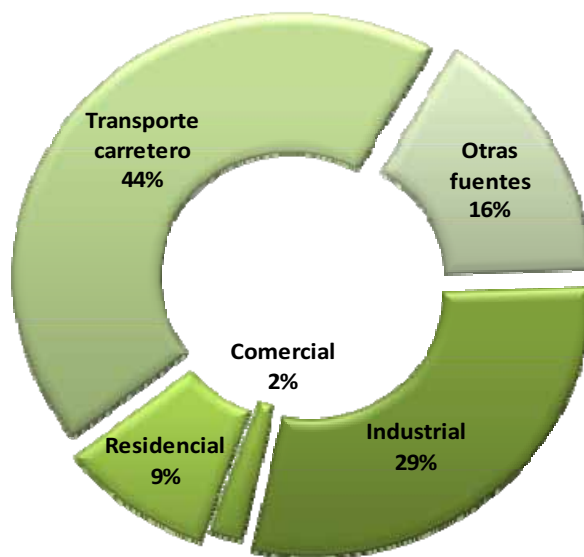
Utilizando los valores de la Tabla 3.1 y los potenciales de calentamiento global de cada uno de los gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub> = 1, CH<sub>4</sub> = 25, N<sub>2</sub>O = 298), se obtuvieron las emisiones en unidades equivalentes de CO<sub>2</sub> (Tabla 3.2). Durante el año 2008 en la ZMVM, se generaron 51.5 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>, correspondiendo el 85% al CO<sub>2</sub>, el 14% al CH<sub>4</sub> y el 1% al N<sub>2</sub>O.

Tabla 3.2 Emisiones totales de GEI expresadas en equivalentes de CO<sub>2</sub>, ZMVM-2008

| Sector               | Emisiones de GEI [ton eq. CO <sub>2</sub> /año] |                  |                  |                   |
|----------------------|---|------------------|------------------|-------------------|
|                      | CO <sub>2</sub>                                 | CH <sub>4</sub>  | N <sub>2</sub> O | Total             |
| Industrial           | 14,805,764                                      | 8,775            | 15,794           | <b>14,830,333</b> |
| Comercial-Servicios  | 1,096,550                                       | 608              | 596              | <b>1,097,754</b>  |
| Habitacional         | 4,686,980                                       | 3,525            | 2,086            | <b>4,692,591</b>  |
| Transporte carretero | 22,290,505                                      | 77,000           | 420,478          | <b>22,787,983</b> |
| Otras fuentes*       | 889,249   | 7,187,513        | 8,046            | <b>8,084,808</b>  |
| <b>Total</b>         | <b>43,769,048</b>                               | <b>7,277,421</b> | <b>447,000</b>   | <b>51,493,469</b> |

\*Incluye operación de aeronaves, locomotoras (foráneas/ patio), terminales de autobuses, distribución y almacenamiento de gas LP, incendios forestales y rellenos sanitarios.

Desglosando las emisiones por tipo de fuente (Gráfica 3.1), tenemos que la mayor cantidad de gases de efecto invernadero es generada por el sector transporte con 22.7 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>, lo que representa el 44% de las emisiones de la ZMVM, y por la industria con 14.8 millones, es decir el 29% del total, por último el sector habitacional y comercial aportan en conjunto el 11% de las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> (ver siguiente gráfica).



Gráfica 3.1 Emisiones de GEI por tipo de fuente

Las emisiones de GEI generadas por tipo de fuente y actividad se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Emisiones de GEI (desagregadas por sector), ZMVM-2008

| Sector  | Emisiones equivalentes de CO <sub>2</sub> [ton/año] |                  |                  |                   |
|---|---|------------------|------------------|-------------------|
|   | CO <sub>2</sub>                                     | CH <sub>4</sub>  | N <sub>2</sub> O | Total             |
| <b>Industrial</b>   | <b>14,805,764</b>                                   | <b>8,775</b>     | <b>15,794</b>    | <b>14,830,333</b> |
| Productos alimenticios, bebidas y tabaco  | 1,222,367   | 600              | 894              | 1,223,861         |
| Textiles, prendas de vestir e industria del cuero   | 378,317   | 250              | 298              | 378,865           |
| Industria de la madera y productos de madera  | 28,588  | 25               | N/S              | 28,613            |
| Papel y productos de papel, imprenta y editoriales  | 1,191,671   | 600              | 894              | 1,193,165         |
| Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico | 1,747,577   | 1,300            | 2,682            | 1,751,559         |
| Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón         | 2,522,018   | 575              | 894              | 2,523,487         |
| Industrias metálicas básicas  | 351,575   | 150              | 298              | 352,023           |
| Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión | 3,758,283   | 3,525            | 8,046            | 3,769,854         |
| Otras industrias manufactureras   | 51,804  | 25               | N/S              | 51,829            |
| Generación de energía eléctrica   | 3,553,564   | 1,600            | 1,788            | 3,556,952         |
| Fugas en instalaciones a GLP  | N/A   | N/S              | N/A              | N/S               |
| HCNQ en la combustión de GLP  | N/A   | 125              | N/A              | 125               |
| <b>Comercial-institucional</b>  | <b>1,096,550</b>                                    | <b>608</b>       | <b>596</b>       | <b>1,097,754</b>  |
| Combustión comercial-institucional  | 1,096,550   | 425              | 596              | 1,097,571         |
| Fugas en instalaciones a GLP  | N/A   | 8                | N/A              | 8                 |
| HCNQ en la combustión de GLP  | N/A   | 175              | N/A              | 175               |
| <b>Habitacional</b>   | <b>4,686,980</b>                                    | <b>3,525</b>     | <b>2,086</b>     | <b>4,692,591</b>  |
| Combustión habitacional   | 4,686,980   | 1,875            | 2,086            | 4,690,941         |
| Fugas en instalaciones a GLP  | N/A   | 850              | N/A              | 850               |
| HCNQ en la combustión de GLP  | N/A   | 800              | N/A              | 800               |
| <b>Transporte carretero</b>   | <b>22,290,505</b>                                   | <b>77,000</b>    | <b>420,478</b>   | <b>22,787,983</b> |
| Autos particulares  | 11,552,488  | 47,350           | 271,478          | 11,871,316        |
| Taxis   | 2,191,517   | 7,125            | 56,322           | 2,254,964         |
| Combis  | 535,185   | 2,800            | 18,774           | 556,759           |
| Microbuses  | 1,626,482   | 3,300            | 10,728           | 1,640,510         |
| Pick up   | 762,710   | 4,225            | 24,734           | 791,669           |
| Vehículos de menos de 3 ton   | 563,260   | 1,475            | 7,152            | 571,887           |
| Tractocamiones  | 1,337,160   | 150              | 1,490            | 1,338,800         |
| Autobuses   | 2,261,578   | 475              | 2,682            | 2,264,735         |
| Vehículos de más de 3 ton   | 1,061,440   | 4,025            | 21,754           | 1,087,219         |
| Motocicletas  | 380,453   | 6,075            | 5,364            | 391,892           |
| Metrobuses  | 18,232  | N/S              | N/S              | 18,232            |
| <b>Otras fuentes</b>  | <b>889,249</b>                                      | <b>7,187,513</b> | <b>8,046</b>     | <b>8,084,808</b>  |
| Operación de aeronaves  | 7,853   | 25               | N/S              | 7,878             |
| Locomotoras (foráneas/ patio)   | 70,865  | 100              | 8,046            | 79,011            |
| Terminales de autobuses   | 3,319   | 13               | N/S              | 3,332             |
| Distribución y almacenamiento de GLP  | N/A   | 150              | N/A              | 150               |
| Incendios forestales  | 18,555  | 1,300            | N/A              | 19,855            |
| Rellenos sanitarios   | 788,657   | 7,185,925        | N/A              | 7,974,582         |
| <b>Total</b>  | <b>43,769,048</b>                                   | <b>7,277,421</b> | <b>447,000</b>   | <b>51,493,469</b> |

HCNQ: Hidrocarburos no quemados

N/A: No Aplica

N/S: No Significativo

### 3.4 EMISIONES ANUALES DE CARBÓN NEGRO (CN)

Como se mencionó anteriormente, el carbón negro es un aerosol primario y se emite principalmente por procesos de combustión incompleta en la quema de combustibles fósiles y aunque presenta un forzamiento radiativo tanto positivo como negativo<sup>9</sup>, su potencial calorífico es 460 veces más potente que una cantidad equivalente de CO<sub>2</sub>. Asimismo, la emisión del carbón negro varía de acuerdo a la fuente que lo genera, al tipo de combustible, así como las estrategias de control utilizadas.

30

Con base en muestreos realizados en la ZMVM durante 1997, se determinó que las especies más abundantes en las PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, fueron el carbón orgánico, el carbón elemental, así como sulfatos y nitratos. Se estimó que el carbón negro representa en promedio, el 14% de las PM<sub>2.5</sub> en los sitios muestreados (Chow J., *et al.* 2001).

Estudios elaborados años después, han encontrado que el contenido de carbón negro en la ZMVM, oscila entre el 11 y 20% (Retama A., *et al.*, 2004, Chow J., *et al.* 2001 y Salcedo D., *et al.*, 2006). Sin embargo, hay que considerar que las proporciones de carbón negro en las partículas, dependen de la abundancia y tipo de fuentes contaminantes que se localicen en los sitios de muestreo, así como de los horarios de operación.

En el presente inventario, el carbón negro se estimó en 1,671 toneladas anuales, cabe destacar que el carbón negro del transporte carretero es el más contaminante, representando el 53% de sus respectivas emisiones de PM<sub>2.5</sub>. La tabla 3.4 presenta las emisiones de carbón negro en la ZMVM, desagregadas por sector contaminante y entidad.

---

<sup>9</sup> El forzamiento radiativo positivo favorece el calentamiento global (más energía recibida que emitida) y el forzamiento radiativo negativo produce enfriamiento (más energía perdida que recibida).

Tabla 3.4 Emisiones de carbón negro por sector y entidad, ZMVM-2008

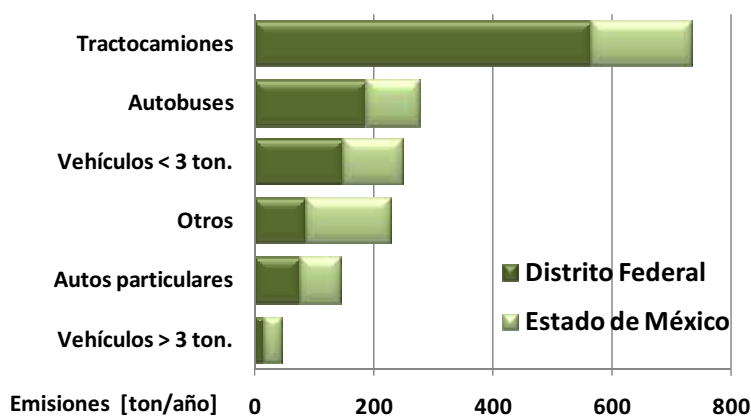
| Sector  | Emisiones [ton/año] |                  |              |
|---|---------------------|------------------|--------------|
|   | Distrito Federal    | Estado de México | ZMVM         |
| <b>Industrial</b>   | <b>7</b>            | <b>47</b>        | <b>54</b>    |
| Productos alimenticios, bebidas y tabaco  | 2                   | 3                | 5            |
| Textiles, prendas de vestir e industria del cuero   | 1                   | 1                | 2            |
| Industria de la madera y productos de madera  | N/S                 | N/S              | N/S          |
| Papel y productos de papel, imprenta y editoriales  | 1                   | 5                | 6            |
| Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico | 1                   | 5                | 6            |
| Productos minerales no metálicos. excluye los derivados del petróleo y del carbón         | N/S                 | 17               | 17           |
| Industrias metálicas básicas  | 1                   | 1                | 2            |
| Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión | 1                   | 2                | 3            |
| Otras industrias manufactureras   | N/S                 | N/S              | N/S          |
| Generación de energía eléctrica   | N/S                 | 13               | 13           |
| Fugas en instalaciones a GLP  | N/A                 | N/A              | N/A          |
| HCNQ en la combustión de GLP  | N/A                 | N/A              | N/A          |
| <b>Comercial-institucional</b>  | <b>2</b>            | <b>2</b>         | <b>4</b>     |
| Combustión comercial-institucional  | 2                   | 2                | 4            |
| Fugas en instalaciones a GLP  | N/A                 | N/A              | N/A          |
| HCNQ en la combustión de GLP  | N/A                 | N/A              | N/A          |
| <b>Residencial o habitacional</b>   | <b>7</b>            | <b>11</b>        | <b>18</b>    |
| Combustión habitacional   | 7                   | 11               | 18           |
| Fugas en instalaciones a GLP  | N/A                 | N/A              | N/A          |
| HCNQ en la combustión de GLP  | N/A                 | N/A              | N/A          |
| <b>Transporte carretero</b>   | <b>1,020</b>        | <b>490</b>       | <b>1,510</b> |
| Autos particulares  | 74                  | 70               | 144          |
| Taxis   | 18                  | 8                | 26           |
| Vagonetas y Combis  | N/S                 | 8                | 8            |
| Microbuses  | 1                   | 4                | 5            |
| Pick up   | 1                   | 10               | 11           |
| Vehículos de carga de hasta 3 ton.  | 15                  | 30               | 45           |
| Tractocamiones  | 562                 | 170              | 732          |
| Autobuses   | 187                 | 89               | 276          |
| Vehículos de carga de más de 3 ton.   | 148                 | 99               | 247          |
| Motocicletas  | 12                  | 2                | 14           |
| Metrobuses  | 2                   | N/A              | 2            |
| <b>Otras fuentes</b>  | <b>35</b>           | <b>50</b>        | <b>85</b>    |
| Operación de aeronaves  | 18                  | N/A              | 18           |
| Locomotoras (foráneas/ patio)   | 3                   | 12               | 15           |
| Terminales de autobuses   | 1                   | N/E              | 1            |
| Distribución y almacenamiento de GLP  | N/A                 | N/A              | N/A          |
| Incendios forestales  | 4                   | 3                | 7            |
| Incendios en estructuras  | 4                   | 5                | 9            |
| Caminos sin pavimentar  | 2                   | 17               | 19           |
| Erosión eólica  | 3                   | 13               | 16           |
| Rellenos sanitarios   | N/A                 | N/A              | N/A          |
| <b>Total</b>  | <b>1,071</b>        | <b>600</b>       | <b>1,671</b> |

HCNQ: Hidrocarburos no quemados  
 N/A: No Aplica  
 N/S: No Significativo

Las emisiones de carbón negro provienen en mayor medida del Distrito Federal y en particular, éstas son generadas por el transporte carretero, básicamente por las unidades pesadas a diesel, lo cual confirma la correlación que se ha encontrado en los estudios atmosféricos de la ZMVM, entre el carbón negro y las concentraciones de azufre en la atmósfera (Retama *et al.* 2004), ya que dichos vehículos son los principales emisores de SO<sub>2</sub>.

El Distrito Federal destaca por las emisiones de tractocamiones y de los autobuses, por ser las unidades a diesel las principales generadoras de carbón negro. En el caso del Estado de México, los principales emisores son los tractocamiones y los vehículos de carga mayores a tres toneladas, cabe mencionar que en la categoría de otros, sobresalen las emisiones del sector mineral no metálico y las del sector de generación de energía, con 17 y 13 toneladas anuales respectivamente.

32



Gráfica 3.2 Principales emisores de carbón negro

## 4. EMISIONES DE GEI Y CARBÓN NEGRO POR SECTOR

METANO  
DIOXIDO DE CARBONO  
ÓXIDO NITROSO





La mayor parte de las emisiones de GEI que se generaron, son resultado de la quema de combustibles fósiles. En el año 2008, la ZMVM consumió 576 PJ de energía, en el sector transporte, las emisiones provienen en su mayoría de la quema de gasolina, en el sector industrial del gas natural (GN) y en el sector comercial y residencial, del gas licuado de petróleo (GLP).

Durante la combustión de estos energéticos, el carbón y el hidrógeno contenido en ellos reaccionan con el oxígeno, transformando la energía química del combustible en calor, para ser utilizado directamente o convertirlo en energía mecánica o eléctrica; teniendo así que los productos de la combustión son principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O) y, en menor proporción emisiones de gases y partículas contaminantes.

La Tabla 4.1, muestra el consumo energético y emisiones por sector; asimismo, a continuación se presenta un análisis de las emisiones para los sectores industrial, comercial-servicios, habitacional y de transporte.

Tabla 4.1 Consumo energético y emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> por sector, ZMVM-2008

| Sector         | Consumo energético |            | Emisiones equivalentes de CO <sub>2</sub> |            |
|----------------|--------------------|------------|---|------------|
|                | [PJ/año]           | [%]        | [ton /año]                                | [%]        |
| Transporte     | 344.4              | 59.8       | 22,787,983                                | 44.3       |
| Industrial     | 137.6              | 23.9       | 14,830,333                                | 28.8       |
| Habitacional   | 76.5               | 13.3       | 4,692,591                                 | 9.1        |
| Servicios      | 17.5               | 3          | 1,097,754                                 | 2.1        |
| Otras fuentes* | N/S                | N/S        | 8,084,808                                 | 15.7       |
| <b>Total</b>   | <b>576</b>         | <b>100</b> | <b>51,493,469</b>                         | <b>100</b> |

\*Incluye operación de aeronaves, locomotoras (foráneas/patio), terminales de autobuses, distribución y almacenamiento de gas LP, fugas en instalaciones de GLP, hidrocarburos no quemados (HCNQ) en la combustión de gas LP, incendios forestales y rellenos sanitarios.

## 4.1 SECTOR INDUSTRIAL

Las emisiones del sector industrial de la ZMVM en el año 2008 fueron de 14.8 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>, de las cuales el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O, en conjunto representan el 0.2%. En la Tabla 4.2, se muestran las emisiones totales equivalentes de CO<sub>2</sub> y la contribución porcentual de cada subsector.

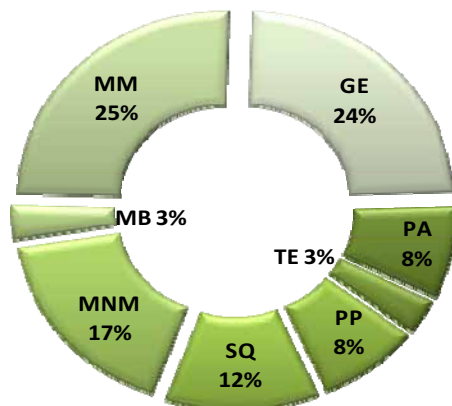
Tabla 4.2 Emisiones Industriales de GEI por combustión

| Clave | Subsector   | Emisiones equivalentes de CO <sub>2</sub> |            |
|-------|---|---|------------|
|       |   | [ton/año]                                 | [%]        |
| PA    | Productos alimenticios, bebidas y tabaco  | 1,223,861                                 | 8          |
| TE    | Textiles, prendas de vestir e industria del cuero   | 378,865                                   | 3          |
| PM    | Industria de la madera y productos de madera  | 28,613                                    | N/S        |
| PP    | Papel y productos de papel, imprenta y editoriales  | 1,193,165                                 | 8          |
| SQ    | Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico | 1,751,559                                 | 12         |
| MNM   | Productos minerales no metálicos  | 2,523,487                                 | 17         |
| MB    | Industrias metálicas básicas  | 352,023                                   | 3          |
| MM    | Productos metálicos, maquinaria y equipo  | 3,769,854                                 | 25         |
| OM    | Otras industrias manufactureras   | 51,829                                    | N/S        |
| GE    | Generación de energía eléctrica   | 3,556,952                                 | 24         |
|       | <b>Total</b>  | <b>14,830,208</b>                         | <b>100</b> |

N/S: No significativo.

Nota: También dentro del sector industrial, por fugas de gas licuado de petróleo (GLP) en instalación y accesorios, así como de hidrocarburos no quemados en la combustión (HCNQ) se generaron pérdidas de 7,396 m<sup>3</sup> de GLP, las cuales representan 125 toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.

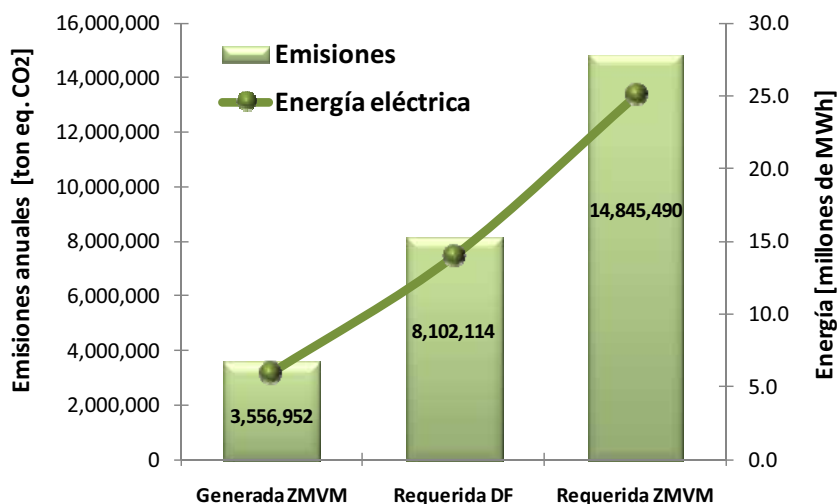
De las emisiones generadas por el sector industrial, algunas ramas muestran mayor contribución: en primer lugar se encuentra la fabricación de productos metálicos con un 25%; le sigue muy cerca la generación de energía eléctrica con una aportación del 24%; los productos minerales no metálicos ocupan el tercer lugar con el 17%, y el resto se distribuye como lo muestra la siguiente gráfica.



Gráfica 4.1 Contribución de emisiones en sector industrial

El sector eléctrico ubicado en la ZMVM utilizó 1,620 millones de m<sup>3</sup> de gas natural (GN) para generar aproximadamente 6 millones de MWh (Megawatts/hora) de energía eléctrica y emitió 3.5 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, el consumo energético real para la ZMVM fue de 24.8 millones de MWh, lo cual se satisface con 6,762 millones de m<sup>3</sup> de gas natural, es decir, en total se debieron de haber emitido 14.8 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> (Gráfica 4.2). Por lo tanto, se considera que para producir los 18.8 millones de MWh faltantes, se generaron emisiones en otras regiones del país (≈11.3 millones ton. eq. CO<sub>2</sub>).

Para el caso del Distrito Federal, éste tuvo un consumo energético de 13.5 millones de MWh, por lo tanto, si esta entidad produjera el total de su demanda energética, debería de emitir 8.1 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.



Gráfica 4.2 Emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> por el consumo de energía eléctrica

Con base en análisis anterior, si se contabilizaran las emisiones reales por la demanda de energía eléctrica de la ZMVM, las emisiones de este subsector se triplicarían, de 3.5 a 14.8 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>. Asimismo, esto representaría un aumento del 29% en las emisiones totales de GEI de la ZMVM.

### Carbón negro del sector industrial

En la ZMVM, las emisiones de carbón negro del sector industrial se estimaron en 54 toneladas. El Estado de México contribuye en mayor proporción (87%), debido a la gran cantidad de industrias que se localizan en esta entidad, junto con las plantas generadoras de energía eléctrica. Es importante destacar que estas emisiones industriales se generan en su mayoría por la quema de combustibles.

Entre los sectores industriales que resaltan por sus emisiones de carbón negro están, en primer lugar, el sector de fabricación de productos minerales no metálicos, que contribuye con el 31% de las emisiones industriales; la generación de energía eléctrica ocupa el segundo lugar con un 24% y la industria de sustancias químicas y del papel con 11% cada una.

## 4.2 SECTOR COMERCIAL Y DE SERVICIOS

Con base en el Sistema Empresarial Mexicano (SIEM), se sabe que al año 2008, la ZMVM concentraba 160,034 establecimientos; de éstos, el 95% se dedica al sector comercial/servicios y en su mayoría están clasificados como micro empresas. De acuerdo a la Clasificación Mexicana de Actividades y Productos (CMAP), este sector comprende la venta de bienes anteriormente procesados y manufacturados, así como los servicios.

Las emisiones de GEI que se producen en el sector comercial y de servicios son generadas por el consumo de energía eléctrica y de combustibles fósiles. A continuación se describen a detalle los consumos, usos y emisiones generadas por estos subsectores.

### 4.2.1 Emisiones por uso de combustibles

El sector comercial y de servicios tuvo una demanda energética por uso de combustibles de 17.5 PJ, de los cuales, el 94% se obtuvo por la quema de gas licuado de petróleo (GLP) y el restante 6% por el uso de gas natural. Las emisiones por dichos combustibles se muestran a continuación.

Tabla 4.3 Emisiones de GEI en el sector comercial y de servicios, ZMVM 2008

| Sector                         | Emisiones [ton /año] |                 |                  |
|--------------------------------|----------------------|-----------------|------------------|
|                                | CO <sub>2</sub>      | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O |
| Combustión Comercial-Servicios | 1,096,550            | 17              | 2                |
| Fugas en instalaciones a GLP   | N/A                  | 0.3             | N/A              |
| HCNQ en la combustión de GLP   | N/A                  | 7               | N/A              |
| <b>Comercial-Servicios</b>     | <b>1,096,550</b>     | <b>24</b>       | <b>2</b>         |

N/A: No Aplica

La demanda de este sector fue de 30 millones de m<sup>3</sup> de gas natural y de 622,731 m<sup>3</sup> del gas licuado de petróleo. En lo que se refiere al GLP, por fugas en instalación y accesorios e hidrocarburos no quemados (HCNQ), se perdieron 9,774 m<sup>3</sup>, equivalentes a 0.2 PJ, por lo que el consumo para la combustión se redujo a 612,957 metros cúbicos (Tabla 4.4).

Tabla 4.4 Distribución de GLP y GN para el sector comercial y de servicios, ZMVM 2008

| Entidad                                    | Combustible [m <sup>3</sup> /año] |                   |
|--|-----------------------------------|-------------------|
|  | GLP                               | GN                |
| Distribución                               | 622,731                           | 30,388,856        |
| Fugas por instalaciones, accesorios e HCNQ | 9,774                             | N/A               |
| <b>Total consumido</b>                     | <b>612,957</b>                    | <b>30,388,856</b> |

N/A: No Aplica

La tabla siguiente muestra las emisiones por combustible en estos sectores:

Tabla 4.5 Emisiones de GEI en el sector comercial y de servicios

| Combustible  | Consumo (PJ/año) | Emisiones [ton equivalentes de CO <sub>2</sub> /año] |                 |                  |                  |
|--------------|------------------|--|-----------------|------------------|------------------|
|              |                  | CO <sub>2</sub>                                      | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | Total            |
| Gas LP       | 16.4             | 1,034,840  | 580             | 563              | 1,035,983        |
| Gas Natural  | 1.1              | 61,710   | 28              | 33               | 61,771           |
| <b>Total</b> | <b>17.5</b>      | <b>1,096,550</b>                                     | <b>608</b>      | <b>596</b>       | <b>1,097,754</b> |

## 4.2.2 Emisiones por uso de energía eléctrica

El sector comercial y de servicios consume energía eléctrica para desempeñar diversas actividades dependiendo de su rama económica. Con base en las estadísticas de consumo de energía eléctrica (SENER, 2008), se estima que la ZMVM destinó el 7.8% de las ventas (1.9 millones de MWh) para uso comercial y el 3.8% (943 mil MWh) para servicios (Ver Tabla 4.6).

Tabla 4.6 Consumo de energía eléctrica para el sector comercial-servicios, ZMVM 2008

| Entidad          | Consumo [MWh]    |                |                  |
|------------------|------------------|----------------|------------------|
|                  | Comercios        | Servicios      | Total            |
| Distrito Federal | 1,057,000        | 515,000        | 1,572,000        |
| Estado de México | 879,993          | 428,826        | 1,308,819        |
| <b>ZMVM</b>      | <b>1,936,993</b> | <b>943,826</b> | <b>2,880,819</b> |

Fuente Elaboración propia con datos de SENER, 2008c.

En la Tabla 4.7, se muestran las emisiones estimadas por la generación de energía eléctrica en el sector comercial y de servicios, las cuales ascienden a 1.8 millones de toneladas equivalentes de CO.

Tabla 4.7 Emisiones por consumo de energía eléctrica en el sector comercial y de servicios

| Entidad          | Emisiones [ton. equivalentes de CO <sub>2</sub> /año] |                |                  |
|------------------|---|----------------|------------------|
|                  | Comercios   | Servicios      | Total            |
| Distrito Federal | 689,270   | 335,832        | 1,025,102        |
| Estado de México | 573,843   | 279,637        | 853,480          |
| <b>Total</b>     | <b>1,263,113</b>                                      | <b>615,469</b> | <b>1,878,582</b> |

### Carbón negro del sector comercial y de servicios

La contribución de éste sector a las emisiones de carbón negro no es significativa (4 toneladas), y cabe destacar que dichas emisiones están relacionadas principalmente al consumo de GLP.

### 4.3 SECTOR HABITACIONAL

Considerando sólo los combustibles fósiles, el sector residencial demandó 75 PJ/año para satisfacer las necesidades de cocción de alimentos y calentamiento de agua<sup>10</sup>. El principal combustible empleado para generar esta energía fue el gas licuado de petróleo (93.7%) y en menor cantidad el gas natural comprimido (6.3%). Asimismo, es importante mencionar que el sector residencial tiene un consumo importante de energía eléctrica, que se emplea para iluminación, uso de electrodomésticos y de aparatos electrónicos.

40

Por lo anterior, tenemos que en los hogares existen dos grupos de actividades que generan emisiones de gases de efecto invernadero: la quema de gas licuado de petróleo (GLP) o gas natural comprimido (GNC) en estufas y calentadores, así como el consumo de energía eléctrica. A continuación se presentan a detalle las emisiones de GEI de acuerdo con la clasificación mencionada.

#### 4.3.1 Emisiones por uso de combustibles

En este sector, los combustibles son empleados en el calentamiento de agua (para higiene personal) y en la cocción de alimentos, quemándose en estufas y calentadores de agua (boilers). Durante este proceso de combustión se generan emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, las cuales se presentan en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8 Emisiones de GEI en el sector habitacional, ZMVM 2008

| Sector                       | Emisiones [ton /año] |                 |                  |
|------------------------------|----------------------|-----------------|------------------|
|                              | CO <sub>2</sub>      | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O |
| Combustión habitacional      | 4,686,980            | 75              | 7                |
| Fugas en instalaciones a GLP | N/A                  | 34              | N/A              |
| HCNQ de GLP                  | N/A                  | 32              | N/A              |
| <b>Habitacional</b>          | <b>4,686,980</b>     | <b>141</b>      | <b>7</b>         |

N/A: No Aplica

En el año 2008, el gas licuado de petróleo fue el principal combustible empleado en el sector residencial y la ZMVM demandó aproximadamente 2.7 millones de metros cúbicos. Por fugas en instalaciones e HCNQ, se presentaron pérdidas de alrededor del 4% del consumo, lo cual equivale a 104,658 m<sup>3</sup>, quedando un consumo final para la combustión de 2.6 millones. En cuanto al gas natural comprimido, se registró un consumo de 133 millones de m<sup>3</sup>. Aunque este consumo es mucho mayor que el de GLP, en energía representa sólo 5 PJ, debido a que el gas natural tiene un poder calorífico inferior, de aproximadamente 621 veces menor al del GLP.

<sup>10</sup> Estimación basada en datos de Secretaría de Energía, 2008.

Las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas y los consumos de combustible en el sector habitacional, se presentan en la Tabla 4.9 y Tabla 4.10.

Tabla 4.9 Distribución de GLP y GN para el sector habitacional, ZMVM 2008

| Entidad                                    | Combustible [m <sup>3</sup> /año] |                    |
|--|-----------------------------------|--------------------|
|  | GLP                               | GN                 |
| Distribución                               | 2,702,418                         | 133,710,966        |
| Fugas por instalaciones, accesorios e HCNQ | 104,658                           | N/A                |
| <b>Total consumido</b>                     | <b>2,597,760</b>                  | <b>133,710,966</b> |

Fuente: Elaboración propia con datos de Prospectiva de Gas Licuado de Petróleo 2007-2016, SENER; PEMEX Gas y Petroquímica básica.  
N/A: No Aplica

Tabla 4.10 Emisiones de GEI generadas en el sector habitacional (sólo combustión)

| Combustible  | Emisiones equivalentes de CO <sub>2</sub> [ton /año] |                 |                  |                  |
|--------------|--|-----------------|------------------|------------------|
|              | CO <sub>2</sub>                                      | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | Total            |
| Gas LP       | 4,423,310  | 1,750           | 2,086            | 4,427,146        |
| Gas Natural  | 263,670  | 125             | N/S              | 263,795          |
| <b>Total</b> | <b>4,686,980</b>                                     | <b>1,875</b>    | <b>2,086</b>     | <b>4,690,941</b> |

N/S: No Significativo

Debido a que el GLP contiene en su composición gas metano (PEMEX Gas y Petroquímica Básica, 2008)<sup>11</sup>, por las fugas en instalaciones e HCNQ se emiten además, 66 toneladas de CH<sub>4</sub> (1,650 ton. eq.CO<sub>2</sub>). A continuación se muestran las emisiones totales generadas en la ZMVM por entidad, expresadas en toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.

Tabla 4.11 Emisiones de GEI generadas por uso de combustibles en el sector habitacional

| Combustible      | Consumo [PJ/año] | Emisiones equivalentes de CO <sub>2</sub> [ton /año] |                 |                  |                  |
|------------------|------------------|--|-----------------|------------------|------------------|
|                  |                  | CO <sub>2</sub>                                      | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | Total            |
| Distrito Federal | 29.6             | 1,894,410  | 1,525           | 894              | 1,896,829        |
| Estado de México | 44.0             | 2,792,570  | 2,000           | 1,192            | 2,795,762        |
| <b>Total</b>     | <b>73.6</b>      | <b>4,686,980</b>                                     | <b>3,525</b>    | <b>2,086</b>     | <b>4,692,591</b> |

### Emisiones sólo por calentamiento y cocción

El sector habitacional para el año 2008, tuvo un consumo de energía por combustibles de 73.6 PJ, de los cuales, el 46% se destinó al calentamiento de agua y el 54% restante se empleó para la cocción de alimentos. A continuación se muestran a detalle los consumos de energía por actividad en el sector habitacional, así como las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> generadas (Tabla 4.12).

<sup>11</sup> Reporte de calidad del GLP comercializado.



Tabla 4.12 Consumo de combustibles y emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> por actividad

| Usos                  | Consumo     | Emisiones                      |
|-----------------------|-------------|--------------------------------|
|                       | (PJ/año)    | [ton eq. CO <sub>2</sub> /año] |
| Cocción de alimentos  | 39.7        | 2,533,108                      |
| Calentamiento de agua | 33.9        | 2,157,833                      |
| <b>Total</b>          | <b>73.6</b> | <b>4,690,941</b>               |

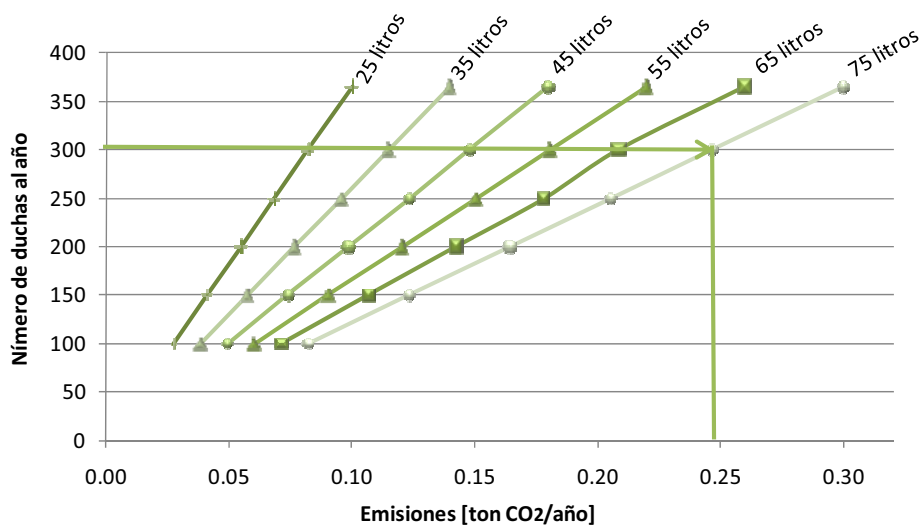
### Escenarios de reducción de emisiones en el calentamiento de agua

42

De acuerdo con Procalsol<sup>12</sup> se requieren en promedio 175 KJ de energía para incrementar 25°C cada litro de agua que se utiliza en una ducha<sup>13</sup>, por lo que se estima que los 34 PJ que se demandan para esta actividad, equivalen a que cada habitante de la ZMVM, en promedio, se baña 4 veces a la semana y emplea 45 litros en cada ducha.

La estimación anterior sólo indica un valor promedio, por lo que los hábitos en el aseo personal pueden variar (número de duchas y volumen de agua empleado) y, en consecuencia, las emisiones potenciales de GEI de cada habitante pueden ser diferentes.

En la Gráfica 4.3, se muestran las emisiones de GEI asociadas al número de duchas anuales y al volumen de agua caliente requerido. Por ejemplo, una persona que se ducha 300 veces al año y que emplea en cada una 75 litros de agua caliente, está asociada a una emisión de 246 kilogramos equivalentes de CO<sub>2</sub>, generados al calentar los 22,500 litros de agua utilizados.



Gráfica 4.3 Número de duchas al año VS emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub>

Tomando como base el análisis anterior, a continuación se plantean algunos escenarios y recomendaciones para contribuir a la reducción de emisiones por calentamiento de agua.

<sup>12</sup> Programa para la promoción de calentadores solares de agua en México, 2007.

<sup>13</sup> Se considera que la temperatura del agua proveniente de la red potable es de ≈15 °C (GODF, 2005) y la temperatura del agua de ducha es de ≈38-45 °C (TER, 2009)

## Escenario 1

Si una persona se ducha 6 días a la semana (313 días al año) y emplea 65 litros en cada una, consumirá anualmente 3,500 MJ de energía y estará asociado a una emisión de 0.22 toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>. Si un 20% de la población presentara los mismos hábitos, se generarían las siguientes emisiones (Ver tabla 4.13).

Tabla 4.13 Consumo de energía y emisiones generadas (escenario 1)

| Población ZMVM       | Consumo energético [TJ/año] | Emisiones [ton eq. de CO <sub>2</sub> /año] |
|----------------------|-----------------------------|---|
| 1 habitante          | 3.6                         | 0.22  |
| 20 % de la población | 14,040                      | 880,521                                     |

Para este escenario se propone disminuir el tiempo de ducha, ahorrar agua y en consecuencia, el combustible utilizado y las emisiones generadas. Considerando el mismo porcentaje de la población (20%), los mismos días de aseo, y que ahora el consumo de agua por ducha disminuye de 65 a 45 litros, se tendría una reducción de GEI de 270 mil toneladas. Ver Tabla 4.14.

Tabla 4.14 Reducción de emisiones posibles por ducha (escenario 1)

| 20% de la población en la ZMVM     |                        | Consumo de energía demandado (TJ/año) | Emisiones generadas [ton eq. CO <sub>2</sub> /año] |
|------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--|
| 6 duchas/semana<br>313 días al año | Consumo (Litros/ducha) |                                       |  |
|                                    | 65                     | 14,040                                | 880,521  |
|                                    | 45                     | 9,720                                 | 609,592  |
| <b>Reducción</b>                   |                        | <b>4,320</b>                          | <b>270,930</b>                                     |
| <b>Porcentaje de reducción</b>     |                        | <b>30.8%</b>                          |  |

## Escenario 2.

Mediante el uso de Calentadores Solares de Agua (CSA), también se pueden reducir emisiones, pues la energía solar logra elevar la temperatura del agua a 30 °C y hasta 60 °C (ANES, 2006)<sup>14</sup>.

Suponiendo que la temperatura del agua que se utiliza para bañarse es de 45° y que en promedio, los calentadores solares proporcionan agua caliente a 40° C (Procalsol, 2006); la sustitución total del sistema tradicional por calentadores solares propiciaría, bajo estas condiciones, un ahorro de energía y una reducción de emisiones del 89% (Tabla 4.15).

<sup>14</sup> Asociación Nacional del Energía Solar

Tabla 4.15 Reducción de emisiones por el uso de CSA (escenario 2)

| Porcentaje de población con CSA [%] | Reducción de GEI por usar CSA  |           |
|-------------------------------------|--------------------------------|-----------|
|                                     | [ton eq. CO <sub>2</sub> /año] | %         |
| 25                                  | 479,518                        | 22        |
| 50                                  | 959,037                        | 44        |
| 75                                  | 1,438,555                      | 67        |
| <b>100</b>                          | <b>1,918,074</b>               | <b>89</b> |

Otras alternativas para contribuir a la reducción del consumo de combustibles fósiles y de emisiones son: la instalación de regaderas eficientes; el uso de calentadores a GLP llamados "de paso", que son más eficientes en el consumo de gas y sólo encienden cuando se les demanda agua; entre otros (ANES, 2006).

44

### 4.3.2 Emisiones por uso de energía eléctrica

En el año 2008, el consumo de energía eléctrica para el sector habitacional ubicado en la ZMVM, se estimó en más de 5.4 millones de MWh (SENER, 2008). Esta energía es distribuida en alrededor de 5 millones de viviendas, que en promedio son habitadas por 4 personas (Tabla 4.16).

Tabla 4.16 Habitantes promedio por vivienda y número de viviendas en la ZMVM

| Entidad                     | Habitantes promedio por vivienda | Nº promedio de viviendas |
|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Distrito Federal            | 3.7                              | 2,377,184                |
| Estado de México            | 4.0                              | 2,650,729                |
| <b>Total viviendas ZMVM</b> |                                  | <b>5,027,913</b>         |

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO, 2008a

El consumo de energía eléctrica dentro del hogar repercute en la generación de gases de efecto invernadero, debido a la quema de combustibles fósiles al producir la electricidad. Para cubrir la demanda de energía eléctrica del sector habitacional (5,442,360 MWh), se requieren alrededor de 1,483 millones de m<sup>3</sup> de gas natural, los cuales durante el proceso de obtención de energía, generan 3.5 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>. (Tabla 4.17).

Tabla 4.17 Consumo de energía eléctrica, gas natural y emisiones del sector residencial

| Entidad          | Consumo           |                            | Emisiones                   |
|------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------|
|                  | Energía eléctrica | Gas natural                |                             |
|                  | [MWh]             | [millones m <sup>3</sup> ] | [ton. eq. CO <sub>2</sub> ] |
| Distrito Federal | 3,354,000         | 914                        | 2,187,143                   |
| Estado de México | 2,088,360         | 569                        | 1,361,820                   |
| <b>ZMVM</b>      | <b>5,442,360</b>  | <b>1,483</b>               | <b>3,548,963</b>            |

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER 2008.

Con base en la demanda total de energía eléctrica del sector habitacional y el número total de viviendas, se estima que cada vivienda ubicada en la ZMVM tiene un consumo promedio bimestral de 180 KWh, generando 117 kilogramos equivalentes de CO<sub>2</sub>.

El consumo de la energía eléctrica de una vivienda, depende de la cantidad y uso de los aparatos electrodomésticos, así como del equipamiento de iluminación (focos y lámparas). A continuación se muestra el equipamiento típico de una vivienda:

- ✓ 6 focos incandescentes de 60W c/u
- ✓ 1 plancha
- ✓ 1 lavadora automática
- ✓ 1 licuadora de mediana potencia
- ✓ 1 refrigerador de 16 pies cúbicos
- ✓ 1 TV color de 19 pulgadas
- ✓ 1 estéreo musical
- ✓ 1 videocasetera o DVD.

Por el uso de estos equipos la vivienda típica, puede consumir bimestralmente 369 KWh de energía eléctrica, emitiendo para su generación 221 toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>. Ver Tabla 4.18.

Tabla 4.18 Equipamiento de una vivienda y emisiones generadas

| Equipamiento                        | Tiempo de uso al día<br>[horas] | Consumo bimestral<br>[KWh] | Emisiones<br>[ton eq. CO <sub>2</sub> ] |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---|
| Focos incandescentes (60W promedio) | 5                               | 105                        | 62.8                                    |
| Refrigerador (14-16 pies cúbicos)   | 8                               | 140                        | 83.7                                    |
| Plancha                             | 3 (2vec./sem)                   | 48                         | 28.7                                    |
| TV color (19-21 pulg)               | 6                               | 26                         | 15.6                                    |
| Lavadora automática                 | 4 (2vec./sem)                   | 26                         | 15.6                                    |
| Licuadora mediana potencia          | 0.17                            | 4                          | 2.4                                     |
| Estéreo musical                     | 4                               | 18                         | 10.8                                    |
| Videocasetera o DVD                 | 3 (4vec./sem)                   | 2                          | 1.4                                     |
| <b>Total</b>                        |                                 | <b>369</b>                 | <b>221</b>                              |

Fuente: Elaborada con datos de Comisión Federal de Electricidad, 2008.

Con base en lo anterior, tenemos que dentro de la vivienda, el mayor requerimiento de energía eléctrica lo demandan el uso del refrigerador y la iluminación (38 y 28% respectivamente), en menor proporción se tiene al uso de la plancha (13%) y de otros electrodomésticos (21%).

Cabe mencionar que en el sector residencial se tiene un potencial importante de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, al disminuir la energía eléctrica que se consume por el uso de electrodomésticos e iluminación.



Figura 4.1 Requerimiento bimestral de energía en una vivienda típica (%)

### Escenario de reducción de emisiones por uso de energía eléctrica

Partiendo del diseño para una vivienda típica formada por 4 habitantes se han considerado acciones para reducir el consumo de energía por iluminación y por el uso de refrigeradores.

- De acuerdo con la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2006), un refrigerador antiguo puede consumir hasta un 50% de la energía empleada por los electrodomésticos; si se sustituye por uno más reciente, se tendría un ahorro del 30% del consumo eléctrico en la vivienda y, en consecuencia, la misma proporción de reducción en la generación de GEI.
- Con respecto a la iluminación, un foco incandescente de 60W consume mensualmente 9 KWh y uno fluorescente, con la misma intensidad lumínica, consume tan sólo 2.5 KWh; esto indica que la sustitución de focos permite reducir hasta un 72% de las emisiones de GEI generadas por iluminación.

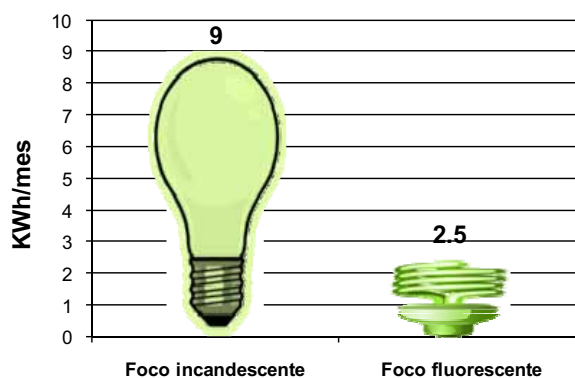


Figura 4.2 Emisiones de un foco incandescente VS fluorescente

Con lo anterior tenemos que, si en la ZMVM se considera que cada vivienda tiene 6 focos incandescentes de 60W, se tendría un potencial de más de 30.1 millones de focos que pudieran ser cambiados por focos fluorescentes; así mismo, se lograría un ahorro de energía de hasta 188 millones de KWh al mes con la sustitución del 100% de los focos (Tabla 4.19), dejando de emitir mensualmente 122 mil toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.

Tabla 4.19 Potencial de reducción de emisiones en la iluminación

| Focos considerados |            | Consumo de energía eléctrica por tipo de focos [KWh/mes] |              |                      | Reducción de emisiones    |
|--------------------|------------|--|--------------|----------------------|---------------------------|
| Número             | Porcentaje | Incandescente  | Fluorescente | Reducción de energía | [ton eq.CO <sub>2</sub> ] |
| 3,016,748          | 10         | 26,396,543   | 7,541,870    | 18,854,674           | 12,295                    |
| 6,033,496          | 20         | 52,793,087   | 15,083,739   | 37,709,348           | 24,590                    |
| 9,050,243          | 30         | 79,189,630   | 22,625,609   | 56,564,021           | 36,885                    |
| 12,066,991         | 40         | 105,586,173  | 30,167,478   | 75,418,695           | 49,181                    |
| 15,083,739         | 50         | 131,982,716  | 37,709,348   | 94,273,369           | 61,476                    |
| 18,100,487         | 60         | 158,379,260  | 45,251,217   | 113,128,043          | 73,771                    |
| 21,117,235         | 70         | 184,775,803  | 52,793,087   | 131,982,716          | 86,066                    |
| 24,133,982         | 80         | 211,172,346  | 60,334,956   | 150,837,390          | 98,361                    |
| 27,150,730         | 90         | 237,568,889  | 67,876,826   | 169,692,064          | 110,656                   |
| 30,167,478         | 100        | 263,965,433  | 75,418,695   | 188,546,738          | 122,951                   |

Al implementar estas medidas de uso eficiente de la energía eléctrica en la refrigeración e iluminación, se alcanzaría una reducción hasta del 39.5% del consumo energético habitacional y en la misma proporción en las emisiones de GEI.

### Carbón negro del sector habitacional

El sector habitacional genera el 1% de las emisiones totales de carbón negro (18 ton/año), su contribución está relacionada principalmente al consumo de gas LP y en menor proporción, al de gas natural. De las emisiones de dicho sector, la entidad que más contribuye es el Estado de México, ya que ésta tiene mayor población y por lo tanto, mayor cantidad de viviendas y consumo de combustibles.

#### 4.4 SECTOR TRANSPORTE

El sector transporte tiene importantes aportaciones de gases de efecto invernadero (GEI), aquí se incluyen todos los tipos de vehículos que portan placas del Distrito Federal, del Estado de México y de la Federación, que circulan sobre las vialidades de la ZMVM. Las emisiones que se presentan son resultado de la quema de combustibles en los motores, incluyendo las generadas por el arranque en frío, mismas que están asociadas al tipo de tecnología vehicular.

48

De los 4.5 millones de vehículos que circulan en la ZMVM, el 64% corresponde a unidades registradas en el Distrito Federal y el 36% restante, a unidades registradas en el Estado de México. Referente a las emisiones de GEI, el Distrito Federal contribuye con el 58% y el Estado de México con el 42% restante (Ver Tabla 4.21). Desglosando por cada GEI, se tiene que el CO<sub>2</sub> contribuye en mayor proporción y las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O no son significativas. Ver Tabla 4.20.

Tabla 4.20 Flota vehicular y emisiones de GEI en la ZMVM, 2008

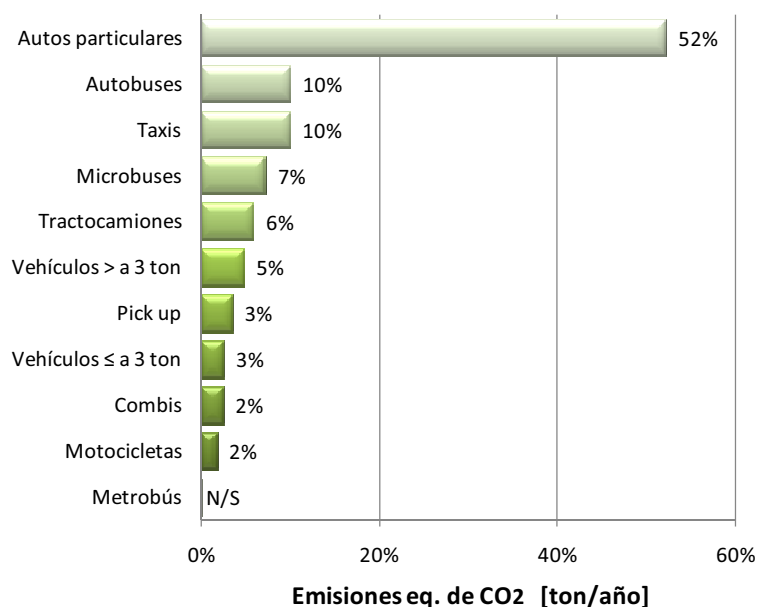
| Tipo de vehículo                   | Número de vehículos | Emisiones [ton/año] |                 |                  |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|------------------|
|                                    |                     | CO <sub>2</sub>     | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O |
| Autos particulares                 | 3,693,351           | 11,552,488          | 1,894           | 911              |
| Taxis                              | 156,627             | 2,191,517           | 285             | 189              |
| Vagonetas y combis                 | 29,863              | 535,185             | 112             | 63               |
| Microbuses                         | 34,096              | 1,626,482           | 132             | 36               |
| Pick Up                            | 118,441             | 762,710             | 169             | 83               |
| Vehículos de carga hasta 3 ton     | 71,157              | 563,260             | 59              | 24               |
| Tractocamiones                     | 71,055              | 1,337,160           | 6               | 5                |
| Autobuses                          | 43,706              | 2,261,578           | 19              | 9                |
| Vehículos de carga de más de 3 ton | 80,589              | 1,061,440           | 161             | 73               |
| Motocicletas                       | 237,808             | 380,453             | 243             | 18               |
| Metrobuses                         | 221                 | 18,232              | N/S             | N/S              |
| <b>Total</b>                       | <b>4,536,914</b>    | <b>22,290,505</b>   | <b>3,080</b>    | <b>1,411</b>     |

Asimismo, la siguiente tabla presenta las emisiones en equivalentes de CO<sub>2</sub>, por entidad federativa y tipo de vehículo; además en la Gráfica 4.4, se presenta la contribución porcentual a las emisiones de GEI por tipo de vehículo en la ZMVM.

Tabla 4.21 Emisiones del sector transporte por entidad

| Tipo de vehículo                   | Emisiones equivalentes de CO <sub>2</sub> [ton/año] |                  |                   |
|------------------------------------|---|------------------|-------------------|
|                                    | Distrito Federal                                    | Estado de México | ZMVM              |
| Autos particulares                 | 6,574,906   | 5,296,410        | 11,871,316        |
| Taxis                              | 1,587,576   | 667,388          | 2,254,964         |
| Vagonetas y combis                 | 44,154  | 512,605          | 556,759           |
| Microbuses                         | 1,273,446   | 367,064          | 1,640,510         |
| Pick Up                            | 144,112   | 647,557          | 791,669           |
| Vehículos de carga hasta 3 ton     | 94,907  | 476,980          | 571,887           |
| Tractocamiones                     | 1,027,869   | 310,931          | 1,338,800         |
| Autobuses                          | 1,506,628   | 758,107          | 2,264,735         |
| Vehículos de carga de más de 3 ton | 567,797   | 519,422          | 1,087,219         |
| Motocicletas                       | 360,829   | 31,063           | 391,892           |
| Metrobuses                         | 18,232  | N/A              | 18,232            |
| <b>Total</b>                       | <b>13,200,456</b>                                   | <b>9,587,527</b> | <b>22,787,983</b> |

N/A: No Aplica



Gráfica 4.4 Contribución vehicular a las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> de la ZMVM

El uso del auto particular es el principal generador de gases de efecto invernadero en las grandes ciudades y no es la excepción en el caso de la ZMVM, pues con 3.7 millones de autos particulares que circulan en la ZMVM, se emiten 11.8 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> anuales. Como ejemplo y por ser los de mayor contribución, los autos particulares y las motocicletas, representan el 87% del parque vehicular y generan el 54% de las emisiones del transporte.

El transporte público de pasajeros emite el 30% de los GEI y por último, el transporte de carga que representa el 7% de la flota vehicular genera el 16% (Figura 4.3).



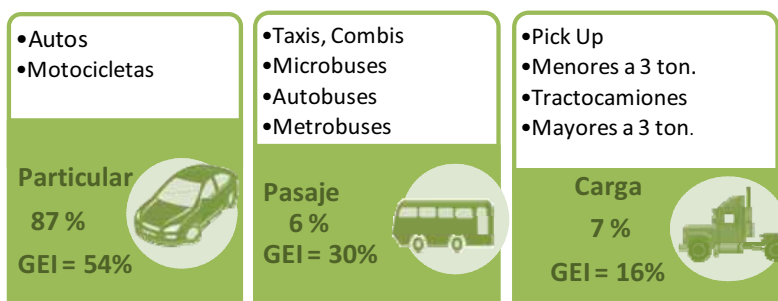


Figura 4.3 Emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> por tipo de vehículo

#### 4.4.1 Emisiones por tipo de combustible y estrato tecnológico

El 95% de la flota registrada en la ZMVM utiliza gasolina como combustible y genera el 74% de las emisiones de GEI del sector; el 4% son unidades a diesel y son responsables del 18% de las emisiones. Los vehículos que utilizan gas licuado de petróleo (GLP) y gas natural comprimido (GNC), en conjunto generan el 8% restante de gases de efecto invernadero (Figura 4.4).

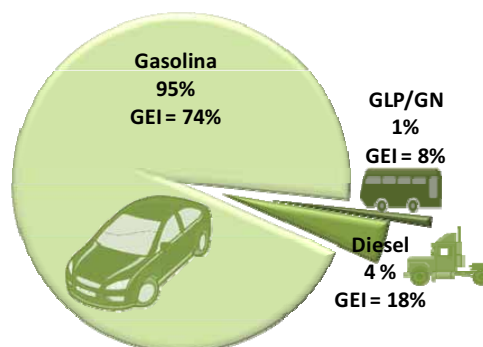


Figura 4.4 Flota por combustible y emisiones de GEI

En orden de emisión, los autos particulares a gasolina son los mayores emisores con aproximadamente 12 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>, lo cual representa el 52% de las emisiones generadas por el sector transporte; les siguen en conjunto los autobuses y tractocamiones a diesel, con el 16%; así como los taxis con el 10% (Ver Tabla 4.22).

Es importante mencionar que el potencial de generación de emisiones de GEI depende del tipo de vehículo y del combustible que utiliza. Como ejemplo, se pueden mencionar los autos compactos a gasolina, en promedio emiten 215 gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro recorrido y uno a diesel emite 193 g/km. Para el caso de un vehículo pesado (más de tres toneladas), las emisiones varían de 554 g/km para un vehículo a gasolina y 646 para uno a diesel.

Debido a que el potencial de las emisiones del sector transporte varían con respecto al tipo de combustible utilizado y al año modelo de los vehículos, a continuación se presenta un análisis por estrato tecnológico de los vehículos a gasolina y a diesel, toda vez que son los combustibles más utilizados.

Tabla 4.22 Emisiones de GEI del transporte carretero por tipo de combustible

| Tipo de vehículo                   | Emisiones equivalente de CO <sub>2</sub> [ton/año] |                  |                   |
|------------------------------------|--|------------------|-------------------|
|                                    | Gasolina   | Diesel           | Total             |
| Autos particulares                 | 11,711,823   | 20,769           | <b>11,732,592</b> |
| Taxis                              | 2,235,786  | 460              | <b>2,236,246</b>  |
| Vagonetas y combis                 | 514,722  | 22,049           | <b>536,771</b>    |
| Microbuses                         | 351,976  | 6,455            | <b>358,431</b>    |
| Pick Up                            | 735,572  | 15,008           | <b>750,580</b>    |
| Vehículos de carga hasta 3 ton     | 283,189  | 207,145          | <b>490,334</b>    |
| Tractocamiones                     | N/A  | 1,338,422        | <b>1,338,422</b>  |
| Autobuses                          | 70,687   | 2,188,851        | <b>2,259,538</b>  |
| Vehículos de carga de más de 3 ton | 612,454  | 371,323          | <b>983,777</b>    |
| Motocicletas                       | 390,436  | N/A              | <b>390,436</b>    |
| Metrobuses                         | N/A  | 18,244           | <b>18,244</b>     |
| <b>Total</b>                       | <b>16,906,645</b>                                  | <b>4,188,726</b> | <b>21,095,371</b> |

N/A: No Aplica

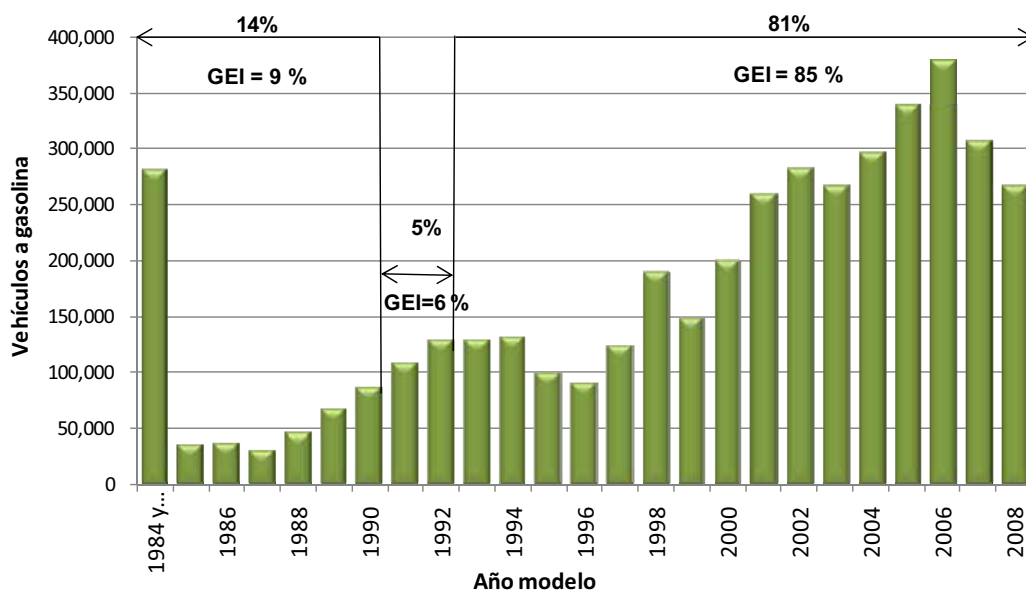
De los 4.3 millones de vehículos a gasolina, aproximadamente el 14% son modelos 1990 y anteriores, los cuales no cuentan con sistemas de control de emisiones y son responsables del 9% de las emisiones de GEI de la flota a gasolina.

Alrededor del 5% de los vehículos, son modelos 1991-1992, éstos ya traen convertidores catalíticos de dos vías y contribuyen con el 6% de las emisiones de GEI; el resto de los vehículos corresponde a modelos 1993 y posteriores, los cuales ya cuentan con convertidores catalíticos de tres vías y otros dispositivos anticontaminantes, éstos representan el 81% de la flota a gasolina y generan el 85% de las emisiones de GEI. Ver Tabla 4.23 y Gráfica 4.5.

Tabla 4.23 Emisiones de GEI de los vehículos a gasolina por estrato tecnológico

| Tipo de vehículo                   | Emisiones eq. de CO <sub>2</sub> de vehículos a gasolina [ton/año] |                  |                   |                   |
|------------------------------------|--|------------------|-------------------|-------------------|
|                                    | 1990 y ant.  | 1991-1992        | 1993-2008         | Total             |
| Autos particulares                 | 924,999  | 555,127          | 10,231,697        | <b>11,711,823</b> |
| Taxis                              | 27,342   | 56,418           | 2,152,026         | <b>2,235,786</b>  |
| Vagonetas y combis                 | 66,255   | 63,141           | 385,326           | <b>514,722</b>    |
| Microbuses                         | 72,516   | 177,766          | 101,693           | <b>351,976</b>    |
| Pick Up                            | 128,219  | 66,910           | 540,443           | <b>735,572</b>    |
| Vehículos de carga hasta 3 ton     | 60,267   | 34,539           | 188,383           | <b>283,189</b>    |
| Tractocamiones                     | N/A  | N/A              | N/A               | <b>N/A</b>        |
| Autobuses                          | 17,688   | 10,117           | 42,882            | <b>70,687</b>     |
| Vehículos de carga de más de 3 ton | 110,051  | 67,539           | 434,864           | <b>612,454</b>    |
| Motocicletas                       | 24,731   | 11,929           | 353,776           | <b>390,436</b>    |
| <b>Total</b>                       | <b>1,432,070</b>   | <b>1,043,485</b> | <b>14,431,089</b> | <b>16,906,645</b> |

N/A: No Aplica



Gráfica 4.5 Vehículos a gasolina por año modelo y contribución de emisiones de GEI

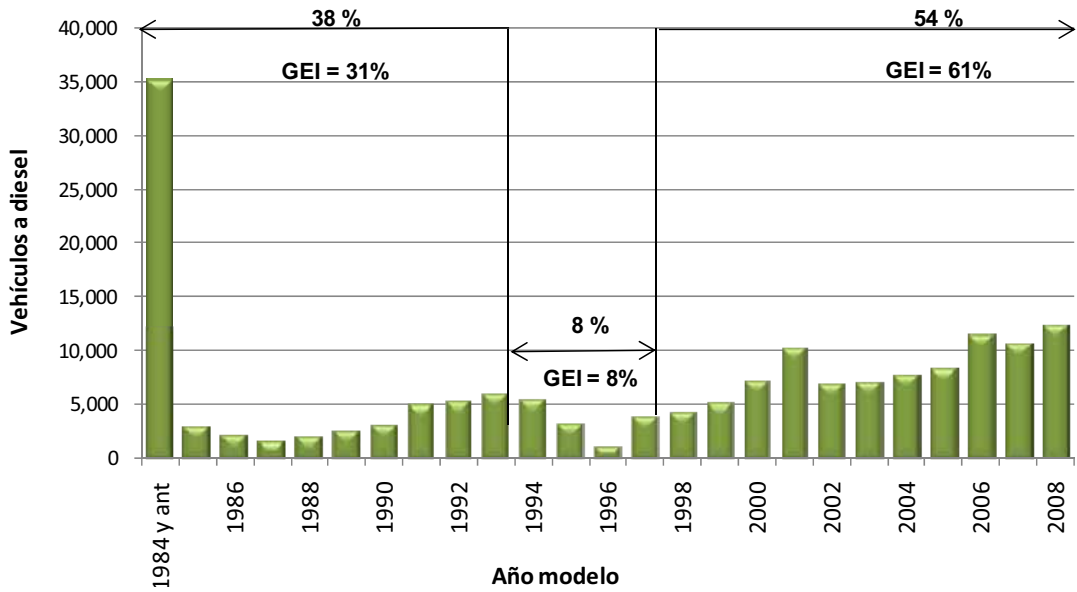
De las unidades que utilizan diesel alrededor del 38% son unidades año modelo 1993 y anteriores, éstas son responsables del 31% de las emisiones de GEI generadas por diesel. Aproximadamente el 8% de los vehículos cumple con los estándares de emisión EPA 94 y el 54% son EPA 98, estos dos últimos generan el 8% y el 61% respectivamente, de las emisiones a diesel del sector transporte (Ver Tabla y Gráfica siguientes).

Tabla 4.24 Emisiones de GEI de vehículos a diesel por tecnología

| Tipo de vehículo                   | Emisiones eq. de CO <sub>2</sub> de vehículos a diesel [ton/año] |                |                  |                  |
|------------------------------------|--|----------------|------------------|------------------|
|                                    | 1993 y ant.  | 1994-1997      | 1998 y post.     | Total            |
| Autos particulares                 | 349  | 242            | 20,178           | <b>20,769</b>    |
| Taxis                              | N/A  | N/A            | 460              | <b>460</b>       |
| Vagonetas y combis                 | 20   | 106            | 21,923           | <b>22,049</b>    |
| Microbuses                         | 253  | 106            | 6,097            | <b>6,455</b>     |
| Pick Up                            | 1,743  | 917            | 12,348           | <b>15,008</b>    |
| Vehículos de carga hasta 3 ton     | 57,657   | 20,677         | 128,812          | <b>207,146</b>   |
| Tractocamiones                     | 694,283  | 99,971         | 544,168          | <b>1,338,422</b> |
| Autobuses                          | 430,256  | 175,247        | 1,583,348        | <b>2,188,851</b> |
| Vehículos de carga de más de 3 ton | 132,229  | 29,750         | 209,344          | <b>371,323</b>   |
| Motocicletas                       | N/A  | N/A            | 18,244           | <b>18,244</b>    |
| <b>Total</b>                       | <b>1,316,789</b>   | <b>327,016</b> | <b>2,544,921</b> | <b>4,188,726</b> |

N/A: No Aplica

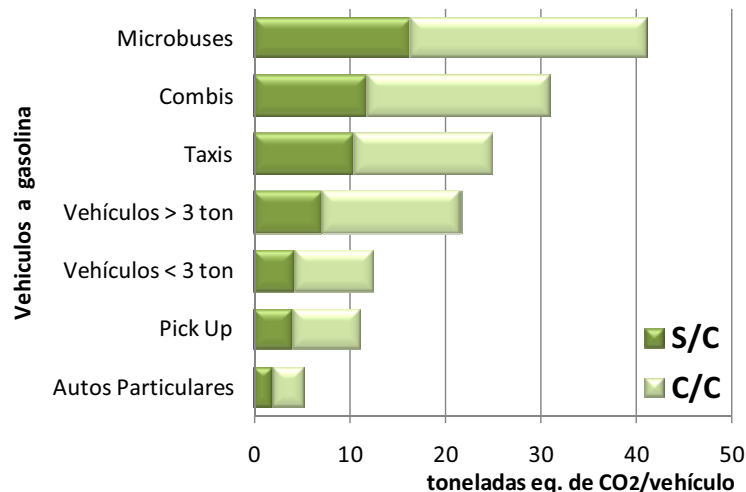
Nota: Los totales pueden variar debido al redondeo en las cifras



Gráfica 4.6 Vehículos a diesel por año modelo y contribución de emisiones

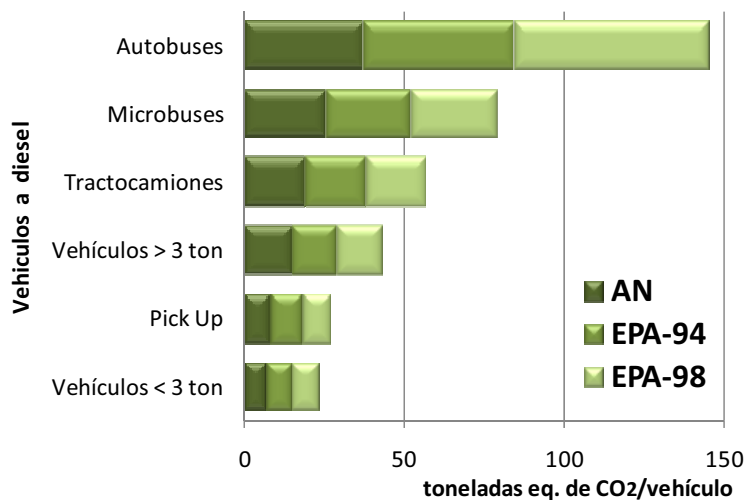
Además de lo anterior, es importante mencionar que a diferencia de las emisiones de contaminantes criterio, donde los vehículos sin convertidor catalítico son los que más contaminan, en el caso de las emisiones de GEI, éstos pueden generar menos emisiones. Lo anterior debido a que el uso de convertidor catalítico en los vehículos, reduce las emisiones de los hidrocarburos y del monóxido de carbono, por lo que cada átomo de carbono contenido en cualquiera de estos dos contaminantes y que es oxidado por el convertidor catalítico, se libera en forma de dióxido de carbono de acuerdo a la eficiencia del convertidor, para cada uno de los contaminantes.

Se puede decir que con los sistemas de control de emisiones aumentan las emisiones de GEI; por lo que es necesario que las unidades nuevas, además de contar con dichos sistemas, tengan una alta eficiencia energética que contribuya a disminuir el consumo de combustible, y en consecuencia las emisiones de GEI. La siguiente gráfica presenta las emisiones anuales de los vehículos más abundantes a gasolina, con convertidor catalítico y sin convertidor. Se puede observar que en estos tipos de vehículos, las unidades con convertidor catalítico son más contaminantes; en promedio, generan 41% más de emisiones.



Gráfica 4.7 Emisión anual de vehículos a gasolina con y sin convertidor catalítico

La gráfica 4.8 muestra algunos tipos de vehículos a diesel por tecnología; se puede observar que conforme se avanza en tecnología, las emisiones son ligeramente mayores. Las emisiones de las unidades que trabajan por aspersión natural (AN) son ligeramente menores a las que presentan algún tipo de tecnología; en promedio, los vehículos con tecnología EPA-94 generan 8% más que los de aspersión natural, y los que ya incorporan EPA-98 emiten 13% más.



Gráfica 4.8 Emisión anual de vehículos a diesel con y sin convertidor catalítico

A pesar de los beneficios alcanzados en los últimos años sobre la eficiencia energética de los vehículos, las preferencias por modelos más potentes, pesados y grandes, han anulado parte de los beneficios conseguidos en la eficiencia, dando como resultado un cambio mínimo en la economía del combustible de la flota vehicular promedio (INE-SEMARNAT, 2004)<sup>15</sup>.

### Carbón negro del sector transporte carretero

El sector transporte carretero emite el 90% (1,510 ton/año) de las emisiones totales de carbón negro, de las cuales el Distrito Federal es la entidad que más contribuye (68%) ya que concentra más de la mitad de la flota pesada a diesel y genera las mayores emisiones de PM<sub>2.5</sub>, que se componen, entre otros, de carbón negro.

Desagregando las emisiones del sector transporte, se tiene que los vehículos pesados a diesel generaron el 83% del total, los tractocamiones son los más emisores, en segundo lugar se tiene a los autobuses y a los vehículos de carga de más de 3 toneladas.

<sup>15</sup> Opciones para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero del sector transporte.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

METANO  
DIOXIDO DE CARBONO  
ÓXIDO NITROSO



## 5.1 CONCLUSIONES

En la ZMVM, para el año 2008 se tuvo un consumo de combustibles equivalente a 576 PJ, las fuentes móviles y puntuales, requirieron una mayor cantidad de energéticos, consumiendo el 60% y el 24% respectivamente.

Las fuentes de emisión evaluadas generaron en conjunto, 43.7 millones de toneladas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), 291 mil toneladas de metano ( $\text{CH}_4$ ) y 1,500 toneladas de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), representando en total, una emisión de 51.5 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono.

Las principales emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son generadas por el sector transporte, toda vez que es el de mayor consumo de energéticos y aporta el 44% de las toneladas equivalentes de  $\text{CO}_2$ . Dentro de este sector, los autos particulares generan más de la mitad de las emisiones y los vehículos pesados a diesel el 17%. Como categoría individual, los autos particulares emiten el 23% del  $\text{CO}_2$  equivalente total en la ZMVM.

El segundo lugar de emisión en la ZMVM está dado por el sector industrial, el cual aporta el 29%; los sectores productos metálicos, la generación de energía eléctrica y productos no metálicos son los más emisores, contribuyendo en conjunto con el 66% de las emisiones industriales. Los sectores habitacional y comercial, aportan el 11% del total de emisiones en la ZMVM, generadas por la combustión de GLP y GN.

En la categoría de "otras fuentes", los rellenos sanitarios son los más emisores, debido a los gases generados por la degradación de la basura; además de ser la segunda categoría individual más contaminante.

En carbón negro es una fracción del material particulado fino ( $\text{PM}_{2.5}$ ), con efectos perjudiciales al sistema respiratorio; además de considerarse carcinogénico por contener compuestos tóxicos y metales. Sus emisiones se estimaron 1,671 toneladas anuales, de las cuales, más de la mitad proviene de las fuentes móviles, lo cual ratifica algunos estudios atmosféricos de la ZMVM, donde se ha observado la relación entre el carbón negro y el tráfico vehicular.

## 5.2 RECOMENDACIONES

La generación de gases de efecto invernadero (GEI) es atribuida en su mayoría a las actividades antropogénicas, particularmente a la quema de combustibles fósiles, por lo tanto, para reducir las emisiones de dichos gases, es necesario disminuir el consumo de energéticos, en particular de la gasolina y del diesel. La reducción significativa de las emisiones de GEI por quema de combustibles, sólo es posible con la disminución de su consumo, debido a que el  $\text{CO}_2$  siempre será un producto de la combustión, así como de la mejora en la calidad de los mismos.



Debido a que el transporte consume grandes cantidades de combustible y, consecuentemente emite la mayor cantidad de emisiones de GEI, existe entonces un potencial para la reducción de emisiones en dicho sector, como son: incorporación de autos nuevos con un mayor rendimiento de combustible, así como vehículos híbridos, flota vehicular antigua con buen mantenimiento, parque vehicular gubernamental de bajas emisiones, además de fomentar el uso de transporte no motorizado para recorridos locales e incrementar el uso del sistema de transporte público masivo, esto con la ampliación del sistema de corredores viales rápidos, y con unidades que contemplen nuevas tecnologías de control de emisiones.

Además de lo anterior, es necesario fortalecer la inspección del estado operativo del motor dentro del Programa de Verificación Vehicular Obligatorio (PVVO), así como promover mejores hábitos de manejo y una educación vial responsable. Aunado a esto, es necesario contar con una base de datos integral, del parque vehicular del Distrito Federal, el Estado de México y del gobierno federal, asegurando y reforzando la calidad de la información a nivel metropolitano y realizar estudios o aforos para el transporte local y foráneo.

La ZMVM concentra aproximadamente 20 millones de habitantes y para satisfacer sus necesidades, requiere de una gran cantidad de energéticos, es por esto que es necesario promover y fortalecer los programas de ahorro energético, como son: la sustitución de aparatos electrodomésticos y de iluminación, uso de regaderas eficientes, instalación de calentadores solares de agua, así como la optimización del tiempo y la cantidad de agua que se emplea para aseo personal, por mencionar algunos.

Sin embargo, debido a que la instalación de los sistemas ahorradores muchas veces es de mayor costo, se requiere de programas que además de fomentar el uso, proporcionen el financiamiento para su instalación. En todos los sectores contaminantes, se debe fomentar la implementación de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), que impulsen la conversión energética y los sistemas de control de emisiones.

Respecto a las emisiones de GEI por rellenos sanitarios, es necesario minimizar la generación de basura, fomentando la cultura de reciclaje y la separación de residuos sólidos, así como regularizar la disposición de desechos y clausura de sitios conforme a la reglamentación correspondiente.

Por lo que se refiere al carbón negro, debido a que el transporte pesado a diesel es el más emisor, es urgente la introducción e incorporación de sistemas de control de partículas, además de fortalecer la gestión para la elaboración y comercialización de combustibles limpios y de bajo contenido de azufre, así como el mejorar los actuales *Programas de Vehículos Ostensiblemente Contaminantes* y de *Autorregulación a Diesel*.

Por último, para disminuir la incertidumbre en la estimación de emisiones de GEI, se requiere contar con el apoyo de recursos económicos y humanos para actualizar y generar factores de emisión, además de realizar un trabajo conjunto con las instancias gubernamentales en materia ambiental, para garantizar la calidad de la información.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

METANO  
DIOXIDO DE CARBONO  
ÓXIDO NITROSO



- AICM (2008) [en línea]. *Estadísticas del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, Año 2008*. D. F., México. Consultado en marzo de 2009 de: <http://www.aicm.com.mx/acercadelaicm/archivos/files/Estadisticas/Diciembre08.pdf>
- Andreae O., et al. (2006) [en línea]. *Black carbon or brown carbon? The nature of light-absorbing carbonaceous aerosols*. *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 3131–3148. USA. Consultado el 10 de febrero de 2010, de: <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/29/59/93/PDF/acp-6-3131-2006.pdf>.
- ANES, A.C, *Revista Solar (Marzo 2006)* [en línea]. “¿Cómo varía mi consumo de gas utilizando un Calentador Solar?”. Asociación Nacional de Energía Solar. Consejo XIII, Número 57. D. F., México. Consultado en abril de 2008 de: <http://www.anes.org/publicaciones/revista/Solar57.pdf>
- Barnard, C., et al. (2007) [en línea]. *Estimation of a “radiatively correct” black carbon specific absorption during the Mexico City Metropolitan Area (MCMA) 2003 field campaign*. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 1645–1655. USA Consultado el 10 de febrero de 2010 de: <http://www.atmos-chem-phys.net/7/1645/2007/acp-7-1645-2007.pdf>
- Battye W., et al. (2002) [en línea]. *Methods for Improving Global Inventories of Black Carbon and Organic Carbon Particulates*. Presentado en la 11ª Conferencia Internacional de Inventarios de Emisiones- "Emission Inventories - Partnering for the Future". USA. Consultado en 2010 de: <http://www.epa.gov/ttn/chief/conference/ei11/ghg/battye.pdf>
- Chow, J. C, et al. (2001) [en línea]. *Chemical composition of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Mexico City during winter 1997*. *The Science of the Total Environment-Elsevier*, 287 (2002) 177-201. USA Consultado el 10 de febrero de 2010, de: [inkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231001001649](http://inkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231001001649)
- CONAE (2007) [en línea]. *Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México (PROCALSOL) 2007-2012*. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. D.F., México. Consultado en marzo de 2008 de: [http://www.anes.org/publicaciones/documentos/prog\\_calentadores.pdf](http://www.anes.org/publicaciones/documentos/prog_calentadores.pdf)
- CONAPO (2008) [base de datos]. *Proyección de los hogares y viviendas 2005-2050*. México. Consultado en octubre de 2008 de: <http://www.conapo.gob.mx/00cifras/hogares/hogares.xls>
- CONAPO (2008a) [base de datos]. *Proyecciones de la Población de México 2005-2050*. México. Obtenido en octubre de 2008 de: <http://www.conapo.gob.mx/00cifras/proy/municipales.xls>
- COMETRAVI (1997). *Estudio No. 5 Definición de Políticas de Modernización, Inspección Sustitución, Eliminación Definitiva, Adaptación de Vehículos y Combustibles Alternos*. D.F., México
- DGSU-GDF (s. f.) [en línea]. *Clausura del relleno sanitario Prados de la Montaña: primera experiencia mexicana apegada a una rigurosa normatividad*, Dirección General de Servicios Urbanos del Gobierno del Distrito Federal. D. F México. Consultado en Febrero de 2009 de: [www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/mexico/03529e14.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/mexico/03529e14.pdf)

- ETEISA (2003). *Sistema de Información de Condiciones de Tránsito para la Estimación de Emisiones Contaminantes por Fuentes Móviles en la Zona Metropolitana del Valle de México*. México
- GDF, INEGI y GEM (diciembre, 2007). *Encuesta origen destino 2007*. D.F., México. 135 p.
- GODF (2002) [en línea]. *Acuerdo por el que se ordena la Publicación del Programa Integral de Transporte y Vialidad 2001-2006*, publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. D.F., México. Consultado en 2004 de: [http://www.setravi.df.gob.mx/programas/pitv\\_2003.pdf](http://www.setravi.df.gob.mx/programas/pitv_2003.pdf)
- 62
- GODF (2005) [en línea]. *Declaratoria de la Zona Metropolitana del Valle de México* publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, D.F., México. Consultado en 2006 de: <http://www.asambleadf.gob.mx/cm/14/ac004.pdf>
- GODF (2008) [en línea]. *Listado de Establecimientos que no Requieren Tramitar la Licencia Ambiental Única (LAUDF)*, publicado en la Gaceta Oficial del Distrito federal. México, D.F. Consultado en 2008 de: [http://www.df.gob.mx/wb/gdf/gaceta\\_oficial](http://www.df.gob.mx/wb/gdf/gaceta_oficial)
- Greenpeace México (2006) [en línea]. *Calentadores Solares: Energía Renovable en tu Hogar*, del sitio web GREENPEACE. Campaña de Energía y Cambio Climático. Consultado en 2008 de: <http://www.greenpeace.org/raw/content/mexico/press/reports/calentadores-solares-energia.pdf>
- FERROVALLE, S. A de C. V. (2008). *Consumo mensual de combustible utilizado por flota tractiva, Ferrocarril y Terminal del Valle de México*. Información mediante oficio DO-AMG-149/08. Recibido en enero de 2009.
- INEGI (1997). *Clasificación Mexicana de Actividades y Productos, Censos Económicos 1994* (3ª reimpresión), D.F., México: Autor
- INEGI (2008) [en línea]. *Mujeres y hombres en México 2008* (12a. ed.). D.F., México. Consultado en 2009 del sitio web Instituto Nacional de las Mujeres de: [http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos\\_download/100916.pdf](http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos_download/100916.pdf)
- INEGI (2008a) [en línea]. *Sistema de cuentas nacionales de México. Producto Interno Bruto por entidad federativa 2001-2006*. D.F., México. Consultado en 2009 de: [http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/derivada/regionales/pib/pibe2006.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/derivada/regionales/pib/pibe2006.pdf)
- IPCC (1996) [en línea]. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (vol. 1-5), Consultado en 2009 de: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>
- Marley A., et al. (2005) [en línea]. *Black carbon in urban areas: measurements on holidays demonstrate the impact of diesel soot*. Consultado el 10 de febrero de: 2010 de: [ams.confex.com/ams/pdfpapers/87998.pdf](http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/87998.pdf).
- Metrobús (2009) [en línea]. *Funciones del sistema de transporte Metrobús*. D.F., México. Consultado en agosto de 2009 de: <http://www.metrobus.df.gob.mx/index%2011.htm>

- Metrobús (2009a).** *Informe de actividades enero-noviembre 2008.* Distrito Federal, México. Consejo Directivo de Metrobús.
- Molina M. (2009) [en línea].** *El cambio climático y el efecto del carbono negro.* Presentado en el taller internacional de carbono negro y cambio climático en Latinoamérica. México. Consultado en 2010 de: <http://www.theicct.org/documents/0000/0996/Molina.pdf>
- ONU (1998) [en línea].** *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático.* Consultado en junio de 2007 de: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- PEMEX Refinación (2008).** *Ventas de Gasolina y Diesel 2007 y 2008.* Información mediante oficio PXR-SC-GCC-1302-2008. Recibido en Enero de 2009
- PEMEX Refinación (1997).** *Efecto de los componentes del Gas Licuado de Petróleo en la Acumulación de Ozono, D.F, México: Autor.*
- PROFECO (2005) [en línea].** *“PROFECO le dice como ahorrar el vital líquido en el día Mundial del Agua”.* Boletín No 17. Consultado en abril de 2008 de: <http://www.profeco.gob.mx/prensa/prensa05/mzo05/17bol05.pdf>
- Radian Corporation (1996).** *Biogenic Sources Preferred Methods. Final Report. Area Sources Committee - Emission Inventory Improvement Program. (Vol. V).* Research Triangle Park, North Carolina, USA.
- Reisner P., et al. (2007) [en línea].** *Intercomparison of Measurement Techniques for Black or Elemental Carbon Under Urban Background Conditions in Wintertime: Influence of Biomass Combustion.* *Environ. Sci. Technol.*, 2008, 42, 884 – 889. Washington, D.C., USA. Consultado en febrero de 2010 de: [http://publik.tuwien.ac.at/files/pub-tch\\_8662.pdf](http://publik.tuwien.ac.at/files/pub-tch_8662.pdf)
- Retama, H. y Rivera, H. O. (2004) [en línea].** *Black carbon and fine particle PM<sub>2.5</sub> elemental composition behavior in samples collected at two sampling sites in Mexico City.* D.F., México. Consultado el 11 de febrero de 2010 de: <http://pixe2004.ijs.si/proceedings/html/pdf/0925.pdf>.
- Salcedo, D. et. al. (2006) [en línea].** *Characterization of ambient aerosols in Mexico City during the MCMA-2003 campaign with Aerosol Mass Spectrometry: results from the CENICA Supersite.* *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 925–946. USA. Consultado el 10 de febrero de 2010 de: <http://www.atmos-chem-phys.net/6/925/2006/acp-6-925-2006.pdf>.
- SCT (2007).** *Corridas de Origen y Paso de las Terminales Centrales de Pasajeros.* Respuesta a la solicitud de información con el número de registro TCE 18452. Recibido el 7 de enero de 2009.
- SETRAVI (2008) [en línea].** *1er. informe de Gobierno SETRAVI 2007.* Distrito Federal, México. Consultado en enero 2009 de: <http://www.setravi.df.gob.mx/>

- SETRAVI (2006) [en línea]. *Red de Transporte de Pasajeros: En vialidad y transporte, la mayor inversión del GDF.* Comunicado del 17 de abril de 2006. D.F., México. Consultado en agosto de 2009 de: [http://www.setravi.df.gob.mx/noticias/detalleNoticias.html?id\\_noticia=584](http://www.setravi.df.gob.mx/noticias/detalleNoticias.html?id_noticia=584)
- SEDECO-DF (2009) [en línea]. *Indicadores de actividad industrial del D.F.*, Secretaría de Desarrollo Económico del Distrito Federal. D. F., México. Consultado en 2009 de: <http://www.sedeco.df.gob.mx/programas/prioritarios/parques/indicadores.html>
- SENER (2008) [en línea]. *Prospectiva del Mercado de Gas LP.* Consultado en septiembre de 2008, del sitio web SENER, Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Consultado en 2008 de: [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Prospectiva%20Gas%20LP%202008-2017.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva%20Gas%20LP%202008-2017.pdf)
- SENER (2008a) [en línea]. *Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2008-2017.* Consultado en septiembre de 2008, del sitio web SENER, Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico de: [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Prospectiva%20Gas%20Natural%202008-2017.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva%20Gas%20Natural%202008-2017.pdf)
- SENER (2008b) [en línea]. *Balance Nacional de Energía 2007.* México. Consultado en 2008 de: [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Balance\\_2007.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Balance_2007.pdf)
- SEMARNAT-INE (2009) [en línea]. México. *Cuarta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.* D.F., México. Consultado en 2010 de: [http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=615](http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=615)
- SEMARNAT-INE (2006) [en línea]. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002.* D.F., México. Consultado en 2008 de: [http://www.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=502](http://www.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=502)
- SEMARNAT-INE (2006a) [en línea]. *El sector Eléctrico en el Mundo y en México.* Consultado en diciembre 2008 de: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/496/cap1.html>
- SEMARNAT-INE (2002) [en línea]. *La Generación de Energía Eléctrica y Ambiente.* Número 065. D.F., México Consultado en 2008 de: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/539/53906504.pdf>
- SEMARNAT-INE (2000) [en línea]. *Inventario Nacional Forestal 2000.* Cartografía digital, escala 1:250,000
- SIEM (2008) [en línea]. *Estadística de las empresas por municipio, tipo y tamaño 2008.* D.F., México: Consultado en Julio de 2009 de: <http://www.siem.gob.mx/siem2008/estadisticas/muntamano.asp?qedo=15&tam=0&p=1>
- SMA-GDF (2008). *Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012 (1ª ed.)*, D.F., México: Autor

- SMA-GDF (2008a) [Base de datos].** Base de datos DATGEN para fuentes puntuales, elaborada con información del sector industrial enviada a la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire mediante el Anexo "A" de la Licencia Ambiental Única del Distrito Federal.
- SMA-GDF (2006).** *Estrategia Local de Acción Climática del Distrito Federal* (1º ed.), D.F., México: Autor
- SMA-GDF (2006a) [en línea].** *Inventario de Residuos sólidos del Distrito Federal*. D. F. México. Consultado en Febrero de 2009 de: [http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/inventario\\_residuos\\_solidos.pdf](http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/inventario_residuos_solidos.pdf)
- SMA-GDF (2006, 2007 y 2008) [Base de Datos].** Distrito Federal, México: *Programa de Verificación Vehicular Obligatorio*. Dirección de Programas de Transporte Sustentable y Fuentes Móviles.
- SMA-DGF (2004) [en línea].** *Inventario de las áreas verdes urbanas del Distrito Federal*. D.F. México Consultado en 2009 de: [http://www.sma.df.gob.mx/avu/index.php?op=contexto\\_5a](http://www.sma.df.gob.mx/avu/index.php?op=contexto_5a)
- ST-EM (2007) [Base de Datos].** Estado de México, México. *Padrón Estatal de Transporte Público del Estado de México*: Secretaría de Transportes del Estado de México.
- STC-Metro (2009) [en línea].** *Cifras de operación del Sistema de Transporte Colectivo de la Ciudad de México*. D.F., México. Consultado en agosto de 2009 de: <http://www.metro.df.gob.mx/sabias/linea12.html#3>
- STE-DF (2009) [en línea].** *Líneas de trolebuses, en la página en Internet del Sistema de Transportes Eléctricos del Distrito Federal*. D.F., México. Consultado en agosto de 2009 de: <http://www.ste.df.gob.mx/servicios/lineas.html>
- UNAM-CAM (2006).** *Estudio Integral Metropolitano de Transporte de Carga y Medio Ambiente para el Valle de México (EIMTCA-MAVM)*. Proyecto de realización del estudio matriz origen-destino para el transporte de carga. Informe Final. Instituto de Ingeniería-UNAM, D.F., México
- U. S. EPA (2008) [Software de computadora].** *Landfill Gas Emissions Model, LandGEM* (Versión 3.02). United States Environmental Protection Agency: USA. Obtenido en 2008 de: <http://www.epa.gov/ttnca1/products.html>
- U.S. EPA (2006b) [Software de computadora].** *TANKS Emissions Estimation Software*, (Version 4.09D). United States Environmental Protection Agency: USA. Obtenido en 2008 de: <http://www.epa.gov/ttnchie1/software/tanks/index.html#order>
- U. S. EPA (2003a) [en línea].** *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2001*. Washington. D.C., USA. Obtenido en 2006 de: [http://www.epa.gov/climatechange/emissions/usgginv\\_archive.html](http://www.epa.gov/climatechange/emissions/usgginv_archive.html)



U.S. EPA (2003b) [Software de computadora]. *Mobile 6.2 México*. United States Environmental Protection Agency: USA. Obtenido en 2006 de: <http://www.epa.gov/OMS/m6.htm>

U.S. EPA y Thompson G. (2002) [en línea]. *Development of Emissions Inventory Methods for Wildland Fire. Final Report*, E.U.U. Consultado en 2009 de <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/related/firerept.pdf>

# Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero y carbón negro de la ZMVM

---

# 2008

Los inventarios de emisiones que se han elaborado para la Zona Metropolitana del Valle de México han ido mejorado en su calidad; actualmente incluyen, además de la cuantificación desagregada de las emisiones por tipo de fuente, categoría o subsector, la variación temporal y distribución espacial de las emisiones contaminantes.

Con estos inventarios, es posible localizar de forma precisa, a los sectores de mayor contribución por tipo de contaminante, e identificar a las fuentes en las cuales deben aplicarse medidas de control y/o reducción de emisiones contaminantes.

## **ANEXO 3**

London Energy and Greenhouse Gas Inventory 2008 Methodology Manual.

# London Energy and Greenhouse Gas Inventory (LEGGI) 2008

## Methodology Manual

London Energy and Greenhouse Gas Inventory (LEGGI) 2008

**MAYOR OF LONDON**

### London Energy and Greenhouse Gas Inventory 2008



Designed and compiled by



**GREATER LONDON AUTHORITY**



August 2010

**Title** | London Energy and Greenhouse Gas Inventory (LEGGI) 2008  
Methodology Manual

**Customer** | Greater London Authority (GLA)

**Customer reference** | PN454

**Confidentiality, copyright and reproduction** | This report has been produced by AEA under a Framework Contract with the UK Department for Transport (DfT). Any views expressed in this report are not necessarily those of the UK Department for Transport.  
  
© Queen's Printer and Controller of HMSO – 2010  
  
All enquiries relating to the copyright in the work should be addressed to HMSO, The Licensing Division, St Clements House, 2-16 Colegate, Norwich, NR3 1BQ.

**File reference** |

**Reference number** | ED46965 - Issue 2

AEA  
Central House  
14 Upper Woburn Place  
London  
WC1H 0JN

t: 0870 190 3478  
f: 0870 190 5545

AEA is a business name of AEA Technology plc

AEA is certificated to ISO9001 and ISO14001

**Author** | Name | Julius Mattai, Agnieszka Griffin & Carlos Martinez

**Approved by** | Name | Julius Mattai

Signature | 

Date | August 2010

The London Energy and Greenhouse Gas Inventory (LEGGI) 2008 Methodology Manual (hereafter, "Manual") has been compiled and reported by AEA (in collaboration with the Environmental Research Group (ERG)/Kings College London) on behalf of the Greater London Authority (GLA), under Lot 2 of the UK Department for Transport (DfT) Framework Contract.

The LEGGI 2008 Manual contains information supplied by the GLA, and all such information is supplied without liability for errors or omissions. The LEGGI Methodology Manual series is updated annually and any improvements in energy consumption and greenhouse gas (GHG) emission activity data, emission factors and/or emissions estimation methodologies are incorporated into the latest version of the LEGGI Methodology Manual series. While reasonable efforts have been undertaken to ensure that the contents of the LEGGI 2008 Manual are factually correct, AEA does not accept responsibility for the accuracy or completeness of its contents and shall not be liable for any loss or damage that may be occasioned directly or indirectly through the use of, or reliance on, the contents of the LEGGI 2008 Manual.

The LEGGI 2008 Manual may be reproduced by those individuals or organisations it is given to by the GLA in whole or part for research purposes or for assessing energy consumption and/or GHG emissions in the Greater London area subject to the inclusion of an acknowledgement of the source (LEGGI 2008, GLA). Reproduction for any other purposes requires the written permission of the Greater London Authority:

Public Liaison Unit  
Greater London Authority  
City Hall  
The Queen's Walk  
London SE1 2AA  
United Kingdom  
Fax: 020 7983 4057  
Email: [mayor@london.gov.uk](mailto:mayor@london.gov.uk).

The LEGGI is not a trademark. All other trademarks mentioned in this Manual are the property of their respective owners, that is: MapInfo® Professional is a registered trademark of MapInfo Corporation; ArcGIS® is a registered trademark of Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc; Microsoft® is a registered trademark of Microsoft Corporation; and Adobe Acrobat® Reader is a registered trademark of Adobe Systems Incorporated.

Use the contact details below for LEGGI 2008 **technical support**:

Julius Mattai  
Principal Consultant  
LEGGI 2008 Project Team  
AEA  
Central House, 14 Upper Woburn Place  
London WC1H 0JN  
United Kingdom  
Phone: 0870 190 3478  
Email: [julius.mattai@aeat.co.uk](mailto:julius.mattai@aeat.co.uk)  
<http://www.aeat.com>

### **Acknowledgements**

The authors wish to thank officers in the GLA and colleagues within AEA for their support and advice. The authors would also like to thank the following organisations for the supply of information and other assistance: Transport for London (TfL); Environment Research Group (ERG), King's College London; Port of London Authority (PLA); Lloyd's Maritime Intelligence Unit (LMIU); Heathrow Airport Limited; Department of Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA); Department of Transport (DoT); Department of Energy and Climate Change (DECC); DBIS; Environment Agency; AEA Group; DeltaRail Plc; National Grid; and the London boroughs.





## TABLE OF CONTENTS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>LIST OF TABLES .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>1. INTRODUCTION.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1. What is London Energy and Greenhouse Gas Inventory (LEGGI) 2008? .....         | 6         |
| 1.2. Uses of the LEGGI 2008.....  | 6         |
| 1.3. Background of the LEGGI 2008 .....   | 6         |
| 1.4. Spatial scope of the LEGGI 2008 .....  | 6         |
| 1.5. Temporal scope of the LEGGI 2008 .....   | 10        |
| 1.6. Simplified energy/fuel source and sector split in the LEGGI 2008 .....         | 10        |
| 1.7. Availability of the LEGGI 2008 .....   | 13        |
| <b>2. ENERGY USE AND GREENHOUSE GAS EMISSION ESTIMATION<br/>METHODOLOGIES .....</b> | <b>15</b> |
| 2.1. Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Road Transport.....       | 15        |
| 2.2. Energy consumption and greenhouse gas emissions from rail traffic .....        | 29        |
| 2.3. Energy consumption and greenhouse gas emissions from shipping .....            | 41        |
| 2.4. Energy Consumption and GHG Emissions from Domestic Aviation.....               | 55        |
| 2.4.1. London Heathrow.....   | 55        |
| 2.4.2. Smaller airport in Greater London.....                                       | 62        |
| 2.5. Energy Consumption and GHG Emissions from Electricity Consumption .....        | 70        |
| 2.6. Energy Consumption and GHG Emissions from Gas Consumption.....                 | 75        |
| 2.7. Energy Use and GHG Emissions from Coal, Oil and Wastes & Renewables .....      | 79        |

## List of Tables

|   |    |
|---|----|
| Table 1: Simplified energy/fuel source and sector split in the LEGGI 2008 .....   | 11 |
| Table 2: Comparison of predicted, measured and predicted-measured hourly total traffic flows. ....  | 18 |
| Table 3: Vehicle km corrected for minor roads.....  | 18 |
| Table 4: Vehicle km (billion) for each vehicle type for the LAEI area.....  | 19 |
| Table 5: Proportion of taxis (taxis/(taxis+cars)) by area of London.....  | 19 |
| Table 6: Taxi Stock data (%) for the years 2004, 2006, 2008, 2011 and 2015 .....  | 22 |
| Table 7: TfL Bus Stock data (%) for the years 2004, 2006, 2008, 2011 and 2015 .....   | 22 |
| Table 8: Emission factors sensitivity of new DfT emission factors. (Percentage change compared to old emission factors) – Year 2006 ..... | 23 |
| Table 9: Growth factors, expressed as a % change between 2008 and the forecast year, by period and location.....                          | 24 |
| Table 10: Speed change post 2008: a 1% change in total flow leads to a 1% change in speed .....   | 25 |
| Table 11: LEZ Articulated HGV stock composition (%).....  | 25 |
| Table 12: LEZ Rigid HGV stock composition (%).....  | 26 |
| Table 13: LEZ Coach stock composition (%).....  | 26 |
| Table 14: LEZ diesel LGVs and minibus stock composition (%).....  | 26 |
| Table 15: Western Extension traffic change during charging hours (07.00am to 06.00 pm) .....  | 27 |
| Table 16: Western Extension traffic change during charging hours (07.00am to 6.00 pm) .....   | 27 |
| Table 17: Particle trap assumptions for pollutant emissions .....   | 27 |
| Table 18: Train categorisation used in the study.....   | 32 |
| Table 19: Rail traffic data extraction from the ACTRAFF database.....   | 32 |
| Table 20: Energy consumption information from the TRATIM database .....   | 34 |
| Table 21: Energy-specific emission factors for diesel and electric trains, 2008 .....   | 34 |
| Table 22: Train Class .....   | 37 |
| Table 23: Train class formation and weight.....   | 38 |
| Table 24: Ports and terminal within the LEGGI area .....  | 42 |
| Table 25: Vessel characteristics: average speed, power and tonnage .....  | 44 |
| Table 26: Vessel movements: number and types of vessels and vessel calls in 2004 .....  | 44 |
| Table 27: Estimates of durations of vessel "in port" in Port of London .....  | 46 |
| Table 28: Durations (in hours) of vessel "at sea" in Port of London .....   | 47 |
| Table 29: Average vessel power (kW) by vessel type .....  | 49 |
| Table 30: Rated average vessel power (kW) .....   | 50 |
| Table 31: Emission factors for "at sea" operation regarding vessel type, 2004.....  | 51 |
| Table 32: Emission factors for "in port" operation regarding vessel type, 2004.....   | 51 |
| Table 33: Estimated uncertainties at the 95% confidence interval.....   | 52 |
| Table 34: Emission factors for "at sea" operation regarding vessel type, 2011 and 2015 .....  | 54 |
| Table 35: Emission factors for "in port" operation regarding vessel type, 2010 and 2015 .....   | 54 |
| Table 36: Emission factors for aviation fuels (kg/t).....   | 66 |
| Table 37: Trends in Domestic electricity consumption (GWh) in Greater London and projection factors.....                                  | 73 |
| Table 38: Trends in Industrial and Commercial electricity consumption (GWh) in Greater London and projection factors .....                | 73 |
| Table 39: Trends in Domestic gas consumption (GWh) in Greater London and projection factors.....  | 77 |
| Table 40: Trends in Industrial and Commercial gas consumption (GWh) in Greater London and projection factors .....                        | 78 |

|   |    |
|---|----|
| Table 41: Fuel Conversion Factors.....  | 81 |
| Table 42: Trends in Domestic coal consumption (ktoe) in Greater London and projection factors.....                                  | 82 |
| Table 43: Trends in Industrial and Commercial coal consumption (ktoe) in Greater London and projection factors.....                 | 82 |
| Table 44: Trends in Domestic oil consumption (ktoe) in Greater London and projection factors.....                                   | 83 |
| Table 45: Trends in Industrial and Commercial oil consumption (ktoe) in Greater London and projection factors.....                  | 83 |
| Table 46: Trends in Industrial and Commercial waste and renewables consumption (ktoe) in Greater London and projection factors..... | 84 |

## List of Figures

|   |    |
|---|----|
| Figure 1: LEGGI area.....   | 8  |
| Figure 2: Central Greater London area .....   | 8  |
| Figure 3: Inner Greater London area.....  | 9  |
| Figure 4: Outer Greater London area .....   | 9  |
| Figure 5: Extent of the LAEI 2008 illustrated by the 1km <sup>2</sup> grid cells.....   | 16 |
| Figure 6: Estimation of taxi operation in London using GPS tracking (LAEI 2001) .....   | 20 |
| Figure 7: The CSS speed network used in compiling central and inner London speeds ..... | 21 |
| Figure 8: Spatial distribution of the rail network in the LEGGI area.....               | 31 |
| Figure 9. Location of airports in Greater London Area.....                              | 63 |

## 1. INTRODUCTION

This Manual provides an overview of the LEGGI 2008, including descriptions of the activity data; data sources, emission factors, methodologies and assumptions used in quantifying energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions in the LEGGI 2008. The Manual also highlights the key improvements in the LEGGI 2008 that have been undertaken to accommodate improved scientific information, changing priorities and new legislative requirements. To ensure that the LEGGI remains relevant and responsive to the needs of the energy community, the Greater London Authority (GLA) has undertaken a continuous improvement programme that entails a comprehensive review, assessment and update of previous energy consumption and GHG emission estimates, activity data, data sources, emission factors and estimation methodologies.

The LEGGI 2008 is compiled using extensive combinations of "top-down" and "bottom-up" methodologies, which are based predominantly on emission factors (e.g., a known amount of carbon dioxide is emitted from a given type of vehicle exhaust at a given speed per kilometre travelled) and activity data (e.g., vehicle kilometre travelled and fuel consumption) estimated or measured in the base year. These emission factors, activity data and energy consumption and greenhouse gas emission estimates have been derived from the following sources:

- The London Atmospheric Emissions Inventory (LAEI)<sup>1</sup> 2008, which is a comprehensive database of geographically referenced datasets of atmospheric emission sources and information about the location, rates of emissions and estimates of the quantity of specific pollutants emitted into the air within and around Greater London.
- Department for Energy and Climate Change (DECC) – formerly Department for Business, Enterprise & Regulatory Reform (BERR) - Middle Layer Super Output Area (MLSOA)<sup>2</sup> level electricity and gas consumption datasets and UK local and regional estimates of non-gas, non-electricity and non-transport energy consumption.
- Department for Environment, Food and Rural Affairs' (DEFRA) experimental and national statistics on carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions at local authority and regional levels datasets<sup>3</sup>.
- National Atmospheric Emissions Inventory (NAEI)<sup>4</sup> and the UK Emission Factor Database (UK EFD): The UK EFD is based on emissions data used to derive the

---

<sup>1</sup> The LAEI 2008 is maintained by the GLA Air Quality Team as part of the Mayor's commitment to the promotion, provision and sharing of strategic data on issues concerning air emissions and air quality in Greater London.

<sup>2</sup> MLSOAs are a new geographical hierarchy that was first introduced in the 2001 census and are expected to

eventually become the standard across National Statistics and beyond. For further information see the link below: <http://www.statistics.gov.uk/geography/soa.asp>

<sup>3</sup> For further information see:

<http://www.defra.gov.uk/evidence/statistics/environment/airqual/index.htm>

<sup>4</sup> The UK Greenhouse Gas Inventory (GHGI) is compiled using the same database as the UK NAEI, which is used for reporting under other international agreements and includes emission estimates for greenhouse gases, regional pollutants leading to acid deposition and

NAEI, which is maintained by AEA on behalf of DEFRA. The emission factors in this database are UK average factors for a large number of different source sectors including industrial processes, combustion, transport and commercial combustion.

- DECC's Digest of United Kingdom's Energy Statistics (DUKES)<sup>5</sup> 2008. The DUKES contain extensive tables, charts and commentary covering all the major aspects of energy, including separate sections on petroleum, gas, coal and electricity.
- EEA, Air Pollutant Emission Inventory Guidebook – 2009 (prepared by the UNECE/EMEP Task Force on Emissions Inventories and Projections)<sup>6</sup>, which provides a comprehensive guide to state-of-the-art atmospheric emissions inventory methodology.
- UK and European energy consumption and greenhouse emission studies and literature.

Because the LAEI 2008 provides detailed London-specific activity data and atmospheric emissions estimates, a key tenet in estimating fuel/energy consumption and greenhouse emissions in the LEGGI 2008 is the use of the LAEI 2008 data as much as possible in order to gain a more consistent and realistic picture of energy consumption and greenhouse emissions in Greater London. However, where limitations (e.g., estimates of nitrous oxide<sup>7</sup> for some relevant emission sources are incomplete in the LAEI 2008 while estimates of hydrofluorocarbons, perfluorocarbons and sulphur hexafluoride are virtually non-existent) in the LAEI 2008 prevent the use of the LAEI 2008 datasets, DECC's and DEFRA's datasets on energy consumption and CO<sub>2</sub> emission statistics are used instead. Therefore, we have updated most of the activity data, emission factors and the energy consumption and GHG emissions estimates for road transports, railway traffic, domestic shipping and domestic aviation using data, information and methodologies from the LAEI 2008, where appropriate. On the other hand, the activity data, emission factors and the energy consumption and GHG emissions estimates for Electricity<sup>8</sup>, Coal, Oil and Wastes & Renewable have been derived from the updated local energy consumption data from DECC's Energy Statistics and DEFRA's local authority CO<sub>2</sub> emissions datasets<sup>9</sup>.

The six greenhouse gases: carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O),

---

photochemical pollution, persistent organic pollutants and other toxic pollutants such as heavy metals. For further information see: <http://www.naei.org.uk>.

<sup>5</sup>

<http://www.berr.gov.uk/whatwedo/energy/statistics/publications/dukes/page45537.html>

<sup>6</sup> <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009> (formerly referred to as EMEP CORINAIR Guidebook).

<sup>7</sup> Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) is emitted in London from anthropogenic sources. However, most of the key sources (e.g. agriculture and adipic and nitric acid manufacture) are absent from the capital.

<sup>8</sup> This significantly contrasts with the methodology used in the London Atmospheric Emissions Inventory (LAEI) 2008 where CO<sub>2</sub> emissions from electricity generation are allocated to the location of the power stations rather than to the location of the customers. This re-allocation of energy consumption and GHG emissions from power stations to place of consumption is one of the major features of the LEGGI 2008.

<sup>9</sup> DECC commissioned AEA to provide regional estimates of fuel and energy consumption from various sectors at the Government Office and local authority levels for 2005, 2006 and 2007. The project used 2007 data from the National Atmospheric Emissions Inventory (NAEI), which is also maintained by AEA.

hydrofluorocarbons (HFC), perfluorocarbons (PFC) and sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>), considered in the LEGGI 2008 comprise the "basket of emissions" against which reduction targets were agreed at the Third Conference of the Parties of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) in Kyoto, Japan in December 1997. Of the "basket of emissions", the major greenhouse gases are CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O, all of which have both natural and anthropogenic sources. In contrast, the other fluorinated industrial gases: HFC, PFC and sulphur SF<sub>6</sub>, are potent greenhouse gases that do not occur in nature, and hence only originate from anthropogenic sources. The non-CO<sub>2</sub> GHG gases play an important role in the effort to understand and address global climate change. The non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases are more potent than CO<sub>2</sub> (per unit weight) at trapping heat within the atmosphere and, once emitted, can remain in the atmosphere for either shorter or longer periods of time than CO<sub>2</sub>.

HFCs<sup>10</sup>, PFCs<sup>11</sup> and SF<sub>6</sub><sup>12</sup> gases are all used in highly specialised cases and it is not currently possible to give reliable emission estimates for individual HFCs, PFCs and SF<sub>6</sub> in the LEGGI 2008 because most of the activity data concerning these gases are considered commercially sensitive data within the industries involved. Furthermore, most major industrial applications of these gases occur outside London and the quantities emitted to the atmosphere within Greater London are assumed to be negligible and far smaller than the emissions of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O.

During the compilation of the LEGGI 2008, the non-CO<sub>2</sub> GHG gas emission estimates were converted to Carbon dioxide equivalent (CO<sub>2</sub>eq or CO<sub>2</sub>e)<sup>13</sup> using the Second Assessments Report's Global Warming Potentials (GWP) published by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and recognised by the UNFCCC (see Table 27). CO<sub>2</sub>eq is a more correct/broad measure of total GHG contribution. GWPs are used to compare the abilities of different GHGs to trap heat in the atmosphere and are based on the radiative efficiency (heat-absorbing ability) of each gas relative to that of CO<sub>2</sub>, as well as on the decay rate of each gas (the amount removed from the atmosphere over a given number of years) relative to that of CO<sub>2</sub>. The GWPs provide a construct for

---

<sup>10</sup> HFCs are being increasingly used as substitutes for CFCs and HCFCs in domestic, commercial and industrial refrigeration and air conditioning; substitutes for CFCs in plastic foam blowing; substitutes for CFCs for some medical aerosols; substitutes for CFCs for industrial and specialist aerosols; and fire fighting fluids.

<sup>11</sup> PFCs are used mainly in etching processes in the semiconductor industry; chemical vapour deposition in the electronics industry; soldering processes; leak testing of electrical components; cooling electrical components, for example in some computers and radar systems; refrigerant blended with HFC; fire fighting in specialist applications; and cushioning in the soles of training shoes.

<sup>12</sup> SF<sub>6</sub> is used in for insulation medium in high voltage applications such as switchgear and circuit breakers; cushioning in soles of training shoes; insulating gas in double glazing applications, replacing vacuum as an insulation medium; and plasma etching of poly-silicon and nitrite surfaces

<sup>13</sup> CO<sub>2</sub>eq or CO<sub>2</sub>e is an internationally accepted metric measure that expresses the amount of global warming of greenhouse gases (GHGs) in terms of the amount of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) that would have the same global warming potential (GWP), measured over a specified timescale (generally, 100 years).

converting emissions of various greenhouse gases into a common measure, which allows climate analysts to aggregate the radiative impacts of various GHGs into a uniform measure denominated in CO<sub>2</sub>eq. For example, the GWP used in the LEGGI 2008 for CH<sub>4</sub> is 21 and for N<sub>2</sub>O it is 310. This means that emissions of 1 metric tonne of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O are equivalent to emissions of 21 and 310 metric tonnes of CO<sub>2</sub>, respectively<sup>14</sup>.

All aspects of energy use by the domestic sector, the principal industrial and commercial sectors, public services as well as private and public transportation have been considered. For the purpose of the LEGGI 2008, energy consumption (and its associated GHG emissions) has been broadly split into three sectors:

- Domestic
- Industrial & Commercial
- Transport

All energy or fuel consumptions, which are not clearly industrial or commercial, have been included into the Industrial & Commercial sector. This simplified split has been necessary in order to provide energy consumption and GHG emission estimates in a format that can be reliably and meaningfully compared to the figures in DECC's Energy Statistics and DEFRA's Statistics on CO<sub>2</sub> Emissions at Local Authority and Regional Level.

In comparison with the LEGGI 2006, the presentational layout of the LEGGI 2008 has not significantly changed, especially in terms of database structure and content. Like the LEGGI 2006, the LEGGI 2008 incorporates features that provide users with functionality that facilitate the querying, displaying, reporting and direct exporting of the underlying energy consumption and GHG datasets through graphical user interfaces (GUI) to a Microsoft® Excel workbook (with various Excel formats already applied to facilitate filtering by London boroughs and other geographical units). Furthermore, the LEGGI 2008 also provides improved and integrated links to the most common Geographic Information Systems (GIS) applications (i.e., MapInfo® Professional and ArcGIS®), ensuring that LEGGI 2008 users benefit from the mapping, visualisation and querying functionality offered by these GIS applications.

The LEGGI 2008 has been developed using a wide range of assumptions, emission factors and activity datasets that have some uncertainties associated with them. Such uncertainties are inherent within any kind of estimation of complex and highly variable sources of energy use and greenhouse gas emissions over space and time. Therefore, it must also be noted that the estimation methodologies in this Manual and the energy/fuel consumption and greenhouse gas estimates presented in the LEGGI 2008 may be different from those reported by DECC, DEFRA, independent organisations and researchers, whose estimates might be based on inventories developed using different datasets, emission factors, assumptions or methods. Therefore, whilst making interpretations, deductions, conclusions or actions based on the LEGGI 2008, it is prudent that its contents are interpreted in conjunction with other reliable publications on Greater London's energy/fuel use and greenhouse gas emissions.

---

<sup>14</sup> The CO<sub>2</sub>eq for a gas is derived by multiplying the tonnes of the gas by the associated GWP.



Although this Manual is envisaged to promote transparency and consistency in compiling and reporting London's energy/fuel use and greenhouse gas emissions, AEA does not accept responsibility for the accuracy or completeness of the contents of this Manual and shall not be liable for any loss or damage that may be occasioned directly or indirectly through the use of, or inferences from the material contained in this Manual, or for any actions as a result of any person's or group's interpretations, deductions, conclusions or actions in reliance on this Manual. Nonetheless, reasonable efforts have been made to ensure the methods presented in this Manual are correct as far as possible.

### 1.1. What is London Energy and Greenhouse Gas Inventory (LEGGI) 2008?

The LEGGI 2008 is a database of geographically referenced datasets of fuel/energy consumption within the Greater London area and estimates of the quantity of resulting greenhouse gases (GHGs) - carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), hydroflourocarbons (HFCs), perflourocarbons (PFCs) and sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) - emitted into the air.

### 1.2. Uses of the LEGGI 2008

The LEGGI is used for assessing the spatial distributions and relative significance of the various fuel/energy consumption sources and sectors and greenhouse gases emissions to reach informed opinions when formulating, monitoring and evaluating energy policies and preparing energy and climate change reports. The LEGGI plays a major role in the development and implementation of the Mayor's Climate Change Mitigation and Energy Strategy (CCMES).

### 1.3. Background of the LEGGI 2008

The LEGGI 2008 emission estimates are predominantly based on the "bottom up" methods outlined in the LEGGI 2008 Emissions Estimation Methodology Manual, which can be found on the LEGGI 2008 CD. Where insufficient local data existed, a combination of some of the "bottom up" and "top down" methodologies and datasets developed by the AEA Emissions Inventory Team for the compilation of the 2007 regional and sub-regional greenhouse gas emissions inventories and the United Kingdom (UK) Greenhouse Gas Inventory (GHGI) and National Atmospheric Emissions Inventory (NAEI) 2007<sup>15</sup>, have been used. The NAEI and GHGI are generally based on a combination of both "bottom up" and "top-down" source specific data from the UK Department of Energy and Climate Change (DECC), Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) and the annually released "top down" energy data such as those presented in the Digest of United Kingdom Energy Statistics (DUKES), published by DECC.

The LEGGI 2008 is the latest version of the LEGGI series released by the Greater London Authority (GLA). Since its establishment in 2000, the GLA has updated and released five versions (i.e., including the current version, LEGGI 2008) of the LEGGI: London Energy Database (LED) 2000, released in April 2003; London Energy and Carbon dioxide Inventory (LECI) 2003, released in April 2006; LEGGI 2004-2005, released in December 2008; LEGGI 2006, released in April 2009; and the current LEGGI, 2008, released in August 2010.

### 1.4. Spatial scope of the LEGGI 2008

The geographical area covered by the LEGGI includes the 32 London boroughs and the City of London (see Figure 1). The total area covered by the LEGGI is approximately 1,604 km<sup>2</sup>. For reporting and analytical purposes, the LEGGI study area is geographically

---

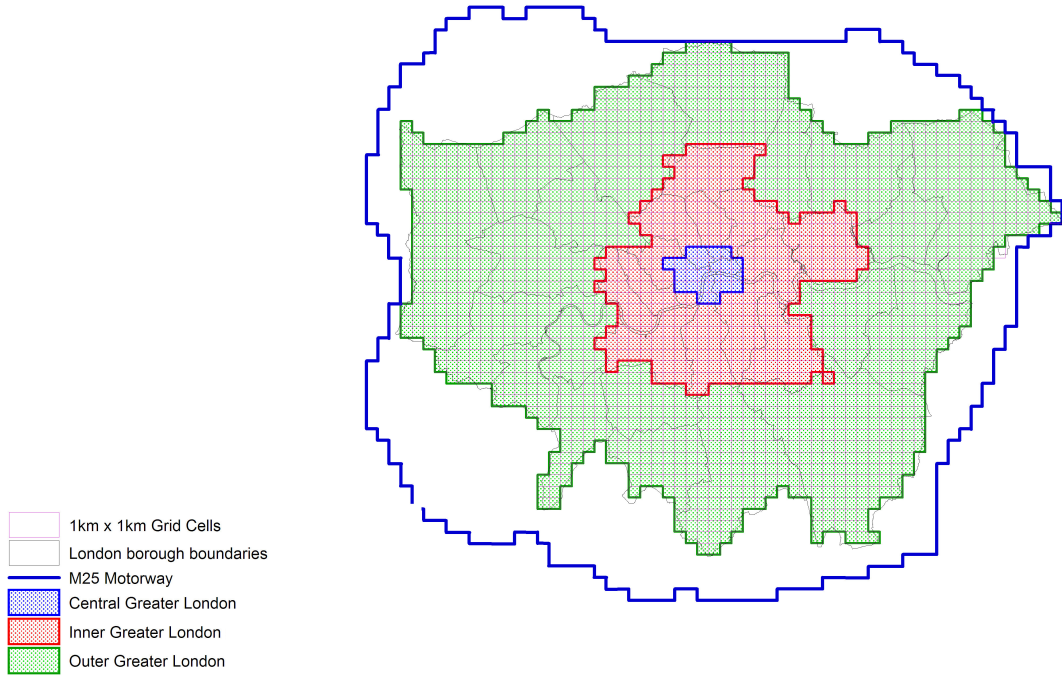
<sup>15</sup>The NAEI can be found at: <http://www.naei.org> - The NAEI is a "top down" inventory in which national data is allocated to smaller areas on the basis of the resident population and other appropriate indicators of regional activity. However, it contains some "bottom up" data such as on individual power stations and large industrial plants. The LAEI 2008 is a "bottom up" inventory in which local data is used to compile an inventory of local emissions. However, the LAEI and the NAEI are, to a certain degree, complementary.

divided into three sub-areas: *Central*, *Inner* and *Outer Greater London areas*. To spatially analyse and allocate emission estimates across the LEGGI study area, the UK Ordnance Survey's 1km<sup>2</sup> National Grid is used as the geographical framework for data output and presentation in the LEGGI. Each 1-km<sup>2</sup> grid cell (1,604 1-km<sup>2</sup> grid cells cover the entire LEGGI area) has a unique identification number and is assigned a value for the level of energy consumption and greenhouse gas emissions occurring within that 1-km<sup>2</sup> grid cell. The 1-km<sup>2</sup> grid cells that make up the London boroughs are mutually exclusive (i.e., each 1-km<sup>2</sup> grid cell belongs to no more than one London borough) and collectively exhaustive (i.e., every 1-km<sup>2</sup> grid cell belongs to a London borough). The rule applied when one 1-km<sup>2</sup> grid cell falls in more than one London borough is that of simple plurality: the London borough with the *largest share* of the 1-km<sup>2</sup> grid cell's area gets the 1-km<sup>2</sup> grid cell.

For reporting and analytical purposes, the LEGGI area is geographically divided into:

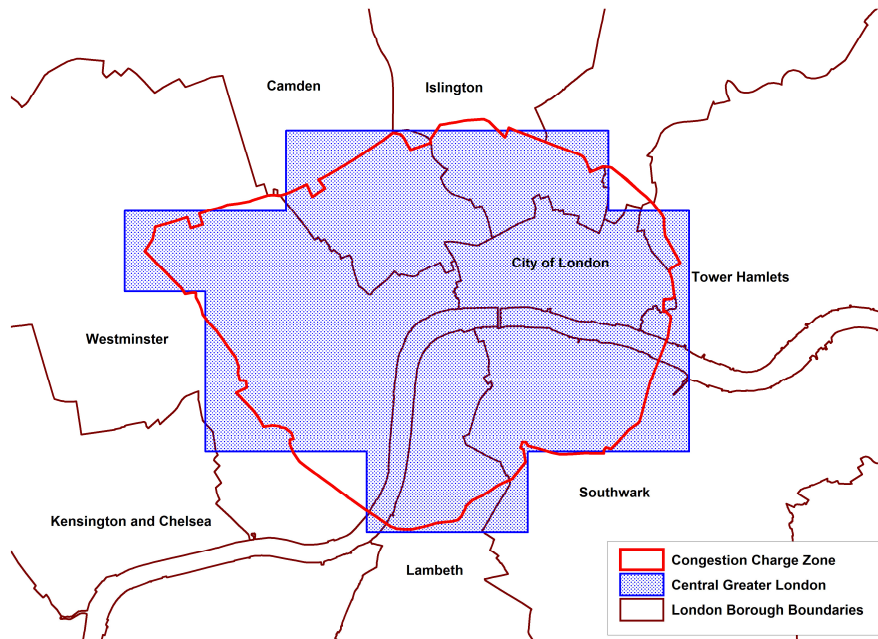
- **Central Greater London** - roughly corresponds to the boundary of the old (2003) Central London Congestion Charging Zone (CCZ) and is made up of some of the 1-km<sup>2</sup> grid cells in the boroughs of Camden, City of London, Islington, Lambeth, Southwark, Tower Hamlets, and Westminster (Figure 2).
- **Inner Greater London** - consists of some 1-km<sup>2</sup> grid cells in the boroughs of Camden, Greenwich, Hackney, Hammersmith and Fulham, Haringey, Barnet, Islington, Kensington and Chelsea, Lambeth, Lewisham, Newham, Southwark, Tower Hamlets, Wandsworth, Westminster, Waltham Forest and Redbridge (Figure 3).
- **Outer Greater London** - consists of some 1-km<sup>2</sup> grid cells in the boroughs of Enfield, Barking and Dagenham, Barnet, Bexley, Brent, Bromley, Croydon, Ealing, Harrow, Havering, Hillingdon, Hounslow, Kingston-upon-Thames, Merton, Richmond-upon-Thames, Redbridge, Sutton and Waltham Forest (Figure 4).

Figure 1: LEGGI area



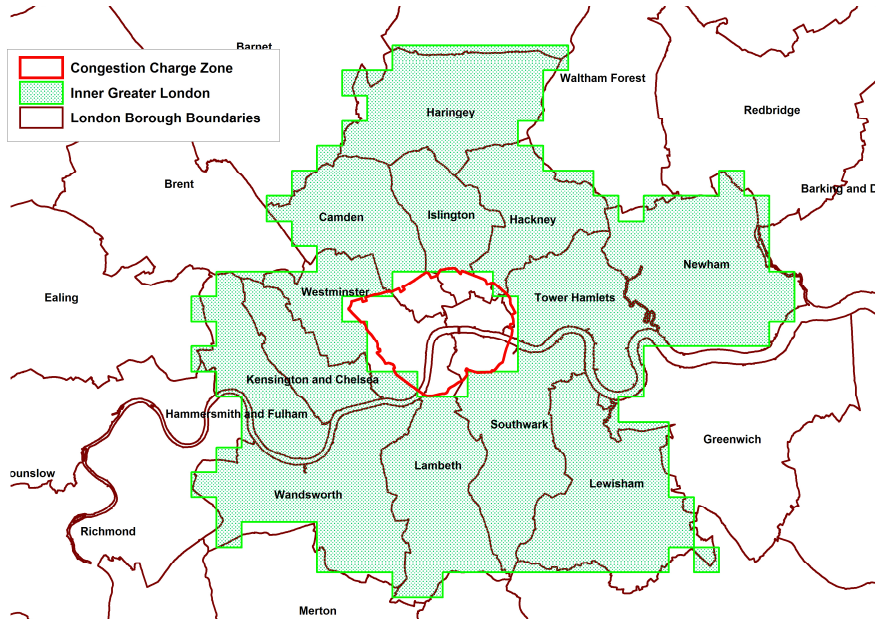
OS data © crown copyright. All rights reserved (GLA) (LA100032379)

Figure 2: Central Greater London area



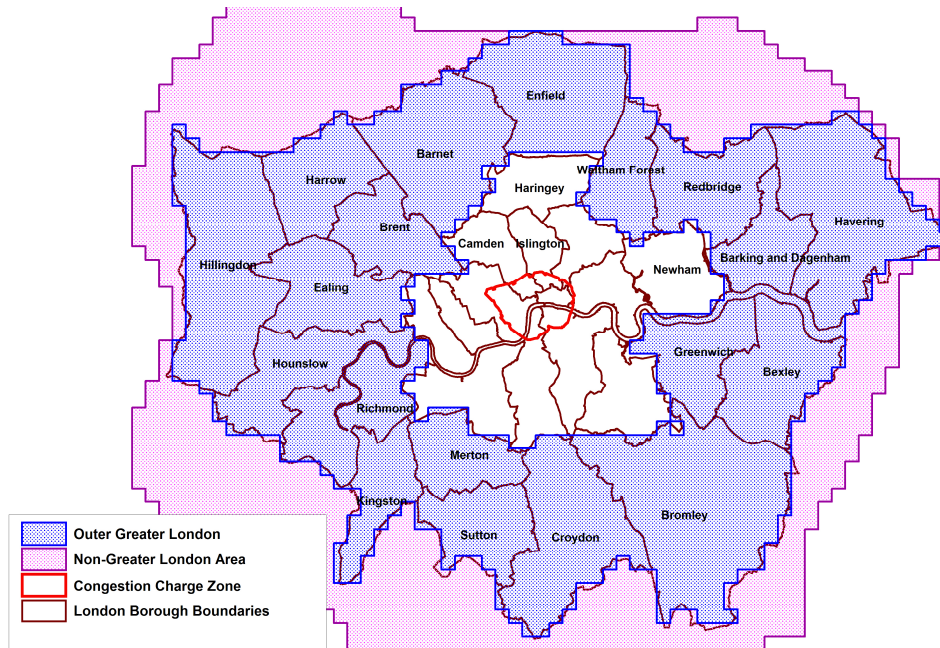
OS data © crown copyright. All rights reserved (GLA) (LA100032379)

Figure 3: Inner Greater London area



OS data © crown copyright. All rights reserved (GLA) (LA100032379)

Figure 4: Outer Greater London area



OS data © crown copyright. All rights reserved (GLA) (LA100032379)

### 1.5. Temporal scope of the LEGGI 2008

The base year for the LEGGI 2008 is the 2008<sup>16</sup> calendar year with forward and backward projections to 2011 & 2015 and 2006 and 2004, respectively. The LEGGI contains average fuel/energy consumption and greenhouse gas emission estimates for the base years and these averages are not necessarily indicative of energy use and greenhouse gas emissions for a given day.

Energy consumption is expressed in kilowatt-hours per year (kWh/yr) and greenhouse gases emissions in carbon dioxide equivalent-tonnes per year (CO<sub>2</sub>eq tonnes/year)<sup>17</sup>.

### 1.6. Simplified energy/fuel source and sector split in the LEGGI 2008

Energy/fuel consumption estimates (and the corresponding greenhouse gas emissions) in the LEGGI 2008 have been grouped into the following sources:

- Road Transport
- Domestic Aviation
- Rail Traffic
- Shipping
- Electricity
- Gas
- Oil
- Coal
- Wastes & Renewables

The aforementioned energy/fuel consumption estimates (and greenhouse gas emissions) have been further grouped into the following three broad sectors:

- Domestic
- Industrial & Commercial
- Transport

All fuel/energy consumption estimates that cannot be separately, easily and reliably classified as industrial<sup>18</sup> or commercial<sup>19</sup> have been grouped into the Industrial & Commercial sector. This simplified grouping is necessary in order to provide fuel/energy

---

<sup>16</sup> The 2008 base year (and in some cases 2007) is the most recent year for which adequate and reliable datasets were available at the time (September 2009–December 2009) the LEGGI 2008 was compiled.

<sup>17</sup> Carbon dioxide equivalent (CO<sub>2</sub>eq) is an internationally accepted metric measure that expresses the amount of global warming of greenhouse gases (GHGs) in terms of the amount of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) that would have the same global warming potential (GWP), measured over a specified timescale (generally, 100 years).

<sup>18</sup> The Industrial sector includes power stations, plants regulated as combustion processes under Integrated Pollution Control (IPC), refineries, integrated steelworks, coke ovens, cement clinker manufacture, lime manufacture and other plants regulated under IPC, etc.

<sup>19</sup> The Commercial sector includes commercial offices, communication and transport, hotel and catering, retail, sport and leisure, warehouses, education, Government and health sub-sectors, etc.

consumption and greenhouse gas emission estimates in a format that is meaningfully comparable to the energy consumption and greenhouse gas emission estimates in the UK Department for Energy and Climate Change (DECC) Energy Statistics and Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) Statistics on CO<sub>2</sub> Emissions at Local Authority and Regional Level, respectively.

The energy use and greenhouse gases estimates in the LEGGI 2008 are disaggregated by fuel/energy consumption sources (i.e., aviation, coal, electricity, gas, oil, rails, roads, shipping, wastes and renewable), sectors (i.e., domestic, transport, commercial and industrial) and location (i.e., London borough and 1-km<sup>2</sup> grid levels).

**Table 1: Simplified energy/fuel source and sector split in the LEGGI 2008**

| Energy/Fuel                     | Use Source   | Energy/Fuel Use  |
|---------------------------------|--------------|--|
| <b>Road Transport</b>           | Transport    | Energy use and greenhouse gas emissions from petrol and diesel (DERV) consumption by various road vehicles (i.e., cars, taxis, motorcycles, buses and coaches, light goods vehicles, rigid heavy goods vehicles and articulated heavy goods vehicles) in the Greater London area.  |
| <b>Domestic Aviation</b>        | Transport    | Energy use and greenhouse gas emissions from fuel use in civil aviation (i.e., domestic and international flights and aircrafts in the landing and take-off flight phases up to 1,000m) and management of airports (including airside support vehicles, stationary heating and auxiliary power units, etc) at London Heathrow, London City, Battersea, Biggin Hill, Denham, Elstree, Lippits Hill, Northolt and Stapleford airports. |
| <b>Rail</b>                     | Transport    | Energy use and greenhouse gas emissions from gas oil/diesel consumption by over ground diesel trains (emissions from diesel trains/engines are local as a result of combustion). Energy use and emissions by over ground electric trains and London Underground trains and stationary combustion in the rail sector (all accounted for in the Industrial & Commercial Electricity sector) are excluded.                              |
| <b>Domestic Shipping</b>        | Transport    | Energy use and greenhouse gas emissions from domestic and international shipping/marine vessels operating on the River Thames (i.e., including the 33 ports and terminals on the River Thames, starting from the breakwater at the M25 Motorway eastern boundary and then about 43 km westward towards Teddington) in Greater London.  |
| <b>Electricity<sup>20</sup></b> | Domestic     | Electricity use and greenhouse gas emissions calculated from actual or estimated meter reading at domestic premises.   |
|                                 | Industrial & | Energy use and greenhouse gas emissions  |

<sup>20</sup> Greater London is an overall importer of electrical energy so the actual emissions of greenhouse gases in the LEGGI 2008 due to consumption of electricity in the Greater London area (i.e., consumption-based entity) would be much higher than those reported in the LAEI 2008.

| Energy/Fuel                    | Use Source              | Energy/Fuel Use  |
|--------------------------------|-------------------------|--|
|                                | Commercial              | associated with industrial and commercial electricity consumption, including electricity consumption by over ground electric trains and the London Underground trains.   |
| <b>Gas</b>                     | Domestic                | Energy use and greenhouse gas emissions from natural gas supplied to homes, where it is used for cooking in natural gas-powered ranges and ovens, natural gas-heated clothes dryers, water and central heating, and domestic boilers, etc.   |
|                                | Industrial & Commercial | Energy use and greenhouse gas emissions from industrial (excluding gas-fired electricity generation and power stations), commercial (e.g., hotel and catering, warehouses, retail, sport and leisure, etc) and public services (e.g., education, Government, health, etc) gas use.   |
| <b>Oil</b>                     | Domestic                | Energy use and greenhouse gas emissions from domestic oil (e.g., heating oil, gas oils, kerosene, etc) used for oil-fired central heating in residential homes.  |
|                                | Industrial & Commercial | Energy use and greenhouse gas emissions from oil (e.g., heavy, medium and light fuel oil) used in general industrial and commercial applications, including boiler firing for hot water and steam raising, furnaces and large air heater and dryers but excluding petrol and gas oil/diesel (DERV) used by road and rail transport as well as oil used for electricity generation at power stations.                           |
| <b>Coal</b>                    | Domestic                | Energy use and greenhouse gas emissions from smokeless solid fuels (SSF) - coke and anthracite - burnt exclusively within Smoke Control Areas and used for room heaters, cookers, boilers, open fires and stoves.  |
|                                | Industrial & Commercial | Energy use and greenhouse gas emissions from industrial (e.g., iron and steel production, excluding coal-fired electricity generation at power stations) and commercial/ public (e.g., as feedstock for boilers providing heating and hot water in public buildings such as hospitals and schools) coal consumption.   |
| <b>Wastes &amp; Renewables</b> | Industrial & Commercial | Energy use and greenhouse gas emissions from wastes (excluding greenhouse gases from waste incinerated and/or used to generate energy) and renewables (including, landfill gas, sewage gas, wood, municipal solid waste, scrap tyres, waste oils, clinical waste, waste solvents, etc.). CO <sub>2</sub> emissions from biomass are excluded but non-carbon dioxide greenhouse gases (methane and nitrous oxide) are included. |



## 1.7. Availability of the LEGGI 2008

The LEGGI 2008 is available from the Environment Team, Greater London Authority (GLA), as a "zipped" (i.e., compressed) folder (**LEGGI\_2008.zip**) that contains all the necessary files and the actual LEGGI 2008 Microsoft® Access database that are needed to fully utilise the LEGGI 2008. A user guide (**LEGGI 2008 User Guide**) that provides clear and comprehensive information on how to copy and use the LEGGI 2008.

The "unzipped" (decompressed) LEGGI\_2008 folder must be copied to a suitably named directory/folder on your PC or network and it contains all the necessary files (including the GIS maps in MapInfo® Professional, ESRI ArcGIS®, Microsoft® Excel, Microsoft® Word and Adobe Acrobat® Reader file formats) needed to fully utilise the LEGGI 2008. The LEGGI\_2008 folder also contains the actual LEGGI 2008 database (**LEGGI\_2008.mdb**), which was developed using the Microsoft® Access 2002 database management system (DBMS).

### ***Important!***

*Because the LEGGI 2008 uses the Microsoft® Access 2002 application as its database management system (DBMS) you MUST have Microsoft® Access 2002 or later installed on your PC or else you will NOT be able to use the LEGGI 2008 database (i.e., the LEGGI\_2008.mdb file) and its user-friendly interfaces to easily and quickly navigate and query the underlying LEGGI 2008 emission datasets.*

The LEGGI 2008 was created using Access 2002 and do not need to be converted for use with Office Access 2007. You can open the LEGGI 2008 (\*.mdb file format) and modify data and object design in Office Access 2007 (\*.accdb file format) - compatibility mode is automatically on when you open a file that was saved in the old file formats and most functionality in the LEGGI 2008 (old versions of Access) is available in Office Access 2007, with some exceptions. When the Office 2007 program is in compatibility mode, it will be indicated in the document title bar.

The GLA provides the LEGGI 2008 to London boroughs and other users free of charge. Requests for the LEGGI 2008 must be made to the Greater London Authority:

Public Liaison Unit  
Greater London Authority  
City Hall  
The Queen's Walk  
London SE1 2AA  
United Kingdom

Fax: 020 7983 4057

Email: [mayor@london.gov.uk](mailto:mayor@london.gov.uk)

Use the contact details below for LEGGI 2008 **technical support**:

Julius Mattai  
Principal Consultant  
LEGGI 2008 Project Team  
AEA, 6 New Street Square,  
London EC4A 3BF  
United Kingdom

Phone: 0870 190 3478  
Email: [julius.mattai@aeat.co.uk](mailto:julius.mattai@aeat.co.uk)  
<http://www.aeat.com>

## 2. Energy Use and Greenhouse Gas Emission Estimation Methodologies

### 2.1. Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Road Transport

This section deals with fuel/energy consumption and greenhouse gas emissions from petrol and diesel (DERV) consumption by various road vehicles (i.e., cars, taxis, motorcycles, buses and coaches, light goods vehicles, rigid heavy goods vehicles and articulated heavy goods vehicles) in Greater London. The methodology outlined below has been mainly extracted from the "London Atmospheric Emissions Inventory (LAEI) 2008 Road Traffic Inventory Methodology Report, January 2010", prepared for the GLA and Transport for London (TfL) by Environmental Research Group (ERG), King's College London.

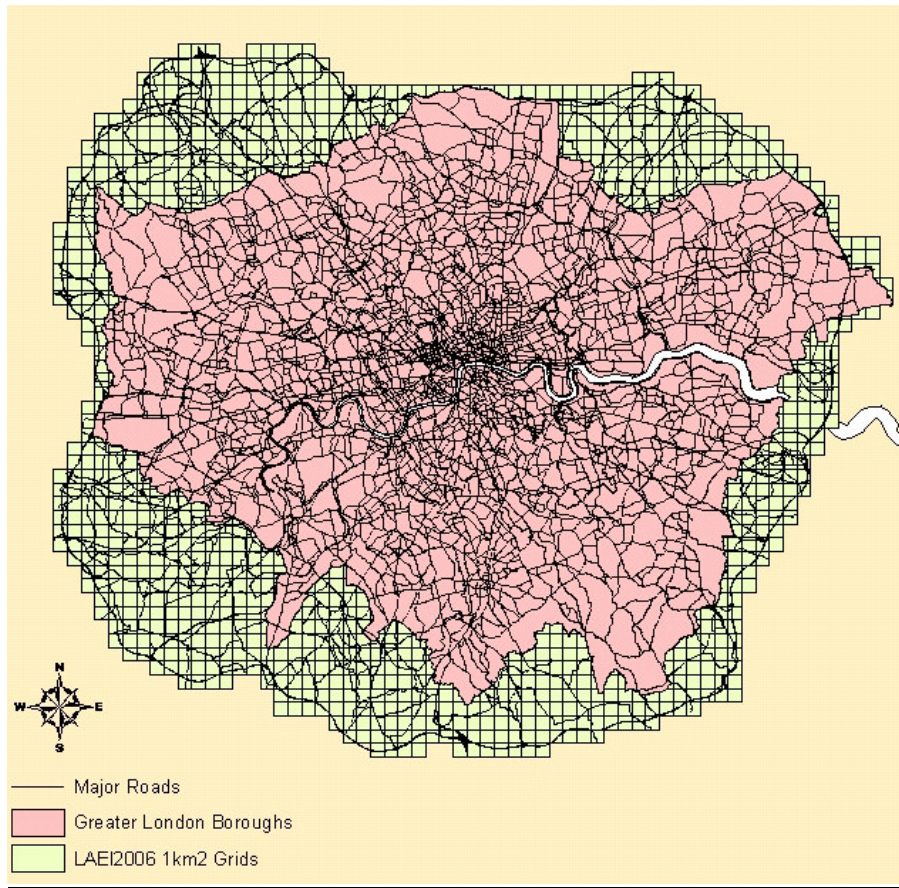
#### Summary

Fuel/energy consumption and greenhouse gas emissions were estimated from the detailed Greater London Authority's (GLA) LAEI 2008 Road Transport datasets that were prepared by ERG, who used monitored and modelled traffic counts of 11 classes of road vehicle from the Department for Transport (DfT), TfL and MVA traffic counts. The ERG methodology took into consideration Greater London-specific vehicle fleet ages and mixes for central, inner and outer London, average and traffic-peak speeds, hourly and daily flow profiles for thousands of road links and the impacts of the implementation of the Mayor's environmental and transport strategies (e.g., the London Congestion Charging Scheme (CCS), Mayor's Taxi Strategy, Mayor's Bus Strategy, etc).

The methodology used to create the traffic emissions for the LAEI 2008 has undergone significant changes compared with the previous version and these include:

- A complete revision of the methods used to estimate traffic flow on the road network;
- A new set of emissions factors for all vehicle types, provided by Department for Transport;
- Revisions to the vehicle stock model, provided by AEA;
- An updated trip starts matrix used in estimating cold starts, provided by TfL;
- New London specific vehicle stock, also provided by TfL.

Figure 5: Extent of the LAEI 2008 illustrated by the 1km<sup>2</sup> grid cells



### Major road vehicle flows

A completely new method has been developed by ERG to calculate the traffic flow on roads in London. The method was first used in the recent report to DEFRA, which compared trends in emissions with measurements in London (Beevers et al, 2009<sup>21</sup>). The reasons for developing the new methods include:

- To incorporate the traffic information not only from the most recent year but for all years from 1999 to the present day through use of a smooth function applied to all data, road by road. This analysis goes some way to resolving uncertainties associated with traffic counts, which are taken infrequently;
- The traffic is generated for each hour of the year, prior to being summarised as an AADT equivalent value and thus transport strategies, affecting certain periods or times of the day, can be more appropriately assessed;
- The traffic data will ultimately lead to the development of hourly emissions estimates from road traffic and that this will in turn allow more appropriate

<sup>21</sup> Beevers SD, Carslaw DC, Westmoreland E and Mittal H. 2009. Air pollution and emissions trends in London. Report produced for DEFRA by King's College London, Environmental Research Group and Leeds University, Institute for Transport studies

comparisons with air pollution data and ultimately lead to a robust evaluation of the traffic emissions in London.

The following description of the methods used to generate traffic data is taken from the DEFRA report (Beevers et al, 2009):

The approach to develop an hourly emissions estimate for road traffic used a combination of data. The basis of the calculation was a 'London averaged' hourly traffic file based upon an average of Automatic Traffic Count (ATC) sites in central London, running between March 2003 and the end of 2008. The London average ATC data was assessed using GAM modelling techniques to estimate whether a long term trend existed in the data. The GAM modelling established that total hourly traffic counts could be described using smooth functions of hour of day, day of week, season and trend and that on average these factors could account for  $R^2$  values  $\sim 0.9$ . Furthermore, there was no significant long-term trend, thus avoiding any problems associated with introducing an artificial trend into the data.

To calculate total traffic flows along individual roads the 'London averaged' data was scaled using manual count (MCC) data taken during weekday periods (7am to 7pm). Unlike the ATC data, manual counts are widespread and cover all of the major roads in London. This means that where a MCC count exists a specific hourly traffic file can be calculated. Since the manual count data is taken infrequently a number of tests were undertaken to compare col-located MCC and ATC data taken over the same 12 hour period as well as for longer periods of the year. Furthermore, since manual count measurements may be highly variable due to specific local events the time series of these data was smoothed using a LOESS smoothing function or where few measurements were taken an average of the data was used. Finally, when rescaling the ATC data care was taken to maintain daytime and night time differences in vehicle flow as well as weekend totals.

The MCC data are classified into 11 vehicle types and these were used to split the total vehicle counts for each hour of the day. Less data was available during weekday overnight periods, Saturdays and Sundays. Here a combination of datasets were used, including a set of MCC counts taken over a complete 24 hour period and Automatic Number Plate Recognition (ANPR) camera data. The former provided average proportions by vehicle type during the overnight minimum traffic periods and a combination of ANPR and weekday MCC data was used to apportion the weekend periods.

The results of the total vehicle counts was tested against a separate data set of ATC data recorded by DfT during 2006 and 2007 and not used in the model development. These tests were made for a combination of 16 site years and are presented as a predicted and measured profile, averaged over all sites and by day of the week. These results a summary of bias and the RMS error are presented (Table 2). Comparison of the predicted total (red), measured ATC total (blue) and the residual, (predicted-measured in light green) across an average of all sites show that the methods for creating vehicle totals are robust and provide good results across all days of the week.

The results in Table 2 show that over a 24 hour period very little bias exists in the predictions and in all cases is below 7%. Lack of data during weekends is apparent and as a consequence the method has the poorest performance during Saturdays. Because manual count data is specific to each site the 12 hour weekday periods should have the lowest uncertainty and for these separate results are presented. Here too modest bias estimates are apparent with average values of the order of -5%. Furthermore, Sunday, is well predicted for total vehicles and is widely understood to have small proportions of HGVs so is also a

period where the traffic and emissions data is relatively robust. Overall the predicted average data has a RMS error of  $\sim \pm 10\%$ .

**Table 2: Comparison of predicted, measured and predicted-measured hourly total traffic flows.**

|  | Monday       | Tuesday      | Wednesday    | Thursday     | Friday       | Saturday     | Sunday       | All days                      |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|
| Predicted                              | 1659         | 1741         | 1753         | 1770         | 1753         | 1466         | 1419         | 10.7%<br>(% of mean measured) |
| Measured                               | 1657         | 1740         | 1773         | 1792         | 1820         | 1569         | 1461         |                               |
| <b>Bias (%) pred-measured/measures</b> | <b>0.1%</b>  | <b>0.1%</b>  | <b>-1.1%</b> | <b>-1.2%</b> | <b>-3.6%</b> | <b>-6.6%</b> | <b>-2.9%</b> |                               |
| Predicted (12hr)                       | 2339         | 2455         | 2472         | 2495         | 2471         | 2066         | 2023         | 6.7%<br>(% of mean measured)  |
| Measured (12hr)                        | 2438         | 2553         | 2588         | 2597         | 2625         | 2243         | 2036         |                               |
| <b>Bias (%) pred-measured/measures</b> | <b>-4.1%</b> | <b>-3.9%</b> | <b>-4.5%</b> | <b>-3.9%</b> | <b>-5.8%</b> | <b>-7.9%</b> | <b>-0.6%</b> |                               |

### Vehicle kilometre (VKM) changes in Greater London between 2006 and 2008

As a consequence of the new methods used to process the traffic data many of the changes associated with traffic interventions are inherent within the counts used in each of the year 2003, 2004, 2006 and 2008.

The vehicle kms travelled on minor roads have been re-calculated (Table 3), based on the latest estimates provided by TfL<sup>22</sup> which in Greater London is estimated to be 31.19 billion vehicle km (bvkm) in 2008. Of this total the vehicle kms on major DfT and LTS roads have been calculated at 21.52 and 5.29 bvkm in 2008, respectively. This was calculated using the following equation<sup>23</sup>

$$\text{Vehicle kms} = (\text{road traffic flow (24 hours)} * 365 * (\text{road link length (m)} * \text{multiplier}) / 1 * 10^{12})$$

Other changes include the number of DfT roads, which has increased compared to the LAEI 2006 as a result of around 400 LTS links being replaced with DfT counts. This partly explains an overall decline of  $\sim 15\%$  in LTS vehicle kms in the Greater London Area for the LAEI 2008 compared with the LAEI 2006. The minor road vehicle km for the LAEI 2008 has increased by around 20% compared to that of the LAEI 2006 (yr 2006) due mainly to the total vehicle kms driven in the Greater London area having increased from 31.15 bvkm in the LAEI2006 to 31.78 bvkm in the LAEI2008.

**Table 3: Vehicle km corrected for minor roads**

| Year | MINOR | TOTAL GLA |
|------|-------|-----------|
| 2003 | 5.44  | 32.47     |
| 2004 | 4.91  | 31.99     |
| 2006 | 4.71  | 31.78     |
| 2008 | 4.38  | 31.19     |

<sup>22</sup> Charles Buckingham personal communication.

<sup>23</sup> Note: The road link length and multiplier is held within the traffic flow tables for each road link. Slip roads in this case are given a value of 0, dual carriageways and roundabouts a value of 0.5 and all other roads a value of 1. Note that some of the more complex road junctions may be assigned manually.

## AADT comparison

The vehicle kms travelled, by vehicle type, between 2003 and 2008 has been calculated and is displayed in Table 4. Note that Table 4 is concerned with the LAEI area and not the GLA area, which corresponds to the LEGGI area, discussed previously.

The results show that the total vehicle kms for all vehicle types (save motorcycles and cars) is greater than that of the LAEI 2006, for example, the vehicle km of buses and LGVs has increased by 6% for the year 2006.

**Table 4: Vehicle km (billion) for each vehicle type for the LAEI area.**

| LEGGI Year | Motor cycles | Taxis | Cars  | Buses | LGVs | Rigid HGVs | Artic HGVs | Total |
|------------|--------------|-------|-------|-------|------|------------|------------|-------|
| 2003       | 0.78         | 1.10  | 36.68 | 0.70  | 5.05 | 1.58       | 0.95       | 46.84 |
| 2004       | 0.76         | 1.09  | 36.11 | 0.70  | 5.05 | 1.56       | 0.95       | 46.22 |
| 2006       | 0.74         | 1.07  | 35.88 | 0.71  | 5.13 | 1.56       | 0.96       | 46.07 |
| 2008       | 0.73         | 1.06  | 35.43 | 0.71  | 5.09 | 1.59       | 0.97       | 45.58 |

## Including taxis within London traffic data

Traffic count data for taxis are very limited; they are generally counted as cars. Some TfL manual classified data have separate counts for cars and taxis. These data have been used to calculate a revised set of proportions of taxis by area of London (Table 5). The zones within which these proportions are applied have also been changed to a single zone, which includes the WEZ and CZ area's combined, the inner zone, which includes the IRR and an outer/external zone. The reason for a change to the central zone is that it better reflects the area where taxis operate (Figure 6).

**Table 5: Proportion of taxis (taxis/(taxis+cars)) by area of London**

| Hour | Central | Inner | Outer/External |
|------|---------|-------|----------------|
| 0    | 28.73   | 12.27 | 4.28           |
| 1    | 30.11   | 16.00 | 8.36           |
| 2    | 21.83   | 11.07 | 5.41           |
| 3    | 18.31   | 9.65  | 3.78           |
| 4    | 16.52   | 7.29  | 3.78           |
| 5    | 12.24   | 8.56  | 2.79           |
| 6    | 11.79   | 5.99  | 1.46           |
| 7    | 15.58   | 3.70  | 1.01           |
| 8    | 16.26   | 2.55  | 1.07           |
| 9    | 18.94   | 3.17  | 0.94           |
| 10   | 20.42   | 4.80  | 1.33           |
| 11   | 21.55   | 4.83  | 1.83           |
| 12   | 19.20   | 4.89  | 1.59           |
| 13   | 20.95   | 5.00  | 1.59           |
| 14   | 26.61   | 5.60  | 1.84           |
| 15   | 21.97   | 4.34  | 1.61           |
| 16   | 21.70   | 4.79  | 1.72           |
| 17   | 20.70   | 4.51  | 1.63           |
| 18   | 19.98   | 4.24  | 1.33           |
| 19   | 20.47   | 5.17  | 1.63           |

|    |       |      |      |
|----|-------|------|------|
| 20 | 22.69 | 7.00 | 2.03 |
| 21 | 24.96 | 7.23 | 2.29 |
| 22 | 25.92 | 7.04 | 2.17 |
| 23 | 29.18 | 8.74 | 2.67 |

Figure 6: Estimation of taxi operation in London using GPS tracking (LAEI 2001)



### Vehicle Speed Data

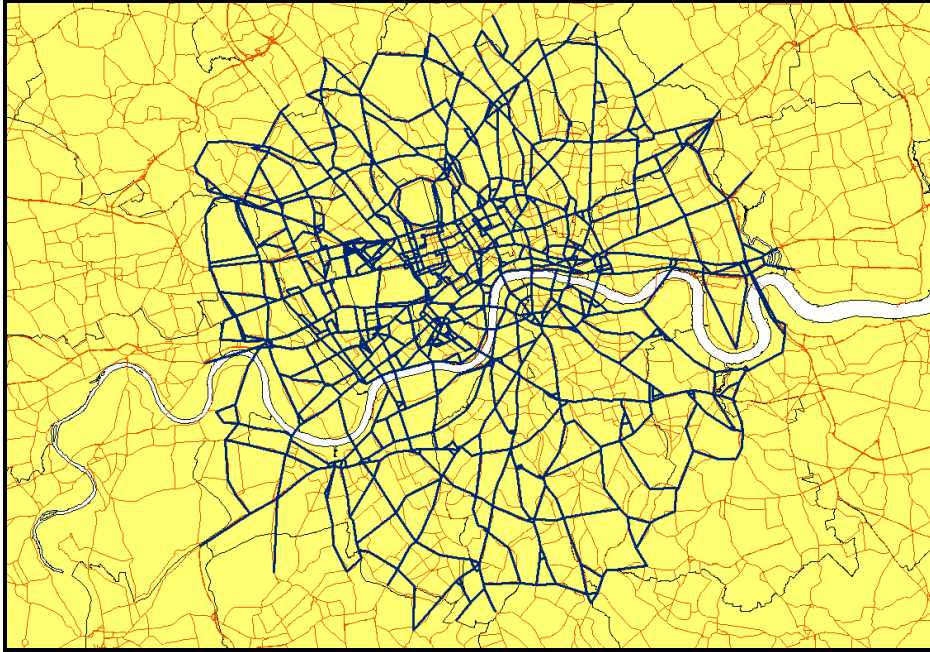
Vehicle speeds on the major road network have been updated using an average of all traffic speed data taken by the TfL floating car from 2003 to 2008. These measurements cover the entire major road network with additional measurements being taken in inner and central London (Figure 7). These speeds separately consider three intervals throughout the day (am, inter-peak and pm), with the CCS speed survey covering six periods of the day in the CCS area and four periods in Inner London. Overnight speeds are also taken periodically and all speed data has been carefully matched with the road network. Speeds in the area outside the Greater London boundary have also been updated. Minor road vehicle speeds have been kept the same as in LAEI 2006 and are as follows: central and IRR = 18.1 km h<sup>-1</sup>, inner = 25 to 30 km h<sup>-1</sup> and outer = 30 to 35 km h<sup>-1</sup>.

Speed has changed little between 2006 and 2008. There is however a pronounced region of discrepancy in speeds on the DfT referenced links and further analysis of these speeds illustrates that this is concentrated in the external zone of the LAEI area. Further



investigation revealed that the links in question have not had a speed update for a number of years and that the speeds were not based on site-specific data but instead set to an average speed for the external zone. Since the new speeds are based on site-specific data this update is considered an improvement to the LAEI.

**Figure 7: The CSS speed network used in compiling central and inner London speeds**



### Vehicle Stock Data

The vehicle stock in London has been updated since the LAEI 2006 and is based on the UK National Atmospheric Emissions Inventory (NAEI) fleet composition data<sup>24</sup>. One of the most significant of these changes is the proportion of failed catalysts in petrol cars, which has increased by about 12% until 2009 (from 1% to 13% in 2008). The consequence of this change is that up to 2009 the proportion of pre Euro equivalent vehicles within the fleet has increase significantly and has increased the emissions of all pollutants from cars. This effect is short lived and after 2009 the catalyst failure rate returns to a very low level, 5% in 2009 and 2% by 2015. Unlike cars, LGVs catalyst failure rates remain at about 11% after 2009 until 2015.

Taxi stock has been updated based on information from the Public Carriage Office (PCO) for 2003, 2004, 2006, 2008, 2011 and 2015<sup>25</sup> (Table 6). Stock up to and including 2008 data are based on the actual fleet, whereas the 2011 and 2015 information is based on forecast data. All of the taxi stock reflects GLA's strategy to improve the emissions performance of the taxi fleet.

<sup>24</sup> Personal communication with Tim Murrells at AEAT; NAEI Department for Transport (DfT) forecast dated April 2008.

<sup>25</sup> Personal communication with Finn Coyle at TfL.

**Table 6: Taxi Stock data (%) for the years 2004, 2006, 2008, 2011 and 2015**

| Euro Class | 2003 | 2004 | 2006 | 2008 | 2011 | 2015 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| Pre Euro   | 16   | 12   | 4    | 4.5  | 2.8  | 1.3  |
| Euro 1     | 48   | 42   | 21   | 0.7  | -    | -    |
| Euro 2     | 26   | 26   | 12   | 3.2  | -    | -    |
| Euro 3     | 11   | 19   | 60   | 70.1 | 58.2 | 38.1 |
| Euro 4     | -    | -    | 2    | 20.4 | 38   | 39.3 |
| Euro 5     | -    | -    | -    | -    | -    | 16.2 |
| Euro 6     | -    | -    | -    | -    | -    | 4.1  |
| LPG        | -    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |

The LT bus stock has also been revised according to the latest information (Table 7). In common with Taxi's, bus stock up to 2008 is based on the actual fleet, whereas the 2011 and 2015 information is based on forecast data.

**Table 7: TfL Bus Stock data (%) for the years 2004, 2006, 2008, 2011 and 2015**

| Euro Class           | 2003 | 2004 | 2006 | 2008 | 2011 | 2015 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| Pre-Euro             | 15   | 7    | -    | -    | -    | -    |
| Euro 1               | 2    | 1    | -    | -    | -    | -    |
| Euro 2               | 20   | 6    | -    | -    | -    | -    |
| Euro 2 + CATa        | 1    | 1    | -    | -    | -    | -    |
| Euro 2 + Trap        | 24   | 36   | 37   | 31   | 13.5 | -    |
| Euro 2 + Trap + SCRB | -    | 0.1  | -    | -    | -    | -    |
| Euro 3 + Trap        | 37   | 48   | 60   | 56   | 53.6 | 41.8 |
| Euro 3 + Trap + SCR  | -    | 0.1  | -    | -    | -    | -    |
| Euro 4               | -    | -    | 2    | 12   | 21.4 | 21.4 |
| Euro 5               | -    | -    | -    | 1    | 8.4  | 33.7 |
| E4 Hybrid            | -    | 0.03 | 0.1  | 0.4  | 1.9  | 1.9  |
| E5 Hybrid            | -    | -    | -    | -    | 1.2  | 1.2  |

a: Oxidation Catalyst; b: Selective Catalytic Reduction

### Emission factors - assumptions and data

A complete revision of the emissions factors, available from DfT and compiled by TRL, were used in the calculation of traffic emissions in the LAEI 2008. The emissions factors follow a similar format to previous versions in that they use polynomial expressions to express emissions in g/km vs. vehicle speed, for different pollutant types<sup>26</sup>. However, the number of vehicle types has increased due in the main to the disaggregation of vehicle size or weight. A more detailed note of the headline changes due to the adoption of the new vehicle stock and emissions factors will be given as part of the MAQS 2 work currently being undertaken by King's, however some notable changes to NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub> based on the year 2006 are summarised below and in Table 8:

- Total PM<sub>10</sub> emissions are 12 % lower

<sup>26</sup> See <http://www.naei.org.uk/emissions/index.php> for details.

- Total NO<sub>x</sub> emissions are 10% higher (NO<sub>2</sub> 16% higher)
- The largest changes from new emission factors are for buses, which have more than 60% higher NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> emissions. Emissions from HGVs, on the other hand, are lower for all pollutants e.g. NO<sub>x</sub> emissions for articulated HGVs have fallen by 14%.
- Emissions from cars have not changed significantly and although motorcycle emissions show some large changes, they contribute only a small proportion of total vehicle emissions.
- As a consequence of the changes across vehicle types, there is substantial spatial variation across London. These largely depend on the varying proportions of different vehicle types in different areas of the city. For example, the increase in taxi and bus emissions is more important for central London than outer London where the decrease in HGV emissions has more impact.

**Table 8: Emission factors sensitivity of new DfT emission factors. (Percentage change compared to old emission factors) – Year 2006**

| Pollutant                | MC   | Taxis | Cars | Buses | LGV  | Rigid | Artic | Total |
|--------------------------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| CO <sub>2</sub>          | 0%   | 11%   | -2%  | 28%   | -21% | -29%  | -5%   | -5%   |
| Exhaust PM <sub>10</sub> | -54% | 29%   | -5%  | 65%   | -17% | -11%  | -32%  | -12%  |
| NO <sub>x</sub>          | 32%  | 41%   | 6%   | 63%   | 0%   | 0%    | -14%  | 10%   |
| NO <sub>2</sub>          | 32%  | 22%   | 3%   | 60%   | -2%  | 0%    | -14%  | 16%   |

### Cold start emissions

The emission factors described above do not include the effect of cold starts, which is included as an additional emission, dependent on the number of trips a vehicle makes and the mean length of each trip. The methodology that has been used in the LAEI is the same as that used in the COPERT IV methodology. (For more details, see <http://lat.eng.auth.gr/copert/>)

Cold start emissions have been calculated using revised data from a recent LTS model forecast. This has made a large change in the number of total trip starts within the LAEI, an increase of around a factor of 4. The cold start emissions are calculated for cars and LGVs for CO, NMVOCs, NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub> on a km<sup>2</sup> basis and are expressed in terms of annual emission rates.

PM<sub>2.5</sub> emissions from cold starts have also been included and these are based on the assumption that approximately 90% of the PM<sub>10</sub> cold start emissions are emitted as PM<sub>2.5</sub>.

However the change in actual cold start emissions is a combination of both the change in trip starts and the new emission factors and have resulted in the following emissions changes:

*CO cold start emissions have increased by ~12 times.*

Emission factors for CO have changed substantially and in combination with the factor of 4 increase in trips starts has increased CO significantly.

*PM<sub>10</sub> cold start emissions have decreased by ~20%*

The PM<sub>10</sub> emission factors for both pre Euro and Euro 1 cars are lower than previously assumed. Therefore the reduction in g/km released by pre Euro vehicles will go some way

to explain the overall reduction in cold start PM<sub>10</sub> emissions. The difference in pre Euro and Euro 1 LGVs between the new and old emission factors is similar to that of cars.

*NO<sub>x</sub> cold start emissions have increased by ~2.4 times.*

The combination of a change in NO<sub>x</sub> emission factors alongside the increase in trip starts has contributed to the increase in cold start emissions, although the increase is smaller than would have been the case using the new trip start data alone.

*NM<sub>VOC</sub> cold start emissions have increased by ~12 times*

The new DfT emission factors for NM<sub>VOC</sub> for all types of petrol cars and LGVs are greater than previously assumed. This increase, alongside the increase in trip starts has led to an overall increase in coldstart NM<sub>VOC</sub> emissions and is similar to CO.

### Evaporative emissions

Evaporative emissions of NM<sub>VOC</sub>s for petrol vehicles arise from a number of different sources. The methodology that was used in their calculation is consistent with the COPERT IV methodologies. The three principal sources of emissions are diurnal losses, hot soak losses and running losses. Diurnal losses arise because of changes in temperature throughout each day through “tank breathing”. Hot soak losses arise when evaporation occurs from the fuel delivery system when a vehicle is stationary but with a hot engine. Finally, running losses are those that occur when a vehicle is in motion. The calculations take account of fuel volatility, changes in ambient temperature and the vehicle technology used to control such losses. The change in trip start data has also affected the evaporative emissions and since the methods used have not changed the emissions of NM<sub>VOC</sub> and Benzene from this source has increased considerably.

### Assumptions for the 2011 and 2015 emissions inventories

For traffic data, post 2008, forecast traffic changes were provided by TfL and were consistent with the TfL Business Plan. Between 2006 to 2015 average traffic growth was assumed to be 0.36% per year and was applied to the 2008 traffic data by location and time of day (Table 9). To account for changes in speed for future years, speed reduction was assumed to be in the same proportion as the growth in traffic (Table 10).

**Table 9: Growth factors, expressed as a % change between 2008 and the forecast year, by period and location**

| Peak Periods | Location | 2011 | 2015 |
|--------------|----------|------|------|
| AM           | central  | 0.95 | 2.22 |
| AM           | inner    | 0.95 | 2.22 |
| AM           | outer    | 0.98 | 2.28 |
| AM           | external | 0.97 | 2.26 |
| INTER        | central  | 1.17 | 2.74 |
| INTER        | inner    | 1.16 | 2.70 |
| INTER        | outer    | 1.15 | 2.67 |
| INTER        | external | 1.15 | 2.68 |
| PM           | central  | 1.28 | 2.99 |
| PM           | inner    | 1.09 | 2.55 |
| PM           | outer    | 1.08 | 2.53 |
| PM           | external | 1.09 | 2.55 |
| Overnight    | central  | 1.15 | 2.68 |
| Overnight    | inner    | 1.09 | 2.54 |

|           |          |      |      |
|-----------|----------|------|------|
| Overnight | outer    | 1.08 | 2.52 |
| Overnight | external | 1.09 | 2.53 |

**Table 10: Speed change post 2008: a 1% change in total flow leads to a 1% change in speed**

| Peak Periods                  | Location     | Speed change (%) |
|-------------------------------|--------------|------------------|
| AM                            | central      | 1                |
| AM                            | inner        | 1                |
| AM                            | outer        | 0.9              |
| AM                            | external     | 0.9              |
| INTER and 7.00 pm to 10.00 pm | central      | 1                |
| INTER and 7.00 pm to 10.00 pm | inner        | 0.9              |
| INTER and 7.00 pm to 10.00 pm | outer        | 0.7              |
| INTER and 7.00 pm to 10.00 pm | external     | 0.7              |
| PM                            | central      | 1                |
| PM                            | inner        | 1                |
| PM                            | outer        | 0.8              |
| PM                            | external     | 0.8              |
| Overnight                     | All location | No change        |

The effect of the LEZ was also applied to vehicle stock projections for all years, using part 5 of the LEZ impacts analysis work<sup>27</sup>. The LEZ affects the composition of HGVs, coaches, heavier diesel LGVs and minibuses and the assumptions for these vehicle types are given in Table 11 to Table 14.

**Table 11: LEZ Articulated HGV stock composition (%)**

| Euro Class                             | Articulated HGV |      |      |
|--|-----------------|------|------|
|  | 2008            | 2011 | 2015 |
| Pre Euro                               | 0               | 0    | 0    |
| Euro 1                                 | 0.3             | 0    | 0    |
| Euro 2                                 | 4.5             | 0.2  | 0    |
| Euro 2 + Trap                          | 1.7             | 1.1  | 0    |
| Euro 3                                 | 55.3            | 26.9 | 0    |
| Euro 3 (PM) + Euro2 (NO <sub>x</sub> ) | 2.8             | 0.8  | 0    |
| Euro 4                                 | 32.3            | 30.2 | 15.1 |
| Euro 5                                 | 3.0             | 40.8 | 50.5 |
| Euro 6                                 | 0               | 0    | 34.5 |

<sup>27</sup> Air Pollution Modelling of the London Low Emission Zone, (Phase 5 update), November 2006.

**Table 12: LEZ Rigid HGV stock composition (%)**

| Euro Class                             | Rigid HGV |      |      |
|--|-----------|------|------|
|  | 2008      | 2011 | 2015 |
| Pre Euro                               | 0         | 0    | 0    |
| Euro 1                                 | 1.1       | 0    | 0    |
| Euro 2                                 | 7.0       | 0.6  | 0    |
| Euro 2 + Trap                          | 1.8       | 0.9  | 0    |
| Euro 3                                 | 57.3      | 36.0 | 0    |
| Euro 3 (PM) + Euro2 (NO <sub>x</sub> ) | 3.9       | 1.2  | 0    |
| Euro 4                                 | 26.0      | 22.4 | 13.8 |
| Euro 5                                 | 2.9       | 38.9 | 53.8 |
| Euro 6                                 | 0         | 0    | 32.4 |

**Table 13: LEZ Coach stock composition (%)**

| Euro Class                             | Coaches |      |      |
|--|---------|------|------|
|  | 2008    | 2011 | 2015 |
| Pre Euro                               | 1.1     | 0.0  | 0    |
| Euro 1                                 | 1.4     | 0.1  | 0    |
| Euro 2                                 | 9.0     | 0.7  | 0    |
| Euro 2 + Trap                          | 5.7     | 6.1  | 0    |
| Euro 3                                 | 48.9    | 35.8 | 0    |
| Euro 3 (PM) + Euro2 (NO <sub>x</sub> ) | 5.9     | 2.2  | 0    |
| Euro 4                                 | 25.4    | 23.0 | 21.7 |
| Euro 5                                 | 2.7     | 32.2 | 52.8 |
| Euro 6                                 | 0       | 0    | 25.5 |

**Table 14: LEZ diesel LGVs and minibus stock composition (%)**

| Euro Class | Diesel LGVs and Minibuses |      |
|------------|---------------------------|------|
|            | 2011                      | 2015 |
| Pre Euro   | 0.0                       | 0    |
| Euro 1     | 0.1                       | 0.0  |
| Euro 2     | 0.6                       | 0.1  |
| Euro 3     | 30.3                      | 7.1  |
| Euro 4     | 62.3                      | 40.7 |
| Euro 5     | 6.7                       | 52.2 |
| Euro 6     | 0                         | 0    |

Since for major roads the LAEI 2008 uses traffic data up to and including traffic counts in 2008, the impact of changes to traffic strategies such as WEZ are implicit within these data. As such no additional change has been applied. However, for the major roads not updated

since the WEZ introduction in February 2007 and for LTS and minor roads the WEZ effects, provided by TfL, have been applied. These are summarised in Table 15.

**Table 15: Western Extension traffic change during charging hours (07.00am to 06.00 pm)**

| Vehicle Type   | MC     | Taxis  | Cars    | Buses  | LGV     | HGV   |
|----------------|--------|--------|---------|--------|---------|-------|
| Traffic change | -1.31% | -7.05% | -26.34% | +4.52% | -12.93% | +2.81 |

For the years 2011 and 2015 the WEZ is assumed to be removed. The removal was achieved by applying a set of factors provided in Table 16 to both traffic flow and speed for the appropriate hours charging hours<sup>28</sup>.

**Table 16: Western Extension traffic change during charging hours (07.00am to 6.00 pm)**

| Location         | Calculated 50% Capacity Return<br>% Change |       |       |       |       |       |
|------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  | Cars                                       | LGV   | HGV   | Taxis | Buses | Speed |
| CCS              | -0.4                                       | -2.9  | -6.2  | 5.0   | -0.4  | 2%    |
| Inside Free Area | 8.7  | -13.6 | -11.6 | 2.2   | -2.3  | -2%   |
| Inside WEZ       | 27.3                                       | 13.2  | 0.0   | 5.0   | -3.5  | -5%   |
| Eastern Boundary | 3.7  | 1.8   | -2.5  | -5.5  | -0.6  | 1     |
| Western Boundary | -1.7                                       | -4.7  | -9.3  | 0.4   | -4.9  | 1     |
| Inner            | 2.3  | 0.3   | -0.8  | 1.6   | -0.4  | 0     |
| NSC              | 0.8  | 0.2   | 0.3   | 1.0   | -0.2  | 0     |
| Outer            | 0.8  | 0.0   | -0.4  | 2.3   | -0.1  | 0     |

Within the LEZ scenarios used in the LAEI, vehicles that fit particle traps are commonplace. The assumptions used to factor Euro class vehicle emissions to simulate the introduction of such particle traps are given in Table 17. In addition a 50% reduction in NO<sub>x</sub> has also been assumed for buses using a combination of exhaust gas recirculation (EGR) and selective catalytic reduction (SCR). Finally, the assumption for Hybrid buses is that they have 30% less CO<sub>2</sub> and 20% less NO<sub>x</sub> emissions than a standard Euro 4 bus.

**Table 17: Particle trap assumptions for pollutant emissions**

| NO <sub>x</sub> | PM <sub>10</sub> <sup>29</sup> | CO  | HC <sup>30</sup> | SO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> |
|-----------------|--------------------------------|-----|------------------|-----------------|-----------------|
| 0.95            | 0.05                           | 0.1 | 0.1              | 1.008           | 1.008           |

<sup>28</sup> TfL personal communication

<sup>29</sup> Also applied to PaH and PM<sub>2.5</sub>

<sup>30</sup> Also applied to CH<sub>4</sub>, Benzene and 1-3 Butadiene

## References

Air Quality Expert Group (AQEG), 2004. Nitrogen Dioxide in the United Kingdom. Report prepared for Department for Environment, Food and Rural Affairs, Scottish Executive, Welsh Assembly Government and Department of the Environment in Northern Ireland.

Carslaw, D.C., and Beevers, S.D., 2004. Investigating the potential importance of primary NO<sub>2</sub> emissions in the street canyon. *Atmospheric Environment*, 38(22): 3585 - 3594.

Carslaw, D.C., and Beevers, S.D., 2005. Estimations of road vehicle primary NO<sub>2</sub> exhaust emissions fractions using monitoring data in London, 39(2005): 167 - 177.

ERG, King's College London, 2006, LAEI 2003 Road Traffic Inventory Methodology. Report produced for GLA.

ERG, King's College London, 2007, LAEI 2004 Road Traffic Inventory Methodology. Report produced for GLA.

Latham, S., S. Kollamthodi, P. G. Boulter, P. M. Nelson and A. J. Hickman (2001). Assessment of Primary NO<sub>2</sub> Emissions, Hydrocarbon Speciation and Particulate 27 Sizing on a Range of Road Vehicles, Transport Research Laboratory (TRL): PR/SE/353/2001.

Richards, P., B. Terry and D. Pye (2002). Experience of fitting London black cabs with fuel borne catalyst assisted diesel particulate filters - Part 2 Non-regulated emissions measurements. Society of Auto.



## 2.2. Energy consumption and greenhouse gas emissions from rail traffic

### Summary

**Base Year: 2008**

Up-to-date 2008 rail traffic and energy consumption datasets were obtained from DeltaRail and were used to comprehensively estimate emissions from rail traffic in the LEGGI 2008.

**Projection Years: 2011 and 2015**

Up-to-date 2008 rail traffic and energy consumption datasets were obtained from DeltaRail and were used as the base year dataset to project rail traffic emissions to 2011 and 2015.

Undoubtedly, estimating atmospheric emissions from railway traffic is a complicated task because several factors play significant roles in the definition of emission parameters, namely: type of train (electric or diesel); average train speed service; fuel (sulphur contents in diesel fuels); number of passengers per seat (0-100%); topography of the distance travelled, slopes and hills; wind speed; number of cold starts (for diesel powered trains); average distance between train stations; and degree of reuse of braking energy. In addition, the estimation of atmospheric emissions from railway traffic in the Greater London area is further complicated by the fact that London's rail traffic is characterised by diversity: a national railway system with a series of railways owned by private companies with a variety of applications; a passenger rail traffic that varies from smaller electric and diesel urban trains, with regular stops and starts, to high-speed passenger trains with infrequent stops; both diesel-powered passenger and freight trains operating on electrified lines used by electrically powered passenger and freight trains; both electrically powered passenger and freight trains operating on the same line, making it difficult to distinguish between electricity (kWh) used for a passenger train or that for a freight train on the same line at the same time; and the use of a given locomotive type for both freight traffic and for different types of passenger operation, making it difficult to attribute energy consumption to a given type of train traffic.

Railway traffic atmospheric emissions are dependent on the source of power (electricity or diesel fuel) used in the train. In Greater London, electrically powered trains undertake a significant proportion (about 70%) of high-speed journeys from London to regional cities. When electricity is used to power trains, their emissions are attributed to the power generation plants and not to the location of the trains themselves as is the case for diesel-powered trains, where emissions are local as a result of combustion. Therefore, the extensive use of electrically powered trains in London makes it difficult to attribute emissions directly to the place of energy consumption, further complicating the allocation of emissions to the railway source in the LEGGI 2008. In order to attribute emissions directly to the place of energy consumption by trains, the distribution of electrical power generation sources and the fuel used (e.g., coal, gas, nuclear energy etc.) for the generation of the electric power to the trains in Greater London must be known. However, further difficulties arise because the electrical power used to operate most trains in London is actually produced by power stations located outside Greater London. Unfortunately, the exact type and amount of fuel used by these power stations for the generation of the electric power is not known.

Prior to the LEGGI 2002 (released in 2005), railway traffic emissions were estimated using a very simplified methodology – emission factors were multiplied by the total amount of passenger-kilometre regardless of the train speed service and average distances between stops. Variables such as occupancy and rail technology were implicitly incorporated into these emission factors, which were typically evaluated for one particular train speed and driving pattern, thus limiting the usefulness of this simplified methodology.

To overcome several of the difficulties highlighted in the preceding paragraphs, an improved methodology, largely based on the methods described in greater detail by Hickman (1999) and Jorgensen & Sorenson (1997), was used in estimating the atmospheric emissions generated by rail traffic in the Greater London area. A fundamental prerequisite in the improved methodology is the availability of the energy consumption (in particular, the specific energy consumptions, expressed as kWh/tonne-km<sup>31</sup>) of a given type of train. This energy consumption is the energy required to move the train and is for all extents and purposes independent of the type of locomotion used, allowing the same methodology to be used for both electric and diesel trains. Therefore, train weight is an important parameter in this improved methodology, since it is the most significant parameter determining the energy consumption and emission rates. However, there are some minor differences in train weights due to differences between the weights of electrical and diesel powered locomotive, but in general these differences are minute in relation to other uncertainties. The differences in emissions arise primarily through the differences in emissions factors for diesel engines and for electrical power generation.

In order to successfully use the improved methodology with a reasonable degree of confidence, the availability of actual up-to-date rail traffic and energy consumption information for the Greater London area and appropriate energy-specific emissions factor (expressed as g/kWh or kg/GJ) were imperative. In this study, actual rail traffic and energy consumption information were obtained from DeltaRail's "ACTRAFF" (Actual Traffic) database and "TRATIM" program respectively. ACTRAFF uses source data from Network Rail's BIFS (Billing Infrastructure for Freight System) and CCF systems. The results are therefore subject to the same limitations as the source data. Similarly the quality of the results is dependent on the quality of the raw data.

ACTRAFF assumes that passenger trains are fully occupied, and assumes an average passenger weight of 0.08 tonnes. This may therefore marginally overestimate the weight, and therefore the energy consumption, of passenger trains. DeltaRail holds large amount of data on actual train movement in the UK, compiled by taking historic train running data from TRUST (Train Running System on TOPS: A computer system which records actual train running times against scheduled times) and mapping this back to the rail network. At the end of each four-week period DeltaRail updates the ACTRAFF database, which holds information about the number of trains by type and weight of trains that have passed over each section of the Network Rail network. Furthermore, DeltaRail's Train Performance Service prepares energy consumption data for Network Rail (to assist the evolution of track access charging) and for train operators (for business costing purposes), which is used to produce basic energy consumption tables from its TRATIM program. The energy-specific emission factors for diesel engines per unit of power produced were obtained from Jorgensen & Sorenson (1997) for CO<sub>2</sub>, CO, HC and SO<sub>2</sub> and for NO<sub>x</sub> and PM from National Transport Model (DfT). The emission factors for electric trains, based on the averaged energy-specific emission factors of the electricity generation mix for the UK, were obtained from DUKES (2008).

---

<sup>31</sup> Transportation of one tonne of goods over one kilometre including the weight of the rolling stock.

Emission rates were determined according to the equation below.

$$E_p = EC \times EF_p * 10^{-6}$$

Where:

$E_p$  = Emission rate of pollutant  $p$ , tonne/annum

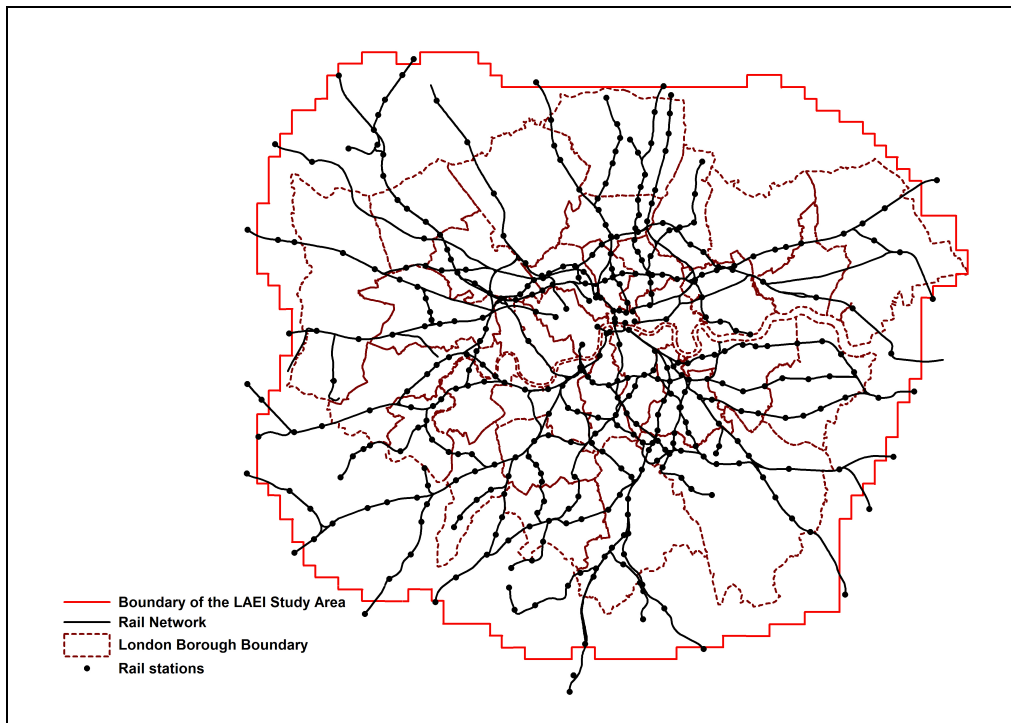
$EC$  = Energy consumption, kWh

$EF_p$  = Energy-specific emission factor for pollutant  $p$ , g/kWh

$10^{-6}$  = Conversion factor, grammes to tonne

For the purpose of spatially analysing and allocating rail traffic CO<sub>2</sub> emissions estimates across the study area at 1 km x 1km spatial resolutions, the UK Ordnance Survey National Grid Reference System was used as the geographical reference system. A digital geographic layer of the entire railway network (see Figure 8) in the Greater London area was developed, with each railway link represented as a linear feature and allocated a unique identification number, and both spatial and non-spatial attributes attached.

**Figure 8: Spatial distribution of the rail network in the LEGGI area**



In order to obtain a proper spatial distribution, that is how many railway trains are operating within the Greater London area at a given time, proper rail traffic data was crucial. To keep the data collection and analytical process at reasonable levels, a sensible categorisation of train types (see Table 18) was agreed. Detailed train classes, formation and traction details are provided in Table 22 and Table 23. Since 2005, a small number of changes have been made to London's railway infrastructure.

These include:

- the opening of “High Speed 1” between St Pancras International and the Greater London boundary
- the introduction of services to Heathrow Terminal 5
- closure of the route between Stratford and North Woolwich;

ACTRAFF results are based on infrastructure existing at June 2006, therefore data relating to High Speed 1 and Heathrow Terminal 5 is very limited. Since the 2008 results are based on the same network as 2005, there is no GIS link data for new infrastructure.

**Table 18: Train categorisation used in the study**

| Train Category | Description                            |
|----------------|--|
| D1             | Intercity 125 2-Engine                 |
| D2             | Diesel Multiple Unit (DMU) type        |
| D3             | Diesel Multiple Units - 6 coaches      |
| D4             | Diesel Multiple Units - 4 coaches      |
| D5             | Diesel Multiple Units - 3 coaches      |
| D6             | Diesel Multiple Units - 2 coaches      |
| D7             | Diesel Multiple Units - 5 coaches      |
| E1             | 25kV Electric Locomotive & coaches     |
| E2             | 25kV 8/12-coach Electric Multiple Unit |
| E3             | 25kV 4-coach Electric Multiple Unit    |
| E4             | 750V Electric Multiple Unit (EMU)      |
| E5             | 750V 8/12-coach Electric Multiple Unit |
| E6             | 750V 4-coach Electric Multiple Unit    |
| E7             | 750V 3-coach Electric Multiple Unit    |
| E8             | 750V 2-coach Electric Multiple Unit    |
| E9             | 750V 6-coach Electric Multiple Unit    |
| Ey             | 750V 5-coach Electric Multiple Unit    |
| F1             | Freight - other                        |
| M1/M2*         | Unknown - missing from "CONSIST"       |
| P1/P2*         | Preserved-Locomotive                   |

\*M1 and P1 for electric trains and M2 and P2 for diesel trains

The information in Table 19 was extracted from the ACTRAFF database for the calendar year 2008 across the LEGGI area on a link-by-link (a section of track) basis.

**Table 19: Rail traffic data extraction from the ACTRAFF database**

| Information | Description  |   |
|-------------|--------------|---|
| 1           | Year         | 2008 – base year  |
| 2           | Link         | A unique ID for a section of track                            |
| 3           | Type         | Passenger or Freight  |
| 4           | Fuel Type    | Electric or Diesel  |
| 5           | Distance     | Distance of link in kilometres                                |
| 6           | Number       | Total number of passenger/freight trains                      |
| 7           | Tonnage      | Total tonnage of passenger/freight trains                     |
| 8           | Seats        | Average number of seats (passenger trains only)               |
| 9           | Wagons       | Average number of wagons (freight trains only)                |
| 10          | Tare Weight  | Average tare weight in tonnes (passenger and freight trains)  |
| 11          | Gross Weight | Average gross weight in tonnes (passenger and freight trains) |

## Energy consumption

In order to determine train energy consumption (i.e., both the average and specific energy consumption values) for a variety of situations, or in cases where it was necessary to make estimates, DeltaRail simulated TRATIM program runs over all the route sections with the identified train types from the ACTRAFF database. Specifically, the energy consumption of great interest is that energy (expressed in kWh/tonne-kilometre) which is required of a locomotive to move the train. By making the energy consumption mass specific, the key factor in determining the energy consumption, the train mass, was normalised out of the calculation. In these terms, energy consumption for different train types became more similar, and correlations based on mass specific energy consumption were applicable to a wider range of trains. Under acceleration, the energy consumption is directly related to the accelerated mass. Hence of great importance was the train weight dataset from the ACTRAFF database.

DeltaRail has substantial infrastructure and traction and rolling stock database that provides

Network Rail with point-to-point train timing and energy consumption information via the suite of programs known as "TRATIM". Network Rail owns TRATIM but BR Research and subsequently DeltaRail have agreed exploitation rights. TRATIM calculates Sectional Running Times (SRTs) based on the Runge-Kutta Integration method. It is an event-based single train simulation and is used to compute the running times for single train operation to supply to Network Rail Operational Planning Units and the Train/Freight Operating Companies on request. It is currently recognised by Network Rail, the Train/Freight Operating Companies and other interested parties as the 'industry standard' method of calculating train timings and energy consumption.

The TRATIM simulations in this study utilised the latest railway geographical information comprising distances, station locations, gradients and speed restrictions. The train types and formations operating over the lines of route were identified from the on-line real running time 'TOPS' suite, of operational main frame computer programs, and then allocated train identifiers for evaluation purposes. The lines of route (broken down into route sections) under evaluation were based on the data extracted from ACTRAFF. These routes, uniquely identified as links, all emanated from London's main line terminus stations.

The TRATIM simulations were only carried out for passenger trains, since the freight movements in the central London area were low in number, comprising mainly very short formation trains, spasmodic in operating regularity when compared to the frequent vast numbers of passenger train movements. For this area, TOPS data was also very vague in detail, regarding freight movements and CONSIST makeup details. Line voltages of 600v on the DC electrification system, and 22.5kV on the AC electrification system were used in the simulation to pre-defined inner suburban boundaries. These boundaries were agreed some thirty years by the Electrification Division of the then DM & EE, and subsequently agreed by Network Rail for use in Zonal routine operational timing.

The TRATIM simulations assumed the passenger trains were fully seated operating over the identified lines of route, stopping at the stations as specified. For each line of route, stopping pattern and train formation under evaluation, a forward and reverse direction, and minimum running time simulation was carried out. The average line energy consumption was then derived from the resultant two energy consumption values. A train auxiliary load, for an ambient temperature of 10 degrees C as declared by the manufacturer, was included

in the simulation calculations for each traction type and train formation. Regarding the diesel traction units evaluated in the study, the above methodology was also applied, and the following conversion factors were used:

1 gallon of gas oil = 8.34lbs

Calorific value of 1 tonne of gas oil = 45.6GJ

To calculate line energy, the auxiliary energy consumption attributable to station dwell times (typically 30 seconds/station stop) was added and a total energy consumption figure derived. Thereafter, for each link of the route under evaluation, the value of average energy consumption (kWh/train-km) and specific energy consumption (Wh/tonne-km) were then calculated for each train type and formation. Table 20 shows the information extracted by TRATIM.

**Table 20: Energy consumption information from the TRATIM database**

| Field Name                                | Description                        |
|---|------------------------------------|
| Year                                      | 2008                               |
| Link                                      | A unique ID for a section of track |
| Distance                                  | Distance of link in km             |
| Average Energy Consumption (kWh/train km) |                                    |
| Specific Energy Consumption (Wh/tonne km) |                                    |

### Emission factors

Table 21 below presents the energy-specific emission factors for diesel engines per unit of power produced and were extracted from Jorgensen & Sorenson (1997). In the case of electric trains, emissions are not produced locally, but at remote power plants both within and outside Greater London, where the type of emissions is dependent on the fuel used (coal, gas, nuclear energy etc.) for the generation of the electric power. Even for one fuel type, there are variations in the emissions abatement technologies used at most of the power plants. Because the energy-specific emission factors for power generation from within and outside the Greater London area are unknown, we assumed that the electricity used to power electric trains in Greater London is supplied from the National Grid and have therefore used emission factors that are based on the averaged energy-specific emission factors of the electricity generation mix for the UK as provided in DUKES (2008). It should be noted that electrical generation and distribution are not uniform throughout the UK, so the emission factors in Table 14 may not be exactly equal to the general public electricity supply in Greater London. The energy-specific emission factors are given on the basis of primary energy consumption, that is, the energy consumed at the power stations, and not in terms of the amount of electrical energy sent over the electrical net. Ideally, the emission factors should have been divided by a power generation efficiency factor and a transmission loss factor, but the efficiencies of the various processes were not known.

**Table 21: Energy-specific emission factors for diesel and electric trains, 2008**

| Fuel type                        | CO <sub>2</sub> |
|----------------------------------|-----------------|
| Diesel (g/kWh)                   | 640             |
| Electricity (g/GJ) <sup>32</sup> | 152,5132        |
| Electricity (g/kWh)              | 455             |

<sup>32</sup> Averages for the production of electricity in the UK given in DUKES (2008).

**Estimating rail traffic emissions**

The emission estimation methodology used the actual rail traffic and specific energy consumption data from DeltaRail's ACTRAFF database and TRATIM program respectively, and then applied appropriate energy-specific emissions factors in g/kWh of power produced to determine emission rates, as shown below.

$$E_p = EC \times EF_p * 10^{-6}$$

Where:

$E_p$  = Emission rate of pollutant  $p$ , tonne/annum

$EC$  = Energy consumption, kWh

$EF_p$  = Energy-specific emission factor for pollutant  $p$ , g/kWh

$10^{-6}$  = Conversion factor, grammes to tonne

The following steps were employed in estimating GHG emissions generated by rail traffic:

1. Calculation of **total tonnage** for train category  $t$  on link  $l$ .

$$TT_{t,l} = N_{t,l} * G_{t,l} W_{avg}$$

Where;

$TT_{t,l}$  = Total tonnage in tonnes for train category  $t$  on link  $l$

$N_{t,l}$  = Total number of trains in train category  $t$  on link  $l$

$G_{t,l} W_{avg}$  = Average gross weight in tonnes, for train category  $t$  on link  $l$

2. Calculation of **gross tonne kilometre** (expressed in tonne-kilometre) for train category  $t$  on link  $l$ ; i.e., the transportation of one tonne of goods over one kilometre by train category  $t$  on link  $l$ , including the weight of the rolling stock.

$$GTK_{t,l} = D_l * TT_{t,l}$$

Where;

$GTK_{t,l}$  = Gross tonne kilometre (tonne-kilometre) for train category  $t$  on link  $l$

$D_l$  = Distance (km) travelled by train category  $t$  on link  $l$

$TT_{t,l}$  = Total tonnage in tonnes for train category  $t$  on link  $l$

3. Calculation of **primary energy consumption** (kWh) by train category  $t$  on link  $l$ , using the specific energy consumption (Wh/tonne-kilometre) data.

$$PEC_{t,l} = GTK_{t,l} * SEC * 10^{-3}$$

Where;

$PEC_{t,l}$  = Primary energy consumption (kWh) by train category  $t$  on link  $l$

$GTK_{t,l}$  = Gross tonne-kilometre for train category  $t$  on link  $l$

$SEC$  = Specific energy consumption (Wh/tonne-kilometre) from TRATIM

$10^{-3}$  = Conversion factor from Wh to kWh

4. Calculation of **emission rate** (tonne/annum) of CO<sub>2</sub> by train category  $t$  on link  $l$ , using energy-specific emission factors (expressed in g/kWh).

$$EM_{CO_2,t,l} = PEC_{t,l} * EF_{CO_2} * 10^{-6}$$

Where;

$EM_{CO_2,t,l}$  = Emission rate (tonne/annum) of CO<sub>2</sub> by train category  $t$  on link  $l$

$PEC_{t,l}$  = Primary energy consumption (kWh) by train category  $t$  on link  $l$

$EF_{CO_2}$  = Energy-specific emission factor (g/kWh) for CO<sub>2</sub>

$10^{-6}$  = Conversion factor from grammes (g) to tonne

Atmospheric emissions from rail traffic depend on the source of power used in the train, i.e., electricity or diesel fuel. Emissions from electric trains depend on two parameters – the energy consumption for the train and the emissions from the electricity generated to power the train. Hence, the atmospheric emissions from electric trains were attributed to the power generation plants that supply electricity to these electric trains. For diesel trains, atmospheric emissions were spatially and locally allocated because emissions from diesel engines are local as a result of combustion.

### Emissions Projections

As explained in earlier paragraphs, emissions from rail traffic are estimated basically as the product of energy consumption by rail traffic and energy-specific emission factors. Therefore, to undertake any projection, future developments in parameters describing rail traffic activity, energy consumption and emission factors must be scrutinised to estimate what changes in rail transport are likely. Projecting future emissions from rail traffic must be based on several assumptions that cannot be easily authenticated, because changes in socio-political and economic climates can have profound effect on the makeup of rail traffic - passenger and freight trains, diesel and electric trains etc. Therefore, all projections in this study have been based on the assumptions that no calamitous scenarios and no spectacular technological breakthroughs affecting the railway system occur. This allowed future rail traffic emissions to be attributed to annual growth in the passenger and freight traffic, diesel and electric trains, improvements in train operating conditions, and improvements in the emission factors and the emissions characteristics of the power generating units.

To provide a foundation for establishing future developments in passenger and freight rail traffic, past rail traffic trends<sup>33</sup> (expressed as annual growth rates in passenger-kilometre and tonne-kilometre) between 2002 and 2008 were examined. After analysing the trends, a 3.57% and 2.9% annual growth rates were assumed for passenger and freight rail traffics respectively. For passenger traffic, the annual growth rate is based on the assumptions that there will be no change in train occupancy and no widespread restrictions on passenger rail

---

<sup>33</sup> National Rail Trends Yearbook 2007-2008, Office of Rail Regulation.



traffic. For freight traffic, the annual growth rate is based on the assumption that there will be no major political incentives (e.g., the Government's 10 Year Plan for Transport sets the target of an 80 percent increase in rail freight over the next 10 years 2000-2010) to promote rail freight transport. These trends provided no indication of the share of rail traffic powered by electricity or diesel. However, it is expected that the share of rail traffic powered by electricity will be 85-90% in 2010.

To aid future decision-making, the energy-specific emission factors were obtained by statistical interpolation from the emissions factors for electrical power generation and diesel locomotive emissions provided by Bek & Sorenson (1997) for 1998 and 2020. Undoubtedly this approach unfortunately introduced significant uncertainty and provides an area to be targeted for future emission factor studies.

The emissions from electric trains will vary with the electricity generation mix and if operators decide to switch to renewable energy. Electricity generated by renewable energy has lower emissions than from the average generating mix. The exact emissions will vary with the renewable technology employed. Large changes in emissions from electric trains will occur by 2010 regardless of the use of renewable energy, because of the changes in the future UK electricity mix (Watkiss *et al*, 2002). Electricity generation emissions have been estimated for future years, based on forecasts from the DTI – the lower proportion of coal fired generation will have large effects on emissions of CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>. It has been forecasted that emissions from electric rail journeys will decrease significantly in future years, especially for NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> and SO<sub>2</sub>, because of the lower proportion of coal in the electricity generation mix and because abatement technology is being fitted on remaining coal fired plants (Watkiss *et al*, 2002).

**Table 22: Train Class**

| Train Class / Powered Vehicle | Category   |
|-------------------------------|------------|
| Class 43/0 (HST)              | D1         |
| Class 47/4                    | D2         |
| Class 47/7                    | D2         |
| Class 57/0                    | D2         |
| Class 57/3                    | D2         |
| Class 57/6                    | D2         |
| Class 67/0                    | D2         |
| Class 73/1                    | E4         |
| Class 86/2                    | E1         |
| Class 87/0                    | E1         |
| Class 90/0                    | E1         |
| Class 91/0 (IC225)            | E1         |
| Class 91/1 (IC225)            | E1         |
| Class 150 - Sprinter          | D6         |
| Class 158 - Express Unit      | D5, D6     |
| Class 159 - Express Unit      | D5         |
| Class 165 - Network Turbo     | D5, D6     |
| Class 166 - Express Turbo     | D5         |
| Class 168 - Chiltern Clubman  | D4, D5, D6 |
| Class 170 - Turbostar         | D4, D6     |
| Class 180 - Alstom Coradia    | D3         |
| Class 205                     | D5, D6     |
| Class 207                     | D6         |

| Train Class / Powered Vehicle  | Category |
|--|----------|
| Class 220 Voyager  | D4       |
| Class 221 Voyager  | D4, Dx   |
| Class 312  | E3       |
| Class 313  | E7, E?   |
| Class 315  | E3       |
| Class 317  | E3       |
| Class 319  | E3, E6   |
| Class 321  | E3       |
| Class 325 (Royal Mail)   | E3, E6   |
| Class 332 EMU Motor Car  | E3, Ex   |
| <b>Class 350</b>   | E3       |
| Class 357 (Electrostar)  | E3       |
| Class 365 (Networker)  | E3, E6   |
| Class 373 'Loco'   | E4       |
| Class 375 (Electrostar)  | E6, E7   |
| <b>Class 376 (Electrostar)</b>   | Ey       |
| <b>Class 377 (Electrostar)</b>   | E6, E7   |
| Class 390 (Pendolino)  | E2       |
| Class 411  | E6       |
| Class 412  | E6       |
| Class 421  | E6       |
| Class 423  | E6       |
| Class 442  | Ey       |
| <b>Class 444</b>   | Ey       |
| <b>Class 450</b>   | E6       |
| Class 455  | E6       |
| Class 456  | E8       |
| Class 458 (Juniper)  | E6       |
| Class 460 Juniper Motor Car  | E5       |
| Class 465 (Networker)  | E6       |
| Class 466 (Networker)  | E8       |
| Class 508  | E7       |
| Note 1: Classes shown in <b>RED</b> are new Classes recently introduced or will be in the coming year  |          |
| Note 2: The following Classes do not have a code:<br>Class 221 - 5 car formation (Dx)<br>Class 332 - 5 car formation (Ey)<br>Class 376, 442 & 444 - 5 car formation (Ey) |          |

**Table 23: Train class formation and weight**

| Class     | Formation | Mass Tonne |
|-----------|-----------|------------|
| CLASS 357 | 8 CAR     | 355.80     |
| CLASS 357 | 12 CAR    | 533.70     |
| CLASS 321 | 4 CAR     | 160.10     |
| CLASS 321 | 8 CAR     | 320.20     |
| CLASS 321 | 12 CAR    | 480.30     |
| CLASS 360 | 4 CAR     | 190.66     |
| CLASS 360 | 8 CAR     | 381.32     |
| CLASS 360 | 12 CAR    | 571.98     |

| Class     | Formation   | Mass Tonne |
|-----------|-------------|------------|
| CLASS 315 | 4 CAR       | 150.20     |
| CLASS 315 | 8 CAR       | 300.40     |
| CLASS 315 | 12 CAR      | 450.60     |
| CLASS 90  | 9mk2 + 1mk3 | 474.10     |
| CLASS 317 | 4 CAR       | 157.90     |
| CLASS 317 | 8 CAR       | 315.80     |
| CLASS 317 | 12 CAR      | 473.70     |
| CLASS 91  | 9 MK4 + DVT | 539.60     |
| HST       | 2+9         | 498.60     |
| CLASS 365 | 4 CAR       | 171.00     |
| CLASS 365 | 8 CAR       | 342.00     |
| CLASS 365 | 12 CAR      | 513.00     |
| CLASS 317 | 4 CAR       | 157.90     |
| CLASS 317 | 8 CAR       | 315.80     |
| CLASS 317 | 12 CAR      | 473.70     |
| CLASS 313 | 3 CAR       | 121.00     |
| CLASS 319 | 4 CAR       | 165.70     |
| CLASS 319 | 8 CAR       | 331.40     |
| CLASS 319 | 12 CAR      | 497.10     |
| HST       | 2+8         | 458.44     |
| CLASS 319 | 4 CAR       | 165.70     |
| CLASS 319 | 8 CAR       | 331.40     |
| CLASS 319 | 12 CAR      | 497.10     |
| CLASS 390 | 9 CAR       | 501.12     |
| CLASS 90  | 16 SLEEPER  | 842.18     |
| CLASS 90  | 9 MK3 + DVT | 494.00     |
| CLASS 221 | 5 CAR       | 302.72     |
| CLASS 321 | 4 CAR       | 160.10     |
| CLASS 321 | 8 CAR       | 320.20     |
| CLASS 321 | 12 CAR      | 480.30     |
| CLASS 350 | 4 CAR       | 189.50     |
| CLASS 350 | 8 CAR       | 379.00     |
| CLASS 350 | 12 CAR      | 568.50     |
| CLASS 313 | 3 CAR       | 121.00     |
| CLASS 313 | 6 CAR       | 242.00     |
| CLASS 165 | 4 CAR       | 175.98     |
| CLASS 180 | 5 CAR       | 284.00     |
| HST       | 2+8         | 458.44     |
| CLASS 57  | 8 SLEEPER   | 455.84     |
| CLASS 165 | 2 CAR       | 87.99      |
| CLASS 165 | 4 CAR       | 175.98     |
| CLASS 375 | 4 CAR       | 182.60     |
| CLASS 375 | 8 CAR       | 365.20     |
| CLASS 375 | 12 CAR      | 547.80     |
| CLASS 460 | 8 CAR       | 347.40     |
| CLASS 170 | 6 CAR       | 295.40     |
| CLASS 377 | 4 CAR       | 182.60     |
| CLASS 377 | 8 CAR       | 365.20     |
| CLASS 377 | 12 CAR      | 547.80     |

| Class         | Formation | Mass Tonne |
|---------------|-----------|------------|
| CLASS 456     | 2 CAR     | 81.89      |
| CLASS 450     | 4 CAR     | 189.70     |
| CLASS 450     | 8 CAR     | 379.40     |
| CLASS 450     | 12 CAR    | 569.10     |
| CLASS 455     | 4 CAR     | 159.52     |
| CLASS 455     | 8 CAR     | 319.04     |
| CLASS 455     | 12 CAR    | 478.56     |
| CLASS 159     | 6 CAR     | 259.09     |
| CLASS 170     | 6 CAR     | 295.40     |
| CLASS 377     | 4 CAR     | 182.60     |
| CLASS 377     | 8 CAR     | 365.20     |
| CLASS 377     | 12 CAR    | 547.80     |
| CLASS 456     | 2 CAR     | 81.89      |
| CLASS 375     | 4 CAR     | 182.60     |
| CLASS 375     | 8 CAR     | 365.20     |
| CLASS 375     | 12 CAR    | 547.80     |
| CLASS 465/466 | 4 CAR     | 158.50     |
| CLASS 465/466 | 8 CAR     | 317.00     |
| CLASS 465/466 | 10 CAR    | 401.00     |
| CLASS 466     | 2 CAR     | 84.00      |
| CLASS 313     | 3 CAR     | 121.00     |
| CLASS 313     | 3 CAR     | 242.00     |
| CLASS 150     | 2 CAR     | 83.82      |

## References

Bek, B. H., & Sorenson, S. C (1998) Future Emissions from Railway Traffic. Deliverable 17a of the MEET project. *Report ET-EO-98-02*, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.

Hickman, A. J. (1999) Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption. Deliverable 22 for the MEET project. *Report SE/491/98*, Transport Research Laboratory, UK.

Jorgensen, M. W., & Sorenson, S. C. (1997) Estimating Emissions from Railway Traffic. Deliverable 17 of the MEET project. *Report ET-EO-97-03*, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.

Lewis, C. A. (1997) Fuel and Energy Production Emission Factors. *Deliverable 20 of the MEET project*. ESTU, AEA Technology, Harwell, UK.

Watkiss, P., Jones, R., Rhodes, D., Hardy, A., Handley, C., & Walker, C., (2001) A Comparative Study of the Environmental effects of Rail and Short-haul Air Travel. A report produced for Commission for Integrated Transport, ED50021, AEA Technology Environment, UK.

Estimation of Rail Environmental Costs (2007), A report produced by AEA Energy & Environment (AEA), DeltaRail, and Paul Watkiss Associates, UK.

### 2.3. Energy consumption and greenhouse gas emissions from shipping

#### Summary

**Base Year: 2008**

Because of lack of recent, representative and reliable activity datasets, atmospheric emissions from shipping and marine vessels for the 2008 base year were not estimated; they were simply assumed to be the same as those in the LEGGI 2006, which included information on marine vessel characteristics and activities within the LEGGI area were obtained from the Lloyd's Maritime Intelligence Unit (LMIU) and the Port of London Authority (PLA), including the number and types of vessels, ship size, destination, approximate time of arrival and departure, distance travelled, engine type and number for the calendar year 2004.

**Projection Years: 2011 and 2015**

Because of lack of recent, representative and reliable activity datasets for the 2008 base year, projections of atmospheric emissions from shipping and marine vessels to 2011 and 2015 were not undertaken; instead projections of atmospheric emissions from shipping and marine vessels to 2011 and 2015 were basically assumed to be the same as those in the LEGGI 2006 (using 2010 projection).

**2008 emission estimation methodology: Same as the LEGGI 2006 methodology**

Below is a synopsis of the methodological approach used in the LEGGI 2006 to quantify vessel emissions:

1. Delineation of the geographical scope of the study area and the composition of a digital representation of the River Thames, the Port of London and its terminal and ports.
2. Identification and classification of vessels and their characterisation (e.g., the number and types of vessels, ship size, destination, approximate time of arrival and departure, distance travelled, engine type and number) from the databases supplied by both the LMIU and the PLA.
3. Analysis of the duration various vessel categories spend navigating "at sea" and operating "in port" from the average speeds of the various vessel categories, vessel activity databases and the estimated distances (km) travelled along the Thames.
4. Analysis and designation of average vessel power to each vessel category and the adjustment of the average vessel power (kW) by load factors for "at sea" and "in port" operations to obtain rated average vessel power (kW) for each vessel category.
5. Calculation of the average energy consumption (kWh) by vessel type from the rated average vessel power (kW) and duration for "at sea" and "in port" modes.
6. Estimation of the amount of pollutant (expressed as tonnes) emitted by a vessel type in each mode as a function of the average energy consumption (kWh) by vessel category in each mode, an emission factor (g/kWh), the number of vessel trips to ports and a unit conversion factor (Equation 1).

## Equation 1

$$E_k = VC_{port} * EF_k * EC_{avg,k} * 10^{-6}$$

Where:

$E_k$  =Emissions from vessel category  $k$  (tonnes)

$VC_{port}$  =Number of vessel calls at ports

$EF_k$  =Emission factor for vessel category  $k$  (g/kWh)

$EC_{avg,k}$  =Average energy consumption for vessel category  $k$  (kWh)

$10^{-6}$  =Unit conversion factor, grammes to tonne

7. Spatial representation and mapping of the "at sea" emissions as channel segment (lines) and "in port" emissions as points along the Thames in a GIS layer. Apportionment of the "in port" emissions and "at sea" emissions (using the linear referencing functionality in ArcGIS) to the appropriate ports and the navigational route on the Thames respectively.
8. Overlaying of the appropriate ports and the navigational route with a digital layer of the generic 1km<sup>2</sup> grid cells. Apportionment of the combined "at sea" and "in port" emissions to the generic 1km<sup>2</sup> grid cells of the LEGGI area were they intersected using the "proportion summed" algorithm in GIS.
9. Presentation of the emission results at the 1km<sup>2</sup> resolution.

For the purpose of estimating emissions from marine vessels in this study, only the 33 ports and terminals (see Table 24) on the Thames and within the LEGGI area were considered - starting from the breakwater at the M25 Motorway eastern boundary and then 43 km westward along the River Thames towards Teddington.

**Table 24: Ports and terminal within the LEGGI area**

| Ports                               | Approximate distance (km) from the LEGGI boundary <sup>34</sup> |
|-------------------------------------|---|
| Thames Europort                     | 0.5   |
| Vopak Terminal London               | 0.5   |
| Thurrock Marine Jetty/Lafarge Jetty | 0.7   |
| Civil & Marine/Purfleet Aggregates  | 1.4   |
| Jurgens                             | 1.9   |
| Purfleet Thames Terminal            | 2.2   |
| European Metal Recycling            | 7   |
| British Gypsum                      | 7.5   |
| ADM Erith Ltd                       | 8.2   |
| Pioneer                             | 8.5   |
| Mulberry Wharf                      | 9.2   |
| Fords                               | 10.8  |

<sup>34</sup> Distance along the River Thames, starting from the breakwater at the M25 Motorway eastern boundary and then westward along the River Thames.

|                        |      |
|------------------------|------|
| Hanson Aggregates      | 11.3 |
| No.1 Western Extension | 12.1 |
| TDG European Chemicals | 12.4 |
| RMC Dagenham           | 12.7 |
| Docklands Wharf        | 14.5 |
| Kierbeck               | 16   |
| Welbeck                | 16.3 |
| Pinns                  | 16.4 |
| Thames Refinery        | 19.3 |
| Tay Wharf              | 19.6 |
| Riverside Wharf        | 20.3 |
| Murphy's Wharf         | 21.8 |
| Angersteins            | 22.4 |
| Thames Wharf           | 22.8 |
| Brunswick Wharf        | 23   |
| Delta                  | 24.1 |
| Victoria Deep          | 24.9 |
| Brewery                | 26.6 |
| RMC Vauxhall           | 38.6 |
| Cringle Wharf          | 39.4 |
| RMC Fulham             | 42.7 |

Source: GLA 2005

### Vessel characteristics and movement

The primary source of information in terms of vessel characteristics and movements was a comprehensive database<sup>35</sup> maintained by LMIU. The database maintains information about ship details, including owner, operator, ship name, ship type, registry number, cargo handling equipment, flag of registry and, significantly, ship engine details such as maximum horsepower and sometimes number of auxiliary engines. The LMIU provided a spreadsheet of vessel characteristics and vessel movements to and from the Port of London for the full calendar year 2004. Due to the large number of vessel types and vessel movements to and from the Port of London on an annual basis and the complexities of data analysis required for this project, all vessels were classified and limited to the following categories:

- Liquefied Gas Carrier - *Liquefied natural gas/Liquefied petroleum gas*
- Specialised Cargo - *Chemical tank, chemical/oil carrier*
- Tanker - *Acid tanker, asphalt tanker, bunkering tanker, crude oil tanker, edible oil tanker, fruit juice tanker, fish oil tanker, floating production, floating storage, molasses tanker, naval auxiliary, product tanker, non specific tanker, wine tank, water tanker*
- Bulk Carrier - *Bulk, cement, aggregates, ore, wood-chip*
- General Cargo - *Cargo/training, general cargo, barge carrier, container/unitised carrier*

<sup>35</sup> This database is the only commercial database of all vessel movements worldwide with up-to-date data resolved to a daily timeframe and over 3 million vessel movements are processed annually.

- Pallet Carrier - *Container, barge carrier, vehicles*
- Ro-Ro Cargo - *Ro/Ro, container Ro/Ro, Passenger Ro/Ro*
- Tug/Dredger - *Tugs/dredgers*

**Table 25: Vessel characteristics: average speed, power and tonnage**

| Type of Vessel        | Average Speed<br>km/h | Average Vessel Power<br>kW | Average Vessel<br>Tonnage<br>tonnes |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| Bulk Carrier          | 26                    | 5,464                      | 15,125                              |
| Pallet Carrier        | 30                    | 7,803                      | 7,943                               |
| General Cargo         | 20                    | 1,362                      | 2,709                               |
| Specialised Cargo     | 24                    | 1,982                      | 2,679                               |
| Tug/Dredger           | 22                    | 2,544                      | 2,395                               |
| Liquified Gas Carrier | 24                    | 1,982                      | 4,755                               |
| Tanker                | 22                    | 3,116                      | 10,135                              |
| Ro/Ro                 | 20                    | 5,411                      | 12,973                              |

Source: LMIU, 2004

The Port of London Authority (PLA) provided information on the number of vessels calling at each port within the Port of London in the LEGGI area for the year 2004.

**Table 26: Vessel movements: number and types of vessels and vessel calls in 2004**

| Ports of Arrival and<br>Departure     | Number<br>of Vessels | Type of Vessel      | Number of<br>Vessel Calls |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|
| ADM Erith Ltd                         | 99                   | General Cargo       | 163                       |
| ADM Erith Ltd                         | 16                   | Tanker              | 32                        |
| Angersteins                           | 5                    | Dredger             | 93                        |
| Brewery                               | 6                    | General Cargo       | 249                       |
| British Gypsum                        | 9                    | General Cargo       | 59                        |
| Brunswick Wharf                       | 9                    | Tanker              | 72                        |
| Civil & Marine/Purfleet<br>Aggregates | 11                   | Dredger             | 57                        |
| Civil & Marine/Purfleet<br>Aggregates | 4                    | General Cargo       | 108                       |
| Cringle Wharf                         | 7                    | General Cargo       | 13                        |
| Cringle Wharf                         | 1                    | Tug                 | 1                         |
| Delta                                 | 6                    | Dredger             | 70                        |
| Delta                                 | 1                    | Tug                 | 1                         |
| Docklands Wharf                       | 30                   | General Cargo       | 49                        |
| Docklands Wharf                       | 1                    | Specialised Cargo   | 2                         |
| European Metal Recycling              | 9                    | General Cargo       | 9                         |
| European Metal Recycling              | 1                    | Ro/Ro               | 1                         |
| Fords                                 | 10                   | Ro/Ro               | 693                       |
| Fords                                 | 1                    | Tug                 | 1                         |
| Hanson Aggregates                     | 4                    | Dredger             | 184                       |
| Jurgens                               | 1                    | Specialised Vessels | 1                         |
| Jurgens                               | 23                   | Tanker              | 129                       |
| Kierbeck                              | 28                   | General Cargo       | 32                        |
| Mulberry Wharf                        | 18                   | General Cargo       | 24                        |



|                                     |    |                        |       |
|-------------------------------------|----|------------------------|-------|
| Murphy's Wharf                      | 9  | Dredger                | 304   |
| Murphy's Wharf                      | 5  | General Cargo          | 125   |
| Murphy's Wharf                      | 1  | Specialised Cargo      | 11    |
| Murphy's Wharf                      | 1  | Tanker                 | 1     |
| No.1 Western Extension              | 44 | General Cargo          | 124   |
| Pinns                               | 39 | General Cargo          | 52    |
| Pioneer                             | 4  | Dredger                | 57    |
| Purfleet Thames Terminal            | 23 | Ro/Ro                  | 1,369 |
| Riverside Wharf                     | 19 | General Cargo          | 50    |
| RMC Dagenham                        | 1  | Dredger                | 1     |
| RMC Dagenham                        | 87 | General Cargo          | 193   |
| RMC Dagenham                        | 1  | Specialised Cargo      | 11    |
| RMC Fulham                          | 3  | General Cargo          | 192   |
| RMC Vauxhall                        | 6  | General Cargo          | 306   |
| Tay Wharf                           | 1  | General Cargo          | 1     |
| TDG European Chemicals              | 77 | Tanker                 | 125   |
| Thames Europort                     | 11 | Ro/Ro                  | 1,681 |
| Thames Europort                     | 1  | Tug                    | 1     |
| Thames Refinery                     | 16 | Bulk Carrier           | 16    |
| Thames Refinery                     | 15 | General Cargo          | 20    |
| Thames Refinery                     | 1  | Pallet Carrier         | 25    |
| Thames Wharf                        | 16 | General Cargo          | 19    |
| Thurrock Marine Jetty/Lafarge Jetty | 2  | Bulk Carrier           | 2     |
| Thurrock Marine Jetty/Lafarge Jetty | 9  | Dredger                | 80    |
| Thurrock Marine Jetty/Lafarge Jetty | 10 | General Cargo          | 15    |
| Victoria Deep                       | 1  | Dredger                | 1     |
| Victoria Deep                       | 23 | General Cargo          | 37    |
| Victoria Deep                       | 1  | Specialised Cargo      | 1     |
| Vopak Terminal London               | 2  | Liquified Gas Carriers | 80    |
| Vopak Terminal London               | 1  | Tanker                 | 4     |
| Welbeck                             | 21 | General Cargo          | 94    |

Source: Port of London Authority, 2004

The vessel characteristics and movement information from both the LMIU and the PLA were combined with the following information to estimate emissions from ships:

- Information on the times that each type of vessel spent "at sea" and "in port";
- A GIS representation of the ports and terminals within the Port of London; and
- Emission factors for carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) from the Entec Report (Entec UK Ltd, 2000).

### **Durations of vessel operations "in port" and "at sea"**

The LMIU and PLA databases recorded only the dates when vessels arrived at and departed from the Port of London. Undoubtedly, actual arrival and departure times to and from each port would have assisted greatly in estimating durations of "in port" activities with confidence. "In port" activities include time spent manoeuvring, hotelling, loading, and unloading. Hotelling denotes the time a vessel spends in port that is neither loading nor unloading time, at berth and consuming minimum power. Manoeuvring is associated with

arrival at and departure from a port, i.e. when a ship decreases main engine load at the end of a period "at sea", up to the point when the ship is stationary in port and vice versa.

In the absence of reliable arrival and departure times to and from each port in the Port of London, the average time (in hours) spent "in port" per call by each vessel type was estimated from the LMIU and PLA ship activity datasets and augmented by information gained through personal conversations with port operators. For example, a typical tanker can take 24 to 40 hours to unload, with the vessel using its own pumps to unload liquid material. Due to various conditions on vessel movements in the Port of London, after loading, a vessel may stay an additional 12-18 hours at berth. Discharge rates for product ships vary considerably with the loading rate dependent on the diameter of the pipeline, the distance to the tank, pump used, and capacity.

The average time (in hours) spent "in port" per call by each vessel type was estimated using Equation 2:

Equation 2

$$AvgT_{in-port,vc,j} = \frac{T_{PL}}{VC_{port,j}}$$

Where:

$AvgT_{in-port,vc,j}$  = Average time "in port" per vessel call  $vc$  by vessel type  $j$ , (hours)

$T_{PL}$  = Total time in Port of London, (hours)

$VC_{port,j}$  = Number of vessel call  $vc$  to Port of London by vessel type  $j$

**Table 27: Estimates of durations of vessel "in port" in Port of London**

| Type of Vessel        | Vessel Count | Number of Vessel Calls | Time in Port (Days) | Time in Port (h) | Average Time "in port" (h) |
|-----------------------|--------------|------------------------|---------------------|------------------|----------------------------|
| Bulk Carrier          | 85           | 204                    | 480                 | 11,520           | <b>56.5</b>                |
| Pallet Carrier        | 6            | 6                      | 6                   | 144              | <b>24.0</b>                |
| General Cargo         | 469          | 1,971                  | 3,034               | 72,816           | <b>36.9</b>                |
| Specialised Cargo     | 19           | 122                    | 137                 | 3,288            | <b>27.0</b>                |
| Tug/Dredger           | 52           | 1,271                  | 1,455               | 34,920           | <b>27.5</b>                |
| Liquefied Gas Carrier | 7            | 31                     | 31                  | 744              | <b>24.0</b>                |
| Tanker                | 75           | 563                    | 714                 | 17,136           | <b>30.4</b>                |
| Ro/Ro                 | 39           | 3,505                  | 3,557               | 85,368           | <b>24.4</b>                |

Source: LMIU 2004

The average travelling time (in hours) "at sea" by each vessel type was estimated using Equation 3.

Equation 3

$$AvgT_{at-sea,vc,j} = \frac{D_{PL}}{AvgS_{PL,j}}$$

Where:

$AvgT_{at-sea,vc,j}$  = Average time "at sea" per vessel call  $vc$  by vessel type  $j$ , (hours)

$D_{PL}$  = Distance from breakwater to a port in the Port of London, (km)

$AvgS_{PL,j}$  = Average speed of vessel type  $j$  in the Port of London, (km/hour)

**Table 28: Durations (in hours) of vessel "at sea" in Port of London**

| Port                               | Distance<br>km | Vessel Type            | Average<br>Speed<br>km/h | Average<br>Time<br>"at sea"<br>hours |
|------------------------------------|----------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Thames Europort                    | 0.5            | Ro/Ro                  | 30                       | 0.02                                 |
| Thames Europort                    | 0.5            | Tug                    | 22                       | 0.02                                 |
| Vopak Terminal London              | 0.5            | Liquified Gas Carriers | 24                       | 0.02                                 |
| Vopak Terminal London              | 0.5            | Tanker                 | 22                       | 0.02                                 |
| Thurrock Marine/Lafarge Jetty      | 0.7            | Bulk Carrier           | 26                       | 0.03                                 |
| Thurrock Marine/Lafarge Jetty      | 0.7            | Dredger                | 22                       | 0.03                                 |
| Thurrock Marine/Lafarge Jetty      | 0.7            | General Cargo          | 20                       | 0.04                                 |
| Civil & Marine/Purfleet Aggregates | 1.4            | Dredger                | 22                       | 0.06                                 |
| Civil & Marine/Purfleet Aggregates | 1.4            | General Cargo          | 20                       | 0.07                                 |
| Jurgens                            | 1.9            | Specialised Vessels    | 24                       | 0.08                                 |
| Jurgens                            | 1.9            | Tanker                 | 22                       | 0.09                                 |
| Purfleet Thames Terminal           | 2.2            | Ro/Ro                  | 30                       | 0.07                                 |
| European Metal Recycling           | 7              | General Cargo          | 20                       | 0.35                                 |
| European Metal Recycling           | 7              | Ro/Ro                  | 30                       | 0.23                                 |
| British Gypsum                     | 7.5            | General Cargo          | 20                       | 0.38                                 |
| ADM Erith Ltd                      | 8.2            | General Cargo          | 20                       | 0.41                                 |
| ADM Erith Ltd                      | 8.2            | Tanker                 | 22                       | 0.37                                 |
| Pioneer                            | 8.5            | Dredger                | 22                       | 0.39                                 |
| Mulberry Wharf                     | 9.2            | General Cargo          | 20                       | 0.46                                 |
| Fords                              | 10.8           | Ro/Ro                  | 30                       | 0.36                                 |
| Fords                              | 10.8           | Tug                    | 22                       | 0.49                                 |
| Hanson Aggregates                  | 11.3           | Dredger                | 22                       | 0.51                                 |
| No.1 Western Extension             | 12.1           | General Cargo          | 20                       | 0.61                                 |
| TDG European Chemicals             | 12.4           | Tanker                 | 22                       | 0.56                                 |
| RMC Dagenham                       | 12.7           | Dredger                | 22                       | 0.58                                 |
| RMC Dagenham                       | 12.7           | General Cargo          | 20                       | 0.63                                 |
| RMC Dagenham                       | 12.7           | Specialised Cargo      | 24                       | 0.53                                 |
| Docklands Wharf                    | 14.5           | General Cargo          | 20                       | 0.73                                 |
| Docklands Wharf                    | 14.5           | Specialised Cargo      | 24                       | 0.60                                 |
| Kierbeck                           | 16             | General Cargo          | 20                       | 0.80                                 |
| Welbeck                            | 16.3           | General Cargo          | 20                       | 0.81                                 |
| Pinns                              | 16.4           | General Cargo          | 20                       | 0.82                                 |

|                 |      |                   |    |      |
|-----------------|------|-------------------|----|------|
| Thames Refinery | 19.3 | Bulk Carrier      | 26 | 0.74 |
| Thames Refinery | 19.3 | General Cargo     | 20 | 0.96 |
| Thames Refinery | 19.3 | Pallet Carrier    | 30 | 0.64 |
| Tay Wharf       | 19.6 | General Cargo     | 20 | 0.98 |
| Riverside Wharf | 20.3 | General Cargo     | 20 | 1.01 |
| Murphy's Wharf  | 21.8 | Dredger           | 22 | 0.99 |
| Murphy's Wharf  | 21.8 | General Cargo     | 20 | 1.09 |
| Murphy's Wharf  | 21.8 | Specialised Cargo | 24 | 0.91 |
| Murphy's Wharf  | 21.8 | Tanker            | 22 | 0.99 |
| Angersteins     | 22.4 | Dredger           | 22 | 1.02 |
| Thames Wharf    | 22.8 | General Cargo     | 20 | 1.14 |
| Brunswick Wharf | 23   | Tanker            | 22 | 1.05 |
| Delta           | 24.1 | Dredger           | 22 | 1.10 |
| Delta           | 24.1 | Tug               | 22 | 1.10 |
| Victoria Deep   | 24.9 | Dredger           | 22 | 1.13 |
| Victoria Deep   | 24.9 | General Cargo     | 20 | 1.25 |
| Victoria Deep   | 24.9 | Specialised Cargo | 24 | 1.04 |
| Brewery         | 26.6 | General Cargo     | 20 | 1.33 |
| RMC Vauxhall    | 38.6 | General Cargo     | 20 | 1.93 |
| Cringle Wharf   | 39.4 | General Cargo     | 20 | 1.97 |
| Cringle Wharf   | 39.4 | Tug               | 22 | 1.79 |
| RMC Fulham      | 42.7 | General Cargo     | 20 | 2.13 |

Key assumptions used in the analysis of durations of vessels "in port" and "at sea" in the Port of London.

1. Where a vessel arrived and departed on the next day, the time in port (see Table 27) were assumed to be one day or 24 hours. Where arrival and/or departure dates were estimated from the LMIU databases, times "in port" were assumed to be two days or 48 hours.
2. The average speeds of vessel types are averages of the vessels' characteristics. They are not weighted by calls or associated with the calls themselves.
3. Vessels took the shortest straight-line route between ports. Where land mass prohibited this assumption, the vessels took the shortest route around the land towards the destination port.
4. The Average Time "at sea" in Table 28 is considered the time taken to travel to the designated port (in one direction only) after entering the breakwater (entrance at the Port of London at the LEGGI boundary).

Undoubtedly, some of these assumptions unfortunately introduce significant uncertainty in this study but they provide an area to be improved on in future estimation of GHG emissions from ships in the LEGGI.

### **Average and rated average vessel (engine) power**

Analysing average engine power and energy consumption for vessels is a complicated task because vessels can have various combinations of main and auxiliary engines. Vessels are

self sufficient in terms of energy supply, apart from a very few exceptions where power from land sources are used on board in ports. Main engines are used primarily for ship propulsion and are normally shut down in ports; exception is for some tankers, which can use main engines for unloading and loading operations in port. Main engines are almost entirely diesel engines; mostly medium speed 4-stroke or slow 2-stroke. Auxiliary engines are used mainly for electric power generation on board for lighting, ventilation, cranes, pumps etc and they are normally shut down at sea. Rather than size, main and auxiliary engines are normally sub-divided according to their engine speed at the crankshaft as: high speed, medium speed and slow speed. Slow and medium speed engines are more abundant than high-speed engines for main engines; for auxiliary engines, high and medium speed engines dominate.

The LMIU database did not hold data for auxiliary engines on vessels so a decision was taken to use only the average vessel power (kW) of the main engine power (see Table 29) based on the assumption that most of the emissions "at sea" and "in port" come from the main engine, which realistically is not true and introduces significant uncertainty. The greatest contribution to uncertainty arises from the estimation of emissions from vessels whilst undertaking "in port" operations, as the exact engine power and load levels are subject to an unknown degree of variation. Nonetheless, this assumption provides a "rational estimate" within the context and constraints of this study.

Information on the average vessel power of various types of vessels entering the Port of London was obtained from the LMIU and used in calculations.

**Table 29: Average vessel power (kW) by vessel type**

| Type of Vessel        | Average Vessel Power ,kW <sup>36</sup> |
|-----------------------|--|
| Bulk Carrier          | 5,464                                  |
| Pallet Carrier        | 7,803                                  |
| General Cargo         | 1,362                                  |
| Specialised Cargo     | 1,982                                  |
| Tug/Dredger           | 2,544                                  |
| Liquified Gas Carrier | 1,982                                  |
| Tanker                | 3,116                                  |
| Ro/Ro                 | 5,411                                  |

Source: LMIU 2004

The load on the main engine during navigation "at sea" and during "in port" activities vary greatly, depending on the type of vessel. Hence it was imperative to establish the load factor (fraction of main engine power) for both "at sea" and "in port" activities. Load factor is defined as actual power divided by maximum continuous rated (MCR) power, and typically can be between 20% and 80% (Entec UK, 2000). MCR power is the full throttle available to the engine that would result in a full cruise speed.

For the purpose of this study, the load on the main engines during navigation "at sea" and "in port" was assumed to be 80% and 20% of the main engine respectively, irrespective of the vessel type. This assumption has been made as an attempt to obtain a "reasonable approximation" of emissions from ships within the constraints of this study. The assumed load factors and the average vessel power (average power of the main engine) by vessel type

<sup>36</sup> The averages vessel powers are averages of populated fields, e.g. where the power of a particular vessel was unknown, this vessel was excluded from the average power calculation.

were used to calculate the **rated average engine power** (kW) by mode ("at sea" and "in port") and vessel type according to Equation 4.

$$\text{Equation 4}$$

$$REP_{avg.k.sea,port} = LF_{sea,port} * 0.01 * AVP_{avg.k}$$

Where:

$REP_{avg.k.sea,port}$  = Rated average engine power "at sea"/"in port" for vessel category  $k$ , (kW)

$LF_{sea,port}$  = Load factor, fraction of average vessel power "at sea" or "in port", (%)

$AVP_{avg.k}$  = Average vessel power for vessel category  $k$ , (kW)

0.01 = Conversion factor

**Table 30: Rated average vessel power (kW)**

| Type of Ship          | "At sea"                        | "In port"                       |
|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                       | 80% of average vessel power, kW | 20% of average vessel power, kW |
| Bulk Carrier          | 4,371                           | 1,093                           |
| Pallet Carrier        | 6,242                           | 1,561                           |
| General Cargo         | 1,090                           | 272                             |
| Specialised Cargo     | 1,586                           | 396                             |
| Tug/Dredger           | 2,035                           | 509                             |
| Liquified Gas Carrier | 1,586                           | 396                             |
| Tanker                | 2,493                           | 623                             |
| Ro/Ro                 | 4,329                           | 1,082                           |

### Average Energy Consumption

The average energy consumption (kWh) by each vessel category was calculated as a function of the total time spent (expressed in hours) "at sea" (Equation 5) or "in port" (Equation 6) and the rated average engine power for each vessel category.

#### *Average energy consumption (kWh) "at sea"*

$$\text{Equation 5}$$

$$EC_{avg.k.sea} = 2 * T_{sea} * REP_{avg.k.sea}$$

Where:

$EC_{avg.k.sea}$  = Average energy consumption for vessel category  $k$  "at sea", kWh

$2 * T_{sea}$  = Total time "at sea" during arrival at and departure from a port, h

$REP_{avg.k.sea}$  = Rated average engine power "at sea" for vessel category  $k$ , kW

**Average energy consumption (kWh) "in port"**

Equation 6

$$EC_{avg.k.port} = T_{port} * REP_{avg.k.port}$$

Where:

- $EC_{avg.k.port}$  =Average energy consumption for vessel category  $k$  "in port", kWh
- $T_{port}$  =Total time "in port", h
- $REP_{avg.k.port}$  =Rated average engine power "in port" for vessel category  $k$ , kW

**Emission factors**

The installed engine type on board a vessel and the fuel used largely dictates the ship's emissions. Since the emission factors for individual engines on vessels in this study were not known, a decision was taken to use the emission factors from the Entec UK Ltd 2000 Report. While the Entec UK Ltd 2000 study was geared towards estimating emissions for the European Union, it provides an insightful analysis of the worldwide commercial marine vessel fleet, even including a statistical analysis of variance in emission factors. The Entec UK Ltd 2000 study estimated emission factors for CO<sub>2</sub> for "at sea" and "in port" activities as shown in Table 31 and Table 32<sup>37</sup>. The emission factors for main engines "at sea" and "in port" were assumed to be operating at 80% and 20% maximum continuous rating respectively

Entec UK Ltd used the LMIS database for the ships entering the EU study area to derive weighted emission factors for each vessel type for "at sea" and "in port" activities. Assignment of "engine size" emission factors with any great significance was doubtful. Consequently the emission factors were only derived for engine types and valid for all engine sizes.

**Table 31: Emission factors for "at sea" operation regarding vessel type, 2004**

| Type of Ship          | CO <sub>2</sub> |
|-----------------------|-----------------|
| Bulk Carrier          | 624             |
| Tanker                | 645             |
| Pallet Carrier        | 631             |
| General Cargo         | 644             |
| Specialised Cargo     | 822             |
| Liquified Gas Carrier | 822             |
| Dredge/Tug            | 705             |
| Ro-Ro Cargo           | 659             |

Source: Entec UK Ltd, 2000

**Table 32: Emission factors for "in port" operation regarding vessel type, 2004**

| Type of Ship | CO <sub>2</sub> |
|--------------|-----------------|
|--------------|-----------------|

<sup>37</sup> In some cases, the emission factors vary slightly due to the differences in vessel categorisation; where averaged emission factors were applied.

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| Bulk Carrier          | 706 |
| Tanker                | 710 |
| Pallet Carrier        | 710 |
| General Cargo         | 716 |
| Specialised Cargo     | 884 |
| Liquified Gas Carrier | 884 |
| Dredge/Tug            | 729 |
| Ro-Ro Cargo           | 723 |

Source: Entec UK Ltd, 2000

The emission factors for CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> were derived assuming that all fuel carbon and sulphur present in the fuel are burnt to CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> respectively.

**Table 33: Estimated uncertainties at the 95% confidence interval**

| Pollutant       | At sea | In port |
|-----------------|--------|---------|
| CO <sub>2</sub> | ±10%   | ±20%    |

Source: Entec UK Ltd, 2000

*Estimated uncertainties at the 95% confidence interval given as relative percent of the emission factors (g/kWh).*

As can be noted from Table 33, the "in port" emission factors have an increased uncertainty compared to emission factors "at sea", for two reasons. Firstly, some main engine operation will be from starts with a cold engine, which will give significantly different emissions, compared to starts with relatively warm engines. Secondly, because engine loads can change rapidly during "in port" operations, the variability in emissions are increased.

### Estimating emissions

As stated previously, the average energy consumption (expressed as kWh) method was used to estimate emissions, as opposed to using the fuel sales methods. The average energy consumption (kWh) by vessel type in each mode was multiplied by the appropriate emission factor (g/kWh), the number of vessel trips to ports and a unit conversion factor to obtain the amount of pollutant (in tonnes) emitted by a vessel type in each mode.

Below are the equations that were used in estimating ship emissions "at sea" and "in port":

#### "At sea" emission calculation

Equation 7

$$E_{k,sea} = VC_{port} * EF_{k,sea} * EC_{avg,k,sea} * 10^{-6}$$

Where:

- $E_{k,sea}$  = Emissions from vessel category  $k$  "at sea", tonnes
- $VC_{port}$  = Number of vessel calls at port



- $EF_{k,sea}$  = Emission factor for vessel category  $k$  "at sea", g/kWh  
 $EC_{avg,k,sea}$  = Average energy consumption for vessel category  $k$  "at sea", kWh  
 $10^{-6}$  = Unit conversion factor from grammes to tonne

### "In port" emission calculation

Equation 8

$$E_{k,port} = VC_{port} * EF_{k,port} * EC_{avg,k,port} * 10^{-6}$$

Where:

- $E_{k,port}$  = Emissions from vessel category  $k$  "at sea", tonnes  
 $VC_{port}$  = Number of vessel calls at port  
 $EF_{k,port}$  = Emission factor for vessel category  $k$  "at sea", g/kWh  
 $EC_{avg,k,port}$  = Average energy consumption for vessel category  $k$  "at sea", kWh  
 $10^{-6}$  = Unit conversion factor from grammes to tonne

A GIS presentation of the study area and a large spreadsheet were constructed to apportion and spatially represent "at sea" and "in port" emissions for each vessel type. "At sea" emissions were uniformly and linearly represented as channel segments (lines) along the River Thames using the linear referencing functionality in ArcGIS. "In port" emissions were allocated to the appropriate ports as point features. Both the "at sea" and "in port" emissions, represented as channel segments and points respectively, were overlaid with a digital layer of the generic LEGGI 1km<sup>2</sup> grid cells and their corresponding emission values "proportion summed" to the 1km<sup>2</sup> grid cell that they intersected.

### 2011 Projections

In the future, it is expected that there will be changes in the atmospheric emissions from marine vessels operating in the Port of London as a result of legal requirements regarding ship engines and the fuel they use, improved technologies and emission control systems. The European Union intends to propose legislation aimed to reduce marine emissions, especially legislation capping fuel sulphur content<sup>38</sup> and restriction of fuel type use. Consequently, a high degree of uncertainty will be introduced in any future projections (specifically, 2011 projections) of atmospheric emissions from marine vessels operating in the Port of London.

Although a steady course of investment and expansion is set to create a number of high-profile new facilities<sup>39</sup>, which will confirm London's status as the major gateway to UK market, most of these expansions lie outside the LEGGI area. Quantitative estimates of

<sup>38</sup> In 1997, the European Commission made a proposal to amend Directive 93/12/EEC to include a limit of 1% for the sulphur content of fuel oils.

<sup>39</sup> P&O is planning to invest £650 million in its "London Gateway" port development at Shell Haven, in a project that will significantly boost volumes through the Port of London in 2007. Shell Haven is outside the LEGGI area.

future emissions have been based on a review of literature on ship transport and emissions. Annual growth in number of vessel calls to the Port of London (that lies within the LEGGI area) for future years was estimated from the "Port of London Handbook 2006" and "PLA Annual Review 2004", which was assumed at 1% growth per annum in number of vessel calls for the period 2003 – 2010. To project 2011 and 2015 emissions, the estimated emission factors for future scenarios (i.e., 2008) for "at sea" and "in port" activities (shown in Table 34 and Table 35) were derived from the Entec UK Ltd Report. Entec's estimated emission factors for 2008 years have been used to project 2011 and 2015 emissions in this study.

**Table 34: Emission factors for "at sea" operation regarding vessel type, 2011 and 2015**

| Type of Ship          | CO <sub>2</sub> |
|-----------------------|-----------------|
| Bulk Carrier          | 688             |
| Tanker                | 706             |
| Pallet Carrier        | 691             |
| General Cargo         | 698             |
| Specialised Cargo     | 881             |
| Liquified Gas Carrier | 881             |
| Dredge/Tug            | 707             |
| Ro-Ro Cargo           | 7.3             |

**Table 35: Emission factors for "in port" operation regarding vessel type, 2010 and 2015**

| Type of Ship          | CO <sub>2</sub> |
|-----------------------|-----------------|
| Bulk Carrier          | 688             |
| Tanker                | 706             |
| Pallet Carrier        | 691             |
| General Cargo         | 698             |
| Specialised Cargo     | 881             |
| Liquified Gas Carrier | 881             |
| Dredge/Tug            | 747             |
| Ro-Ro Cargo           | 703             |

Source: Entec UK Ltd, 2000

## References

Entec UK Ltd (2000) Quantification of Emissions from Ships Associated with Ship Movements between Ports in the European Community. Prepared for the European Commission. Final report, July 2003.

Lloyds Register (1995) Marine Exhaust Emissions Research Programme. Lloyds Register Engineering services, London, UK.

PLA (2006) Port of London Handbook 2006, PLA 2006, UK.

PLA (2004) Annual Review 2004, PLA 2004, UK.

Trozzi C and R Vaccaro (1998) Methodology for estimating air pollutants emissions from ships. Deliverable 19 of the MEET project. Techne report MEET RF98.

## 2.4. Energy Consumption and GHG Emissions from Domestic Aviation

### 2.4.1. London Heathrow

This section deals with energy/fuel use and greenhouse gas emissions from civil aviation (i.e., domestic and international flights/aircrafts in the landing and take-off (LTO) flight phases up to 1,000m) and management of airports (including airside support vehicles, stationary heating and power, etc) at London Heathrow Airport<sup>40</sup>. Energy consumption and greenhouse gas emissions from road traffic around the Heathrow Airport were excluded to avoid double counting as these were already estimated under the Road Transport sector.

#### Summary

##### **Base Year: 2008**

Because of lack of recent, representative and reliable activity datasets for the 2008 base year, emission estimates for CO<sub>2</sub> from the 2002 Heathrow Emissions Inventory (HEI), which were provided by AEA were used. These 2002 base year emission estimates were spatially analysed and integrated into the LEGGI 2008 to represent the 2008 base year. Emissions from Heathrow's road traffic were excluded from the HEI dataset used to compile the LEGGI 2008 in order to avoid double counting as these were already estimated under the Road Transport sector of the LEGGI 2008.

##### **Projection Years: 2011 and 2015**

AEA provided projected (2010) emission estimates for CO<sub>2</sub> from the 2010 Heathrow Emissions Inventory, which were then spatially analysed and integrated into the LEGGI 2008. Again, emissions from Heathrow's road traffic were also excluded from the HEI dataset used in compiling the LEGGI 2008.

Because of lack of recent, representative and reliable activity datasets, projection of atmospheric emissions from Heathrow airport to 2010 and 2015 were not undertaken; instead projections of GHG emissions from Heathrow airport to 2011 and 2015 were basically assumed to be the same as those in the 2010 Heathrow Emissions Inventory (same as the 2010 projection in the LAEI 2006).

AEA provided the entire fuel consumption and CO<sub>2</sub> emission estimates (CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O were not estimated) from the 2002 Heathrow Emissions Inventory. The methodologies for the 2002 Heathrow Emissions Inventory are commercially restricted documents (i.e., *Heathrow Emission inventory 2003: Part 1 – A report produced for BAA Heathrow; BY Underwood, C T Walker and M J Pierce. Netcen/AEAT/ENV/R/1657/Issue 4; August 2004* and *Heathrow Emission inventory 2003: Part 2 – A report produced for BAA Heathrow; BY Underwood, C T Walker and M J Pierce. Netcen/AEAT/ENV/R/1728/Issue 1; November 2004*). Therefore only the executive summaries are provided in this document.

This report describes the compilation of an inventory of atmospheric emissions from London Heathrow airport (LHR) for the base year 2002. The report describes the methodologies and datasets used to compile an inventory of the pollutants NO<sub>x</sub> (nitrogen

<sup>40</sup> A flight is domestic if the initial point on the service is a domestic and the final point is a domestic airport. A flight is international if either the initial point or the final point on the service is an international airport.

oxides), PM<sub>10</sub> (particulate matter of aerodynamic diameter less than 10 microns), CO (carbon monoxide), CO<sub>2</sub> (carbon dioxide), SO<sub>2</sub> (sulphur dioxide), benzene and 1,3-butadiene.

The inventory included emissions from the following source categories:

- Aircraft in the landing and take-off (LTO) flight phases up to 1,000m, including Auxiliary
- Power Unit (APU) emissions and emissions from engine testing;
- Airside vehicles/plant;
- Road vehicles on airport landside roads and the immediate road network around the airport;
- Car parks and taxi queues;
- Airport heating plant; and
- Fire-training ground.

Aircraft emissions are included in the inventory for the LTO flight phases up to 1,000m height, but the contribution from aircraft on the ground is separately identified. Road vehicle emissions are included for a road network within a 12km x 9km rectangle enclosing the airport. This choice relates to the modelling study presented in a separate report and allows a measure of comparability with the emissions presented previously on the near-Heathrow network.

One of the principal functions of the inventory is to provide essential inputs to a dispersion modelling study that identifies the airport contribution to the ground-level concentrations of key pollutants around the airport. Thus, besides quantifying total annual emissions, this report specifies the spatial distribution of the emissions on the horizontal plane.

For those source categories included in the 2000 inventory, the methodology for the 2002 inventory is largely unchanged from that used for 2000, but the following differences can be noted:

- (a) the methodology for taking account of reduced-thrust aircraft take-off has been revised, particularly to refine assumptions that are now judged to be over-conservative; and
- (b) the classification of vehicles as road or off-road vehicles in the airside-vehicle emissions methodology has been updated on the basis of more detailed information.

The estimate of total ground-level aircraft NO<sub>x</sub> emissions is 9% lower for 2002 than it was for 2000, principally as a result of changes to the reduced-thrust methodology. There is about 3% reduction in emissions per movement for those flight phases unaffected by the reduced-thrust changes, reflecting evolution in the aircraft fleet between 2000 and 2002. The corresponding change in emissions per passenger for this component of the inventory is smaller (a decrease of 1.7%). The estimate of total aircraft PM<sub>10</sub> emissions per movement has fallen by 3%, principally reflecting the evolution of the aircraft fleet.

For NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub>, aircraft provide the dominant contribution to ground-level airport-related emissions. The estimate for ground-level aircraft NO<sub>x</sub> (PM<sub>10</sub>) emissions is 7.5 (4.5) times larger than the estimate for airside vehicle emissions and 2.0 (2.1) times larger than the estimate for landside (airport-related) road vehicle emissions on the designated network. For NO<sub>x</sub>, take-off roll is the LTO mode giving the largest contribution to ground level

emissions, whereas for PM<sub>10</sub> landing is the flight phase generating the largest fraction of total ground level aircraft emissions, as a result of current estimates of the contribution from brake and tyre wear.

The estimate of total NO<sub>x</sub> emissions from airside vehicles/plant for 2002 is similar to that for 2000. The similarity in the total masks a significant change in the relative contributions from off-road and road vehicles due to extensive re-classification of vehicles on the basis of more detailed data. However, typical NO<sub>x</sub> emission factors (in g/kg fuel) for road and off-road vehicles are not very different for the current fleet. The estimate of total PM<sub>10</sub> emissions from airside vehicles/plant for 2002 is 38% smaller than that for 2000 principally as a result of the vehicle re-classification.

For ground-level airport-related emissions, landside road vehicles are the source category giving the second largest NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub> contribution after aircraft: within this category, airport-related emissions on the designated network give the dominant contribution. For this component, the contribution from Heavy Goods Vehicles (HGVs) is larger than that from Light Duty Vehicles (LDVs) for both NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub>, but there may be some overestimation of the HGV traffic fraction as a result of specific assumptions in the traffic modelling, which would in turn lead to an overestimation of the total emissions from road vehicles on the network.

For 2002, the estimated NO<sub>x</sub> (PM<sub>10</sub>) emissions from non-airport traffic on the designated network are 3.0 (3.2) times higher than the estimated NO<sub>x</sub> (PM<sub>10</sub>) emissions from airport related traffic. For the non-airport traffic, the contribution to annual emissions from HGVs is comparable to that from LDVs for NO<sub>x</sub> and less than that from LDVs for PM<sub>10</sub>.

Compared to the values in the 1998 inventory, estimated airport-related NO<sub>x</sub> (PM<sub>10</sub>) emissions on the network have fallen by 9% (30%), whereas estimated non-airport emissions have fallen by 41% (53%), although the networks used are not exactly the same. The smaller decrease for the airport contribution indicates a faster rate of growth of airport-related traffic compared to non-airport traffic between 1998 and 2002.

The 2002 emissions from heating plant do not correspond to quite the same list of plant as in the 2000 inventory, although the differences relate to minor contributions to the total. Using a common list of plant in the two years, the NO<sub>x</sub> emissions have fallen by 9% from 2000 to 2002 for a 5% fall in fuel energy input. Similarly, for the common list of plant, PM<sub>10</sub> emissions have fallen by 3% for the 5% fall in fuel energy input. The emissions decreases are not exactly pro rata with the fuel energy decrease because emission factors for different types of plant are different. Heating plants are not expected to make a major contribution to ground-level annual-mean concentrations beyond the airport perimeter.

In terms of recommendations for operational data improvements, more detailed information on reduced-thrust operation for airlines other than British Airways would be beneficial and also statistical information on reverse-thrust usage on landing for the whole LHR fleet. Similarly, more information on the variables influencing APU running times may be beneficial. For airside vehicle emissions, the recommendations made in the 2000 inventory report regarding fuel usage surveys or plant duty-cycle surveys are still relevant. The available activity data for airside vehicles/plant still do not allow a robust assessment of associated emissions, so changes from one inventory update to the next continue to be dominated by changes to the methodology, as the assumptions used to fill gaps in the activity data are gradually refined.

In relation to emission factors, the key uncertainties relate to aircraft PM<sub>10</sub> emission factors (exhaust and fugitive) and emission factors for off-road/specialist airside vehicles/plant. Additional information is also required on the emissions performance of in-service aircraft engines compared to the factors in the ICAO databank.

### Projection Years

AEA Technology provided the entire emission estimates for NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, benzene and 1,3-butadiene from the Heathrow Emissions Inventory 2010. These data were used for the future years 2011 and 2015. The methodologies for the Heathrow Emissions Inventory 2010 are commercially restricted documents (i.e., *Heathrow 2010 Baseline Emission Inventory: Part 1 – A report produced for BAA Heathrow; BY Underwood, C T Walker and M J Pierce. Netcen/AEAT/ENV/R/1660/ Issue 3, August 2004* and *Heathrow 2010 Baseline Emission Inventory: Part 2 – A report produced for BAA Heathrow; BY Underwood, C T Walker and M J Pierce. Netcen/AEAT/ENV/R/1729/ Issue 1, November 2004*). Therefore only the executive summaries have been provided below.

The report describes the methodology and data used to forecast the inventory of atmospheric emissions from London Heathrow airport (LHR) in the year 2010<sup>41</sup>. This is an important year from an air quality perspective, in that 1 January 2010 marks the date by which agreed European Union (EU) limit values for NO<sub>2</sub> concentration must be met in Member States. It is also the specified date by which the EU Stage 2 (indicative) limit values for particulate matter are to be met.

The recent White Paper on the future of air transport in the UK supports a third runway at Heathrow in the 2015-2020 period provided the Government is confident that compliance with mandatory air quality limits can be maintained. Thus, there is significant stakeholder interest in forecasting the air quality situation in residential areas around the airport in 2010. The inventory presented in this report is intended to serve as the basis for calculating the 'baseline' air quality in 2010, i.e., the air quality under the assumption that the airport evolves without forcing measures introduced specifically to mitigate air quality impacts.

The reports describe the methodology and data used to compile an inventory of the pollutants NO<sub>x</sub> (nitrogen oxides) and PM<sub>10</sub> (particulate matter of aerodynamic diameter less than 10 microns), CO (carbon monoxide), CO<sub>2</sub> (carbon dioxide), SO<sub>2</sub> (sulphur dioxide), benzene and 1,3-butadiene.

The inventory includes emissions from the following source categories:

- (a) Aircraft in the Landing and Take-Off (LTO) flight phases, including Auxiliary Power Unit (APU) emissions and emissions from engine testing;
- (b) Airside vehicles/plant;
- (c) Road vehicles on airport landside roads and on the road network around the airport;
- (d) Car parks and taxi queues;
- (e) Airport heating plant; and
- (f) Fire-training ground.

---

<sup>41</sup> The inventory is based on the most current information on 2010 available at the end of 2003.

For PM<sub>10</sub>, the inventory also includes fugitive emissions from brake and tyre wear (for aircraft and road-vehicles), but excludes any contribution from construction activities.

Aircraft emissions are included in the inventory for the LTO flight phases up to 1,000m height, but the contribution from aircraft on the ground is separately identified. Road-vehicle emissions are included for a road network within a 12km x 9km rectangle enclosing the airport. This choice allows comparability with the emissions presented for the 2002 inventory. For heating plant, emissions associated only with on-airport energy requirements (including those for T5) are included in the inventory.

The methodology for estimating emissions is largely the same as that used for the 2002 inventory, although for aircraft it was modified to reflect the lower level of detail available in the forecast aircraft movement data compared with that for current movement data. For aircraft times-in-mode, the assumption was made that at the highest level of detail available, the time-in-mode data used for the 2002 inventory are still applicable in 2010. Of course, this may still lead to differences in average times-in-mode, for example as a result of fleet evolution and differences in the pattern of terminal usage. Similarly, the average take-off thrust settings for specific aircraft types were assumed to be the same in 2010 as in current operations.

For road traffic emissions, 2010 baseline forecast data were provided by W S Atkins on behalf of BAA Heathrow for a similar network to that used for the 2002 inventory but taking account of anticipated network developments associated with T5. The airport-related component of the traffic was based on passenger and mode share forecasts consistent with those used in the aircraft movement predictions and with the data provided on car parking on the airport.

Airside vehicle activity on the airport was assumed to grow in proportion to total passenger throughput. For the baseline estimate, the relative age distribution of the airside vehicle fleet was assumed to be the same as in 2002 apart from constraints on maximum age imposed by Operational Safety Instructions. Heat energy use on the airport was assumed to grow to meet the needs of the T5 development; in the baseline it was assumed that conventional boilers would meet these needs.

The number of movements is predicted to increase by 4% from 466,554 in 2002 to a total of 485,500 movements in 2010 (including non-ATMs<sup>42</sup>), with a forecast 28% increase in passengers, from 63.0mppa in 2002 to 80.9mppa in 2010. The baseline aircraft fleet is expected to evolve such that the B737 (all series) will account for a much smaller fraction of the movements in 2010, with the A320/A321 and the B777 accounting for a much larger fraction than in 2002. In the baseline 2010 fleet, the future A380 is expected to account for around 4% of the total movements.

For both NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub>, ground-level aircraft emissions represent the largest contribution to airport-related ground-level emissions. For NO<sub>x</sub>, this contribution is 13.6 times larger than the contribution from airside vehicles/plant and 3.0 times larger than the contribution from airport-related traffic on the designated road network. For PM<sub>10</sub>, the estimate of ground-level aircraft emissions is 8.2 times that for airside vehicles/plant and 2.6 times that

---

<sup>42</sup> Non-ATMs are movements not counted as Air Transport Movements, for example positioning movements. ATMs are limited to 480,000.

from airport-related road traffic on the designated road network.

For ground-level aircraft NO<sub>x</sub> emissions, take-off roll gives the largest contribution, accounting for nearly half of the total, in spite of the fact that roll times are substantially shorter than taxiing times. This results from the relatively high thrust setting on take-off, even after taking account of reduced-thrust take-off. For ground-level aircraft PM<sub>10</sub> emissions, brake and tyre wear is the dominant contributor, accounting for around two thirds of the ground-level PM<sub>10</sub> emissions from aircraft. However, there are large uncertainties associated with this contribution, which results from generalisation from a single item of data.

The forecast total aircraft NO<sub>x</sub> emissions in 2010 are 31% higher than in 2002. This is a larger fractional increase than the fractional increase in the number of movements, as would be expected given that the average size of aircraft increases as the airport develops. It is also a larger fractional increase than the fractional increase in the number of passengers, reflecting a trend in the NO<sub>x</sub> performance (in the LTO flight phases) of the current generation of large jet engines. Engine designs are now entering the fleet that are aimed at addressing this trend.

On the other hand, ground-level aircraft PM<sub>10</sub> emissions are predicted to be almost the same in 2010 as in 2002, despite an increase in the numbers of movements and passengers. This results from a cancellation of the forecast increase in the contribution from brake and tyre wear by a forecast decrease in the exhaust contribution, although both contributions are subject to large uncertainties.

For ground-level airport-related emissions, airport-related traffic on the designated network is the source category giving the second largest contribution after aircraft for both pollutants. These emissions are more spread out spatially than those from aircraft on the ground and from airside vehicles. The contribution from car parking and taxis is a small fraction of the total ground-level emissions for either pollutant. The NO<sub>x</sub> emissions from non-airport traffic on the network are about 2.1 times the emissions from airport-related traffic; for PM<sub>10</sub>, emissions from non-airport traffic on the network are about 2.5 times the emissions from airport-related traffic.

The 2010 baseline forecast for airport-related landside road-vehicle NO<sub>x</sub> (PM<sub>10</sub>) emissions on the road network (within the defined 12km x 9km rectangle) is lower by 15% (12%) than the 2002 estimate for the same network area. The predicted increase in airport-related traffic is more than offset by the lower average emissions per vehicle-km for the national fleet in 2010. The non-airport traffic NO<sub>x</sub> (PM<sub>10</sub>) emissions on the network are predicted to fall by 41% (31%) between 2003 and 2010, with this larger reduction reflecting the lower expected rate of increase of background traffic on the network compared to LHR-related traffic in the near vicinity of the airport. The airport-related traffic on the network is forecast to increase by a greater fraction than the fractional increase in passenger numbers because transfer passengers are a smaller fraction of the total in 2010.

The 2010 baseline forecast for airside-vehicle NO<sub>x</sub> emissions is 29% lower than the 2002 estimate: the predicted increase in airside vehicle activity (assumed to be broadly in line with passenger throughput) is more than offset by the lower average NO<sub>x</sub> emission factors for the baseline vehicle fleet in 2010. The decrease is greater for road vehicles because of the impact of Euro IV and IV+ standards whereas for off-road vehicles no standards beyond Stage 2 have been included. Similarly, the 2010 baseline forecast for airside-vehicle PM<sub>10</sub> emissions



is 41% lower than the 2003 estimate, for the similar reasons. However, for  $PM_{10}$ , the decrease is greater for off-road vehicles than for road vehicles, but this is the result of adding in a contribution from fugitive (brake and tyre wear)  $PM_{10}$  emissions for the road-vehicle but not for the off-road category.

For both  $NO_x$  and  $PM_{10}$ , the contribution to near ground emissions arising from on-airport heating plant is not insignificant, but the contribution to annual-mean ground-level concentrations is expected to be small, after taking account of boiler-house stack height. The predicted emissions are higher in 2010 than in 2003, in line with an anticipated (small) increase in the heat energy use on the airport.

It is clear from the above that some emissions contributions are predicted to be higher in 2010 than in 2002 and some lower. Given the different spatial distributions associated with the different source categories (and the important background contribution to concentrations), it is difficult to predict the net impact of these changes in emissions on the total annual-mean airborne concentrations without undertaking a dispersion modelling exercise.

## 2.4.2. Smaller airport in Greater London

### Summary

**Base Year: 2008**

Because of lack of recent activity datasets for the 2008 base year, estimate of airside emissions for the 2008 base year (from the LEGGI 2006) from minor Greater London airports and airfields (London City, Stapleford, Elstree, Northolt, Battersea, Kenley, Biggin Hill, Lippits Hill Heliport, Denham and Metro London Heliport), undertaken on behalf of the Greater London Authority (GLA) were used.

**Projection Years: 2011 and 2015**

Because of lack of recent, representative and reliable activity datasets, projection of atmospheric emissions from the smaller airports to 2011 and 2015 were not undertaken; instead projections of atmospheric emissions from the smaller airport to 2011 and 2015 were basically assumed to be the same as those in the LEGGI 2006 (same as the 2010 projection).

**2008 emission estimation methodology: (Same as the LEGGI 2006 methodology)**

This section describes the LEGGI 2006 methodology, data used and results obtained from the calculation of airside emissions from minor Greater London airports and airfields, undertaken by AEA on behalf of the Greater London Authority (GLA). Airside emissions are those emissions that occur airside and include emissions from aircraft, airside vehicles and plant (i.e. those operating on the apron areas) and refuelling. The report summarises the methodology and present summarised result for each airport/airfield:

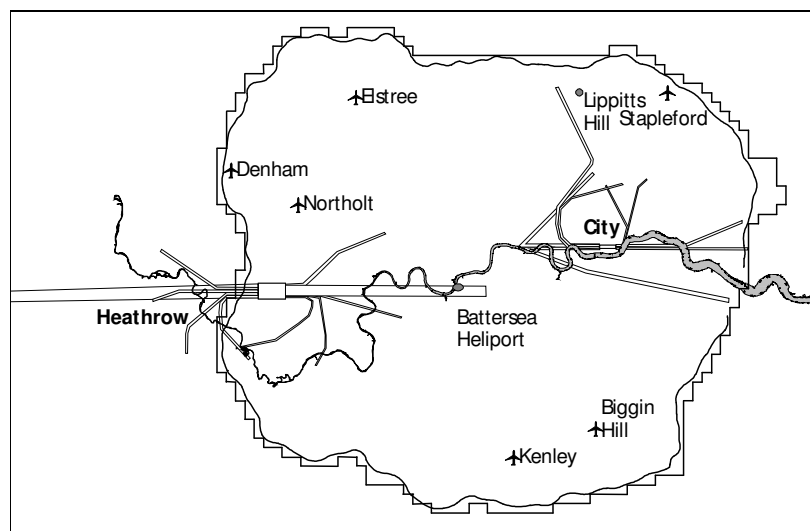
- London City
- Stapleford
- Elstree
- Northolt
- Battersea
- Kenley
- Biggin Hill
- Lippits Hill Heliport
- Denham
- Metro London Heliport

It should be noted that this study did not undertake emission estimation for large airports such as Heathrow and only included those airports or airfield as listed above within the M25 orbital, with the exception of Kenley, which was assumed to have negligible impact due to the assumption that all aircraft operating from Kenley are gliders.

Additionally, only airside emissions have been estimated, no emissions have been calculated for landside road traffic (i.e. those on public access roads), heating plants or car parking. Therefore the sources for which emissions have been calculated are: the aircraft landing and take-off cycle (LTO), auxiliary power units (APU), refuelling and airside vehicles and plant equipment (i.e. baggage loaders and other aircraft support equipment).

Emissions have been calculated for the following pollutants: oxides of nitrogen; sulphur dioxide; carbon monoxide; non-methane volatile organic compounds; carbon dioxide; benzene; 1,3-butadiene, methane and particulate matter (PM<sub>10</sub>). The Greater London Authority provided the initial contact details for all airports/airfields and AEA Technology liaised with the operators to obtain suitable data. It should be noted that the airports/airfields were under no obligation to provide the data and as such a considerable amount of time elapsed before sufficient data was gathered for the airports/airfield, with the exception of Denham who have, to date, supplied no data. After considerable effort it was decided to assume Denham had 30,000 movements (all twin-engined propeller) based on Elstree. Denham were informed of the assumption of 30,000 movements and given time to respond, but to date have not responded.

**Figure 9. Location of airports in Greater London Area**



Usually, an emissions inventory relates to a specific spatial domain, for example a given city, region or country. The aim in the current work, however, is to quantify airport-related emissions to the extent that they impact on local air quality.

For aircraft, emissions at cruise altitude are best considered in relation to the total demand for air travel and the inventory considers emissions only in the Landing and Take-Off (LTO) cycle, which conventionally extends up to 1,000m. In practice, the impact on ground-level concentrations per unit emission decreases rapidly with the height of emissions, such that the total aircraft emissions above ground level have a much smaller impact on local air quality than those at ground level on the airport.

### **Emission sources included**

The following sources are included in the inventory:

- aircraft in the LTO cycle, including APU emissions;
- airside vehicles/plant;
- Fuel Storage and aircraft refuelling.

For PM<sub>10</sub>, the inventory includes exhaust emissions and fugitive emissions from brake and tyre wear (for aircraft).

The usual approach to calculate emissions from specific sources is to multiply an activity statistic, for example fuel usage or distance travelled, by an emission factor (expressed as mass of pollutant emitted per kg of fuel burned or per km travelled respectively). Emission factors are usually derived from measurement data but are often calculated from a limited sample of measurements. Specific emission factors for individual sources are not always available, in these cases a representative emission factor is usually used, this is however often subject to some educated judgement.

The aim of the current work is to quantify the airport and airfield emissions within the M25, excluding Heathrow Airport, to a height of 1000m.

### **LTO Cycle aircraft exhaust emissions**

The dominant aircraft source of emissions is main-engine exhaust during the LTO cycle, and this will be the principal focus of the discussion below. However, separate consideration is also given to emissions from Auxiliary Power Units (APU's).

The following 'modes' (phases) of the LTO cycle are distinguished for purposes of emissions estimation:

- (1) taxi-out;
- (2) take-off roll (from start-of-roll to wheels-off);
- (3) initial climb (i.e., wheels-off to throttle-back, assumed to occur at 450m);
- (4) climb-out (from 450m to 1000m);
- (6) approach (from 1000m to touchdown);
- (7) landing roll (from touchdown to runway exit);
- (8) taxi-in.

It was assumed that emissions from the holding of aircraft ready to depart would be minimal at small airports and would be encompassed by the taxiing emissions.

'Taxi-out' commences at stand or apron and ends when the aircraft reaches the end of the runway where take-off begins. The 'taxi-in' commences when the aircraft completes its landing and leaves the runway and ends when the aircraft reaches the stand or apron. Taxi times were based on mapped taxi distances between runways and aprons and an assumed 10mph speed based on data from other studies. Thrust was assumed to be at 7% for taxi.

Take-off roll and initial-climb emissions are estimated from emission rate at take-off thrust multiplied by the take-off roll time (time from start of roll to wheels-off) and initial-climb time (time from wheels-off to 450 m altitude) respectively. Initial climb and take-off had an assumed thrust of 100%, for smaller aircraft. However, reduced thrust for some larger aircraft operating at London City, Biggin Hill and Northolt was assumed for take-off and initial climb, with estimates of take-off thrust taken from a study undertaken at Gatwick (Underwood et al, 2004a).

Once aircraft reach approximately 450 m altitude they will reduce their thrust setting from take-off thrust to climb-out thrust this is termed "throttle back". Climb-out emissions are estimated from the time to climb to 450 m 1000 m multiplied by the emission rate at climb-out thrust (typically 85%).

Approach emissions are estimated from the time in approach from 1000 m multiplied by the emission rate at 30% thrust. In line with the airport studies, the time in approach was assumed to be 286 s for large, medium and small aircraft, 312 s for light aircraft and 390 s for helicopters.

In general, aircraft will land at idle thrust (7%). However, most aircraft make use of reverse thrust (usually 30%) for some of the time. Data from Gatwick study (Underwood et al, 2004a) gave the percentage of aircraft that use reverse thrust for each specific aircraft type. The total time in landing-roll and the time in reverse thrust as well as the reverse thrust settings by aircraft types were taken from the Gatwick study (Underwood et al, 2004a). Some aircraft have periods of reverse thrust during landing roll, in place of braking. Where information is available for specific aircraft types emissions for reverse thrust have been included. Where it is not available it has been assumed that no reverse thrust is used during landing roll.

#### Times-in-mode

The times-in-mode for take-off roll, initial climb, climb-out, approach and landing roll were based on survey data used in the 2002/3 Gatwick emission inventory report (Underwood et al, 2004a). Take-off roll, initial climb, climb-out, approach and landing roll are not as airport specific as taxiing times. The taxiing times in mode have been estimated using mapped data as described above.

#### Movement data

Movement data was provided by each airport, with the exception of Denham. The CAA also supplied the movement data for both Biggin Hill and London City. This was supplemented with data from London City airport.

#### Engine assignment

The movement data provided did not provide engine type directly nor did it include details of each aircraft registration number. Therefore weighted average emissions, based on Gatwick data for the mix of engine types used per aircraft, were calculated and applied to the relevant aircraft.

#### Engine exhaust emission factors

Emissions from aircraft originate from the fuel burned in the main aircraft engines, and the engines powering the auxiliary power units. The combustion products from the engines include greenhouse gases and other pollutants. Carbon dioxide and oxides of nitrogen are emitted in the greatest quantities per tonne of fuel consumed, but methane, nitrous oxide, other by-product gases, and trace amounts of metals are emitted also. The fuel use and emissions will be dependent on the fuel type, aircraft type, engine type, engine load and flying altitude. The chief source of emission factors (and fuel flow rates) used in the present work is the ICAO databank (CAA, 2006), which gives certification test results for most of the engines in service, at four thrust settings (7%, 30%, 85% and 100%). It is a key assumption of the methodology that these engine test results are representative of the emissions performance of in-service engines. Data for some engines not listed in the ICAO databank (usually turboprops) were obtained from the FAA Aircraft Engine Emission Database (FAA). A significant proportion of aircraft engines were identified from the

databanks. In a few cases surrogate engines of similar size were used.

**Table 36: Emission factors for aviation fuels (kg/t)**

| Fuel                  | CO <sub>2</sub><br>(kt / tonne) | SO <sub>2</sub><br>(kg / tonne) |
|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Aviation Turbine Fuel | 859                             | 0.82                            |
| Aviation Spirit       | 865                             | 0.82                            |

The ICAO databank only contains emission factors for NO<sub>x</sub>, HC, and CO. It does not include emission factors for PM<sub>10</sub> directly, but does include 'smoke number' (SN), an indirect measure of particulate emissions calculated from the reflectance of a filter paper measured before and after the passage of a known quantity of smoke-bearing gas. A method developed as part of the Project Sustainable Development Heathrow Project (DfT, 2006) to derive an emission factor (g pollutant per kg of fuel consumed) from SN was used. The core of the method depends on generalising from a sparse data set relating SN to a gravimetric measure (from example, g/m<sup>3</sup> of exhaust gas). This method of emission factor estimation has been used in similar airport emission estimation for airports such as Gatwick, Birmingham, Manchester and Heathrow. Emissions of carbon dioxide and sulphur dioxide were calculated by assumed amounts of the particular pollutant per tonne of fuel consumed.

In general there are three fuels that are used to power aircraft: aviation gasoline, jet gasoline, and jet kerosene. Aviation Gasoline is motor spirit prepared especially for aviation piston engines, with an octane number suited to the engine, a freezing point of -60°C and a distillation range usually within the limits of 30°C and 180°C. Jet Gasoline (Naphtha type Jet Fuel or JPA) is a light hydrocarbon oil distilling between 100°C and 250°C for use in aviation turbine power units. It is obtained by blending kerosenes and gasoline or naphthas in such a way that the aromatic content does not exceed 25 per cent in volume, and the vapour pressure is between 13.7 kPa and 20.6 kPa. Jet Kerosene is a distillate also used for aviation turbine power units. It has the same distillation characteristics between 150°C and 300°C (generally not above 250°C) and flash point as kerosene. In addition, it has particular specifications (such as freezing point) which are established by the International Air Transport Association (IATA).

Emissions of carbon dioxide and sulphur dioxide are derived from the carbon and sulphur contents in the fuels. The sulphur contents are updated annually from data provided by UKPIA. The carbon contents of the fuels are currently under review.

Emissions of benzene, 1,3 butadiene, methane were calculated from the hydrocarbon emissions calculated using the ICAO emission factors. The methodology described in Memorandum from R. Cook to R. Wilcox. 'Exhaust THC to VOC Correction Factors for Aircraft,' July, 1992 was used to first convert hydrocarbons to methane and NMVOC. The NMVOC was then converted to benzene and 1,3 butadiene using 1.97 and 1.8 factors respectively.

In terms of spatial apportionment, all airports and airfields, except Biggin Hill, were assumed to use the main runway only, with the operation direction split based on Heathrow meteorological data for 2004. For Biggin Hill only a small percentage of the light aircraft were apportioned to the short runway (based on analysis of meteorological wind direction data), others were apportioned to the main runway. Take-off and landing were apportioned

to runways and assumptions made concerning length of take off and landing typical to the aircraft size. Similarly, approach was assumed to be a straight line from 1000m to touch down. Initial climbout assumed to be a straight line from wheels of up to 450m, climbout a straight line from 450m to 1000m. Taxi emissions were apportioned to the most obvious route between runway end and apron. APU emissions were apportioned to aprons. Brake and tyre wear were assumed to be apportioned to landing.

#### *APU emissions*

Data from Heathrow and Gatwick studies (Underwood et al, 2004a) enabled aircraft types and APU types to be matched. Stansted data gave one average APU running times prior to departure and after arrival for all aircraft and this was used in conjunction with the typical APU types per aircraft taken from the Gatwick and Heathrow studies.

APU emissions (kg) from an aircraft movement were estimated from the product of the APU running time (s), the fuel consumption (kg/s) and the emission factor (kg pollutant per kg fuel consumed).

There are limited source of emission factors for APUs, emission factors have been taken from the Heathrow and Gatwick studies (Underwood et al, 2004 and 2004a).

The APU emission factor dataset does not contain PM<sub>10</sub> emission factors. However, total APU fuel used can be calculated, and an estimate of APU PM<sub>10</sub> emissions was derived by taking a representative emission factor of 0.1g/kg fuel. This value is approximately equal to the ratio of total PM<sub>10</sub> emissions in the LTO cycle to total fuel used in the LTO cycle found in the current work and in past airport emission inventories such as those for Gatwick and Heathrow.

#### *Engine testing emissions*

It was decided from past experience that the emission from this source would be insignificant for small airports and they were therefore not calculated.

### **Aircraft-related fugitive emissions**

#### *PM<sub>10</sub> From Aircraft Brake And Tyre Wear*

It was assumed for this air quality assessment based on previous assessments for Heathrow and Gatwick that the quantity of eroded material per landing should be scale with the size of aircraft. The most suitable way of scaling by size was thought to be by the maximum take-off weight. The estimate of the contribution of tyre and brake wear to emissions should be treated with caution, the method used is the same as used in the PSDH project (Dft, 2006).

#### *Airside support vehicle/plant emissions*

For the purposes of this report it has been assumed that the fuel consumption of aircraft (excluding helicopters) during the approach mode can be used as a surrogate statistic to scale emissions from other airport studies, in this case for Belfast City Airport, where airside fuel consumption for support vehicles and plant were available. Approach fuel use has been used as a surrogate as approach time is normally assumed to be fairly consistent from one

airport to another. Fuel at Belfast City Airport was estimated in 2005 to be 1105547kg for aircraft approach and 206047 litres of airside fuel (assumed diesel).

Emission factors from the National Atmospheric Emission Inventory (NAEI, 2005) have been used for diesel fuelled support vehicles and plant. The emissions calculated should be treated with caution due to the assumed fuel use. Estimated emissions are detailed below and have been apportioned to the aprons:

#### *Aircraft fuel storage and handling*

There will be emissions of hydrocarbons due to evaporation of aircraft fuel from storage, tank filling and from any spillages. It has been reported in previous air quality assessments for airports (Underwood et al, 2004 and 2004a) that these sources are not thought to be major contributors to the overall emissions of hydrocarbons.

It has been assumed that the fuel use is related to the estimated approach fuel burn and a similar methodology to that used to estimate airside vehicle/plant emissions has been used. The aviation fuel related evaporative emissions at Belfast City Airport have been used and factored using approach fuel use. Evaporative emissions have been apportioned to the apron areas. Benzene, 1,3 butadiene and methane have been estimated from the ratio of aircraft hydrocarbon emissions to these pollutant as the emissions of these pollutants is related to the relative proportions of different types of fuel used at different airports.

Breathing losses at the fuel farms consist of vapour expelled due to pressure changes arising from diurnal temperature cycling. Working losses from fixed-roof tanks are the sum of the loading losses (vapour expelled on filling) and unloading losses (saturation of new air intake with vapour). These losses are normally calculated using the methodology in 5<sup>th</sup> Edition of AP-42 (USEPA, 1995) for fixed-roof tanks. The principal data required for calculating total vapour loss are the dimensions of the tanks and the total annual throughput of fuel. These data were not available for the airports under consideration at the time of this study. It was also assumed that refuelling losses are the same as the working losses from the tanks. The emissions calculated should be treated with caution due to the assumed fuel use. The total emissions from aircraft fuel storage and handling are below and have been apportioned to the aprons:



## References

Civil Aviation Authority (2006) ICAO Aircraft Emissions Databank,  
<http://www.caa.co.uk/default.aspx?categoryid=702&pagetype=90>, Accessed 23/05/2006

Dft (2006) Project for the Sustainable Development of Heathrow: Air Quality Technical Report  
[http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft\\_aviation/documents/divisionhomepage/612123.hcsp](http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_aviation/documents/divisionhomepage/612123.hcsp), accessed 31/7/06.

FAA Aircraft Engine Emissions Database. AEE-110. Developed by the FAA Office of Environment and Energy.

Heathrow Emissions Inventory 2002: Part 1. A report produced for BAA Heathrow (2004), BY Underwood, CT Walker and M J Peirce. netcen /AEAT/ENV/R/1657/Issue 4. August 2004.

Gatwick Emissions Inventory 2002/3. A report produced for BAA Gatwick (2004a), BY Underwood, CT Walker and M J Peirce. netcen/AEAT/ENV/R/1569/Issue 2. October 2004

NAEI (2005) Emission Factors Database. <http://www.naei.org.uk/emissions/selection.php> (Accessed 15/12/2005)

USEPA (1995) Compilation of air pollutant emission factors. AP-42. Volume 1: stationary point sources and area sources. 5<sup>th</sup> Edition.

## 2.5. Energy Consumption and GHG Emissions from Electricity Consumption

This section deals with electricity use and greenhouse gas emissions calculated from actual and estimated meter reading at domestic, industrial and commercial premises, including electricity consumption by over ground electric trains/locomotives and the London Underground trains.

### Summary

Electricity consumption and CO<sub>2</sub> emissions for 2008 were estimated from Department for Energy and Climate Change (DECC) 2008 Middle Layer Super Output Area (MLSOA) level Electricity and Gas Consumption datasets and Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) 2008 National Statistics<sup>43</sup> on CO<sub>2</sub> Emissions at Local Authority and Regional Levels datasets<sup>44</sup>.

Department for Energy and Climate Change (DECC) electricity consumption data were collected by obtaining the full co-operation of the electricity industry: annualised consumption data were generated by the data aggregators, agents of the electricity suppliers, who collate and aggregate electricity consumption levels for each customer meter or MPAN (meter point administration number). In addition to this, information is obtained from the Gemserv meter postcode address file, which provides the geographical location of each MPAN, including the full address and postcode. For the 2008 dataset, Gemserv data were from a quarterly produced extract file produced by the electricity distribution companies' meter point administration system (MPAS)<sup>45</sup>. The geographical and electricity consumption data are then merged together to enable consumption data to be mapped to postcodes and aggregated to MLSOA (as well as local authority areas and government office regions) levels. The electricity consumption data are generated for both non-half hourly (NHH) meters (domestic and small/medium commercial-industrial customers) and for half hourly (HH) meters (larger commercial-industrial customers).

For the NHH data, annualised estimates are based on either an annualised advance (AA) or estimated annual consumption (EAC). The AA is an estimate of annualised consumption based on consumption recorded between two meter readings. In comparison an EAC is used where two meter readings are not available and an estimate of annualised consumption is produced by the energy company using historical information and the profile information relating to the meter. These data provide a good approximation of annualised consumption, but do not cover exactly the calendar year. For the half hourly meter consumption estimates, data aggregators are asked to produce a simple report for each MPAN for the relevant calendar year.

---

<sup>43</sup> In March 2008 gas consumption dataset gained National Statistics status. This status applies to all data from 2005 onwards. Please note that the 2004 data are still classed as experimental.

<sup>44</sup> The main data sources are the UK National Atmospheric Emissions Inventory, maintained by AEA on behalf of DEFRA and the Devolved Administrations, and DECC's National Statistics of energy consumption for local authority areas. The work to produce the estimates was carried out by AEA.

<sup>45</sup> In 2006 the MPAS data moved onto an on-line system named the Electricity Central Online Enquiry Service (ECOES), which provides similar, but more up-to-date information to the Gemserv file.

DECC uses the aforementioned data to produce a domestic/non-domestic split, with aggregate and average consumption figures provided for all local authorities and regions. The domestic consumption is based on NHH meters with profiles 1 and 2 (these are the standard Domestic and Economy 7 type tariffs respectively). Non-domestic (i.e. industrial and commercial) consumption is based on NHH meters with profiles 3 to 8 and all HH meters. In addition some of the larger domestic consumers of electricity are reallocated to the industrial-commercial sector if annual consumption is greater than 100,000 kWh.

The 2007 electricity consumption and numbers of customers by region and local authority workbooks were obtained from the DECC's website<sup>46</sup>. DECC collects and compiles estimates of electricity consumption at regional (NUTS1) and local authority levels (NUTS4). Within each workbook, several worksheets provided details of electricity and gas consumption down to MLSOA level for each LA in the UK. The 2007 datasheets showed electricity consumption data (given in kWh for the entire year) for the Greater London area regarding total consumption, number of meters and average consumption levels for domestic and non-domestic users. Details about how the information on electricity and gas consumption has been collected and collated can be found in "DECC, Guidance Note for Regional Energy Data PUBLICATION URN 08/487c" at <http://www.berr.gov.uk/files/file42994.pdf>.

The project team obtained workbooks of electricity consumption from the DECC's website. Within each workbook are worksheets giving details of electricity and gas consumption down to MLSOA level for each LA in that region. The 2008 datasheets showed electricity and gas consumption data (given in kWh for the entire year) for England regarding total consumption, number of meters and average consumption levels for domestic and non-domestic users. Also included are figures for industrial half hourly meter electricity consumption (relating to larger business consumers) within the LA; this data cannot be disaggregated to MLSOA as doing so would break the National Statistics Code of Practice guidelines on data disclosure. Due to data disclosure issues, consumption relating to larger commercial/industrial consumers could not be disaggregated below local authority level, and in some cases data relating to a particular area have been merged with data for nearby areas.

The 2007 regional and local electricity consumption statistics obtained from DECC's Energy Statistics were spatially analysed and apportioned to 1-km<sup>2</sup> grid cells by the project team to enable sub-borough areas to be monitored and targeted. In order to produce local electricity consumption statistics for 2008 at the 1-km<sup>2</sup> spatial resolution, the electricity consumption statistics for each MLSOA was first analysed, reformatted and then aggregated to the 1-km<sup>2</sup> grid cells using GIS algorithms (i.e., spatial analysis by overlaying the MLSOAs' electricity consumption data with the 1,604 1-km<sup>2</sup> grid cells). Where a MLSOA covered more than one 1-km<sup>2</sup> grid cell area, the electricity consumption was divided between the relevant grid cells based on the proportion of the area covered by the MLSOA. There were also some circumstances where for confidentiality or other reasons, BERR combined MLSOA data, and each MLSOA was given an equal share of the electricity data when deriving statistics. Furthermore, due to data disclosure issues, electricity consumption relating to larger commercial/industrial consumers could not be disaggregated below local authority level, and in some cases data relating to a particular area have been merged with data for nearby areas.

---

<sup>46</sup> <http://www.berr.gov.uk/energy/statistics/regional/regional-local-gas/page36200.html>

## CO<sub>2</sub> emission estimates

CO<sub>2</sub> emissions estimates from electricity consumption in the LEGGI 2008 were obtained from DEFRA's 'Detailed Sector Split' Local and Regional CO<sub>2</sub> Emissions Estimates for 2007 spreadsheet, which was produced by AEA for DEFRA in December 2008. The spreadsheet was used with reference to the report 'Local and Regional CO<sub>2</sub> Emissions Estimates for 2008'<sup>47</sup>. The nationally consistent carbon dioxide emission estimates for "Domestic" and "Industrial & Commercial" sectors at local authority (London boroughs) and regional level (Greater London) that are contained within the spreadsheet were produced following the publication of local gas, electricity and road transport fuel consumption estimates by DECC. The 'Detailed Sector Split' worksheet shows the elements of data (such as the domestic gas and electricity estimates and the estimates for road transport) included within the CO<sub>2</sub> estimates are of reasonable certainty, as they are based on local readings and sales data.

The 2007 regional and local CO<sub>2</sub> emissions from electricity consumption statistics were spatially analysed and apportioned to 1-km<sup>2</sup> grid cells to enable sub-borough areas such as electoral wards to be monitored and targeted. In order to produce CO<sub>2</sub> emissions at the 1-km<sup>2</sup> spatial resolution, the CO<sub>2</sub> emissions statistics for each London borough was first disaggregated (using the area of domestic and non-domestic buildings categories obtained from Department for Communities and Local Government (DCLG)'s Generalised Land Use Database Statistics for England 2005<sup>48</sup> as a weighting factor) to Census ward areas and then aggregated to the 1-km<sup>2</sup> grid cells using GIS functionality (i.e., spatial analysis by overlaying the Census wards' electricity consumption data with the 1,604 1-km<sup>2</sup> grid cells of the LEGGI area).

Emission estimates of methane and nitrous oxide in the LEGGI 2008 were calculated from the energy data, using emissions factors derived from the "2009 Guidance to DEFRA/DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting"<sup>49</sup> provided by AEA for DECC and DEFRA.

## Projection Years: 2011 and 2015

Projections of GHG emissions for electricity were based on an analysis of historical trends in energy consumption. Electricity consumption trends have been used to estimate the projections of Methane and N<sub>2</sub>O.

---

<sup>47</sup> <http://www.defra.gov.uk/environment/statistics/globalatmos/galocalghg.htm>

<sup>48</sup> The Generalised Land Use Database Statistics for England 2005 categorises land parcels into nine key themes: domestic buildings, gardens, non-domestic buildings, road, rail, path, greenspace, water and others and provides statistics for each local authority and also for each Census ward (as defined for 2005). The statistics are produced for DCLG (formerly, ODPM) on behalf of the Office for National Statistics' Neighbourhood Statistics service. <http://www.communities.gov.uk/publications/planningandbuilding/generalisedlanduse>

<sup>49</sup> (<http://www.defra.gov.uk/environment/business/reporting/conversion-factors.htm>).

## Electricity

The % per annum growth/decay rates in electricity consumption (2005-2008) from the domestic and industrial-commercial sectors in the Greater London area were calculated as follows (see **Error! Reference source not found.** and **Error! Reference source not found.**):

For Domestic electricity projections to 2011 = -1.14%  
 For Industrial-Commercial electricity projections to 2011 = 1.03%

For Domestic electricity projections to 2015 = -1.11%  
 For Industrial-Commercial electricity projections to 2015 = 1.05%

**Table 37: Trends in Domestic electricity consumption (GWh) in Greater London and projection factors**

| Years       | Electricity Sales (GWh) |                              |                |
|-------------|-------------------------|------------------------------|----------------|
| 2005        | 13,885                  |                              |                |
| 2006        | 13,701                  |                              |                |
| 2007        | 13,774                  |                              |                |
| 2008        | 13,410                  |                              |                |
| <b>2011</b> | <b>12,951</b>           | % decrease between 2007-2011 | <b>-5.97%</b>  |
| <b>2012</b> |                         |                              |                |
| <b>2013</b> |                         |                              |                |
| <b>2014</b> |                         |                              |                |
| <b>2015</b> | <b>12,364</b>           | % decrease between 2007-2015 | <b>-10.24%</b> |

**Table 38: Trends in Industrial and Commercial electricity consumption (GWh) in Greater London and projection factors**

| Years       | Electricity Sales (GWh) |                              |              |
|-------------|-------------------------|------------------------------|--------------|
| 2005        | 27,550                  |                              |              |
| 2006        | 29,143                  |                              |              |
| 2007        | 28,423                  |                              |              |
| 2008        | 28,404                  |                              |              |
| <b>2011</b> | <b>29,284</b>           | % increase between 2007-2011 | <b>3.03%</b> |
| <b>2012</b> |                         |                              |              |
| <b>2013</b> |                         |                              |              |
| <b>2014</b> |                         |                              |              |
| <b>2015</b> | <b>30,501</b>           | % increase between 2007-2015 | <b>7.31%</b> |

As a result of these growth rates the following conversion factors were calculated. These conversion factors were applied to the values for 2008 (base year) to calculate the projections in energy consumption for 2011 and 2015.

Conversion factor for Domestic electricity projections to 2011 = 0.9403  
Conversion factor for Industrial-Commercial electricity projections to 2011 = 1.0303

Conversion factor for Domestic electricity projections to 2015 =  
0.8976  
Conversion factor for Industrial-Commercial electricity projections to 2015 = 1.0731

## 2.6. Energy Consumption and GHG Emissions from Gas Consumption

This section deals with energy use and greenhouse gas emissions from natural gas supplied to homes, where it is used for cooking in natural gas-powered ranges and ovens, natural gas heated clothes dryers, water and central heating, and domestic boilers. It also includes energy use and greenhouse gas emissions from industrial (excluding gas-fired electricity generation/power stations), commercial (e.g., hotel and catering, warehouses, retail, sport and leisure, etc) and public services (e.g., education, Government, health, etc) gas use.

### Summary

Gas consumption and CO<sub>2</sub> emissions for 2008 were estimated from Department for Energy and Climate Change (DECC) 2007 Middle Layer Super Output Area (MLSOA) level Electricity and Gas Consumption datasets and Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) 2007 National Statistics on CO<sub>2</sub> Emissions at Local Authority and Regional Levels datasets.

After some key structural changes in the British gas distribution network in 2005, the National Grid were no longer able to provide gas sales data at the postcode sector level because they sold off some of the local distribution zones (LDZs) and were no longer responsible for the whole of the gas distribution network in Great Britain. However, through an agreement with Xoserve<sup>50</sup>, DECC now obtains annualised gas consumption estimates (similar to those already collected from the electricity industry) from Xoserve. Xoserve is the company now responsible for the collation and aggregation of gas consumption, subject to permissions being provided by the owners of the LDZ network. Xoserve provides annualised estimates of gas consumption for all the MPRNs (meter point reference numbers or gas meters) based on an Annualised Quantity (an estimate of annualised gas consumption using consumption recorded between two meter readings at least six months apart. The estimate is then adjusted to reflect a 17-year weather correction factor). The AQ for each MPRN represents consumption relating to the financial year 1 April to 31 March, rather than for a calendar year.

The data quality of the gas data from Xoserve is high; however, the problem previously noted for the National Grid dataset with regards to the allocation of gas meters to either the domestic or commercial sector is still relevant to the Xoserve dataset, as no reliable criteria exists on the dataset to identify the sector to which the meter belongs. However the reliability of the 2007 gas datasets are significantly higher than the previous National Grid datasets due to the improved geographical mapping of gas consumption from individual MPRNs using the National Statistics Post Code Directory.

The 2007 gas consumption and numbers of customers by region and local authority workbooks were obtained from the DECC's website<sup>51</sup>. DECC collects and compiles

---

<sup>50</sup> In addition to the gas consumption estimates (from meters connected to the main distribution network)

obtained from Xoserve, BERR also obtains similar information from the independent gas transporters that are responsible for transporting gas to mainly new housing estates or connected system exit points (CSEPs).

<sup>51</sup> <http://www.berr.gov.uk/energy/statistics/regional/regional-local-gas/page36200.html>

estimates of gas consumption at regional (NUTS1) and local authority levels (NUTS4). Within each workbook, several worksheets provided details of electricity and gas consumption down to MLSOA level for each LA in the UK. The 2007 datasheets showed gas consumption data (given in kWh for the entire year) for the Greater London area regarding total consumption, number of meters points and average consumption levels for domestic and non-domestic users. Details about how the information on electricity and gas consumption has been collected and collated can be found in "DECC, Guidance Note for Regional Energy Data PUBLICATION URN 08/487c" at <http://www.berr.gov.uk/files/file42994.pdf>.

DECC's sub local authority gas consumption estimates at Middle Layer Super Output Area (MLSOA) level in England for 2007 was used for the 2008 energy estimates in the LEGGI 2008. However, due to data disclosure issues, gas consumption relating to larger commercial/industrial consumers could not be disaggregated below local authority level, and in some cases data relating to a particular area have been merged with data for nearby areas.

For the analysis, the project team spatially analysed and aggregated the gas consumption data from MLSOA level to the 1-km<sup>2</sup> grid cells. However where a MLSOA covered more than one 1-km<sup>2</sup> grid cell area, the gas consumption was divided between the relevant grid cells based on the proportion of the area covered by the MLSOA. There were also some circumstances where for confidentiality or other reasons, DECC combined MLSOA data, and each MLSOA was given an equal share of the gas data when deriving statistics.

### **CO<sub>2</sub> emission estimates**

CO<sub>2</sub> emissions estimates from gas consumption in the LEGGI 2008 were obtained from DEFRA's 'Detailed Sector Split' Local and Regional CO<sub>2</sub> Emissions Estimates for 2007 spreadsheet, which was produced by AEA for DEFRA in December 2008. The spreadsheet was used with reference to the report 'Local and Regional CO<sub>2</sub> Emissions Estimates for 2008'<sup>52</sup>. The nationally consistent carbon dioxide emission estimates for "Domestic" and "Industrial & Commercial" sectors at local authority (London boroughs) and regional level (Greater London) that are contained within the spreadsheet were produced following the publication of local gas, electricity and road transport fuel consumption estimates by DECC. The 'Detailed Sector Split' worksheet shows the elements of data (such as the domestic gas and electricity estimates and the estimates for road transport) included within the CO<sub>2</sub> estimates are of reasonable certainty, as they are based on local readings and sales data.

The 2007 regional and local CO<sub>2</sub> emissions from gas consumption statistics were spatially analysed and apportioned to 1-km<sup>2</sup> grid cells to enable sub-borough areas such as electoral wards to be monitored and targeted. In order to produce CO<sub>2</sub> emissions at the 1-km<sup>2</sup> spatial resolution, the CO<sub>2</sub> emissions statistics for each London borough was first disaggregated (using the area of domestic and non-domestic buildings categories obtained from Department for Communities and Local Government (DCLG)'s Generalised Land Use Database Statistics for England 2005<sup>53</sup> as a weighting factor) to Census ward areas and

---

<sup>52</sup> <http://www.defra.gov.uk/environment/statistics/globalatmos/galocalghg.htm>

<sup>53</sup> The Generalised Land Use Database Statistics for England 2005 categorises land parcels into nine key themes: domestic buildings, gardens, non-domestic buildings, road, rail, path, greenspace, water and others and provides statistics for each local authority and also for each Census ward (as defined for 2005). The statistics are produced for DCLG (formerly,



then aggregated to the 1-km<sup>2</sup> grid cells using GIS functionality (i.e., spatial analysis by overlaying the Census wards' electricity consumption data with the 1,604 1-km<sup>2</sup> grid cells of the LEGGI area).

Emission estimates of methane and nitrous oxide in the LEGGI 2008 were calculated from the energy data, using emissions factors derived from the "2009 Guidance to DEFRA/DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting"<sup>54</sup> provided by AEA for DECC and DEFRA.

### Projection Years: 2011 and 2015

Projections of atmospheric emissions from gas consumption were based on an analysis of historical trends in energy consumption. Electricity consumption trends have been used to estimate the projections of Methane and N<sub>2</sub>O.

### Gas

The % per annum growth/decay rates in gas consumption (2005-2008) from the domestic and industrial-commercial sectors in the Greater London area were calculated as follows (see **Error! Reference source not found.** and **Error! Reference source not found.**):

|   |          |
|---|----------|
| For Domestic gas projections to 2011              | = -2.60% |
| For Industrial-Commercial gas projections to 2011 | = -3.60% |
| For Domestic gas projections to 2015              | = -2.47% |
| For Industrial-Commercial gas projections to 2015 | = -3.35% |

**Table 39: Trends in Domestic gas consumption (GWh) in Greater London and projection factors**

| Years       | Gas Sales (GWh) |                              |                |
|-------------|-----------------|------------------------------|----------------|
| 2005        | 52,635          |                              |                |
| 2006        | 50,943          |                              |                |
| 2007        | 49,921          |                              |                |
| 2008        | 48,528          |                              |                |
| <b>2011</b> | <b>44,741</b>   | % decrease between 2007-2011 | <b>-10.38%</b> |
| <b>2012</b> |                 |                              |                |
| <b>2013</b> |                 |                              |                |
| <b>2014</b> |                 |                              |                |
| <b>2015</b> | <b>40,148</b>   | % decrease between 2007-2015 | <b>-19.58%</b> |

ODPM) on behalf of the Office for National Statistics' Neighbourhood Statistics service.  
<http://www.communities.gov.uk/publications/planningandbuilding/generalisedlanduse>

<sup>54</sup> (<http://www.defra.gov.uk/environment/business/reporting/conversion-factors.htm>).

**Table 40: Trends in Industrial and Commercial gas consumption (GWh) in Greater London and projection factors**

| Years       | Gas Sales (GWh) |                              |                |
|-------------|-----------------|------------------------------|----------------|
| 2005        | 27,215          |                              |                |
| 2006        | 26,008          |                              |                |
| 2007        | 24,429          |                              |                |
| 2008        | 24,272          |                              |                |
| <b>2011</b> | <b>21,647</b>   | % decrease between 2007-2011 | <b>-19.58%</b> |
| <b>2012</b> |                 |                              |                |
| <b>2013</b> |                 |                              |                |
| <b>2014</b> |                 |                              |                |
| <b>2015</b> | <b>18,584</b>   | % decrease between 2007-2015 | <b>-23.93%</b> |

As a result of these growth rates the following conversion factors were calculated. These conversion factors were applied to the values for 2008 (base year) to calculate the projections in gas consumption for 2011 and 2015.

Conversion factor for Domestic gas projections to 2011 = 0.8962  
 Conversion factor for Industrial-Commercial gas projections to 2011 = 0.8861

Conversion factor for Domestic gas projections to 2015 = 0.8042  
 Conversion factor for Industrial-Commercial gas projections to 2015 = 0.7607

## 2.7. Energy Use and GHG Emissions from Coal, Oil and Wastes & Renewables

The fuels covered in this section are solid and liquid fuels: coal, oil and wastes & renewables.

**Domestic Coal:** Energy use and greenhouse gas emissions from smokeless solid fuels (SSF) - coke and anthracite - burnt exclusively within Smoke Control Areas and used for room heaters, cookers, boilers, open fires and stoves.

**Industrial and Commercial Coal:** Energy use and greenhouse gas emissions from industrial (e.g., iron and steel production, excluding coal-fired electricity generation at power stations) and commercial/ public (e.g., as feedstock for boilers providing heating and hot water in public buildings such as hospitals and schools) coal consumption.

**Domestic Oil:** Energy use and greenhouse gas emissions from domestic oil (e.g., heating oil, gas oils, kerosene, etc) used for oil-fired central heating in residential homes.

**Industrial and Commercial Oil:** Energy use and greenhouse gas emissions from oil (e.g., heavy, medium and light fuel oil) used in general industrial and commercial applications, including boiler firing for hot water and steam raising, furnaces and large air heater and dryers but excluding petrol and gas oil/diesel (DERV) used by road and rail transport as well as oil used for electricity generation at power stations.

**Wastes & Renewables:** Energy use and greenhouse gas emissions from wastes (excepting greenhouse gases from waste incinerated and/or used to generate energy) and renewables (including, landfill gas, sewage gas, wood, municipal solid waste, scrap tyres, waste oils, clinical waste, waste solvents, etc.). CO<sub>2</sub> emissions from biomass are excluded but non-carbon dioxide greenhouse gases (methane and nitrous oxide) are included.

### Summary

Energy consumption from coal, oil and wastes & renewables were estimated from DECC's UK Local and Regional estimates of non-gas, non-electricity and non-transport energy consumption for 2007. The local and regional estimates for coal, oil and wastes & renewables are produced by DECC's contractor AEA and are calculated from a number of different information sources. DECC advises users to recognise that the information contained in the datasets are based on modelled rather than real data, and as such are subject to potential modelling error. These datasets are available at DECC's Energy Statistics website<sup>55</sup>.

Greenhouse gas emissions were estimated from DEFRA's National Statistics on CO<sub>2</sub> Emissions at Local Authority and Regional Levels datasets 2007.

Up-to-date 2008 sewage datasets were obtained from WRc and were used to comprehensively estimate emissions from sewage in the LEGGI 2008.

---

<sup>55</sup> <http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/statistics/regional/other/other.aspx>

The main source of information used to calculate coal, oil and wastes & renewables energy use is the National Atmospheric Emissions Inventory (NAEI) database. The breakdowns provided by DECC only provide aggregated consumption figures for the different energy sources at London borough and Greater London levels. This is because in the domestic sector average consumption figures for coal, manufactured solid fuels and oil consumption could be misleading given that few domestic properties use either solid fuel or oil fired central heating systems in their homes. Aggregated consumption from the local and regional dataset differs from the UK energy statistics produced in the DUKES, because the statistics for DUKES are based on information from UK energy suppliers, whilst AEA have used a variety of data sources to produce their estimates. Due to the limitations of the source data (particularly of energy consumption for smaller industrial and commercial sites and the domestic sector), many of the local authority estimates are based on heavily modelled data, which use less well-linked spatial information, incorporating a significant number of assumptions.

Full information on the 2007 datasets and methodology report are accessible from the web links below:

<http://www.berr.gov.uk/whatwedo/energy/statistics/publications/dukes/page45537.html>

UK sub-national estimates of non-gas, non electricity and non road transport energy consumption on 2005, 2006 and 2007 from

<http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/statistics/regional/other/other.aspx>

The regional and local oil, coal and wastes & renewable fuel consumption (expressed in thousand tonnes of oil equivalent, ktoe) statistics for 2007 were further disaggregated to 1-km<sup>2</sup> grid cells to enable sub-borough areas such as electoral wards to be monitored and targeted. The spatial analysis methodology is the same as those used for analysing electricity and gas consumption data. That is, to produce local oil, coal and renewables & wastes fuel consumption statistics for 2007 at the 1-km<sup>2</sup> spatial resolution, the oil, coal and renewables & wastes fuel consumption statistics for each London borough was first disaggregated (using the area of domestic and non-domestic buildings categories from the DCLG's Generalised Land Use Database Statistics for England 2005 as a weighting factor) to the Census ward areas and then aggregated to the 1-km<sup>2</sup> grid cells using GIS algorithms by overlaying the Census wards' oil, coal and renewables & wastes fuel consumption data (map) with the 1,604 km<sup>2</sup> grid cells.

### **CO<sub>2</sub> emission estimates**

CO<sub>2</sub> emissions estimates from oil, coal and wastes & renewable fuel consumption in the LEGGI 2008 were obtained from DEFRA's 'Detailed Sector Split' Local and Regional CO<sub>2</sub> Emissions Estimates for 2007 spreadsheet, which was produced by AEA for DEFRA in November 2009. The spreadsheet was used with reference to the report 'Local and Regional CO<sub>2</sub> Emissions Estimates for 2008'<sup>56</sup>. The nationally consistent carbon dioxide emission estimates for "Domestic" and "Industrial & Commercial" sectors at local authority (London boroughs) and regional level (Greater London) that are contained within the spreadsheet were produced following the publication of local oil, coal and wastes & renewable fuel consumption estimates by DECC. The 'Detailed Sector Split' worksheet shows the elements

---

<sup>56</sup> <http://www.defra.gov.uk/environment/statistics/globalatmos/galocalghg.htm>

of data included within the CO<sub>2</sub> estimates are of reasonable certainty, as they are based on local readings and sales data.

The 2008 regional and local CO<sub>2</sub> emissions from oil, coal and wastes & renewable fuel consumption statistics were spatially analysed and apportioned to 1-km<sup>2</sup> grid cells to enable sub-borough areas such as electoral wards to be monitored and targeted. In order to produce CO<sub>2</sub> emissions at the 1-km<sup>2</sup> spatial resolution, the CO<sub>2</sub> emissions statistics for each London borough was first disaggregated (using the area of domestic and non-domestic buildings categories obtained from Department for Communities and Local Government (DCLG)'s Generalised Land Use Database Statistics for England 2005 as a weighting factor) to Census ward areas and then aggregated to the 1-km<sup>2</sup> grid cells using GIS functionality (i.e., spatial analysis by overlaying the Census wards' oil, coal and wastes & renewable fuel consumption data with the 1,604 1-km<sup>2</sup> grid cells of the LEGGI area).

Methane and N<sub>2</sub>O emissions estimates from oil, coal and wastes & renewable fuel consumption in the LEGGI 2008 were calculated by multiplying the energy consumption by the Fuel Conversion Factors (Table 41). These conversion factors were published by Defra under the "2009 Guidelines to Defra/DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting" in September 2009.

**Table 41: Fuel Conversion Factors**

| Fuel Type   | CH <sub>4</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq per kWh) | N <sub>2</sub> O (kg CO <sub>2</sub> eq per kWh) |
|---|---|--|
| Coal - Domestic   | 0.03892   | 0.00447  |
| Coal - Industrial and Commercial                        | 0.00002   | 0.00494  |
| Oil - Domestic <sup>57</sup>                            | 0.00026   | 0.02412  |
| Oil - Industrial and Commercial <sup>58</sup>           | 0.00020   | 0.00092  |
| Gas - Domestic, Industrial and Commercial <sup>59</sup> | 0.00028   | 0.00011  |
| Waste - Industrial and Commercial                       |   |  |

### Projection Years: 2011 and 2015

Projections of atmospheric emissions from oil, coal and wastes & renewable fuel consumption were based on an analysis of historical trends in energy consumption. Because of the lack of data on Methane and N<sub>2</sub>O emissions, electricity consumption trends have been used to estimate the projections on these gases.

### Coal

The % per annum growth/decay rates in coal consumption (2005-2007) from the domestic and industrial-commercial sectors in the Greater London area were calculated as follows (see Table 42 and Table 43):

|  |          |
|--|----------|
| For Domestic coal projections to 2011              | = -0.40% |
| For Industrial-Commercial coal projections to 2011 | = 1.60%  |
| For Domestic coal projections to 2015              | = -0.40% |
| For Industrial-Commercial coal projections to 2015 | = 1.65%  |

<sup>57</sup> In Annex 1 Fuel Conversion Factors (Table 1b) as Gas Oil

<sup>58</sup> In Annex 1 Fuel Conversion Factors (Table 1b) as Fuel Oil.

<sup>59</sup> In Annex 1 Fuel Conversion Factors (Table 1b) as Natural Gas.

**Table 42: Trends in Domestic coal consumption (ktoe) in Greater London and projection factors**

| Years       | Coal Consumption (ktoe) |                              |                |
|-------------|-------------------------|------------------------------|----------------|
| 2005        | 2.06                    |                              |                |
| 2006        | 2.90                    |                              |                |
| 2007        | 3.00                    |                              |                |
| <b>2011</b> | <b>2.96</b>             | % decrease between 2007-2011 | <b>-51.20%</b> |
| <b>2012</b> |                         |                              |                |
| <b>2013</b> |                         |                              |                |
| <b>2014</b> |                         |                              |                |
| <b>2015</b> | <b>2.92</b>             | % decrease between 2007-2015 | <b>-2.77%</b>  |

**Table 43: Trends in Industrial and Commercial coal consumption (ktoe) in Greater London and projection factors**

| Years       | Coal Consumption (ktoe) |                              |               |
|-------------|-------------------------|------------------------------|---------------|
| 2005        | 1.23                    |                              |               |
| 2006        | 2.00                    |                              |               |
| 2007        | 1.40                    |                              |               |
| <b>2011</b> | <b>1.47</b>             | % increase between 2007-2011 | <b>4.79%</b>  |
| <b>2012</b> |                         |                              |               |
| <b>2013</b> |                         |                              |               |
| <b>2014</b> |                         |                              |               |
| <b>2015</b> | <b>1.56</b>             | % increase between 2007-2015 | <b>11.54%</b> |

As a result of these growth rates the following conversion factors were calculated. These conversion factors were applied to the values for 2007 (base year) to calculate the projections in coal consumption for 2011 and 2015.

Conversion factor for Domestic coal projections to 2011 = 0.9880  
 Conversion factor for Industrial-Commercial coal projections to 2011 = 1.0479

Conversion factor for Domestic coal projections to 2015 = 0.9723  
 Conversion factor for Industrial-Commercial coal projections to 2015 = 1.1154

## Oil

The % per annum growth/decay rates in oil consumption (2005-2007) from the domestic and industrial-commercial sectors in the Greater London area were calculated as follows (see Table 44 and Table 45):

For Domestic oil projections to 2011 = -0.40%  
 For Industrial-Commercial oil projections to 2011 = 1.60%

For Domestic oil projections to 2015 = -0.40%  
 For Industrial-Commercial oil projections to 2015 = 1.65%

**Table 44: Trends in Domestic oil consumption (ktoe) in Greater London and projection factors**

| Years       | Oil Consumption (ktoe) |                              |               |
|-------------|------------------------|------------------------------|---------------|
| 2005        | 23.36                  |                              |               |
| 2006        | 24.69                  |                              |               |
| 2007        | 25.06                  |                              |               |
| <b>2011</b> | <b>24.76</b>           | % decrease between 2007-2011 | <b>-1.20%</b> |
| <b>2012</b> |                        |                              |               |
| <b>2013</b> |                        |                              |               |
| <b>2014</b> |                        |                              |               |
| <b>2015</b> | <b>34.36</b>           | % decrease between 2007-2015 | <b>-2.77%</b> |

**Table 45: Trends in Industrial and Commercial oil consumption (ktoe) in Greater London and projection factors**

| Years       | Oil Consumption (ktoe) |                              |               |
|-------------|------------------------|------------------------------|---------------|
| 2005        | 239.10                 |                              |               |
| 2006        | 275.90                 |                              |               |
| 2007        | 279.40                 |                              |               |
| <b>2011</b> | <b>292.79</b>          | % increase between 2007-2011 | <b>4.79%</b>  |
| <b>2012</b> |                        |                              |               |
| <b>2013</b> |                        |                              |               |
| <b>2014</b> |                        |                              |               |
| <b>2015</b> | <b>311.63</b>          | % increase between 2007-2015 | <b>11.54%</b> |

As a result of these growth rates the following conversion factors were calculated. These conversion factors were applied to the values for 2007 (base year) to calculate the projections in oil consumption for 2011 and 2015.

Conversion factor for Domestic oil projections to 2011 = 0.9880  
 Conversion factor for Industrial-Commercial oil projections to 2011 = 1.0479

Conversion factor for Domestic oil projections to 2015 = 0.9723  
 Conversion factor for Industrial-Commercial oil projections to 2015 = 1.1154

### Waste and renewables

The % per annum growth/decay rates in waste and renewables consumption (2005-2008) from the industrial-commercial sector in the Greater London area were calculated as follows (see Table 46):

For Industrial-Commercial waste and renewables projections to 2011 = 1.79%

For Industrial-Commercial waste and renewables projections to 2015 = 1.85%

**Table 46: Trends in Industrial and Commercial waste and renewables consumption (ktoe) in Greater London and projection factors**

| Years       | Waste and Renewables (ktoe) |                              |               |
|-------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|
| 2005        | 10.07                       |                              |               |
| 2006        | 10.13                       |                              |               |
| 2007        | 10.43                       |                              |               |
| <b>2011</b> | <b>10.99</b>                | % increase between 2007-2011 | <b>5.36%</b>  |
| <b>2012</b> |                             |                              |               |
| <b>2013</b> |                             |                              |               |
| <b>2014</b> |                             |                              |               |
| <b>2015</b> | <b>11.78</b>                | % increase between 2007-2015 | <b>12.96%</b> |

As a result of these growth rates the following conversion factors were calculated. These conversion factors were applied to the values for 2007 (base year) to calculate the projections in waste and renewables consumption for 2011 and 2015.

Conversion factor for Industrial-Commercial electricity projections to 2011 = 1.0536

Conversion factor for Industrial-Commercial electricity projections to 2015 = 1.1296



## CONVERSION FACTORS AND GLOBAL WARMING POTENTIALS

1 GigaJoule (GJ) = 1,000 MegaJoule (MJ)  
= 1,000,000,000 Joule (J)  
= 277.8 kilowatt-hours (kWh)  
= 9.48 Therms (Th)

1 kilowatt-hour = 1,000 Watt-hours (Wh)  
= 3.6 MJ  
= 0.0036 GJ  
= 0.03414 Therms (Th)

1 m<sup>3</sup> = 1,000 litres (L)

1 tonne = 1,000 kg

1 kg = 10<sup>-3</sup> tonne

1 L = 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>

The following prefixes are used for multiples of joules, watts and watt hours:

kilo (k) = 1,000 or 10<sup>3</sup>

mega (M) = 1,000,000 or 10<sup>6</sup>

giga (G) = 1,000,000,000 or 10<sup>9</sup>

tera (T) = 1,000,000,000,000 or 10<sup>12</sup>

peta (P) = 1,000,000,000,000,000 or 10<sup>15</sup>



**ANEXO 4**

Inventory of New York City Greenhouse Gas Emissions



# INVENTORY OF NEW YORK CITY GREENHOUSE GAS EMISSIONS SEPTEMBER 2010

A GREENER, GREATER NEW YORK



The City of New York  
Mayor Michael R. Bloomberg

The City of New York would like to thank the following for their valuable assistance in producing this report: Con Edison of New York, ICLEI – Local Governments for Sustainability, Long Island Power Authority, Metropolitan Transportation Authority, National Grid, New Jersey Transit, New York Metropolitan Transportation Council, New York Power Authority, New York State Department of Agriculture and Markets, New York State Department of Motor Vehicles, Port Authority of New York and New Jersey, and Ventyx

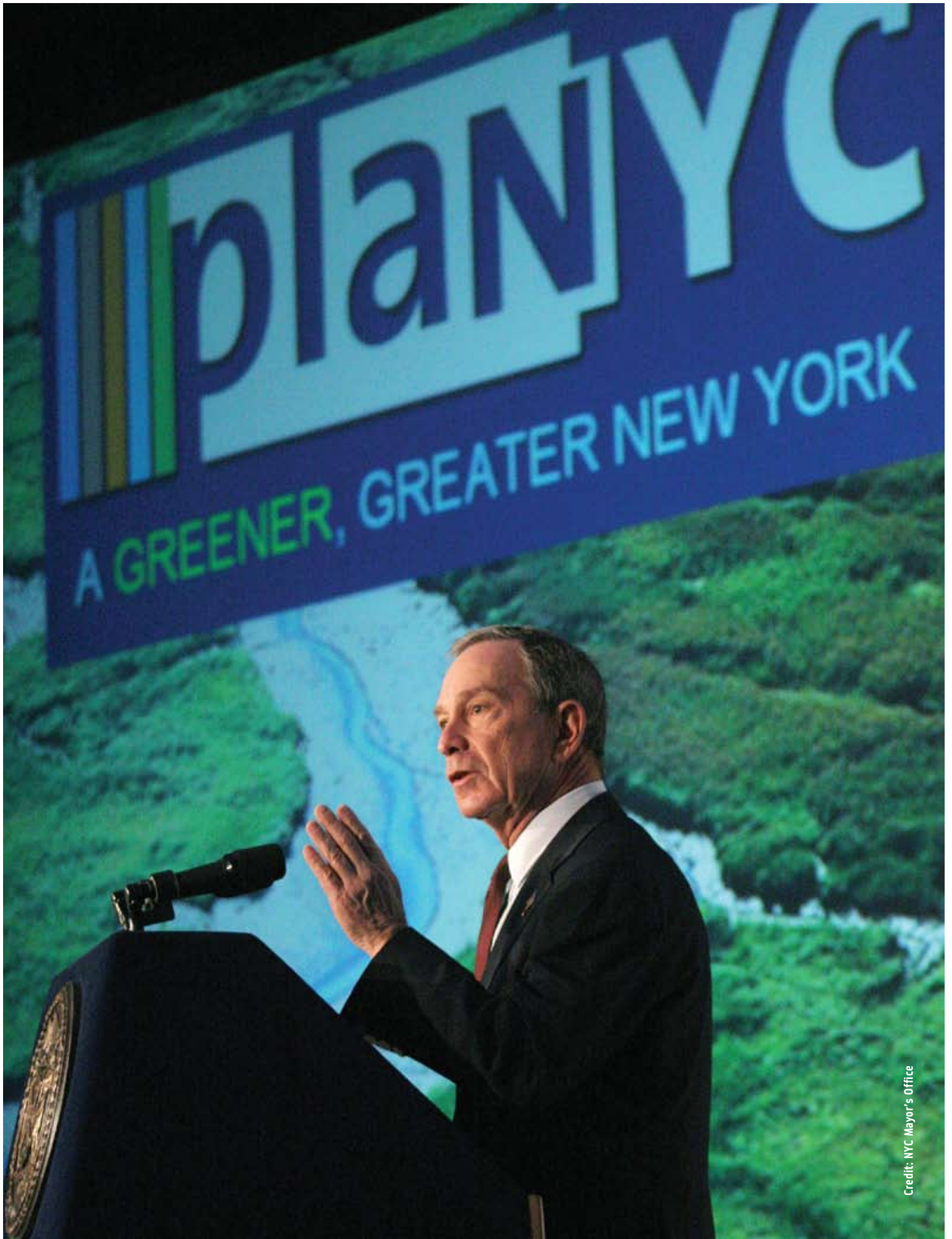
The *Inventory of New York City Greenhouse Gas Emissions* is published pursuant to Local Law 22 of 2008  
All correspondence related to this report should be directed to its editor, Jonathan Dickinson, at [jdickinson@cityhall.nyc.gov](mailto:jdickinson@cityhall.nyc.gov)

Academic Citation:

City of New York, *Inventory of New York City Greenhouse Gas Emissions, September 2010*, by Jonathan Dickinson and Rishi Desai. Mayor's Office of Long-Term Planning and Sustainability, New York, 2010.

# INVENTORY OF NEW YORK CITY GREENHOUSE GAS EMISSIONS SEPTEMBER 2010

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Foreword</b>                                    | <b>3</b>  |
| <b>Executive Summary</b>                           | <b>5</b>  |
| <b>Greenhouse Gas Emissions and Climate Change</b> | <b>9</b>  |
| <b>Overview</b>                                    | <b>11</b> |
| <b>Updates and Revisions</b>                       | <b>15</b> |
| <b>Citywide Inventory</b>                          | <b>21</b> |
| <b>Municipal Inventory</b>                         | <b>27</b> |
| <b>Conclusion</b>                                  | <b>33</b> |
| <b>Appendices</b>                                  | <b>35</b> |



Credit: NYC Mayor's Office

# Foreword by Michael R. Bloomberg, Mayor of New York City

New York City is one of the most energy-efficient cities in the world. Even so, climate change continues to pose a serious threat not only to our city, but also to the world. That is why we have taken great strides in recent years to reduce our greenhouse gas emissions and further increase our energy efficiency, while also making New York City more resilient to the projected impacts of climate change. While a comprehensive climate strategy has stalled in Congress and a new international climate agreement has yet to be realized, other cities around the world have joined New York in doing their part to reduce their contributions to global climate change. In all our efforts, it is absolutely critical that we regularly assess the progress we are making toward our goals.

New York City is dedicated to taking accurate measurements before tackling any major challenge. This is why we completed a full accounting of our city's greenhouse gas emissions before the 2007 release of *PlaNYC*, our comprehensive sustainability plan. This initial assessment has allowed us to focus our policy initiatives—such as improving the energy efficiency of the city's existing large buildings through landmark green buildings legislation—and ensure that we are implementing the most effective carbon mitigation strategies.

This year's carbon inventory, covering 2009 emissions, demonstrates that we remain on track to achieve our *PlaNYC* carbon reduction goals: per capita energy consumption continues to decline, our electricity has become cleaner, and City government is well on its way to meeting its emissions reduction targets.

In both the public and private sector, you cannot manage what you do not measure. Regular, accurate carbon emissions inventories allow New York City to track our carbon mitigation efforts and to determine where we may need to amend these strategies to achieve our goals. These updates also provide transparent data for New Yorkers to use in holding us accountable for building a greener, greater New York.



Mayor Michael R. Bloomberg





# Executive Summary

In April 2007, the City of New York released its first-ever inventory of greenhouse gas emissions from both municipal government operations and the city at large, establishing the baseline from which the City's greenhouse gas (GHG) emissions reduction targets are based: a 30 percent reduction in citywide emissions below 2005 levels by 2030, and a 30 percent reduction in municipal government emissions below fiscal year 2006 by 2017.

**Both citywide and municipal government emissions declined from 2008 to 2009.** The largest portion of this change was due to the reduced carbon intensity of the city's electricity supply, as the city benefited from reduced coal-fired electricity generation in upstate New York, as well as other system improvements. Reduced per capita electricity and heating fuel use offset increased emissions citywide due to population growth and a continued expansion of building stock. Including these factors, citywide carbon emissions decreased by 4.2 percent below 2008 levels, while municipal carbon emissions decreased by 3.5 percent below fiscal year 2008 levels and 4.8 percent below calendar year 2008 levels.

**Citywide carbon emissions were 12.9 percent below 2005 levels in 2009, and municipal government carbon emissions were 1.1 percent below fiscal year 2006 levels in fiscal year 2009.**

This report contains the citywide inventory for calendar year 2009 and the inventories of municipal government operations covering both fiscal and calendar year 2009. In 2009, New York City emitted 49.3 million metric tons of carbon dioxide equivalent (MMTCO<sub>2</sub>e), while City government was responsible for 3.5 million metric tons in both fiscal and calendar 2009. These figures include GHG emissions generated by energy consumption in buildings (including emissions related to power generation in and outside the city), vehicles and transit operations within the city, emissions from landfills, wastewater treatment facilities, and electricity distribution within the city, and emissions associated with the transportation of solid waste to points outside the city. On a per capita basis, the average New Yorker was responsible for approximately 5.9 metric tons of greenhouse gas emissions in 2009, compared with 19.0 for the average American, excluding non-local emissions such as the agriculture sector.

**Citywide per capita electricity and heating fuel consumption declined from 2008 to 2009, after taking out the modeled impact of weather, demonstrating that New Yorkers and their buildings are becoming more energy-efficient.** While reduced transit bus fuel consumption and improved vehicle fuel economy also reduced emissions, when counting only those factors under our control, citywide emissions decreased by 2.5 percent, fiscal year 2009 municipal emissions decreased 0.9 percent, and calendar year 2009 municipal emissions decreased by 0.5 percent.

**For the first time, both fiscal year and calendar year periods reported here show that the annual reduction in municipal emissions is now on the trajectory necessary to achieve a 30 percent reduction by 2017.**

Some of the reductions in municipal emissions indicate that the City's efforts to meet its PlaNYC goal of a 30 percent reduction in municipal government emissions below fiscal year 2006 by fiscal year 2017 are beginning to show returns. The City's investments in energy efficiency upgrades to its buildings laid out in the *Long-Term Plan to Reduce Municipal Energy and Greenhouse Gas Emissions of Municipal Buildings and Operations* have resulted in reduced heating fuel consumption in City buildings when adjusted for weather. These results, coupled with reductions in vehicle fleet fuel consumption and the increased efficiency of streetlights, show the initial impact of concerted efforts to make City government more energy-efficient.

In September 2008, the first annual update to these inventories was released in compliance with Local Law 22 of 2008, allowing the City to begin to track the progress it is making toward its goals. In September 2009, the City released its second annual updated GHG inventory, showing for the first time that New Yorkers themselves are beginning to become more energy-efficient. Because standards for municipal carbon accounting are continually evolving, each year the City updates its calculations to take into account new protocols, methodologies, and data availability. To allow for consistent year-to-year comparisons, the City has also updated its inventories for previous years in consideration of these changes. As was seen last year, these changes once again have resulted in decreases in both the citywide and municipal inventories for earlier base and interim years.

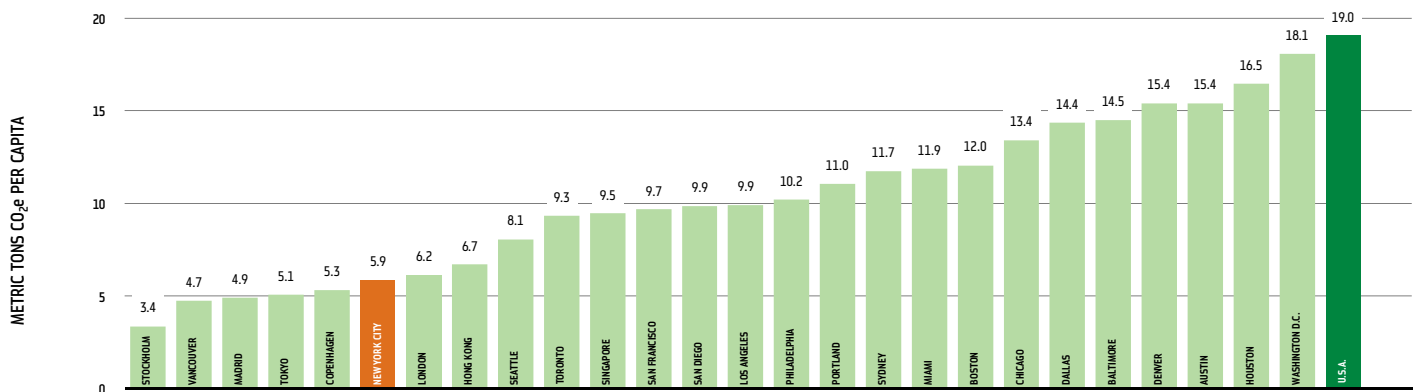
# Comparison of New York City to Other Cities

Due to the high population density of New York City's built environment and extensive public transit system, New Yorkers' activities emit far less carbon than do those of residents of other comparable American cities and emit about a third as much carbon as the activities of the average U.S. resident. Driving this are the city's high rate of commutation by public transit and walking, low automobile ownership, and low per capita electricity consumption.

## GHG EMISSIONS COMPARISONS

When compared to other large cities in the United States and abroad, New York City has one of the lowest per capita carbon emissions levels and the lowest of any large American city.

Figure 1: Per Capita Greenhouse Gas Emissions for U.S. and International Cities (excluding Agriculture and Non-Local Processes\*)



\* City greenhouse gas inventories do not typically include all sources of emissions included in the U.S. greenhouse gas inventory, including emissions from agriculture, chemical production, fossil fuel extraction and refinement, cement production, and other industrial sources. To allow for comparability between city and U.S. per capita GHG emissions, the U.S. per capita GHG emissions have been reduced by 2.3 metric tons per person, which, based on the U.S. GHG inventory, is the U.S. per capita share of GHG emissions from sources not accounted for in city inventories. Per the Kyoto Protocol, national inventories do not include emissions from aviation and shipping. Accordingly, city inventories also exclude these emissions sources.

Sources: U.S. EPA, Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2008 (April 2010); city greenhouse gas inventories; New York City Mayor's Office of Long-Term Planning and Sustainability analysis.

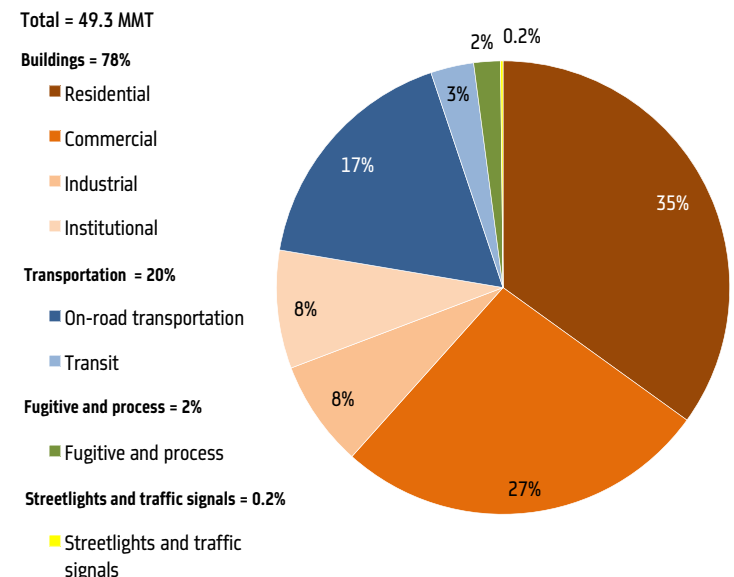
## NEW YORK CITY GHG EMISSIONS

As with many cities, New York City's greenhouse gas emissions are dominated by two sectors: energy consumed in transportation and energy consumed in buildings. Roughly 78 percent of New York City's GHG emissions are related to heating, cooling, powering, and lighting buildings, and 20 percent are related to transportation.

The key drivers of transportation-related emissions are the portion of trips made by low-carbon modes, such as transit, walking, or cycling; the fuel efficiency of vehicles used; and the distances traveled.

The key drivers of building-related emissions include the types of fuel used for electricity generation; the efficiency of power plants; the size of the spaces inhabited by each person; weather demands on heating and cooling; the efficiency of buildings and workplaces; and personal efficiency measures.

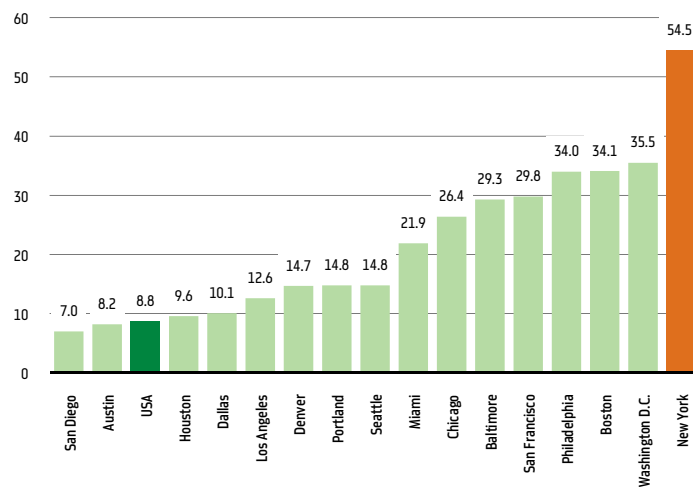
Figure 2: 2009 Citywide CO<sub>2</sub>e Emissions by Sector



## TRANSPORTATION COMPARISONS

One factor behind New York City's low per capita carbon emissions is its transit system. When compared to other U.S. cities and the U.S. average, New York City has the highest use of sustainable transportation, the most households without cars, and among the most commuters who walk to work.

Figure 4: Percentage of Households Without Cars



## ELECTRICITY CONSUMPTION COMPARISONS

Electricity consumption is one indicator of building energy efficiency. New York City has among the lowest levels of per capita electricity use, both citywide and residential. This is driven largely by the fact that most New Yorkers live in apartment buildings and have smaller homes than the average American.

Figure 6: Annual Electricity Consumed Per Capita, MWh

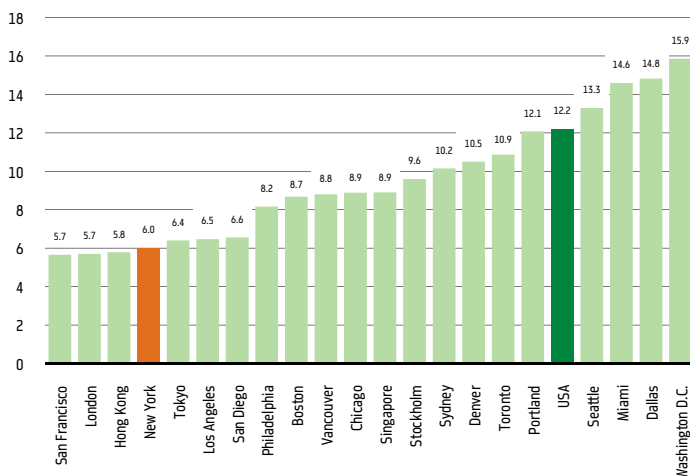
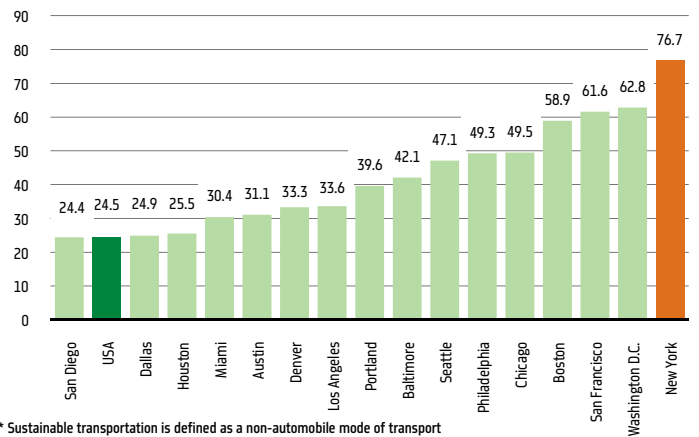


Figure 3: Percentage of Commuters Using Sustainable Transport\*



\* Sustainable transportation is defined as a non-automobile mode of transport

Figure 5: Percentage of Commuters Walking to Work

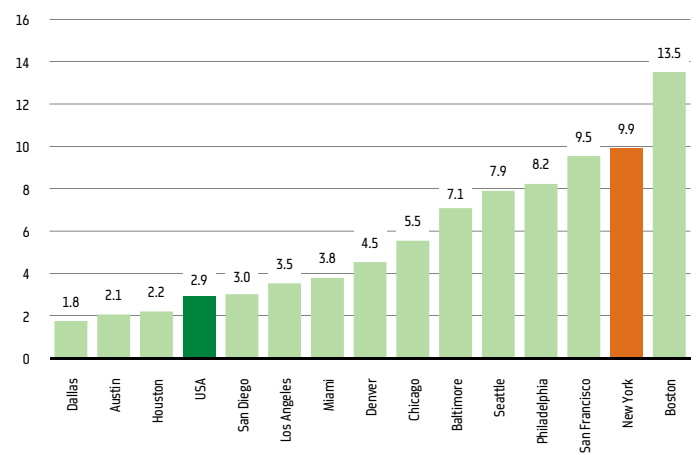
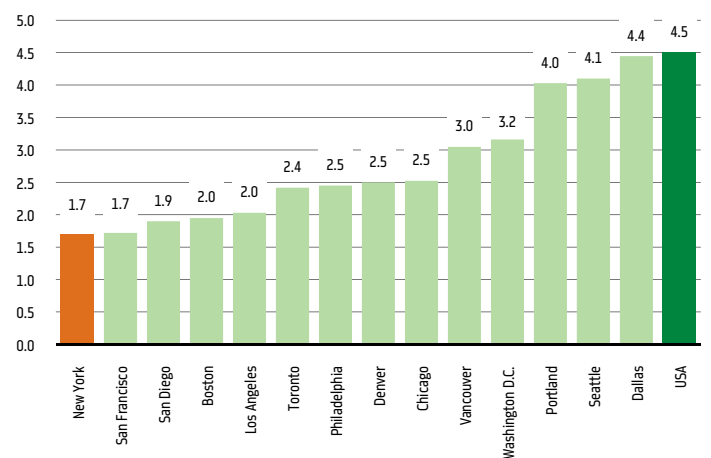


Figure 7: Annual Residential Electricity Consumed Per Capita, MWh



Source: For transportation data - U.S. Census Bureau, 2008 American Community Survey. For electricity consumption data - see Appendix for sources on municipal and U.S. electricity consumption



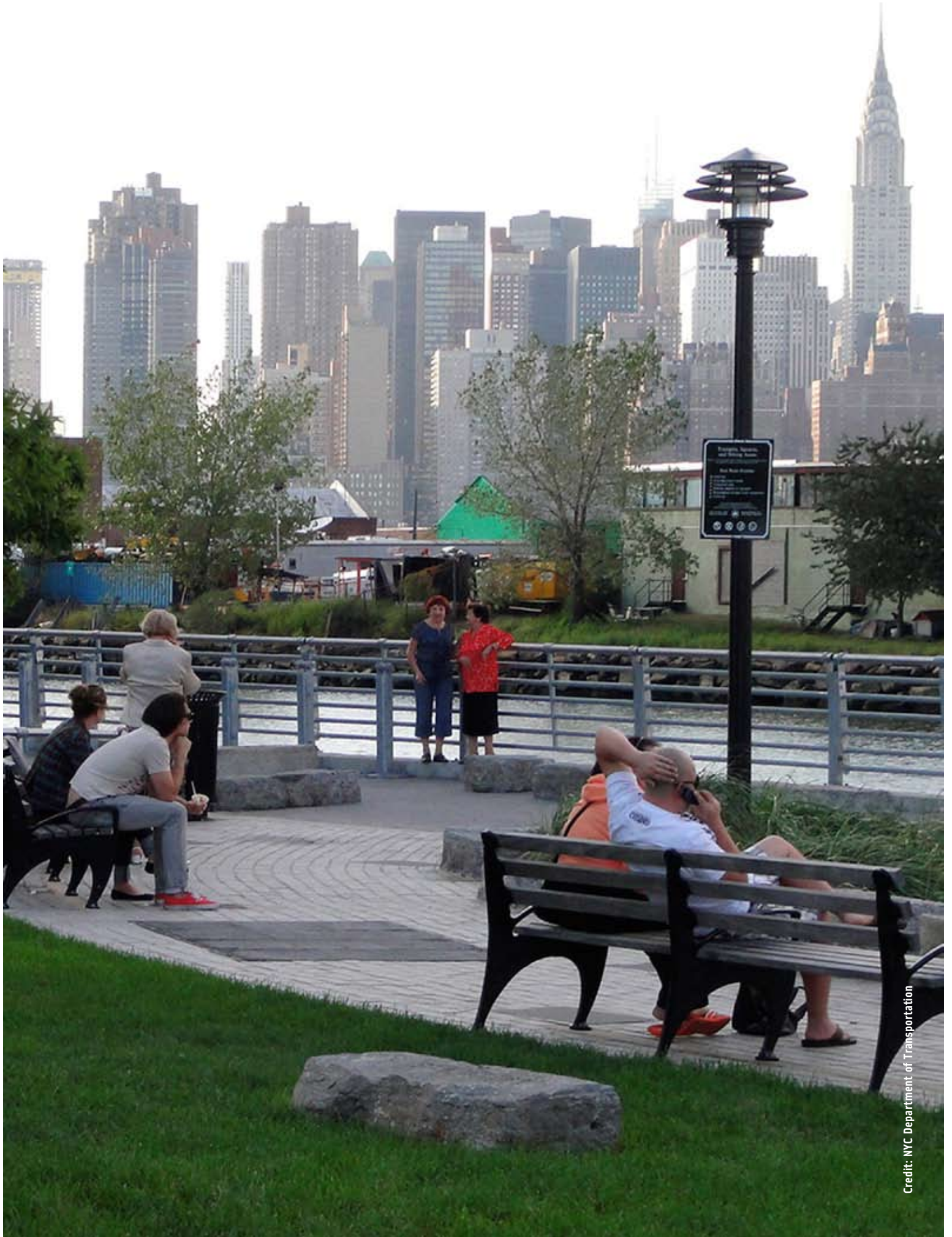
# Greenhouse Gas Emissions and Climate Change

The international scientific community has broadly agreed that human activity is changing the Earth's climate through increasing concentrations of greenhouse gases in the atmosphere. Greenhouse gases are a key element of the earth's atmosphere because they trap energy from the sun, creating a natural "greenhouse effect." Without this effect, temperatures would be much lower than they are now, and life as it exists today would not be possible.

This natural balance of GHG in the atmosphere, however, is being disturbed by human activities such as industrial processes, fossil fuel combustion, and changes in land use—actions that release large amounts of certain greenhouse gases into the atmosphere. This increase in greenhouse gas concentration traps additional energy in the lower atmosphere, thus warming it beyond its normal temperature. Through the ever-increasing combustion of fossil fuels for energy generation, industrial activity has contributed to a 30 percent increase in the global CO<sub>2</sub> levels since the beginning of the Industrial Revolution. Other anthropogenic contributions of greenhouse gases include the clearing of forests for development and agriculture, methane production from the decomposition of solid waste and agriculture, and the manufacturing of chlorofluorocarbons.

The term "global climate change" refers to the destabilizing impacts on climate and weather patterns that result from the continuous addition of these gases, the resultant increase in heat energy in the earth's atmosphere, and the associated changes that follow. Even small changes in the average temperatures can be accompanied by an increase in frequency and intensity in severe weather events such as storms and droughts, ecosystem change, loss of animal and plant species, stresses to human health, and alterations in regional agricultural productivity.

To help avoid some of these serious consequences of climate change, it is imperative for the global community to work together to collectively reduce GHG emissions. This is especially important in the world's cities which, while less carbon intensive than suburban and rural areas in developed countries, are estimated to be responsible for 80 percent of the world's GHG emissions. To allow New York City to effectively manage its share of world GHG emissions, it is necessary to complete accurate and regular assessments and analyses of its GHG emissions, the results of which are presented in this inventory.



# Overview

## New York City meets annual greenhouse gas reduction targets and is on-track to achieve PlaNYC's carbon reduction goals

The City of New York established the goal of reducing citywide greenhouse gas emissions by 30 percent below 2005 levels by 2030 in its 2007 comprehensive sustainability plan, *PlaNYC*. Following the release of *PlaNYC*, Mayor Bloomberg signed Executive Order 109 in October 2007, which mandated even more aggressive greenhouse gas reductions for municipal facilities and operations of 30 percent below fiscal year 2006 (July 1, 2005 to June 30, 2006) levels by 2017.

Informing both the citywide and municipal greenhouse gas reduction efforts was New York City's first comprehensive greenhouse gas inventory, the *Inventory of New York City Greenhouse Gas Emissions*, released in April 2007 (*2007 Inventory*) and establishing the baseline on which the city's greenhouse gas reduction targets are based.<sup>1</sup> In January 2008 the New York City Council passed Local Law 22 of 2008, which requires the city to complete annual updates to both the citywide and municipal government greenhouse gas inventories, and to document progress the City is making toward achieving its goals. In accordance with this law, the City released its first annual updated greenhouse gas inventory, the *Inventory of New York City Greenhouse Gas Emissions* on September 17, 2008 (*2008 Inventory*)<sup>2</sup> and the *Inventory of New York City Greenhouse Gas Emissions: September 2009* on September 29, 2009 (*2009 Inventory*).<sup>3</sup> This document (*2010 Inventory*) is the City's third annual greenhouse gas inventory update.

Methodologies and protocols for the quantification and analysis of greenhouse gas emissions are continually evolving, and New York City has been a leading contributor to the development of updated standards. This inventory reports three things:

- Total 2009 GHG emissions (carbon footprint) for New York City, both citywide and for fiscal and calendar year 2009 municipal government operations and facilities
- Updates to past base year and interim year inventories, applying current protocols and methodologies and incorporating more accurate data
- Primary drivers of the changes in the city's carbon footprint from 2008 to 2009, both citywide and for City government

The citywide carbon footprint was lower in 2009 than 2008. After adjusting base and interim GHG emissions levels, the City reports a decrease of 2.2 MMTCO<sub>2</sub>e citywide emissions below 2008 lev-

els, a 4.2 percent reduction. 2009 citywide GHG levels were 7.3 MMTCO<sub>2</sub>e lower than those in the 2005 base year, an overall 12.9 percent reduction.

Municipal operations and facilities GHG emissions were lower in both fiscal and calendar years 2009. Municipal GHG emissions decreased by 0.13 MMTCO<sub>2</sub>e from fiscal year 2008 to fiscal year 2009, a 3.5 percent reduction. Total municipal GHG emissions were 0.04 MMTCO<sub>2</sub>e lower in fiscal year 2009 than in the fiscal year 2006 base year, a 1.1 percent reduction. Calendar year 2009 municipal GHG emissions were 0.18 MMTCO<sub>2</sub>e lower than calendar year 2008 emissions, a 4.8 percent decrease.

This inventory presents updates to past years' base year and interim year inventory results. Such updates allow for comparability of the most recent year's inventory levels with those from past years. In May 2010, version 1.1 of the Local Government Operations Protocol (LGOP) was released by the California Air Resources Board (CARB), The California Climate Action Registry (CCAR), ICLEI – Local Governments for Sustainability (ICLEI), and The Climate Registry (TCR), setting the standards for U.S. local governments to use in completing municipal government GHG inventories.<sup>4</sup> In October 2009, ICLEI released version 1.0 of the International Local Government GHG Emissions Analysis Protocol (IEAP), which provides a general framework for the completion of local government greenhouse gas emissions inventories. The municipal inventory is completed in compliance with the revised LGOP and per the guidance of the IEAP. As no detailed citywide inventory protocol has been promulgated at the time of this report's publication, citywide calculations were made using the LGOP where applicable. Revisions to fuel coefficients published by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) as rules applying to the Mandatory Reporting of Greenhouse Gas Emissions Program (and incorporated into the LGOP) resulted in changes to all fuel coefficients, as well as the electricity and steam emissions coefficients (which are calculated using these fuel coefficients). For the first time, the City calculated the fuel economy of the city's vehicle fleet. As a result of these adjustments, both the citywide and municipal base year inventories decrease, with citywide 2005 base year emissions level decreasing from 58.6 to 56.6 MMTCO<sub>2</sub>e, a 3.4 percent decrease, and fiscal year 2006 base year GHG emissions decreasing 3.2 percent, from 3.7 to 3.6 MMTCO<sub>2</sub>e.<sup>5</sup> Tables 4, 5, and 6 on pages 17 and 18 all summarize these changes.



Figure 8: 2008 to 2009 Changes in New York City's Citywide Greenhouse Gas Footprint

New York City's citywide carbon footprint declined 4.2% between 2008 and 2009 due to cleaner imported electricity, reduced energy consumption, and reduced SF<sub>6</sub> emissions

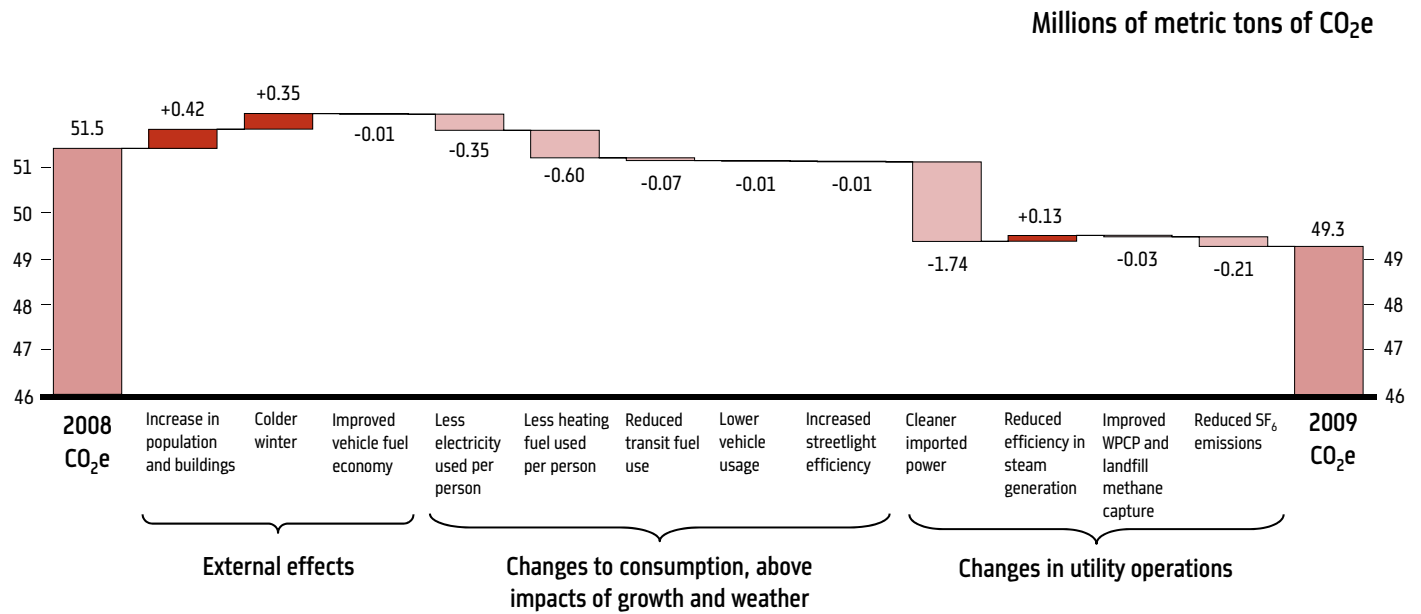
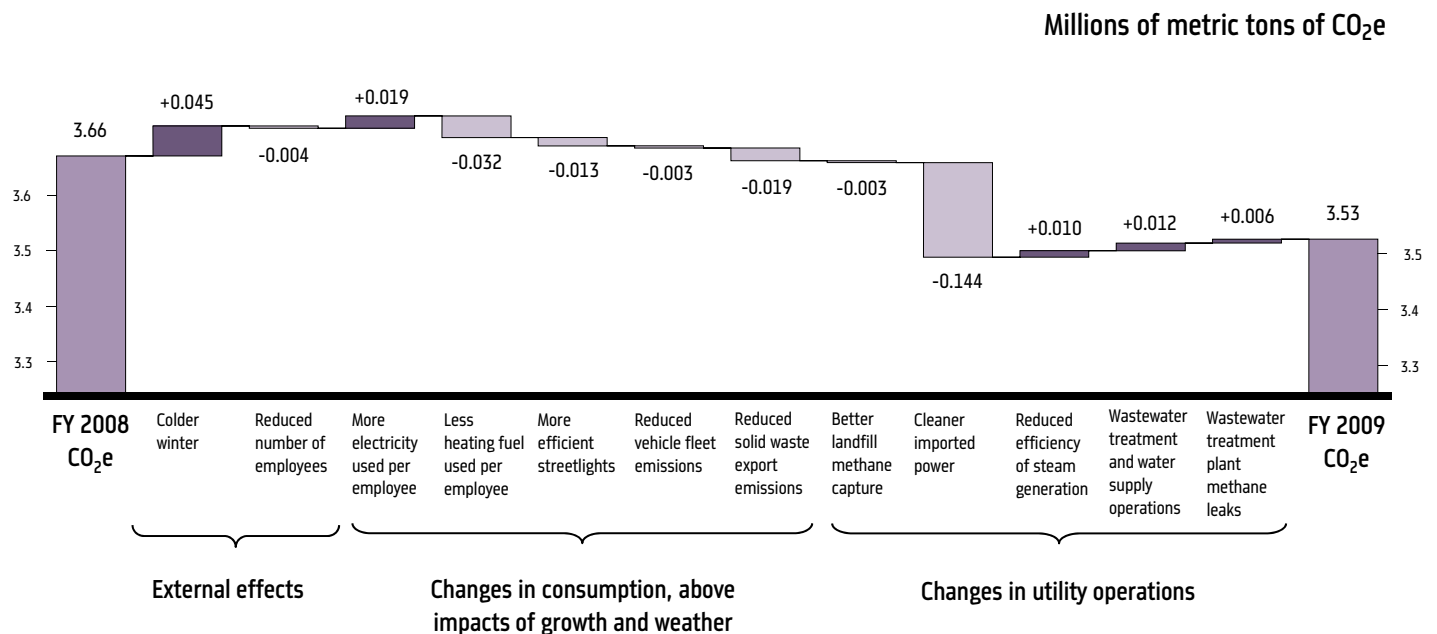


Figure 9: FY 2008 to FY 2009 Changes in New York City's Municipal Government Greenhouse Gas Footprint

New York City's municipal government carbon footprint decreased 3.5% between FY 2008 and FY 2009, due to cleaner imported power, increased streetlight efficiency, reduced heating fuel use, and reduced emissions associated with the transportation of solid waste



**Table 1: 2008 to 2009 Changes in Citywide CO<sub>2</sub>e Emissions**

|  | METRIC TONS CO <sub>2</sub> e | % of 2008 CO <sub>2</sub> e |
|--|-------------------------------|-----------------------------|
| 2008 citywide CO <sub>2</sub> e                                | 51,451,929                    |                             |
| <b>Reasons for change</b>                                      |                               |                             |
| Increase in population and buildings                           | 419,786                       | 0.82%                       |
| Colder winter  | 346,075                       | 0.67%                       |
| Improved on-road vehicle fuel economy                          | -13,621                       | -0.03%                      |
| Per capita electricity consumption (e.g., electronics)         | -354,033                      | -0.69%                      |
| Cleaner, less heating fuel used per person                     | -599,737                      | -1.17%                      |
| Per capita transit consumption                                 | -73,719                       | -0.14%                      |
| Per capita vehicle usage                                       | -5,837                        | -0.01%                      |
| Increased streetlight efficiency                               | -13,236                       | -0.03%                      |
| Increase in importation of cleaner power                       | -1,741,987                    | -3.39%                      |
| Reduced efficiency in steam generation                         | 125,099                       | 0.24%                       |
| Improved WPCP and landfill methane capture                     | -28,420                       | -0.06%                      |
| Reduced fugitive SF <sub>6</sub> from electricity distribution | -210,352                      | -0.41%                      |
| <b>2009 citywide CO<sub>2</sub>e total</b>                     | <b>49,301,948</b>             | <b>-4.18%</b>               |

Understanding the causes driving changes in GHG emissions is necessary to develop policies to achieve additional carbon reductions. These changes reflect several factors, including: the impact of weather and population growth on energy use; an increase in importation of less carbon-intensive electricity; new efficient in-city power generation; changes in the amount of methane (CH<sub>4</sub>) emitted from the city's wastewater treatment plants and landfills; the impact of more efficient streetlights; and decreased sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) emissions used for citywide electricity distribution.

**Citywide inventory results**

Citywide CO<sub>2</sub>e emissions are generated from energy used in buildings, transportation, and escaped fugitive emissions from solid waste management, wastewater treatment, and natural gas and electricity distribution. From the adjusted 2005 base year, citywide CO<sub>2</sub>e emissions decreased by 12.9 percent from 56.6 to 49.3 MMT in 2009. Driving this change was a cooler summer, new efficient in-city electricity generation, increased importation of less carbon-intensive electricity, decreased per capita energy consumption, and decreased fugitive SF<sub>6</sub> emissions, which resulted in an overall decrease in CO<sub>2</sub>e despite increases in population and building floor area.

From 2008, citywide CO<sub>2</sub>e emissions decreased from 51.5 to 49.3 MMT, a 4.2 percent reduction. Several factors contributed to this reduction, including increased importation of less carbon-intensive electricity, less energy used per capita, an increase in importation of cleaner electricity, and additional reduction of fugitive SF<sub>6</sub>. These factors allow the City to report an overall reduction in CO<sub>2</sub>e levels, despite increases in both population and building floor area. Table 1 summarizes the changes in citywide emissions levels from 2008 to 2009.

The most significant factors influencing the change in emissions levels from both 2005-2009 and 2008-2009 were changes to the efficiency and generation of New York City's electricity supply. In 2006, two new state-of-the-art power plants came online: New York Power Authority's (NYPA) Astoria Combined Cycle Power Plant and SUEZ Astoria Energy. Together, these plants added 1000 mega-

**Table 2: FY 2008 to FY 2009 Changes in Municipal CO<sub>2</sub>e Emissions**

|  | METRIC TONS CO <sub>2</sub> e | % OF FY 2008 CO <sub>2</sub> e |
|--|-------------------------------|--------------------------------|
| FY 2008 municipal CO <sub>2</sub> e              | 3,655,710                     |                                |
| <b>Reasons for change</b>                        |                               |                                |
| Colder winter                                    | 44,589                        | 1.22%                          |
| Reduced number of employees                      | -3,526                        | -0.10%                         |
| Per employee electricity consumption             | 18,902                        | 0.52%                          |
| Per employee heating fuel consumption            | -31,516                       | -0.86%                         |
| More efficient streetlights                      | -12,573                       | -0.34%                         |
| Reduced vehicle fleet emissions                  | -3,438                        | -0.09%                         |
| Reduced solid waste export emissions             | -19,339                       | -0.53%                         |
| Better landfill methane capture                  | -3,029                        | -0.08%                         |
| Increase in importation of cleaner power         | -143,904                      | -3.94%                         |
| Reduced efficiency of steam generation           | 9,977                         | 0.27%                          |
| Wastewater treatment and water supply operations | 11,917                        | 0.33%                          |
| Wastewater treatment plant methane leaks         | 5,811                         | 0.16%                          |
| <b>FY 2009 municipal CO<sub>2</sub>e total</b>   | <b>3,529,581</b>              | <b>-3.45%</b>                  |

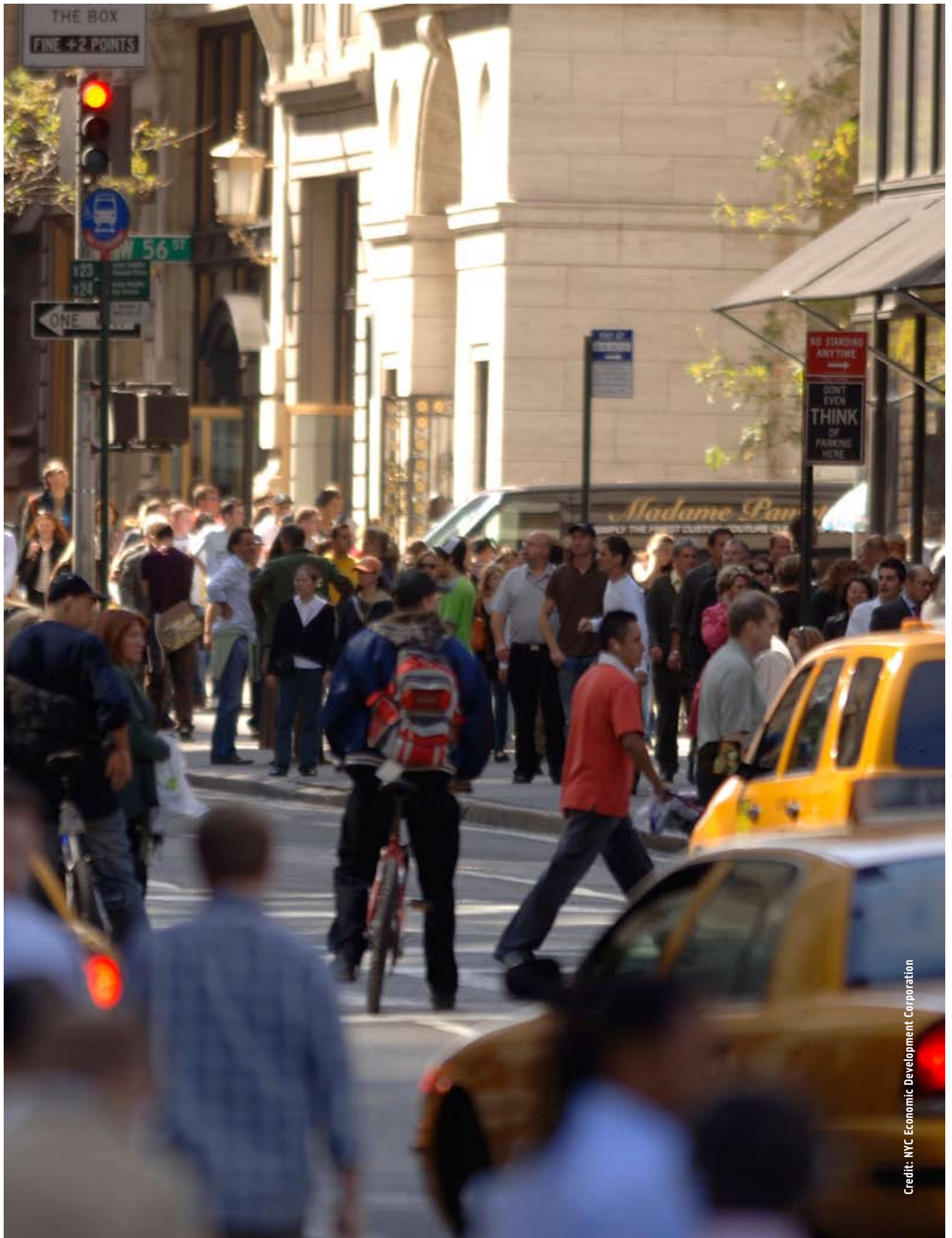
watts (MW) of clean energy capacity to New York City's electricity grid, displacing electricity generated from more carbon-intensive power plants. Additionally, a large coal-fired power plant, the Danskammer Generating Station in upstate New York, significantly reduced its electricity generation, which resulted in a further reduction of the carbon intensity of electricity imported into the city. This change is responsible for a 3.4 percent reduction in citywide CO<sub>2</sub>e from 2008-2009, or approximately 1.74 MMT.

Weather has a significant effect on energy consumption, and its impact varies each year. From 2005 to 2009, average cooler summers reduced CO<sub>2</sub>e emissions by 0.7 percent, where from 2008 to 2009, despite a significantly cooler summer, a colder winter resulted in a 0.7 percent CO<sub>2</sub>e increase. Changes in heating degree days (HDD) and cooling degree days (CDD), which reflect the demand for energy required to heat or cool a home, business, institution, or industrial facility, are reported in the Appendix.

**Municipal operations inventory results**

New York City's municipal government provides essential city services to residents, businesses, commuters, and visitors, and given the City government's size, consumes significant amounts of energy while doing so. From fiscal year 2006 to 2009, municipal GHG emissions decreased by 1.1 percent from 3.6 to 3.5 MMTCO<sub>2</sub>e. This decrease results from reduction in the carbon intensity of the City's electricity supply, a reduction in heating fuel usage, a reduction in fuel used for the transportation of solid waste to final destinations outside the city, and an increase in the efficiency of streetlights and traffic signals. An increase in fugitive methane emissions from wastewater treatment plants as some methane flare equipment continues to undergo repair, increases in energy used for water supply and wastewater treatment, and per employee electricity consumption countered the net impact of these reductions.

Municipal GHG emissions were reduced significantly from fiscal year 2008 to 2009, as the carbon intensity of imported electricity declined citywide, thereby reducing the city's electricity emissions coefficient. Improved efficiency of streetlights and reduced use of fuel for building heat, vehicle fleet, and solid waste transport contributed to this decrease. Figure 9 summarizes the changes in municipal operations from 2008 to 2009.



# Updates and Revisions

## Base and interim year results were revised due to updated emissions coefficients, refined methodology, and improved data availability

The calculation of municipal GHG emissions is a dynamic process that requires new techniques and methods for each year's analysis as new protocols are adopted, methodologies are developed, and improved data become available. To accommodate these changes, the City has revised all base year and interim year GHG emissions levels to reflect changes since the *2009 Inventory* report was published.

### Protocol changes

The GHG emissions reported in this inventory are understood to have been calculated using the best data and methodologies available at the time of inventory completion, including all updated emissions coefficients and calculations contained in the May 2010 revision of the LGOP. Incorporation of these updates has resulted in substantial changes to both citywide and municipal base and interim year inventories.

An emissions coefficient is a factor used to calculate the mass of CO<sub>2</sub>e that is generated through either the combustion of fossil fuels for energy, or the decomposition of organic matter in solid waste management or wastewater treatment facilities. The U.S. EPA has revised emissions coefficients for all stationary and mobile fuel sources, as reflected in the revised LGOP, and has created new stationary source emissions categories. These changes to the fuel emissions coefficients have been applied to previous year base and interim year inventories, and have also resulted in updates to the base and interim year electricity and steam emissions coefficients.

### Refined methodology

The City is constantly striving to improve the accuracy of its GHG emissions reporting. As such, several new methodologies were refined from those used in the *2009 Inventory*, including those applying changes to the LGOP.

### Fuel emissions coefficients

The principal methodology revision was to fuel emission coefficients. Developing and applying accurate emissions coefficients is critical to ensure the most accurate GHG emissions reporting possible. The U.S. EPA published revised fuel emissions coefficients as rules applying to the Mandatory Reporting of Greenhouse Gas Emissions Program, which were adopted by the LGOP.<sup>6</sup> Additionally, separate stationary source fuel emissions coefficients were published for the industrial sector, with residential, commercial, and institutional buildings and facilities using the same fuel emissions coefficient. Emissions from #4 fuel oil are now calculated using a separate coefficient, resulting in separate emissions coefficients for #2, #4, and #6 fuel oil (in previous years #2 and #4 fuel oil emissions were calculated using a single coefficient). Additionally, all mobile source on- and off-road fuel coefficients were also revised, as were fuel coefficients used to calculate electricity and steam emissions factors. All new emissions coefficients were applied to past years' base and interim inventories to allow for comparability of results. Updated fuel emissions coefficients and changes from last year's inventory are detailed in Table 3.

### Electricity emissions coefficient

As in past years, the City has chosen to develop its own custom electricity emissions coefficient, rather than using the U.S. EPA eGRID coefficient as recommended by the LGOP. The City does this for several reasons. The eGRID coefficient is regionally based on all Westchester County and New York City electricity generation. The eGRID coefficient is based on data that are several years old—the most recent eGRID coefficient uses 2005 generation data—this does not allow the City to measure the impact of changes to the power supply that occurred during the year of analysis. Also, the eGRID coefficient does not include imported power—New York City imports a significant volume of electricity from upstate New York, the amount of which increased in 2009, resulting in an increase in the volume of imported electricity generated by less carbon-intensive sources.

**Table 3: Summary of Changes to Emissions Coefficients**

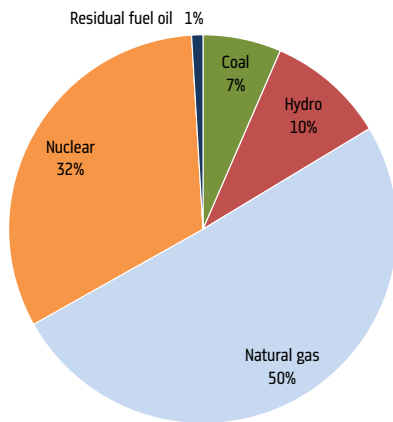
| ENERGY SOURCE                       | UNIT   | COEFFICIENT USED FOR INVENTORY FOR 2008 (LBS CO <sub>2</sub> e/UNIT) | FUEL ECONOMY USED FOR INVENTORY FOR 2008 (MILES PER UNIT) | REVISED COEFFICIENT | REVISED FUEL ECONOMY | % CHANGE IN COEFFICIENT | % CHANGE IN FUEL ECONOMY |
|-------------------------------------|--------|--|---|---------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|
| <b>Stationary source</b>            |        |  |   |                     |                      |                         |                          |
| #2 Distillate fuel oil (building)** | gallon | 22.49386   |   | 22.62830            |                      | 0.60%                   |                          |
| #2 Distillate fuel oil (industrial) | gallon | 22.49386   |   | 22.57719            |                      | 0.37%                   |                          |
| #4 Distillate fuel oil (building)** | gallon | 22.49386   |   | 24.28771            |                      | 7.97%                   |                          |
| #4 Distillate fuel oil (industrial) | gallon | 22.49386   |   | 24.23364            |                      | 7.73%                   |                          |
| #6 Residual fuel oil (building)**   | gallon | 26.14248   |   | 24.97297            |                      | -4.47%                  |                          |
| #6 Residual fuel oil (industrial)   | gallon | 26.14248   |   | 24.91741            |                      | -4.69%                  |                          |
| Biodiesel (100%)*                   | gallon | 26.14248   |   | 20.85317            |                      | -20.23%                 |                          |
| Electricity                         | MWh    | 774.72421  |   | 692.24661           |                      | -10.65%                 |                          |
| Kerosene (building)                 | gallon | 21.64530   |   | 22.50543            |                      | 3.97%                   |                          |
| Kerosene (industrial)               | gallon | 21.64530   |   | 22.45543            |                      | 3.74%                   |                          |
| Natural gas (building)**            | therm  | 11.72771   |   | 11.71889            |                      | -0.08%                  |                          |
| Natural gas (industrial)            | gallon | 11.72771   |   | 11.70037            |                      | -0.23%                  |                          |
| Propane (building)**                | gallon | 12.74347   |   | 12.41380            |                      | -2.59%                  |                          |
| Propane (industrial)                | gallon | 12.74347   |   | 12.38010            |                      | -2.85%                  |                          |
| Steam                               | Mlb    | 158.38337  |   | 165.86899           |                      | 4.73%                   |                          |
| <b>Mobile source</b>                |        |  |   |                     |                      |                         |                          |
| Biodiesel (100%)                    | gallon | 20.85574   |   | 20.86463            |                      | 0.04%                   |                          |
| CNG - bus                           | gallon | 11.69824   | 5.58000   | 12.87204            | 5.57860              | 10.03%                  | -0.03%                   |
| Diesel - heavy trucks and buses     | gallon | 22.39907   | 6.30000   | 22.54014            | 8.79932              | 0.63%                   | 39.67%                   |
| Ethanol (100%)                      | gallon | 13.00529   |   | 13.42417            |                      | 3.22%                   |                          |
| Gasoline - passenger cars           | gallon | 19.83200   | 19.14000  | 19.82523            | 21.91949             | -0.03%                  | 14.52%                   |
| Gasoline - light trucks             | gallon | 19.85496   | 13.92000  | 19.87584            | 16.7199              | 0.11%                   | 20.11%                   |
| Jet fuel                            | gallon | 21.32260   |   | 21.32260            |                      | 0.00%                   |                          |
| Locomotives - diesel fuel           | gallon | 22.59165   |   | 22.72393            |                      | 0.59%                   |                          |
| Ships and boats - diesel fuel       | gallon | 22.58887   |   | 22.72115            |                      | 0.59%                   |                          |

The City used power plant data from U.S. EPA's Continuous Emissions Monitoring System (CEMS) database and the U.S. Energy Information Administration's (EIA) EIA-923 database to calculate the CO<sub>2</sub>e emissions coefficient from electricity. Data from these sources were acquired from a data warehouse (Ventyx, Velocity Suite) and were organized to develop specific emissions coefficients for each plant in the New York Independent System Operator's (NYISO) territory. From these data, New York City's electricity emissions coefficients were calculated by taking the following steps:

1. All electricity generated within New York City (NYISO Zone J) and all electricity imported to New York City through bilateral contracts between power generators and the New York Power Authority (NYPA) and Consolidated Edison of New York (ConEd) were added to determine the known quantity of consumption.
2. Emissions coefficients for both in-city generation and bilateral contracts were generated for CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and CO<sub>2</sub>e based on each plant's heat rate (efficiency) and primary fuel used for generation.
3. Imported electricity was calculated by subtracting the combined in-city generation plus bilateral contracts from New York City's required energy, as listed in NYISO's 2010 Load & Capacity Data "Gold Book."

4. Energy use attributed to steam generation at in-city co-generation plants was deducted from the energy input used to calculate each plant's emissions coefficients, using ConEd's steam system data, to avoid double counting emissions resulting from this generation.
5. The emissions coefficient for imported power was calculated by assigning 600 megawatts (MW) from NYISO Zones A and D and 42 MW of upstate hydropower to New York City per NYPA agreement, with the balance of imported power assumed to be generated in NYISO Zones G, H, and I, as recommended by NYPA.
6. Emissions coefficients for imported power were derived for CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and CO<sub>2</sub>e based on the heat rate of each plant in each zone from which imported power was being generated to develop a single coefficient for each of NYISO Zone A and D, and for NYISO Zone G, H, and I combined.
7. A weighted average coefficient was developed for each GHG, based on the generation of the supplying sector.
8. A transmission and distribution loss factor, calculated by subtracting ConEd and the Long Island Power Authority's (LIPA) reported delivered electricity deliveries from the NYISO energy requirement, was applied to each coefficient. The electricity coefficient is presented in detail in the Appendix.

**Figure 10: Electricity Generation Fuel Mix for NYC Consumption**



Distillate fuel oil, kerosene, methane, solid waste, solar, wind, and wood account for 0.8% of generation fuel mix.

Due to market fluctuations in energy fuel prices, in particular the drop in natural gas prices as compared to coal, the carbon intensity of New York City's electricity supply decreased by nearly 10 percent from 2008 to 2009. Almost half of this decrease was due to a large reduction in generation from a coal-fired power generator in NYISO Zone G. The remaining reduction was due to the switching of fuel used in in-city electricity generation from oil to natural gas and increased generation efficiencies.

In 2009, the price of natural gas declined below that of coal, with a significant drop in electricity demand, resulting in coal fired electricity generation for Danskammer Generating Station becoming uneconomical for sale at market prices. In addition, natural gas generation is only economical for power plants whose turbine efficiencies maximize the potential output from each Btu of fuel input. In review of the turbine efficiency data, and in conversation with Danskammer's owners, the City found that Danskammer's turbines do not meet these efficiencies and therefore chose to not produce electricity for a significant amount of time over the course of the year. It is only during summer months with increased electricity demand that coal fired generation and/or lower than average efficient natural gas fired electricity generation become economically viable.

While New York City's electricity emissions coefficient has not been officially verified by a third party, the methodology has been reviewed and endorsed by the U.S. EPA, ConEd, and NYPA. As such, the City encourages all entities in New York City, public and private, to use this coefficient in completing their own GHG inventories. Revised electricity emissions coefficients were applied to past years' inventories and this inventory.

**Table 4: Breakdown of Citywide CO<sub>2</sub>e Emissions Changes, 2005 Base to 2005 Adjusted**

|   | METRIC TONS CO <sub>2</sub> e | CHANGE AS % OF BASE |
|---|-------------------------------|---------------------|
| <b>2005 reported total CO<sub>2</sub>e (2009 Inventory)</b>       | <b>58,603,657</b>             |                     |
| <b>Reason for change</b>  |                               |                     |
| Revised heating fuel coefficients                                 | -40,443                       | -0.07%              |
| Revised transportation fuel coefficients                          | 32,764                        | 0.06%               |
| Revised on-road fuel economy data                                 | -1,677,605                    | -2.86%              |
| Revised solid waste export fuel efficiency factors                | -123,179                      | -0.21%              |
| Revised landfill emissions data                                   | -10,033                       | -0.02%              |
| Revised wastewater treatment plant CH <sub>4</sub> emissions data | 48,295                        | 0.08%               |
| Revised electricity coefficient                                   | -153,643                      | -0.26%              |
| Revised steam coefficient   | -71,801                       | -0.12%              |
| Revised wastewater treatment N <sub>2</sub> O data                | 23,712                        | 0.04%               |
| Revised natural gas distribution fugitive CH <sub>4</sub> data    | 573                           | 0.00%               |
| <b>2005 adjusted total CO<sub>2</sub>e</b>                        | <b>56,632,297</b>             | <b>-3.36%</b>       |

### Steam emissions coefficient

As in past inventories, the City developed its own steam emissions coefficient in cooperation with ConEd. A reduction in the percentage of steam generated by co-generation resulted in an increase in the amount of energy required to generate each unit of steam (measured in units of a thousand pounds, or Mlbs). The revised steam coefficient is applied to citywide and municipal 2009 inventories. Past years' steam emissions coefficients were also revised to reflect revised fuel emissions coefficients in the LGOP. The steam emissions coefficient is presented in detail in the Appendix.

It should be noted that the steam emissions coefficient used by New York City is developed in cooperation with ConEd and takes into account the impact of generating a substantial portion of steam by means of co-generation. This coefficient is intended to be used for macro, city-scale analyses, as the accounting methodology used by ConEd allocates much of fuel used for cogenerated steam to electricity generation, which is accounted for in the city's electricity coefficient. As such, applying this steam coefficient to more granular, project-specific analyses may not yield appropriate results. The City will be working with ConEd to develop a steam emissions coefficient more appropriate for these purposes in the near future.

### Impact of weather on energy consumption

In the 2009 Inventory, the City calculated the impact of weather on energy consumption by completing regression analyses using monthly municipal government energy consumption data and cooling and heating degree days to determine the impact weather has on energy consumption. For this year's analysis, this methodology was amended to more accurately determine this correlation by calculating the expected change in consumption as indicated

**Table 5: Breakdown of Municipal CO<sub>2</sub>e Emissions Changes, FY 2006 Base to FY 2006 Adjusted**

|  | METRIC TONS CO <sub>2</sub> e | CHANGE AS % OF BASE |
|--|-------------------------------|---------------------|
| <b>FY 2006 reported total CO<sub>2</sub>e (2009 Inventory)</b> | <b>3,687,565</b>              |                     |
| <b>Reason for change</b>                                       |                               |                     |
| Revised electricity coefficient                                | -2,428                        | -0.07%              |
| Revised residual fuel coefficient                              | -10,784                       | -0.29%              |
| Revised gasoline coefficient and data                          | -355                          | -0.01%              |
| Revised distillate fuel coefficient                            | 7,587                         | 0.21%               |
| Revised natural gas coefficient and data                       | -467                          | -0.01%              |
| Revised long-haul transport calculation                        | -122,732                      | -3.33%              |
| Revised steam coefficient                                      | -3,855                        | -0.10%              |
| Revised wastewater treatment CH <sub>4</sub> data              | -29                           | 0.00%               |
| Revised landfill CH <sub>4</sub> data                          | -7,649                        | -0.21%              |
| Revised diesel fuel coefficient                                | 4,595                         | 0.00%               |
| Revised wastewater treatment N <sub>2</sub> O                  | 18,485                        | 0.50%               |
| Revised ethanol calculation                                    | 263                           | 0.01%               |
| Revised propane coefficient                                    | -178                          | 0.00%               |
| <b>FY 2006 adjusted total CO<sub>2</sub>e</b>                  | <b>3,570,021</b>              | <b>-3.19%</b>       |

by the regression analysis and comparing this to the consumption in the earlier year. The resulting weather factor was used in the models that calculated the drivers of changes to emissions for each analysis period. A more detailed explanation is provided in the Appendix.

### Building and vehicle fuels for municipal inventory

In the *2009 Inventory*, building and vehicle bulk fuel use was obtained from the Department of Citywide Administrative Services (DCAS), which provided fuel delivery records from fuel vendors. Fuel used for DEP's buildings, facilities, and vehicles was reported separately to allow assignment to either water supply or wastewater treatment (per the LGOP). Vehicle fuel delivered to City vehicles at private fueling stations was provided by the vendor that maintains records of purchases made using the City's GasCard. Revised consumption data for fuel consumption for past years were applied to previous inventories to adjust fuel consumption estimates.

### Fuel Economy

For the first time ever, the City has developed custom vehicle fuel economy factors to better reflect the actual fuel economy of vehicles registered in New York City (previous inventories had relied on national average fuel economy factors), resulting in a significant improvement in the fuel economy used for on-road emissions calculations, as emissions from on-road vehicles are calculated using modeled vehicle miles traveled (VMT) data from the New York Metropolitan Transportation Council (NYMTC).

In previous years' inventories, ICLEI's release of the Clean Air and Climate Protection Software (CACPS) provided vehicle fuel economy factors (miles per gallon) used to calculate GHG emissions from on-road transportation sources, including diesel and compressed natural gas (CNG) buses, gasoline passenger cars, gasoline light trucks, and diesel heavy trucks that were reflective of the national average vehicle fleet.

**Table 6: Breakdown of Municipal CO<sub>2</sub>e Emissions Changes, CY 2008 Base to CY 2008 Adjusted**

|  | METRIC TONS CO <sub>2</sub> e | CHANGE AS % OF BASE |
|--|-------------------------------|---------------------|
| <b>CY 2008 reported total CO<sub>2</sub>e (2009 Inventory)</b> | <b>3,726,731</b>              |                     |
| <b>Reason for change</b>                                       |                               |                     |
| Revised electricity coefficient                                | -16,083                       | -0.43%              |
| Revised residual fuel coefficient                              | -10,936                       | -0.29%              |
| Revised gasoline coefficient and data                          | 50                            | 0.00%               |
| Revised distillate fuel coefficient                            | 7,390                         | 0.20%               |
| Revised natural gas coefficient and data                       | -508                          | -0.01%              |
| Revised long-haul transport calculation                        | -65,330                       | -1.75%              |
| Revised steam coefficient                                      | -3,474                        | -0.09%              |
| Revised wastewater treatment CH <sub>4</sub> data              | -9,607                        | -0.26%              |
| Revised landfill CH <sub>4</sub> data                          | -4,155                        | -0.11%              |
| Revised diesel fuel coefficient                                | 2,444                         | 0.07%               |
| Revised wastewater treatment N <sub>2</sub> O                  | 21,334                        | 0.57%               |
| Revised ethanol calculation                                    | 88                            | 0.00%               |
| Revised kerosene coefficient                                   | 9                             | 0.00%               |
| Revised propane coefficient                                    | -194                          | -0.01%              |
| <b>CY 2008 adjusted total CO<sub>2</sub>e</b>                  | <b>3,647,759</b>              | <b>-2.12%</b>       |

In 2010, the City calculated the fuel economy factor of vehicles registered in New York City in years 2005 to 2010 using vehicle registration data provided by the New York State Department of Motor Vehicles (NYSDMV). This exercise further refines the modeling of on-road transportation emissions for New York City to be more reflective of actual New York City conditions. Additionally, the updated fuel economy factors were applied to past years' mobile source fuel coefficients, the CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O components of which are calculated using a grams per mile factor. The improved fuel economy resulted in a significant reduction in on-road vehicle emissions for base and interim years.

To calculate specific fuel economies for New York City vehicles, the City conducted the following steps.

1. The City acquired anonymous vehicle registration records of each year, make, model, engine type (i.e. gas-hybrid, gasoline engine, diesel engine, electric vehicle, etc.), category (i.e. taxi, 4-door sedan, convertible, etc.), and borough of registration for all vehicles registered in the city for six years of registration (2005-2010 inclusive).
2. The raw vehicle registration data were used to build a comprehensive database of records, to which was added federal fuel economy factors for almost all years, makes, and models of vehicle registered in New York City. The annual in-city fuel economy numbers, as adjusted by the U.S. EPA, and reported in miles per gallon (MPG) are publicly available at <http://www.fueleconomy.gov>.

**Table 7: Summary of Average Citywide Fuel Economy (Miles Per Gallon)**

| YEAR           | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Passenger Cars | 22.237 | 22.345 | 22.536 | 21.993 | 21.919 |
| Light Trucks   | 16.568 | 16.705 | 16.693 | 16.823 | 16.720 |
| Heavy Trucks   | 7.785  | 8.791  | 8.301  | 8.587  | 8.799  |
| Buses          | 12.937 | 12.774 | 12.707 | 12.713 | 12.690 |

3. The vehicle registration data was matched to the federal fuel economy factors based on year, make, and model, beginning with the most prevalent makes (i.e. Ford, Toyota, Chevrolet, Honda, etc.) and subsequent models. Due to the incomplete matching of registration data to federal fuel economy factors, a small percentage of makes and models were unable to be matched. However, this matching process resulted in the assignment of a fuel economy factor for approximately 90 percent of all NYSDMV records.
4. Once all six years of NYSDMV records were matched to a fuel economy rating, a weighted average fuel economy was determined. This weighted average is categorized by borough, engine type, and vehicle type, although an overall fuel economy number for the entire city is available. Results from 2009 were applied to this year's carbon inventory, while records dating back to 2005 are applied to previous year's base and interim year inventories.

The development of New York City-specific fuel economy factors indicates that vehicles registered in New York City, on average, achieve better fuel economy than the national average. The city passenger vehicle MPG was 21.91 MPG for 2009, while the national average is 19.32 MPG for 2009. This indicates that passenger cars, which represent 89 percent of total vehicle miles driven in New York City, obtain about 13 percent more miles per gallon of gasoline consumed than the average national passenger vehicle.

Moreover, this methodology allows the City to test various policy initiatives to determine the impacts a specific transportation or vehicle fleet-related initiative can have on the city's carbon footprint. The final results for each category and year are detailed in Table 7. It is important to note that this process represents a weighted average of the top 90 percent of all vehicles and types driven in New York City, and does not account for vehicles driven in New York City but registered elsewhere.

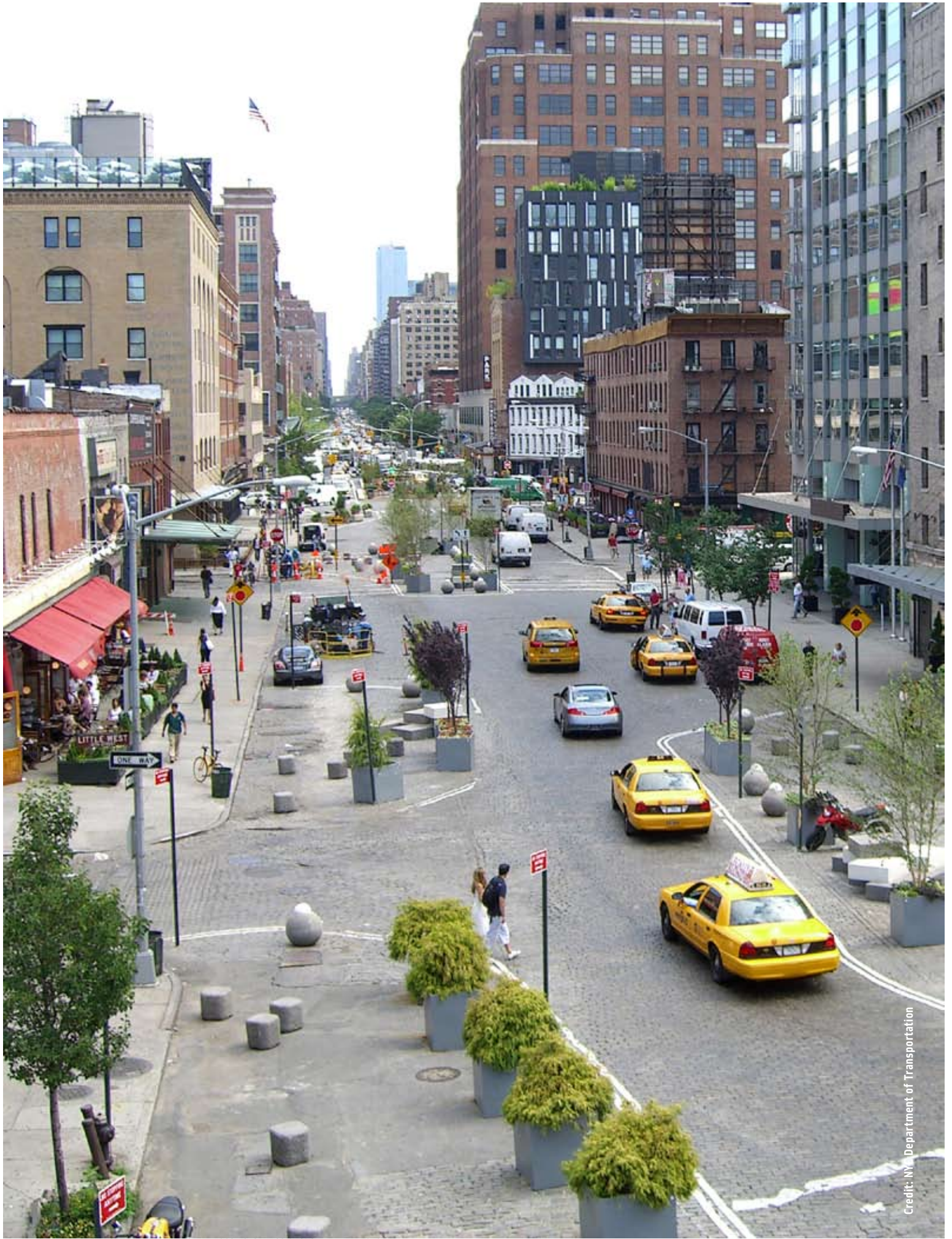
### **Solid waste transport**

Revised fuel economy factors were also used to revise the methodology for the calculation of emissions associated with the transportation of solid waste to final destinations outside the city: landfills and waste-to-energy facilities. Previous years' inventories had used fuel efficiency factors from a U.S. Department of Transportation study that estimates that one gallon of diesel fuel moves one (short) ton of solid waste 59 miles by truck and 202 miles by rail.<sup>8</sup> For this year's inventory, revised estimates of 110 ton miles per gallon for trucks and 457 ton miles per gallon for locomotives were used, and were applied to previous years' base and interim year inventories.<sup>9</sup>

### **Ethanol Content in Gasoline**

The LGOP requires that greenhouse gas emissions from biogenic sources be classified as Scope 3 emissions. CO<sub>2</sub> emissions from ethanol are considered biogenic and are therefore counted separately from gasoline, which is a Scope 1 direct emissions source. The State of New York requires that all gasoline contain up to 10 percent ethanol, though the actual percentage varies from about 4 percent to 13 percent.<sup>10</sup> The City obtained inspection records from the New York State Department of Agriculture and Markets for gas stations throughout New York State in 2009. The average ethanol content was applied to both citywide and municipal gasoline consumption data for each year of analysis, thereby allowing for the differentiation of Scope 1 and Scope 3 emissions.





# Citywide Inventory

**Citywide carbon emissions were 4.2% lower in 2009 than 2008 due to cleaner electricity and improvements in New York City's energy efficiency**

## Citywide inventory methodology

To most accurately and consistently assess and report citywide carbon emissions, a clear scope of analysis and establishment of boundaries specifying which sources are included in such an assessment are essential. Following standard international convention for the completion of citywide carbon inventories (per the IEAP), the citywide inventory consists of all direct and indirect emissions from energy used by buildings, on-road transportation, and public transit (excluding aviation and marine transportation) within New York City, escaped fugitive emissions from wastewater treatment, solid waste management, and electricity and natural gas distribution within New York City, and emissions associated with solid waste transport outside of the city.

## Data sources

Citywide GHG emissions for 2009 were calculated using data from multiple sources. Data on consumption of citywide electricity and steam, and natural gas in the Bronx and Manhattan were provided by ConEd from customer billing data. National Grid reported natural gas consumption data for Brooklyn, Queens, and Staten Island from customer billing data. The Long Island Power Authority (LIPA) reported electricity consumption data for the Rockaways area of Queens using customer billing data. Fuel oil use was estimated using DEP fuel oil boiler permit data, merged with the City property database to estimate the amount of fuel oil burned per square foot of building floor area. On-road transportation vehicle-miles-traveled data were provided by the New York Metropolitan Transportation Council (NYMTC), based on modeling results from the Best Practices Model (BPM) that were post-processed using PPSuite (proprietary software), which incorporates inputs used for air-quality conformity modeling. Energy consumption data for public transit were provided by the Metropolitan Transportation Authority (MTA) for New York City Transit (NYCT) subways and buses, MTA Metro-North Railroad (MNR) and Long Island Rail Road (LIRR) commuter rail, and MTA Bus Company buses; by the Port Authority of New York and New Jersey (PANYNJ) for Trans-Hudson (PATH) commuter rail; and New Jersey Transit (NJT) for its commuter rail and buses. Energy consumption used to calculate GHG emissions included all electricity used for traction and non-traction power (station light-

ing, etc.) power for NYCT subways and MNR, LIRR, PATH, and NJT commuter rail operated within New York City; all diesel, B5 biodiesel, and compressed natural gas for NYCT, MTA Bus Company, and NJT buses; and diesel fuel consumed within New York City's borders for MNR, LIRR, NJT, and PATH commuter trains.

Data used to calculate fugitive and process CH<sub>4</sub> and process N<sub>2</sub>O from wastewater treatment were provided by DEP. CH<sub>4</sub> emissions are calculated based on the destruction of volatile organic material in anaerobic digesters. Based on the measured concentration and flow of volatile organic solids, it is estimated that 15 cubic feet of digester gas is produced for every pound of volatile organic solids destroyed. N<sub>2</sub>O emissions were calculated by applying the daily nitrogen load discharged by each of the city's wastewater treatment plant to the formula in the LGOP.

## Fuel oil consumption calculation for citywide inventory

Citywide fuel oil use was calculated by the DEP for last year's inventory. DEP maintains a database of all permits for fuel oil boilers with capacity equal to or greater than 350,000 British Thermal Units (Btu) per hour. These data were processed using the City's property database to determine the building square footage each fuel oil boiler was responsible for heating, using fuel oil energy intensity factors obtained from the *City Environmental Quality Review* (CEQR) Technical Manual, which estimates that residential space in New York requires 0.38 gallons per square foot of #2 oil and 0.36 gallons per square foot of #4 and #6 oil for heat per year, while commercial space requires 0.36 gallons of #2 oil per square foot and 0.34 gallons of #4 and #6 oil per square foot for heat per year.<sup>11</sup> Number 2 fuel oil use was adjusted to reflect use in boilers less than 350,000 Btu/hour using the U.S. Census Bureau's *2008 New York City Housing and Vacancy Survey*, which estimated that 29 percent of residences using fuel oil for heat are in buildings consisting of less than 15 units, the threshold below which boilers are assumed by industry experts advising the City to have a capacity of less than 350,000 Btu/hour.<sup>12</sup> This additional percentage was added to DEP's reported #2 fuel oil consumption. 2008 fuel oil consumption is assumed to be a baseline—estimated fuel oil consumption for 2009 was calculated based on changes in heating degree days.<sup>13</sup>

**Table 8: New York City Citywide Greenhouse Gas Emissions**

| SECTOR AND EMISSIONS SOURCE                     | METRIC TONS CO <sub>2</sub> e |                   |                   |                   |                   | % CHANGE<br>2008-2009 | % CHANGE<br>2005-2009 |
|---|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
|   | 2005                          | 2006              | 2007              | 2008              | 2009              |                       |                       |
| <b>Buildings</b>                                |                               |                   |                   |                   |                   |                       |                       |
| Distillate fuel oil                             | 5,327,200                     | 4,527,651         | 5,297,190         | 5,182,509         | 5,356,146         | 3.35%                 | 0.54%                 |
| Electricity                                     | 20,434,297                    | 17,950,066        | 18,074,009        | 16,884,650        | 14,898,124        | -11.77%               | -27.09%               |
| Natural gas                                     | 13,032,381                    | 12,550,846        | 14,170,578        | 13,704,880        | 13,651,161        | -0.39%                | 4.75%                 |
| Residual fuel oil                               | 2,654,094                     | 2,255,747         | 2,639,143         | 2,582,007         | 2,668,512         | 3.35%                 | 0.54%                 |
| Steam   | 2,233,406                     | 1,816,893         | 1,894,386         | 1,668,095         | 1,712,283         | 2.65%                 | -23.33%               |
| <b>Transportation</b>                           |                               |                   |                   |                   |                   |                       |                       |
| CNG - bus                                       | 13,786                        | 13,786            | 85,205            | 88,332            | 85,043            | -3.72%                | 516.89%               |
| Biodiesel B5 - bus                              |                               |                   |                   | 36,184            | 140,898           | 289.40%               |                       |
| Diesel - bus                                    | 679,264                       | 679,238           | 679,238           | 522,505           | 360,319           | -31.04%               | -46.95%               |
| Diesel - commuter rail                          | 14,179                        | 14,431            | 14,431            | 14,521            | 14,066            | -3.13%                | -0.80%                |
| Diesel - heavy trucks                           | 893,985                       | 792,596           | 840,244           | 814,259           | 799,189           | -1.85%                | -10.60%               |
| Diesel - solid waste transport, rail            | 25,962                        | 30,352            | 32,315            | 34,610            | 36,081            | 4.25%                 | 38.98%                |
| Diesel - solid waste transport, truck           | 104,587                       | 97,123            | 85,505            | 56,235            | 55,343            | -1.59%                | -47.08%               |
| Electricity - subways and commuter rail         | 1,153,424                     | 996,942           | 1,004,101         | 1,000,502         | 915,282           | -8.52%                | -20.65%               |
| Gasoline - light trucks                         | 769,894                       | 763,572           | 766,580           | 763,428           | 765,070           | 0.22%                 | -0.63%                |
| Gasoline - passenger cars                       | 6,696,317                     | 6,664,184         | 6,629,178         | 6,817,413         | 6,820,843         | 0.05%                 | 1.86%                 |
| <b>Streetlights and traffic signals</b>         |                               |                   |                   |                   |                   |                       |                       |
| Electricity                                     | 134,811                       | 118,672           | 115,135           | 108,670           | 85,279            | -21.52%               | -36.74%               |
| <b>Fugitive and process emissions</b>           |                               |                   |                   |                   |                   |                       |                       |
| CH <sub>4</sub> - landfills                     | 118,667                       | 115,988           | 106,114           | 105,548           | 102,241           | -3.13%                | -13.84%               |
| CH <sub>4</sub> - natural gas distribution      | 12,622                        | 11,200            | 11,378            | 11,580            | 11,354            | 0.69%                 | 5.53%                 |
| CH <sub>4</sub> - wastewater treatment plants   | 70,056                        | 67,468            | 72,844            | 73,420            | 73,929            | -9.88%                | 65.25%                |
| HFCs - municipal fleet                          | 137,444                       | 259,295           | 259,295           | 252,035           | 227,121           | -1.95%                | -10.04%               |
| N <sub>2</sub> O - wastewater treatment process | 88,361                        | 85,294            | 86,624            | 85,983            | 87,276            | 1.50%                 | -1.23%                |
| SF <sub>6</sub> - electricity distribution      | 2,037,561                     | 1,486,813         | 1,046,696         | 644,565           | 436,387           | -32.30%               | -78.58%               |
| <b>Total Scope 1</b>                            | <b>32,676,360</b>             | <b>30,415,583</b> | <b>32,822,558</b> | <b>31,790,013</b> | <b>31,671,415</b> | <b>-0.31%</b>         | <b>-3.02%</b>         |
| <b>Total Scope 2</b>                            | <b>23,955,937</b>             | <b>20,882,573</b> | <b>21,087,630</b> | <b>19,661,917</b> | <b>17,630,532</b> | <b>-10.43%</b>        | <b>-26.49%</b>        |
| <b>TOTAL Scope 1 and 2</b>                      | <b>56,632,297</b>             | <b>51,298,156</b> | <b>53,910,188</b> | <b>51,451,929</b> | <b>49,301,948</b> | <b>-4.18%</b>         | <b>-12.94%</b>        |
| <b>Scope 3</b>                                  |                               |                   |                   |                   |                   |                       |                       |
| Biogenic CO <sub>2</sub> from fuel              | 524,391                       | 509,295           | 495,965           | 500,922           | 515,616           | -1.67%                | 2.93%                 |
| Exported solid waste methane                    | 2,699,120                     | 2,702,362         | 2,691,282         | 2,687,027         | 2,654,098         | -1.67%                | -1.23%                |
| Aviation emissions                              | 14,345,894                    | 14,146,259        | 15,733,804        | 14,343,938        | 14,179,668        | -1.15%                | -1.16%                |
| <b>TOTAL Scope 3</b>                            | <b>17,569,405</b>             | <b>17,357,916</b> | <b>18,921,051</b> | <b>17,531,886</b> | <b>17,349,382</b> | <b>-1.04%</b>         | <b>-1.25%</b>         |

Fugitive CH<sub>4</sub> from landfills were calculated by applying landfill gas collection data provided by DSNY and DEP to a formula specified in the LGOP. Fugitive CH<sub>4</sub> from natural gas distribution was calculated using volumes of “unaccounted for gas” provided by National Grid and ConEd. Fugitive SF<sub>6</sub> from electricity distribution was calculated by data provided by ConEd.

All DSNY-managed municipal solid waste (residential and institutional solid waste) generated in New York City is transported to landfills or waste-to-energy facilities outside of the city by private contractors under contract to the City. Fuel consumed by trains and trucks exporting solid waste out of the city is calculated using data provided by DSNY detailing the mass of waste transported, mode of transport, and distance to disposal facility by applying Association of American Railroads factors that assume one gallon of diesel fuel moves one (short) ton of solid waste 110 miles by truck and 457 miles by rail.

Fugitive emissions of HFCs from municipal vehicle fleet cooling and refrigeration systems were calculated from data provided by DCAS, which provided the number of regular vehicles and refrigeration vehicles in operation in the City government’s vehicle fleet, as well as the type of refrigerant used by each system. The City es-

timated fugitive refrigerant emissions by applying a default operating emissions factor provided by the LGOP. Municipal fleet vehicles use HFC-134a in cooling systems, while refrigeration vehicles use a refrigerant blend, R404A.

Scope 3 aviation emissions were calculated using fuel consumption data from the PANYNJ. Aviation GHG emissions were calculated by applying the emissions coefficients in the LGOP to the total volume of jet fuel and aviation gasoline loaded onto airplanes at LaGuardia and John F. Kennedy Airports, as modeled by PANYNJ using the numbers of passengers departing from each airport during the year of analysis. Scope 3 fugitive emissions generated from the decomposition of solid waste exported out of the city were calculated using waste disposal data from DSNY.

GHG emissions were calculated from all data acquired as described using emissions coefficients in the LGOP. Fuel economy factors for on-road vehicle were calculated as described earlier in the Updates and Revisions section of this report. All emissions coefficients and fuel economy figures are reported in the Appendix.

Figure 11: 2009 Citywide CO<sub>2</sub>e Emissions by Sector

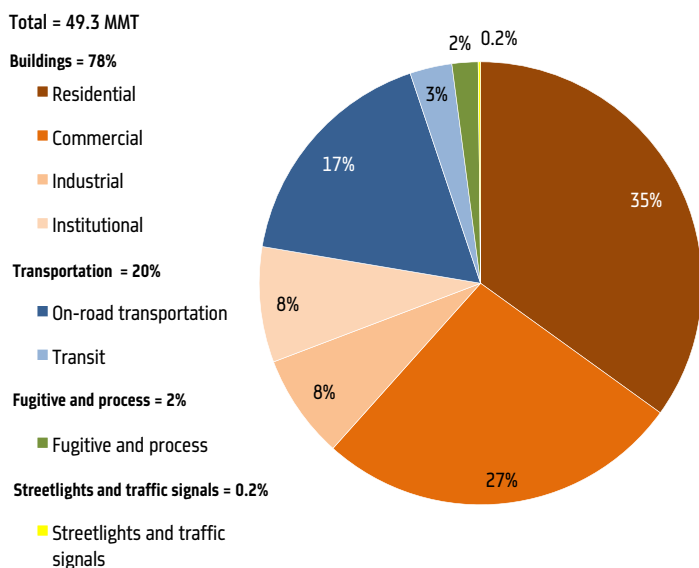


Figure 12: 2009 Citywide CO<sub>2</sub>e Emissions by Source

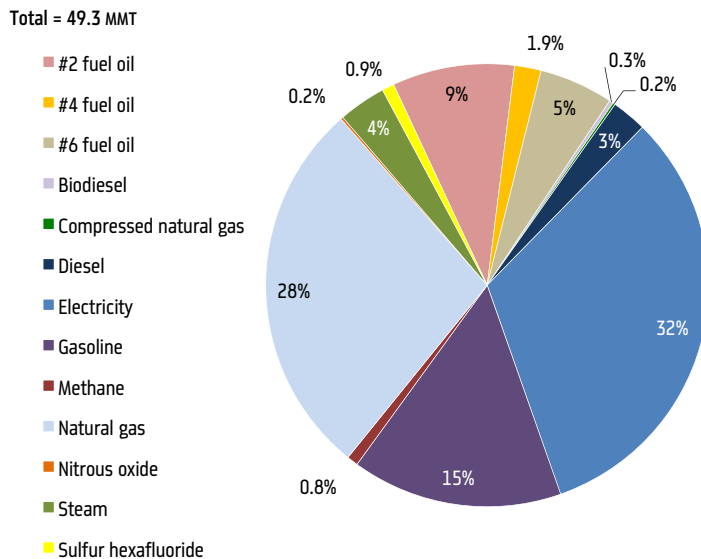


Figure 13: 2005 to 2009 Citywide CO<sub>2</sub>e Emissions by Sector

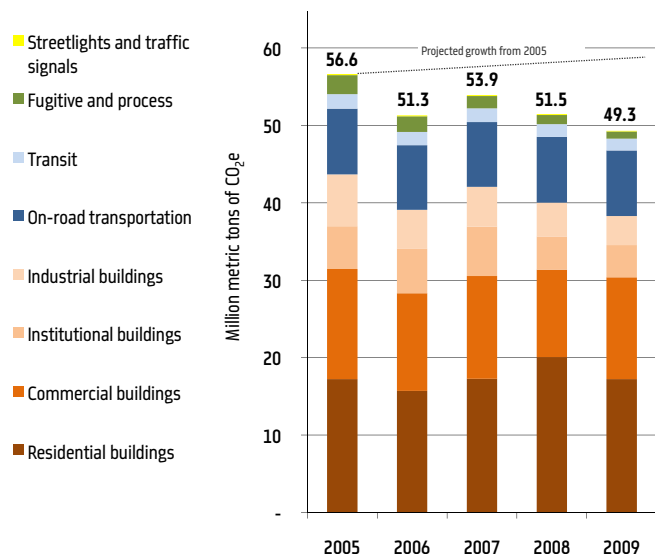
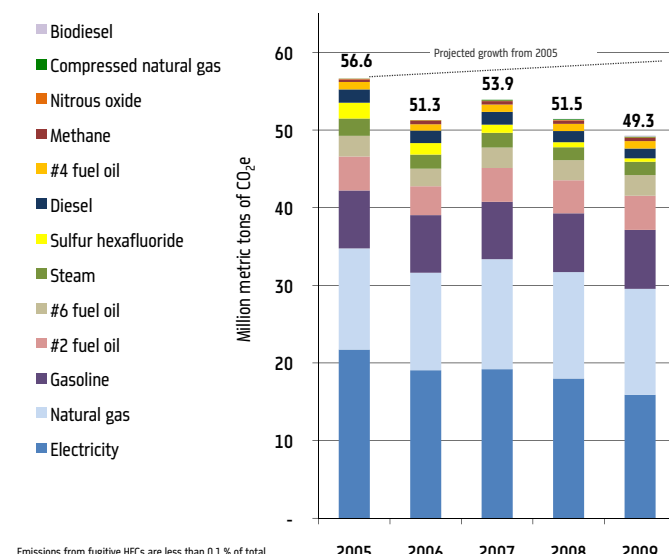


Figure 14: 2005 to 2009 Citywide CO<sub>2</sub>e Emissions by Source



## Citywide inventory results

In 2009, total GHG emissions in New York City were 49.3 MMTCO<sub>2</sub>e, 12.9 percent below 2005 base year emissions of 56.6MMTCO<sub>2</sub>e. 2009 GHG emissions are broken down as follows:

- Scope 1 GHG emissions: 31,671,415 MTCO<sub>2</sub>e
- Scope 2 GHG emissions: 17,630,532 MTCO<sub>2</sub>e
- Scope 3 GHG emissions (reported for information only): 17,349,382 MTCO<sub>2</sub>e

2009 citywide GHG emissions were 4.2 percent below 2008 levels of 51.5 MMTCO<sub>2</sub>e. This significant annual reduction again shows that New York City is on track toward achieving the 30 percent GHG reduction established by PlaNYC and mandated by Local Law 22

of 2008. While reporting overall GHG emissions levels indicates progress the City is making toward achieving this requirement, understanding the drivers of these changes is critical to ensuring the most efficient development and implementation of policies necessary to keep the City on track to fulfilling this mandate.

## Changes to citywide emissions

To fully understand causes of changes in New York City GHG emissions, the City analyzed all factors that might influence these changes, such as weather, population growth, increase in building floor area, changes to the city's electricity supply, and the impact of revised carbon intensity of fuels. Using these data, the City determined drivers that could be influenced by policy changes, such as per capita energy use or transit consumption. To calculate

Figure 15: 2005 to 2009 Changes to New York City's Greenhouse Gas Footprint

New York City's citywide carbon footprint declined 12.9% between 2005 and 2009 due to milder weather, reduced energy consumption, cleaner imported electricity, and reduced SF<sub>6</sub> emissions

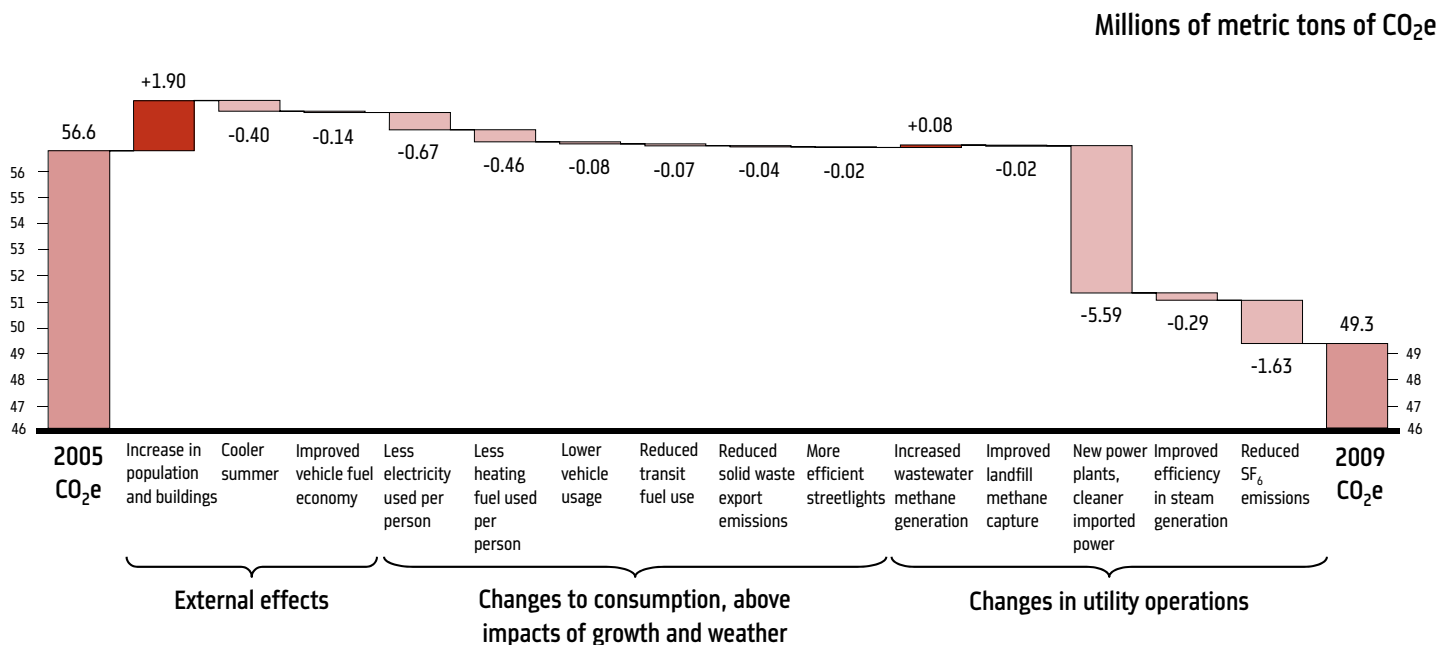


Table 9: 2005 to 2009 Changes in Citywide CO<sub>2</sub>e Emissions

|  | METRIC TONS CO <sub>2</sub> e | % OF 2005 CO <sub>2</sub> e |
|--|-------------------------------|-----------------------------|
| 2005 citywide CO <sub>2</sub> e  | 56,632,297                    |                             |
| Reasons for change   |                               |                             |
| Increase in population and buildings   | 1,901,663                     | 3.36%                       |
| Cooler summer in 2009 than 2005  | -404,693                      | -0.71%                      |
| Improved on-road vehicle fuel economy  | -44,880                       | -0.08%                      |
| Per capita electricity consumption (e.g., electronics)                               | -666,147                      | -1.18%                      |
| Per capita natural gas/heating oil consumption                                       | -455,394                      | -0.80%                      |
| Per capita vehicle usage   | -83,313                       | -0.15%                      |
| Per capita transit consumption   | -70,366                       | -0.12%                      |
| Per capita solid waste transport   | -41,378                       | -0.07%                      |
| More efficient streetlights  | -17,171                       | -0.03%                      |
| Increase in wastewater treatment plant methane                                       | 84,725                        | 0.15%                       |
| Improved landfill methane capture  | -18,458                       | -0.03%                      |
| New, more efficient electricity generation; increase in importation of cleaner power | -5,586,335                    | -9.86%                      |
| Improved efficiency in steam generation  | -293,716                      | -0.52%                      |
| Reduced fugitive SF <sub>6</sub> from electricity distribution                       | -1,634,884                    | -2.89%                      |
| 2009 citywide CO <sub>2</sub> e total  | 49,301,948                    | -12.94%                     |

Table 10: 2009 Citywide Emissions by Scope and GHG

| SCOPE          | GREENHOUSE GAS (METRIC TONS) |                 |                  |      |                 |                   |
|----------------|------------------------------|-----------------|------------------|------|-----------------|-------------------|
|                | CO <sub>2</sub>              | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | HFCs | SF <sub>6</sub> | CO <sub>2</sub> e |
| Scope 1        | 30,435,604                   | 22,328          | 1,030            | 9    | 18              | 31,671,415        |
| Scope 2        | 17,595,942                   | 335             | 91               |      |                 | 17,630,532        |
| Scopes 1 and 2 | 48,031,546                   | 22,663          | 1,121            | 9    | 18              | 49,301,948        |

the impact of these drivers, the City first compared the changes in CO<sub>2</sub>e emissions and consumption of each energy source from each sector. The percentage of population change was applied to all non-building emission sources, while the percentage change in building floor area was applied to building emissions sources to determine the collective net impact these drivers had on GHG emissions. To determine the impact of energy consumption beyond that driven by changes in weather, the City conducted regression analyses for each building energy source, using monthly energy consumption data and heating degree and cooling degree data to determine the correlation between weather and building energy use. The results of this analysis were used to determine the expected consumption of electricity, fuel oil, natural gas, and steam for each year, which were divided by the energy consumption of each energy source in the earlier year for each period to determine a weather impact factor. This factor was then multiplied by the consumption for each building energy source to determine the impact weather had on the consumption of building energy use. The results of regression analyses for electricity, natural gas, steam, and fuel oil are shown in the Appendix.

Per capita trends were determined by subtracting the percentage of overall population change, the weather impact factor, and the change in carbon intensity from the change in GHG emissions for each energy source in each sector. The impact of revisions to various coefficients was determined by calculating the change in carbon intensity for each energy source in each sector, and multiplying this factor times the percentage that each energy source in each sector contributed to the inventory total.

Figure 16: 2009 Citywide CO<sub>2</sub>e Building Emissions by Sector

Total = 38.3 MMT

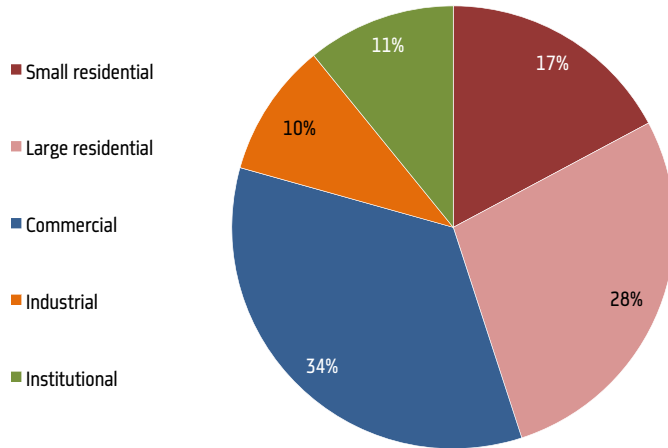


Figure 17: 2009 Citywide CO<sub>2</sub>e Building Emissions by Source

Total = 38.3 MMT

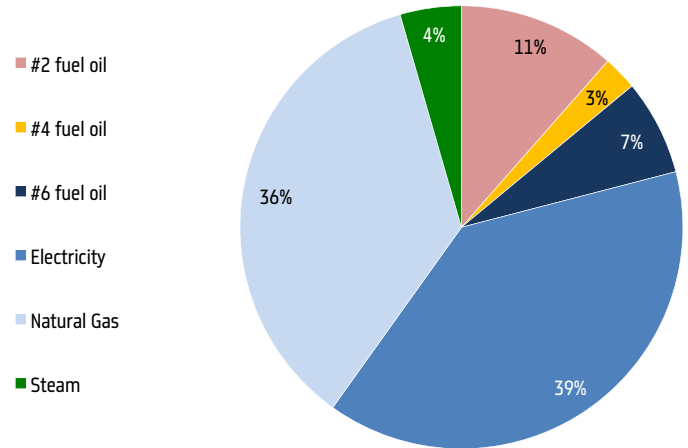


Figure 18: 2009 Citywide CO<sub>2</sub>e Transportation Emissions by Mode

Total = 10.0 MMT

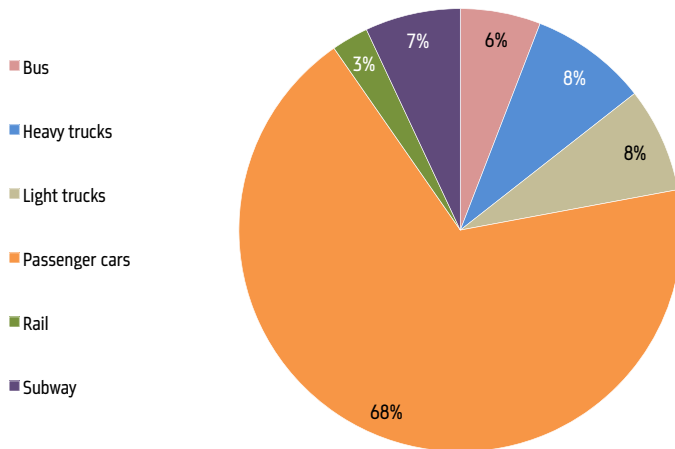
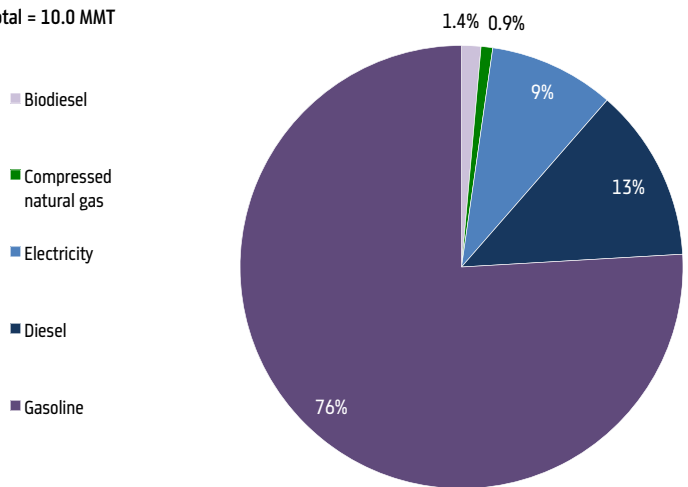


Figure 19: 2009 Citywide CO<sub>2</sub>e Transportation Emissions by Source

Total = 10.0 MMT

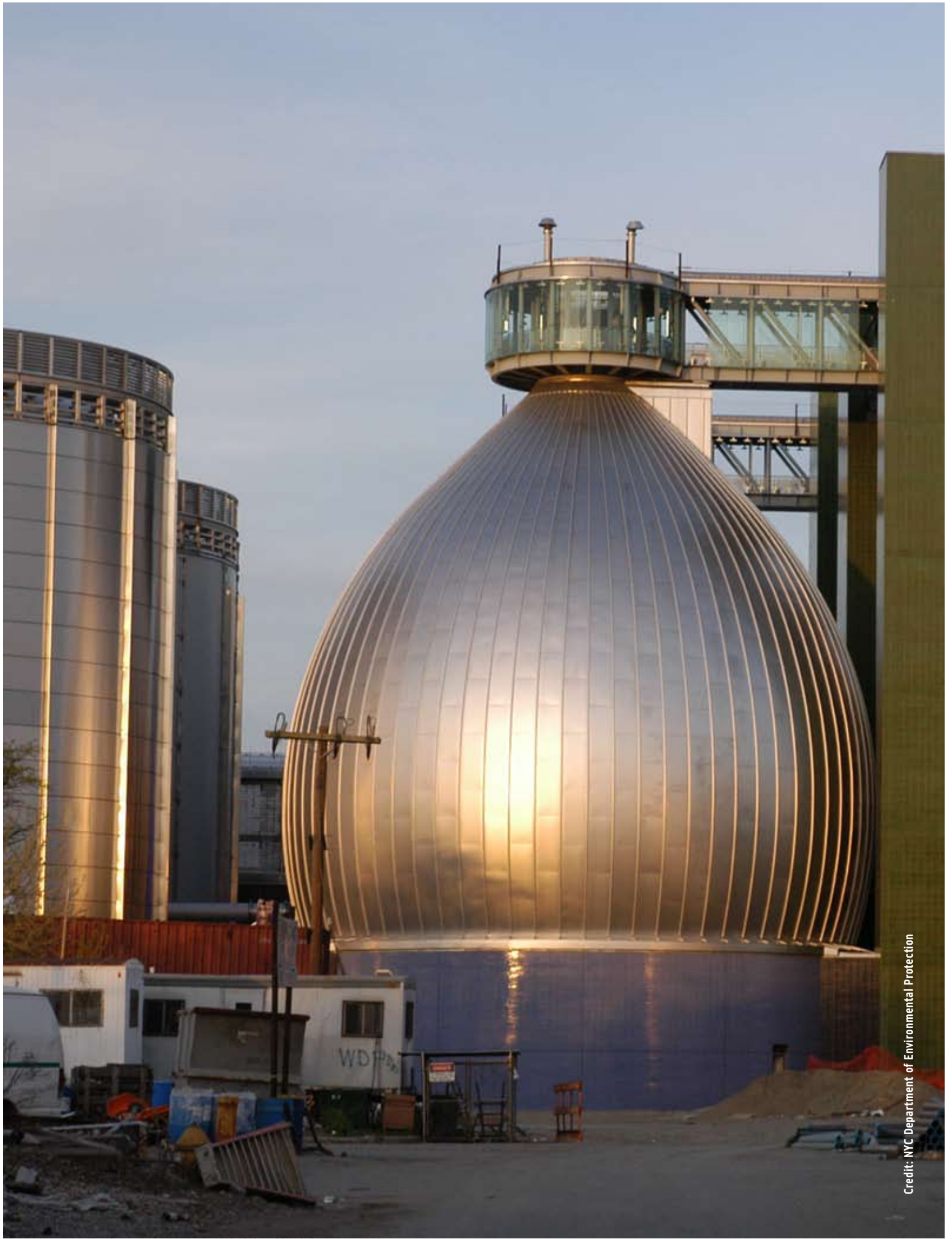


### Changes from 2005 to 2009

When all factors influencing the change in New York City's citywide GHG emissions from 2005 to 2009 are analyzed, cooler summer temperatures, reductions in per capita energy use, changes to the carbon intensity of the city's electricity supply, and a reduction in fugitive SF<sub>6</sub> from electricity distribution are most responsible for reducing the city's GHG emissions by 12.9 percent. These reductions were offset by growth in both population and building square footage. When weather, growth, fuel economy, and changes to the carbon intensity of the electricity and steam supply are excluded, citywide carbon emissions decreased by 5.1 percent.

### Changes from 2008 to 2009

Citywide GHG emissions decreased by 4.2 percent from 2008 to 2009 driven by an increase in generation of cleaner electricity, reduced per capita energy use, and a decrease in fugitive SF<sub>6</sub> emissions from electricity distribution. These three major reductions were most tempered by growth in population and building floor square footage and colder weather. When weather, growth, fuel economy, and changes to the carbon intensity of the electricity and steam supply are excluded, citywide carbon emissions decreased by 2.5 percent. Perhaps the most significant change is seen in reductions in per capita electricity and heating fuel use, showing that New York City as a whole is becoming more energy-efficient. Details of these changes are presented in Table 1 and Figure 8 on pages 12 and 13.



# Municipal Inventory

**Municipal government carbon emissions were 3.5% lower in FY 2008 than FY 2009 due to reduced carbon intensity of electricity and less heating fuel use**

## Municipal Inventory Methodology

For both fiscal and calendar year 2009, the City followed the LGOP's guidance in measuring GHG emissions based on operational control, measuring emissions from operations, facilities, or sources wholly owned by the City government or over which the City has full authority to introduce and implement operational and health, safety, and environmental policies (including both GHG- and non-GHG-related policies).<sup>14</sup> Emissions from leased vehicles and facilities were also included. The operation of New York City's government, which ensures the provision of services to the city's residents, businesses, commuters, and visitors, requires a substantial amount of energy. In fiscal year 2009, the majority of emissions, 73 percent, resulted from the operation of municipal buildings, facilities, and the municipal vehicle fleet. Other significant sources of greenhouse gas emissions resulting from City operations include streetlights and traffic signals, the water supply system, wastewater treatment facilities, landfills, and the transport of solid waste to destinations outside the city.

All data used to calculate municipal GHG emissions were acquired from either City agencies or fuel vendors. Metered data provided by utilities is maintained by DCAS, which provided comprehensive electricity, natural gas, and steam consumption data for the City's buildings, facilities, and streetlights. Building and facility heating fuel consumption data were provided by vendors who provide fuel to the City and by DEP. Vehicle fuel use data were provided by the City's fuel vendors and for both bulk fuel purchases and vehicle fuel purchased using the City's GasCard. Calculation of GHG emissions from both building and vehicle bulk fuel considers fuel volume delivered as an estimate of fuel volume consumed. Efforts are currently underway to implement a comprehensive fuel tracking system, allowing future inventories to more accurately measure GHG emissions from bulk fuel consumption.

Data used to calculate fugitive and process emissions were provided by several agencies: data used to calculate fugitive and process CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from wastewater treatment were provided by DEP, fugitive CH<sub>4</sub> from the City's landfills was calculated from data provided by DEP and DSNY, fugitive hydrofluorocarbons (HFCs) from municipal vehicle fleet cooling and refrigeration systems were calculated from data provided by DCAS, and emissions from the long-haul transport of solid waste were calculated from data provided by DSNY. All calculations were made as described above in the citywide inventory methodology section.

As required by the LGOP, the municipal inventory also reports emissions associated with employee commuting as a required Scope 3 source. Employee commuting emissions were estimated using the U.S. Census Bureau's Public-Use Microdata Sample dataset, which indicated the means of transportation to work for City employees.<sup>15</sup> For passenger car trips, distance traveled to work was estimated using employees reported time of commute, applying an average road network speed of 15 miles per hour. The resultant vehicle miles traveled (VMT) was used to calculate CO<sub>2</sub>e. Subway and bus emissions were estimated using MTA NYCT ridership statistics and total CO<sub>2</sub>e emissions from these sources to develop an average per person share of CO<sub>2</sub>e. This per person share was applied to the total number of work trips for City employees, calculated by multiplying the number of employees by twice the number of work days per year (238).

Emissions from the decomposition of solid waste generated by City employees are also considered a Scope 3 source. These emissions were calculated by multiplying the number of employees by the amount of solid waste estimated to be generated by each employee annually, as calculated by DSNY. The composition of waste generated by office workers was determined from DSNY's Waste Characterization Study, while the composition of waste generated by uniformed employees was taken from CACPS 2009.<sup>16</sup>



**Table 11: New York City Municipal Greenhouse Gas Emissions**

| SECTOR AND EMISSIONS SOURCE                 | METRIC TONS CO <sub>2</sub> e |                  |                  |                  | % CHANGE<br>FY 2008 -<br>2009 | % CHANGE<br>FY 2006 -<br>2009 | METRIC TONS CO <sub>2</sub> e |                  | % CHANGE<br>CY 2008 -<br>2009 |
|---|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|
|   | FY 2006                       | FY 2007          | FY 2008          | FY 2009          |                               |                               | CY 2008                       | CY 2009          |                               |
| <b>Buildings</b>                            |                               |                  |                  |                  |                               |                               |                               |                  |                               |
| Distillate fuel oil                         | 236,948                       | 252,454          | 232,036          | 238,388          | 2.74%                         | 0.61%                         | 234,593                       | 223,014          | -4.94%                        |
| Electricity                                 | 1,167,724                     | 1,194,845        | 1,147,562        | 1,037,785        | -9.57%                        | -11.13%                       | 1,148,565                     | 1,031,540        | -10.19%                       |
| Natural gas                                 | 551,614                       | 574,842          | 571,827          | 589,541          | 3.10%                         | 6.88%                         | 545,434                       | 575,965          | 5.60%                         |
| Residual fuel oil                           | 230,267                       | 212,597          | 231,683          | 234,372          | 1.16%                         | 1.78%                         | 233,515                       | 237,870          | 1.86%                         |
| Steam                                       | 128,398                       | 138,192          | 133,040          | 143,391          | 7.78%                         | 11.68%                        | 130,527                       | 140,354          | 7.53%                         |
| <b>Streetlights and traffic signals</b>     |                               |                  |                  |                  |                               |                               |                               |                  |                               |
| Electricity                                 | 115,824                       | 112,280          | 105,980          | 83,147           | -21.54%                       | -28.21%                       | 106,219                       | 83,149           | -21.72%                       |
| <b>Wastewater treatment</b>                 |                               |                  |                  |                  |                               |                               |                               |                  |                               |
| Distillate fuel oil                         | 45,668                        | 50,524           | 49,967           | 49,042           | -1.85%                        | 7.39%                         | 46,128                        | 51,531           | 11.71%                        |
| Electricity                                 | 222,343                       | 220,893          | 209,157          | 198,663          | -5.02%                        | -10.65%                       | 211,095                       | 205,909          | -2.46%                        |
| Methane                                     | 148,426                       | 194,772          | 245,974          | 251,785          | 2.36%                         | 69.64%                        | 252,035                       | 227,121          | -9.88%                        |
| Natural gas                                 | 19,515                        | 30,024           | 38,955           | 41,314           | 6.06%                         | 111.71%                       | 37,949                        | 35,020           | -7.72%                        |
| Nitrous oxide                               | 83,134                        | 85,808           | 87,790           | 89,138           | 1.54%                         | 7.22%                         | 85,983                        | 87,276           | 1.50%                         |
| Propane                                     |                               | 3                | 5                | -                | -100.00%                      |                               | 3                             | -                | -100.00%                      |
| Steam                                       | 200                           | 240              | 352              | 378              | 7.50%                         | 89.22%                        | 346                           | 224              | -35.28%                       |
| <b>Water supply</b>                         |                               |                  |                  |                  |                               |                               |                               |                  |                               |
| Distillate fuel oil                         | 1,427                         | 1,579            | 2,388            | 1,960            | -17.92%                       | 37.36%                        | 2,201                         | 2,202            | 0.03%                         |
| Electricity                                 | 23,499                        | 24,025           | 23,756           | 20,696           | -12.88%                       | -11.93%                       | 23,225                        | 20,719           | -10.79%                       |
| Kerosene                                    | -                             | 161              | 216              | 175              | -19.08%                       |                               | 248                           | 131              | -47.46%                       |
| Natural gas                                 | 2,666                         | 2,705            | 3,436            | 3,654            | 6.34%                         | 37.04%                        | 3,789                         | 3,807            | 0.50%                         |
| Propane                                     | 6,063                         | 6,580            | 7,313            | 7,660            | 4.74%                         | 26.33%                        | 6,618                         | 7,314            | 10.52%                        |
| Steam                                       | 263                           | 283              | 310              | 332              | 7.28%                         | 26.20%                        | 297                           | 378              | 27.40%                        |
| <b>Transportation</b>                       |                               |                  |                  |                  |                               |                               |                               |                  |                               |
| Diesel and biodiesel - trucks               | 156,185                       | 158,602          | 159,270          | 157,459          | -1.14%                        | 0.82%                         | 171,788                       | 164,933          | -3.99%                        |
| Diesel - marine vessels                     | 43,956                        | 44,820           | 46,192           | 48,231           | 4.42%                         | 9.73%                         | 44,663                        | 44,875           | 0.48%                         |
| Diesel - solid waste transport, rail        | 28,157                        | 32,547           | 32,083           | 34,445           | 7.36%                         | 22.33%                        | 32,315                        | 36,081           | 11.65%                        |
| Diesel - solid waste transport, truck       | 100,863                       | 93,376           | 77,624           | 55,924           | -27.96%                       | -44.56%                       | 85,502                        | 55,343           | -35.27%                       |
| Ethanol (E85)                               | 281                           | 189              | 175              | 160              | -8.39%                        | -43.14%                       | 216                           | 142              | -34.10%                       |
| Gasoline                                    | 123,534                       | 129,792          | 129,105          | 125,936          | -2.45%                        | -2.97%                        | 125,170                       | 121,939          | -2.58%                        |
| Jet fuel                                    | 2,197                         | 2,533            | 2,256            | 2,104            | -6.74%                        | -4.20%                        | 2,209                         | 2,076            | -6.01%                        |
| <b>Solid waste facilities</b>               |                               |                  |                  |                  |                               |                               |                               |                  |                               |
| Methane                                     | 119,499                       | 110,542          | 105,576          | 102,548          | -2.87%                        | -14.19%                       | 105,548                       | 102,241          | -3.13%                        |
| <b>Other fugitive and process emissions</b> |                               |                  |                  |                  |                               |                               |                               |                  |                               |
| HFCs from municipal vehicle fleet           | 11,370                        | 11,563           | 11,685           | 11,354           | -2.83%                        | -0.13%                        | 11,580                        | 11,354           | -1.95%                        |
| <b>Total Scope 1</b>                        | <b>1,911,770</b>              | <b>1,996,171</b> | <b>2,035,554</b> | <b>2,045,189</b> | <b>0.47%</b>                  | <b>6.98%</b>                  | <b>2,027,486</b>              | <b>1,990,238</b> | <b>-1.84%</b>                 |
| <b>Total Scope 2</b>                        | <b>1,658,251</b>              | <b>1,690,758</b> | <b>1,620,156</b> | <b>1,484,393</b> | <b>-8.38%</b>                 | <b>-10.48%</b>                | <b>1,620,274</b>              | <b>1,482,274</b> | <b>-8.52%</b>                 |
| <b>Total Scope 1 and 2</b>                  | <b>3,570,021</b>              | <b>3,686,929</b> | <b>3,655,710</b> | <b>3,529,581</b> | <b>-3.45%</b>                 | <b>-1.13%</b>                 | <b>3,647,759</b>              | <b>3,472,512</b> | <b>-4.80%</b>                 |
| <b>Scope 3</b>                              |                               |                  |                  |                  |                               |                               |                               |                  |                               |
| Biogenic CO <sub>2</sub> e from fuel        | 224,207                       | 223,248          | 237,830          | 228,868          | -3.77%                        | 2.08%                         | 234,365                       | 230,774          | -1.53%                        |
| Employee commute                            | 13,625                        | 13,746           | 20,940           | 15,239           | -27.23%                       | 11.84%                        | 22,445                        | 20,238           | -9.83%                        |
| Employee solid waste                        | 174,178                       | 176,400          | 179,015          | 177,192          | -1.02%                        | 1.73%                         | 176,856                       | 178,741          | 1.07%                         |
| <b>Total Scope 3</b>                        | <b>412,010</b>                | <b>413,394</b>   | <b>437,785</b>   | <b>421,298</b>   | <b>-3.77%</b>                 | <b>2.25%</b>                  | <b>433,666</b>                | <b>429,753</b>   | <b>-0.90%</b>                 |

## Municipal Inventory Results

### Fiscal year 2009 results

In fiscal year 2009, the operation of New York City's government resulted in the emission of 3.5 MMTCO<sub>2</sub>e, 1.1 percent below fiscal year 2006 levels. These emissions are broken down by scopes as follows:

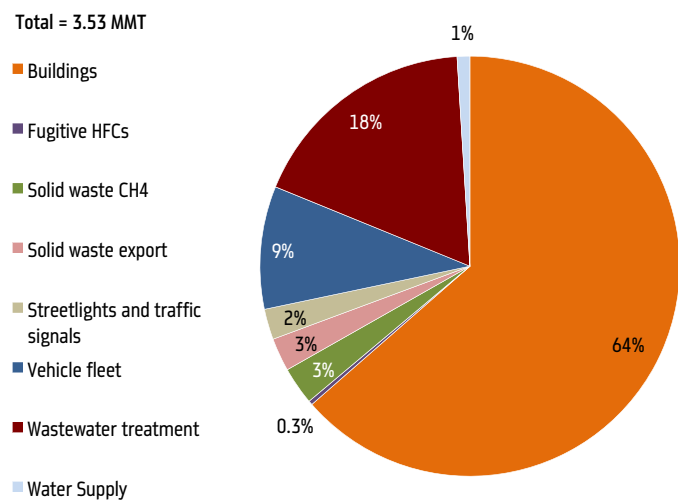
- Scope 1 GHG emissions: 2,045,189 MTCO<sub>2</sub>e
- Scope 2 GHG emissions: 1,484,393 MTCO<sub>2</sub>e
- Scope 3 GHG emissions (reported for information only): 421,298 MTCO<sub>2</sub>e

As with citywide emissions, to allow the City to understand reasons for changes in GHG emissions reflected by this inventory beyond those governed by external effects such as weather and emissions coefficients, the City analyzed all changes in municipal GHG emissions for fiscal year 2006 to 2009 and fiscal year 2008 to 2009.

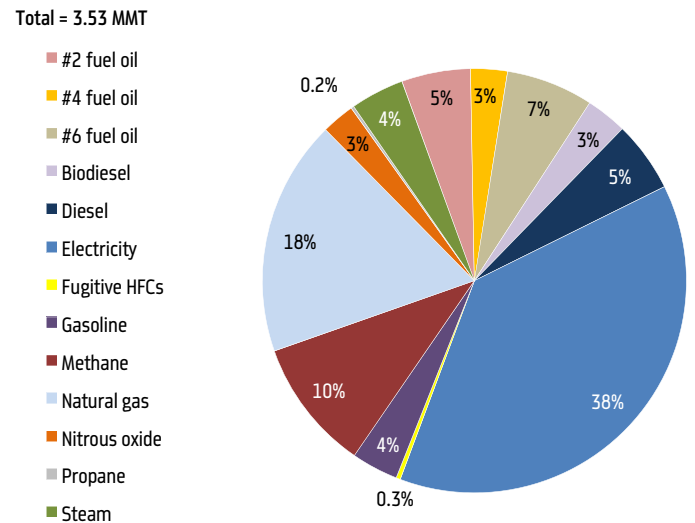
## Changes to municipal emissions

Changes to GHG emissions were measured similarly to those measured for citywide GHG emissions, as changes to CO<sub>2</sub>e levels and energy consumption were calculated for each energy source in each sector. External effects of changes in population (number of City employees) and weather (correlated to energy use), as well as the carbon intensity of each energy source were subtracted from the percentage change in total GHG emissions to determine the per capita trend for each energy source in each sector, while the change in carbon intensity due to coefficient revisions was calculated by dividing the reduction in CO<sub>2</sub>e by the change in consumption for each energy source in each sector. Each of these factors was used to determine the change in CO<sub>2</sub>e emissions, factoring in weather, the change in number of City employees, the per capita trend, and the coefficient change, where applicable. The percentage of the total change was then calculated for each category of change analyzed.

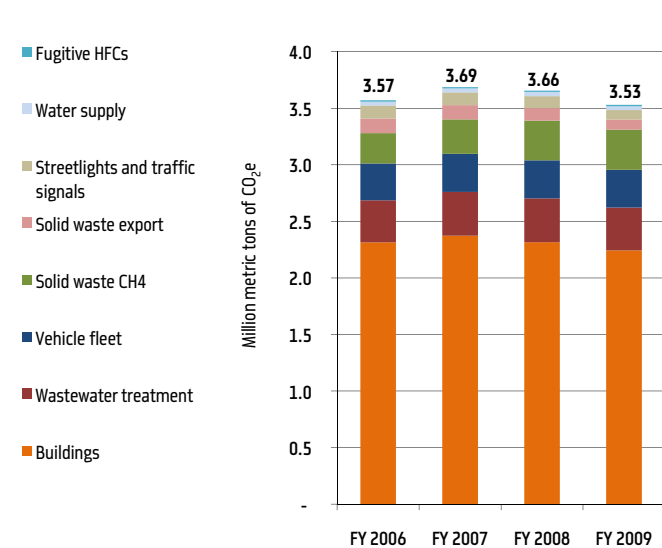
**Figure 20: FY 2009 Municipal CO<sub>2</sub>e Emissions by Sector**



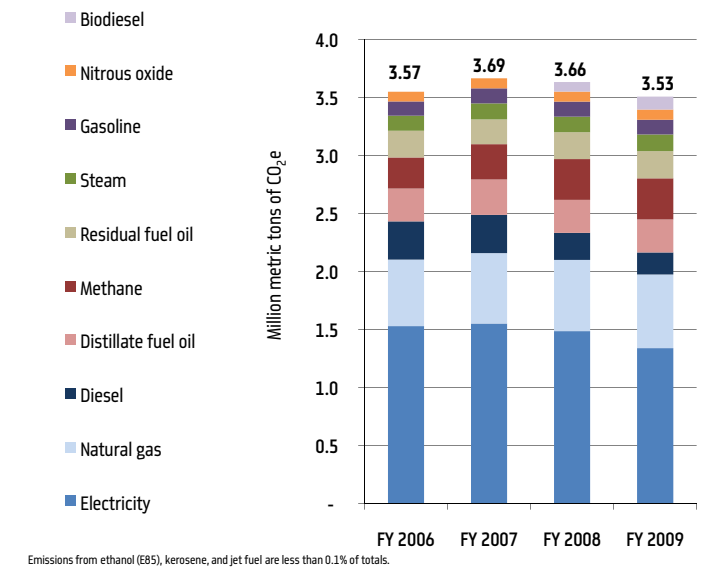
**Figure 21: FY 2009 Municipal CO<sub>2</sub>e Emissions by Source**



**Figure 22: FY 2005 to 2009 Municipal CO<sub>2</sub>e Emissions by Sector**



**Figure 23: FY 2005 to 2009 Municipal CO<sub>2</sub>e Emissions by Source**



**Municipal Fiscal Year 2006 to 2009 changes**

Municipal GHG emissions decreased from fiscal years 2006 to 2009 by 1.1 percent, from 3.57 to 3.53 MMTCO<sub>2</sub>e. The principal factors leading to this decrease in municipal CO<sub>2</sub>e emissions from fiscal years 2006 to 2009 were a reduction in the carbon intensity of the city’s electricity supply, reduced heating fuel use per employee, more efficiency streetlights and traffic signals, and improved efficiency in solid waste transportation as the mode of transport has continued to transition from truck to rail as part of the City’s Solid Waste Management Plan. An increase in the number of City employees, an increase in heating carbon intensity, more electricity used per employee, increased wastewater treatment and water supply operations emissions, and wastewater treatment plant methane leaks (due to flare equipment undergoing repair), all contributed to temper emissions reductions. When external effects of

weather and the carbon intensity of the city’s electricity and steam supply are excluded, emissions are shown to have increased 2.1 percent over this period. Details of these changes are reported in Table 2.

**Municipal Fiscal Year 2008 to 2009 changes**

Municipal GHG emissions decreased by 3.5 percent from fiscal year 2008 to 2009, from 3.66 to 3.53 MMTCO<sub>2</sub>e. The principal reasons for this decrease were a reduction in the carbon intensity of the city’s power supply, the continued transition from truck to rail for exporting solid waste, increased streetlight efficiency, and a reduction in per employee building heating fuel use. When weather, the carbon intensity of the city’s electricity and steam supply, and the number of City employees, municipal carbon emissions decreased by 0.9 percent over this period. Details of these changes are reported in Table 11.

Figure 24: FY 2008 to FY 2009 Changes in New York City's Municipal Greenhouse Gas Footprint

New York City's municipal government carbon footprint decreased 1.1% between FY 2006 and FY 2009, due to more efficient power plants, cleaner imported power, more efficient streetlights, less heating fuel use, and reduced solid waste export emissions

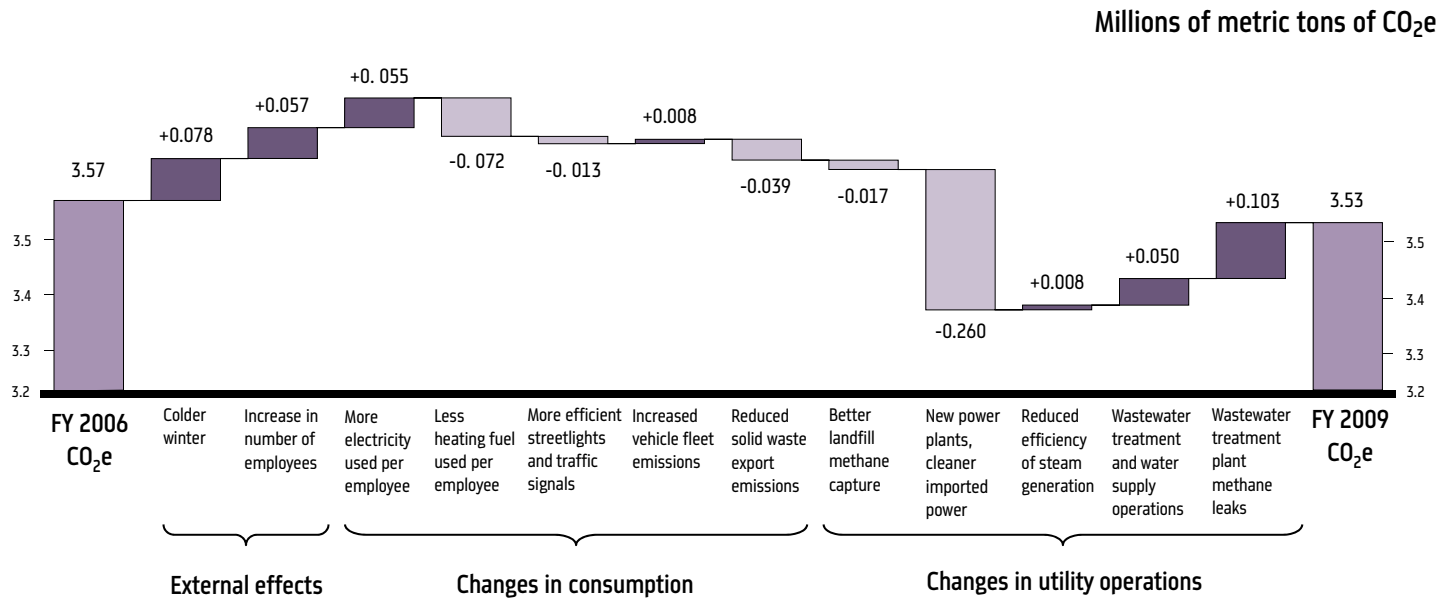


Table 12: FY 2006 to FY 2009 Changes in Municipal CO<sub>2</sub>e Emissions

|  | METRIC TONS CO <sub>2</sub> e | % OF FY 2008 CO <sub>2</sub> e |
|--|-------------------------------|--------------------------------|
| <b>FY 2006 municipal CO<sub>2</sub>e</b>         | <b>3,570,021</b>              |                                |
| <b>Reasons for change</b>                        |                               |                                |
| Colder winter                                    | 77,873                        | 2.18%                          |
| Increased number of employees                    | 57,179                        | 1.60%                          |
| Per employee electricity consumption             | 55,185                        | 1.55%                          |
| Per employee heating fuel consumption            | -71,534                       | -2.00%                         |
| More efficient streetlights and traffic signals  | -13,014                       | -0.36%                         |
| Increased vehicle fleet emissions                | 7,722                         | 0.22%                          |
| Reduced solid waste export emissions             | -38,652                       | -1.08%                         |
| Better landfill methane capture                  | -16,951                       | -0.47%                         |
| New power plants, cleaner imported power         | -259,650                      | -7.27%                         |
| Reduced efficiency of steam generation           | 8,071                         | 0.23%                          |
| Wastewater treatment and water supply operations | 49,971                        | 1.40%                          |
| Wastewater treatment plant methane leaks         | 103,359                       | 2.90%                          |
| <b>FY 2009 municipal CO<sub>2</sub>e total</b>   | <b>3,529,581</b>              | <b>-1.13%</b>                  |

Table 13: CY 2008 to CY 2009 Changes in Municipal CO<sub>2</sub>e Emissions

|  | METRIC TONS CO <sub>2</sub> e | % OF CY 2008 CO <sub>2</sub> e |
|--|-------------------------------|--------------------------------|
| <b>CY 2008 municipal CO<sub>2</sub>e</b>         | <b>3,647,759</b>              |                                |
| <b>Reasons for change</b>                        |                               |                                |
| Colder winter                                    | 13,823                        | 0.38%                          |
| Reduced number of employees                      | -35,126                       | -0.96%                         |
| Per employee electricity consumption             | 22,564                        | 0.62%                          |
| Per employee heating fuel consumption            | 16,251                        | 0.45%                          |
| More efficient streetlights                      | -12,787                       | -0.35%                         |
| Reduced vehicle fleet emissions                  | -10,305                       | -0.24%                         |
| Reduced solid waste export emissions             | -26,393                       | -0.72%                         |
| Better landfill methane capture                  | -3,307                        | -0.09%                         |
| New power plants, cleaner imported power         | -144,161                      | -3.95%                         |
| Reduced efficiency of steam generation           | 9,789                         | 0.27%                          |
| Wastewater treatment and water supply operations | 19,316                        | 0.53%                          |
| Wastewater treatment plant methane leaks         | -24,913                       | -0.68%                         |
| <b>CY 2009 municipal CO<sub>2</sub>e total</b>   | <b>3,472,512</b>              | <b>-4.76%</b>                  |

Table 14: FY 2009 Municipal Emissions by Scope and GHG

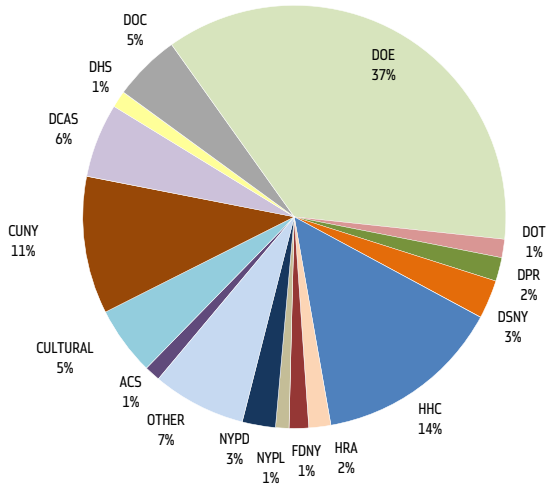
| SCOPE                 | GREENHOUSE GAS (METRIC TONS) |                 |                  |          |                   |
|-----------------------|------------------------------|-----------------|------------------|----------|-------------------|
|                       | CO <sub>2</sub>              | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | HFCs     | CO <sub>2</sub> e |
| Scope 1               | 1,581,356                    | 17,012          | 307              | 9        | 2,045,189         |
| Scope 2               | 1,481,480                    | 28              | 7                |          | 1,484,393         |
| <b>Scopes 1 and 2</b> | <b>3,062,836</b>             | <b>17,040</b>   | <b>315</b>       | <b>9</b> | <b>3,529,581</b>  |

Table 15: CY 2009 Municipal Emissions by Scope and GHG

| SCOPE                 | GREENHOUSE GAS (METRIC TONS) |                 |                  |          |                   |
|-----------------------|------------------------------|-----------------|------------------|----------|-------------------|
|                       | CO <sub>2</sub>              | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | HFCs     | CO <sub>2</sub> e |
| Scope 1               | 1,553,311                    | 15,820          | 301              | 9        | 1,990,238         |
| Scope 2               | 1,479,366                    | 28              | 7                |          | 1,482,274         |
| <b>Scopes 1 and 2</b> | <b>3,032,678</b>             | <b>15,848</b>   | <b>309</b>       | <b>9</b> | <b>3,472,512</b>  |

**Figure 25: FY 2009 Municipal Buildings CO<sub>2</sub>e Emissions by Agency**

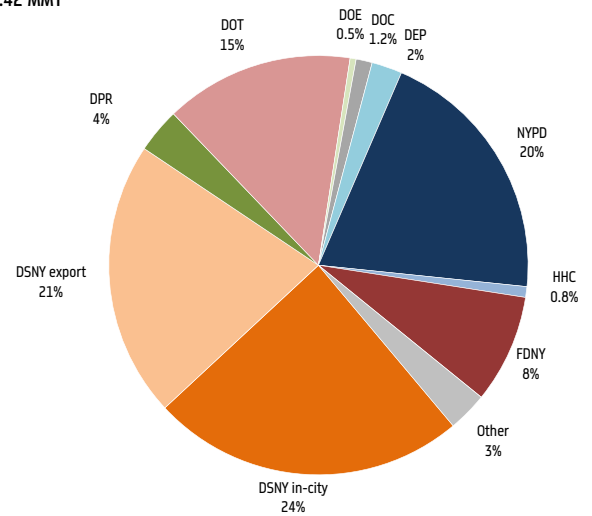
Total = 2.24 MMT



Does not include DEP emissions. A list of agency acronyms is in the Appendix.

**Figure 26: FY 2009 Municipal Vehicle CO<sub>2</sub>e Emissions by Agency**

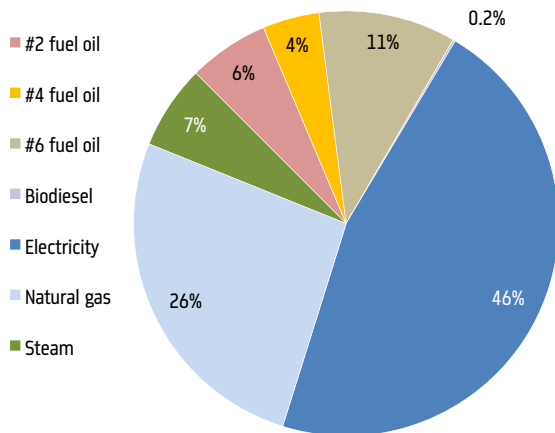
Total = 0.42 MMT



Includes DSNY solid waste transportation outside of city. A list of agency acronyms is in the Appendix.

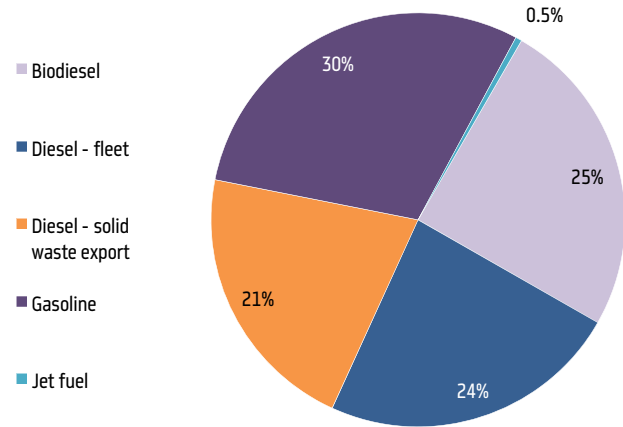
**Figure 27: FY 2009 Municipal Buildings CO<sub>2</sub>e Emissions by Source**

Total = 2.24 MMT



**Figure 28: FY 2009 Municipal Vehicle CO<sub>2</sub>e Emissions by Source**

Total = 0.42 MMT



Emissions from ethanol (E85) are less than 0.1% of sector total

### Municipal Calendar Year 2009 results

Per the LGOP, the City reports emissions from City operations and facilities on a calendar year basis, as well as by fiscal year in compliance with Local Law 22 of 2008. In calendar year 2009, municipal operations and facilities were responsible for the emission of 3.5 MMTCO<sub>2</sub>e. The breakdown of calendar year 2009 GHG emissions by scope is as follows:

- Scope 1 GHG emissions: 1,990,238 MTCO<sub>2</sub>e
- Scope 2 GHG emissions: 1,482,274 MTCO<sub>2</sub>e
- Scope 3 GHG emissions (reported for information only): 429,753 MTCO<sub>2</sub>e

### Municipal Calendar Year 2008 to 2009 Changes

This inventory is the first annual update of municipal government greenhouse gas emissions measured during a calendar year period. Municipal GHG emissions decreased by 4.8 percent from CY 2008 to 2009, dropping from 3.65 to 3.47 MMTCO<sub>2</sub>e. As shown in other periods of analysis in this report, the principal drivers of this change are a reduction in the carbon intensity of the city's electricity supply, increased streetlight efficiency, and increased efficiency of solid waste transport, with a reduction in the number of City employees, reduced vehicle fleet emissions, and reduced wastewater treatment plant methane leaks all contributing to this reduction. When factors beyond the control of the City are excluded, however, emissions decreased by 0.5 percent. Changes to municipal greenhouse gas emissions from CY 2008-2009 are detailed in Table 13.

Figure 29: FY 2009 Municipal Wastewater CO<sub>2</sub>e Emissions by Source

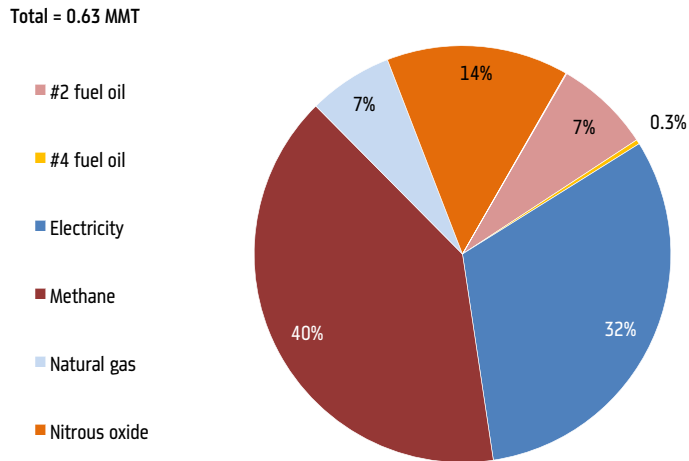


Figure 30: FY 2009 Municipal Water Supply CO<sub>2</sub>e Emissions by Source

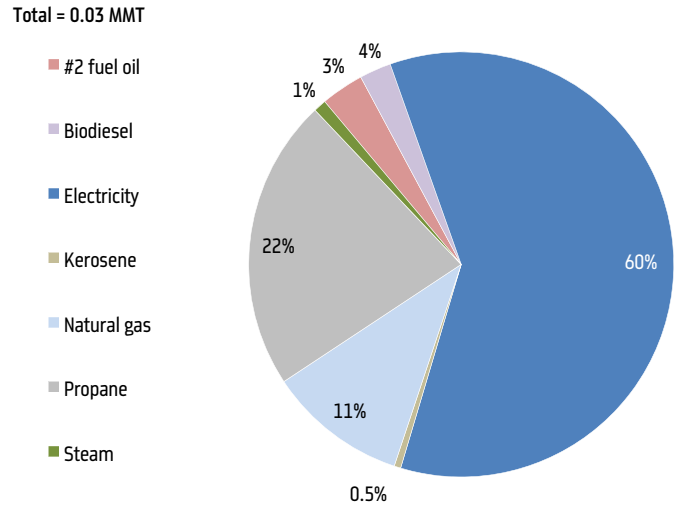


Figure 31: FY 2009 New York City CO<sub>2</sub>e Emissions from Transport of Solid Waste Outside the City

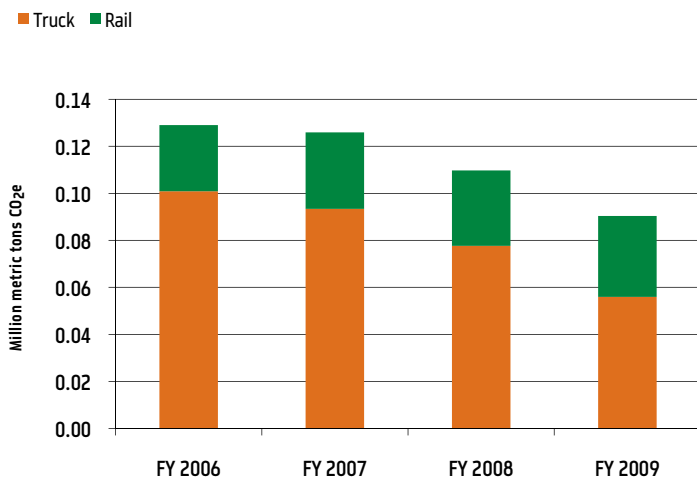
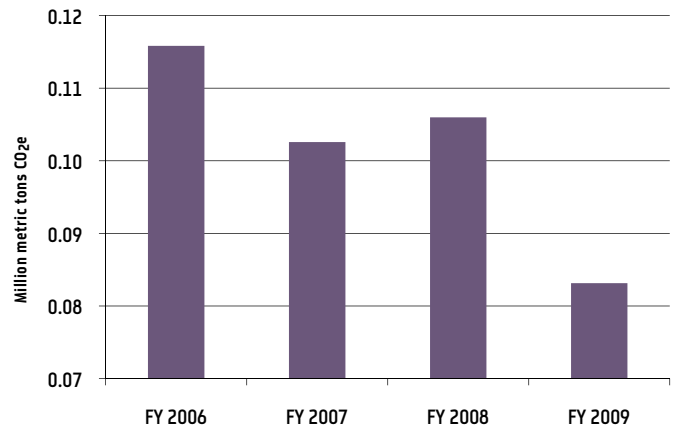


Figure 32: FY 2009 New York City CO<sub>2</sub>e Emissions from Streetlights and Traffic Signals



# Conclusion

As reported each year, this updated greenhouse gas inventory provides the most comprehensive and current information on the sources, levels, and trends of New York City citywide and municipal government greenhouse gas emissions possible. Additionally, it identifies the impact that drivers of change such as weather, population, policy decisions, infrastructure investments, and consumer behavior have on carbon emissions levels.

Citywide greenhouse gas emissions decreased by 4.2 percent from 2008, again showing that the City is on track to achieve *PlaNYC*'s goal of a 30 percent reduction in citywide carbon emissions below 2005 levels by 2030. This decrease, despite continued growth in population and the city's building stock, highlights the benefits of reduced energy consumption by the city's residents, workers, and visitors and also demonstrates the emissions reductions achieved through less carbon-intensive electricity generation.

Municipal government emissions decreased by 3.5 percent below fiscal year 2008 levels, and 4.8 percent below calendar year 2008 levels, demonstrating that the City is now on track to achieve its goal of a 30 percent reduction in municipal greenhouse gas emissions below fiscal year 2006 by 2017 and highlighting the impact of reduced energy consumption by the City's employees due to energy efficiency measures.

This inventory was completed using the most current protocols, methodologies, and data available. As it has each year, the City has attempted to develop the most accurate and useful assessment of carbon emissions possible. Consistent with this practice, future inventory efforts will incorporate changes to analysis techniques as appropriate. The City will continue to collaborate with other cities around the world to develop uniform accounting, analysis, and reporting methodologies to allow for the most useful comparability of municipal carbon emissions.

The information compiled, calculated, and analyzed in the generation of this inventory is extremely valuable information and continues to inform the City's policy decisions. However, additional opportunities exist for more in-depth analysis, which will proceed over the course of the next year.



# APPENDICES

|   |    |
|---|----|
| <b>Acronym Definitions</b>                | 36 |
| <b>Endnotes</b>                           | 37 |
| <b>City Comparison Data Sources</b>       | 38 |
| <b>Weather Impacts on Emissions</b>       | 39 |
| <b>Steam Emissions Coefficients</b>       | 40 |
| <b>Electricity Emissions Coefficients</b> | 41 |
| <b>Fuel Emissions Coefficients</b>        | 42 |
| <b>Heating and Cooling Degree Days</b>    | 43 |
| <b>Citywide GHG Summary</b>               | 44 |
| <b>Municipal GHG Summary</b>              | 46 |
| <b>Figures and Tables</b>                 | 48 |



# Acronym Definitions

## New York City Agencies:

ACS - New York City Administration for Children's Services  
DCAS - New York City Department of Citywide Administrative Services  
DOC - New York City Department of Correction  
DEP - New York City Department of Environmental Protection  
DHS - New York City Department of Homeless Services  
DOT - New York City Department of Transportation  
DPR - New York City Department of Parks and Recreation  
DOE - New York City Department of Education  
DSNY - New York City Department of Sanitation  
FDNY - New York City Fire Department  
HPD - New York City Department of Housing Preservation and Development  
HRA - New York City Human Resources Administration  
NYPD - New York City Police Department  
OMB - New York City Office of Management and Budget

## Other Entities:

CARB - California Air Resources Board  
CCAR - California Climate Action Registry  
ConEd - Con Edison of New York  
CULTURAL - Cultural institutions  
CUNY - City University of New York  
EIA - United States Energy Information Administration  
EPA - United States Environmental Protection Agency  
HHC - New York City Health and Hospitals Corporation  
ICLEI - ICLEI-Local Governments for Sustainability  
LIPA - Long Island Power Authority  
LIRR - Long Island Rail Road  
MTA - Metropolitan Transportation Authority  
MNR - Metro-North Railroad  
NJT - New Jersey Transit  
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration  
NYCT - New York City Transit  
NYISO - New York Independent System Operator  
NYMTC - New York Metropolitan Transportation Council  
NYPA - New York Power Authority  
NYSERDA - New York State Energy Research and Development Authority  
PATH - Port Authority Trans-Hudson Corporation  
TCR - The Climate Registry  
WBCSD - World Business Council for Sustainable Development  
WRI - World Resources Institute

## The following acronyms are used throughout this report:

Btu - British thermal units  
BPM - Best Practices Model  
CACPS - Clean Air and Climate Protection software  
CDD - cooling degree days  
CEMS - Continuous Emissions Monitoring System  
CH<sub>4</sub> - methane  
CO<sub>2</sub> - carbon dioxide  
CO<sub>2</sub>e - carbon dioxide equivalent  
FY - fiscal year  
GHG - greenhouse gas  
GIS - geographic information systems  
HDD - heating degree days  
HFCs - hydrofluorocarbons  
kWh - kilowatt hour  
LGOP - Local Government Operations Protocol  
MMBTU - million British thermal units  
MMTCO<sub>2</sub>e - million metric tons of carbon dioxide equivalent  
MT - metric ton  
MTCO<sub>2</sub>e - metric tons of carbon dioxide equivalent  
MW - megawatts  
MWh - megawatt hour  
N<sub>2</sub>O - nitrous oxide  
SF<sub>6</sub> - sulfur hexafluoride  
SWMP - Solid Waste Management Plan  
VMT - vehicle miles traveled

# Endnotes

1. City of New York, *Inventory of New York City Greenhouse Gas Emissions* (April 2007), available online at [http://www.nyc.gov/html/planyc2030/downloads/pdf/emissions\\_inventory.pdf](http://www.nyc.gov/html/planyc2030/downloads/pdf/emissions_inventory.pdf).
2. City of New York, *Inventory of New York City Greenhouse Gas Emissions* (September 2008), available online at [http://www.nyc.gov/html/planyc2030/downloads/pdf/inventory\\_nyc\\_ghg\\_emissions\\_2008\\_feb09update\\_web.pdf](http://www.nyc.gov/html/planyc2030/downloads/pdf/inventory_nyc_ghg_emissions_2008_feb09update_web.pdf).
3. City of New York, *Inventory of New York City Greenhouse Gas Emissions* (September 2009), available online at [http://www.nyc.gov/html/planyc2030/downloads/pdf/greenhousegas\\_2009.pdf](http://www.nyc.gov/html/planyc2030/downloads/pdf/greenhousegas_2009.pdf).
4. California Air Resources Board (CARB), The California Climate Action Registry (CCAR), ICLEI – Local Governments for Sustainability (ICLEI), and The Climate Registry (TCR), *Local Government Operations Protocol, Version 1.1* (2010), available online at <http://www.theclimateregistry.org/downloads/2010/05/2010-05-06-LGO-1.1.pdf>.
5. Carbon dioxide equivalent is a common unit of reporting that allow greenhouse gases with different impacts on global climate change to be added together as reported as one comprehensive unit. Following standard international convention and the LGOP, this report uses global warming potentials reported in the Intergovernmental Panel on Climate Change's Second Assessment Report (SAR), 1996.
6. U.S. Environmental Protection Agency, Final Mandatory Reporting of Greenhouse Gases Rule, available online at <http://www.epa.gov/climatechange/emissions/downloads09/GHG-MRR-FinalRule.pdf>.
7. New York Independent System Operator (April 2010), Table I-4a: Historic Energy Requirements and Coincident Peaks, available online at [http://www.nyiso.com/public/webdocs/services/planning/planning\\_data\\_reference\\_documents/2010\\_GoldBook\\_Public\\_Final\\_033110.pdf](http://www.nyiso.com/public/webdocs/services/planning/planning_data_reference_documents/2010_GoldBook_Public_Final_033110.pdf).
8. U.S. Department of Transportation Maritime Administration, *Environmental Advantages of Inland Barge Transportation*, August 1994, available at <http://ntl.bts.gov/lib/6000/6300/6301/837.pdf>.
9. Association of American Railroads, *2009 Railroad Facts Book*, p. 40.
10. New York State Department of Agriculture and Markets.
11. Available online at [http://www.nyc.gov/html/oec/downloads/pdf/CEQR\\_Technical\\_Manual\\_Appendices.pdf](http://www.nyc.gov/html/oec/downloads/pdf/CEQR_Technical_Manual_Appendices.pdf).
12. U.S. Census Bureau, *2008 New York City Housing and Vacancy Survey* (2009), Table 42. Available online at <http://www.census.gov/hhes/www/housing/nychvs/2008/nychvs08.html>.
13. The correlation of weather to heating fuel oil use was calculated using municipal fuel oil records. The regression analysis graph used for this calculation is in the Appendix.
14. LGOP Version 1.1 (May 2010), pp 14.
15. U.S. Census Bureau, available online at <http://www.census.gov/main/www/pums.html>.
16. New York City Department of Sanitation, *2004-2005 NYC Residential and Street Basket Waste Characterization Study*, available online at [http://www.nyc.gov/test/nycwasteless/html/resources/wcs\\_results.shtml#finalreport](http://www.nyc.gov/test/nycwasteless/html/resources/wcs_results.shtml#finalreport).

# City Comparison Data Sources

## Greenhouse Gas Emissions and Electricity Consumption Data Per Capita Comparisons

**Austin:** [http://www.coolaustin.org/downloads/ACPP\\_Annual\\_Report\\_5.20.09\\_FINAL.pdf](http://www.coolaustin.org/downloads/ACPP_Annual_Report_5.20.09_FINAL.pdf)

**Baltimore:** <http://cleanergreenerbaltimore.org/uploads/files/Full%20GHG%20Inventory%20Report%202007%2010.7.09.pdf>

**Boston:** <http://www.cityofboston.gov/climate/pdfs/Report2005GHGInventory.pdf>

**Copenhagen:** [http://www.kk.dk/sitecore/content/Subsites/CityOfCopenhagen/SubsiteFrontpage/CitizenInformation/~/\\_media/4FAFC7144E3141D8984401D494CC5021.ashx](http://www.kk.dk/sitecore/content/Subsites/CityOfCopenhagen/SubsiteFrontpage/CitizenInformation/~/_media/4FAFC7144E3141D8984401D494CC5021.ashx)

**Chicago:** <http://www.chicagoclimateaction.org/filebin/pdf/finalreport/CCAPREPORTFINALv2.pdf>

**Dallas:** [http://www.greendallas.net/pdfs/GHG\\_Emissions\\_Summary.pdf](http://www.greendallas.net/pdfs/GHG_Emissions_Summary.pdf)

**Denver:** [http://www.greenprintdenver.org/docs/Denver\\_GHG\\_Inventory\\_Report.pdf](http://www.greenprintdenver.org/docs/Denver_GHG_Inventory_Report.pdf)

**Hong Kong:** [http://www.epd.gov.hk/epd/english/climate\\_change/files/GHG\\_Inventory\\_Table\\_1990\\_2007.pdf](http://www.epd.gov.hk/epd/english/climate_change/files/GHG_Inventory_Table_1990_2007.pdf)

**Houston:** [http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2009/nrs\\_2009\\_na\\_001.pdf](http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2009/nrs_2009_na_001.pdf)

**London:** [http://legacy.london.gov.uk/mayor/priorities/docs/delivering\\_london\\_energy\\_future\\_assembly\\_and\\_functional\\_body\\_draft\\_february\\_2010.pdf](http://legacy.london.gov.uk/mayor/priorities/docs/delivering_london_energy_future_assembly_and_functional_body_draft_february_2010.pdf)

**Los Angeles:** <http://www.ladwp.com/ladwp/cms/ladwp000509.jsp>

**Madrid:** <http://www.c40cities.org/docs/ccap-madrid-110909.pdf>

**Miami:** <http://www.miamigov.com/msi/pages/Climate%20Action/MiPlan%20Final%20062608.pdf>

**Philadelphia:** <http://www.phila.gov/green/>

**Portland:** <http://www.portlandonline.com/bps/index.cfm?c=49989&a=268612>

**San Diego:** [http://www.sandiego.gov/environmental-services/sustainable/pdf/action\\_plan\\_07\\_05.pdf](http://www.sandiego.gov/environmental-services/sustainable/pdf/action_plan_07_05.pdf)

**San Francisco:** <http://www.sfenvironment.org/downloads/library/climateactionplan.pdf>

**Seattle:** <http://www.seattle.gov/climate/docs/2008-community-inventory-fullreport.pdf>

**Singapore:** <http://app.mewr.gov.sg/web/Contents/Contents.aspx?ContId=1233>

**Stockholm:** <http://international.stockholm.se/-/News-from-the-City-of-Stockholm/News/Action-plan-for-climate-and-energy/>

**Sydney:** <http://www.cityofsydney.nsw.gov.au/Environment/GreenhouseAndAirQuality/WhattheCityisdoing/CarbonNeutral.asp>

**Tokyo:** [http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/pdf/B/tokyo\\_strategy\\_full.pdf](http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/pdf/B/tokyo_strategy_full.pdf)

**Toronto:** <http://www.toronto.ca/teo/pdf/ghg-aq-inventory-june2007.pdf>

**USA:** [http://www.epa.gov/climatechange/emissions/downloads10/US-GHG-Inventory-2010\\_Report.pdf](http://www.epa.gov/climatechange/emissions/downloads10/US-GHG-Inventory-2010_Report.pdf)

**Vancouver:** <http://vancouver.ca/sustainability/documents/2008GHGInventoryMethodologiesDocument20091210.pdf>

**Washington D.C.:** [http://green.dc.gov/green/lib/green/2010\\_1\\_12\\_\\_ghgemissionsinventoryreport.pdf](http://green.dc.gov/green/lib/green/2010_1_12__ghgemissionsinventoryreport.pdf)

## Transportation Comparisons

U.S. Census Bureau, 2008 American Community Survey

# Weather Impacts on Emissions

In *PlaNYC*, the City estimated that more than 40 percent of all energy consumed within the city's buildings was used to heat or cool building spaces. As 75 percent of the city's GHG emissions are related to buildings, heating and cooling directly affects over 30 percent of the city's carbon footprint

To fully understand the impact of year-on-year changes in GHG emissions, the extent of weather's impact on energy consumption must be accounted for and is a key component in determining causes for interannual changes in the GHG carbon footprint. Steam (used for both heating and cooling), electricity (used for cooling via air-conditioners), natural gas (used for heating), and building oil (used for heating) consumption figures are correlated with monthly heating degree days (HDD) and cooling degree days (CDD).

The resulting correlation graphs show the relationship with each type of energy consumption and its corresponding weather statistics, and the strength of their relationship.

The exclusion of weather from year-on-year changes is based on these estimates; it is presented as an estimate rather than a detailed analysis, and further refinement of these methods will be necessary to make precise claims for exactly how weather affected greenhouse gas emissions.

The weather fluctuations are measured in degree days, in which one day at 66° would be one cooling degree day, and one day at 75° would be ten cooling degree days. (Conversely, one day at 55° would be ten heating degree days.)

Figure 32: Correlation of Cooling & Heating Degree Days to Steam Use

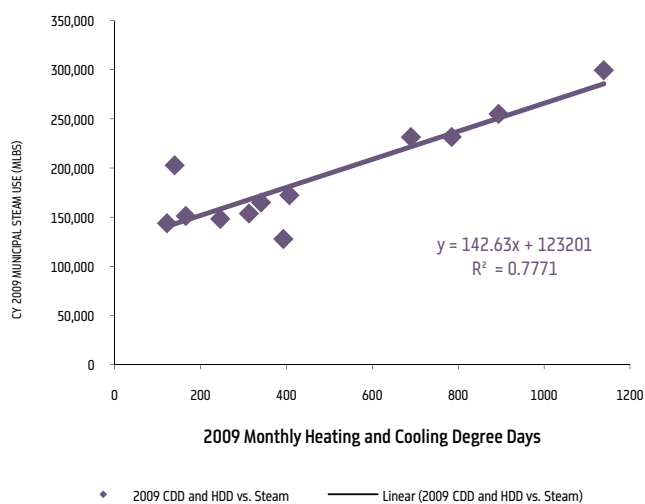


Figure 33: Correlation of Cooling Degree Days to Electricity Use

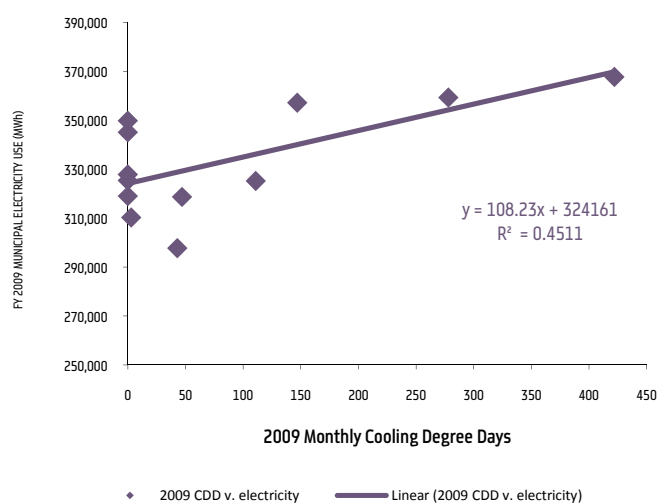


Figure 34: Correlation of Heating Degree Days to Natural Gas Use

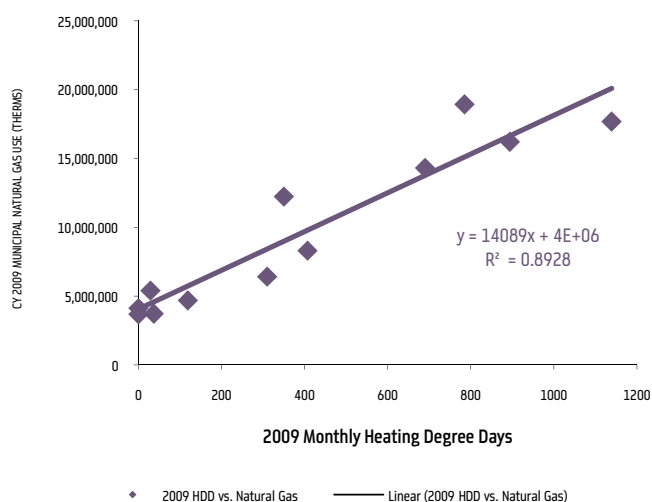
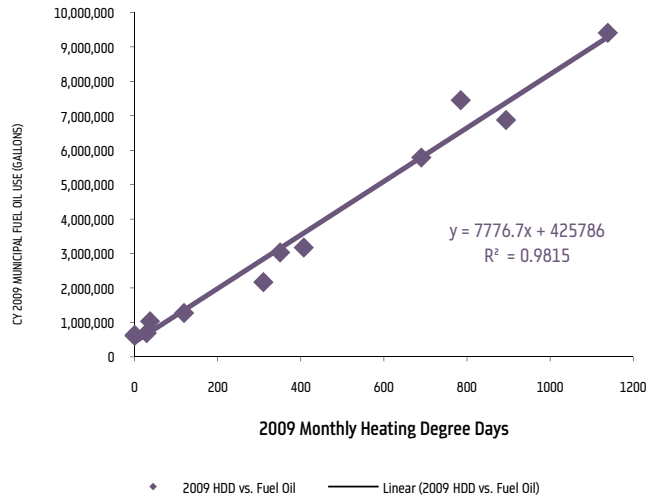


Figure 35: Correlation of Heating Degree Days to Fuel Oil Use



Source: NOAA (CDD and HDD), citywide natural gas consumption, and municipal fuel oil, steam, and electricity consumption

# Steam Emissions Coefficients

| 2005 Steam Emissions Coefficient                          |  |   |                             |                             |                              |                               |  |                             |                             |                              |                               |
|---|--|---|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| To convert metered lbs of steam to Btu                    |  | Steam Fuel Breakdown & Emissions Coefficients |                             |                             |                              |                               | Steam Coefficient per MMBTU Delivered to Buildings |                             |                             |                              |                               |
|   |  |   |                             |                             |                              |                               | divided by fuel mix percentage                     |                             |                             |                              |                               |
| Lbs of steam generated per lb of steam delivered (1/0.85) |  |   | CO <sub>2</sub> (lbs/MMBTU) | CH <sub>4</sub> (lbs/MMBTU) | N <sub>2</sub> O (lbs/MMBTU) | CO <sub>2</sub> e (lbs/MMBTU) | % of mix   | CO <sub>2</sub> (lbs/MMBTU) | CH <sub>4</sub> (lbs/MMBTU) | N <sub>2</sub> O (lbs/MMBTU) | CO <sub>2</sub> e (lbs/MMBTU) |
| 1.1718  |  | Residual fuel Oil                             | 165.57                      | 0.0066                      | 0.0013                       | 166.1161                      | 54.09%   | 89.5600                     | 0.0036                      | 0.0007                       | 89.8570                       |
| 103.5%  |  | Natural gas                                   | 116.89                      | 0.0022                      | 0.0002                       | 117.0037                      | 45.88%   | 53.6321                     | 0.0010                      | 0.0001                       | 53.6847                       |
| 113.2%  |  | Kerosene                                      | 165.79                      | 0.0066                      | 0.0013                       | 166.3366                      | 0.02%  | 0.0402                      | 0.0000                      | 0.0000                       | 0.0403                        |
| 1193  |  | Average                                       | 448.2439                    | 0.0154                      | 0.0029                       | 449.4564                      | 100.0%   | 143.2323                    | 0.0046                      | 0.0008                       | 143.5820                      |
| 18  |  |   |                             |                             |                              |                               | Steam Coefficient per Mlb Delivered to Buildings   |                             |                             |                              |                               |
| 1175  |  |   |                             |                             |                              |                               | CO <sub>2</sub> (lbs/Mlb)                          | CH <sub>4</sub> (lbs/Mlb)   | N <sub>2</sub> O (lbs/Mlb)  | CO <sub>2</sub> e (lbs/Mlb)  |                               |
| 1330.15   |  |   |                             |                             |                              |                               | 190.5205   | 0.0061                      | 0.0011                      | 190.9856                     |                               |

| 2006 STEAM EMISSIONS COEFFICIENT |         |  |  |  |                 |                 |                  |                   |          |
|----------------------------------|---------|--|--|--|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|----------|
|                                  |         | Steam Coefficient per Mlb Delivered to Buildings |  |  | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | CO <sub>2</sub> e |          |
| Steam Generation Efficiency      | 124.6%  |  |  |  | lbs/Mlb         | 155.6953        | 0.0048           | 0.0008            | 156.0589 |
| Total Btu input/lb steam         | 1104.83 |  |  |  |                 |                 |                  |                   |          |

| 2007 STEAM EMISSIONS COEFFICIENT |         |  |  |  |                 |                 |                  |                   |          |
|----------------------------------|---------|--|--|--|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|----------|
|                                  |         | Steam Coefficient per Mlb Delivered to Buildings |  |  | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | CO <sub>2</sub> e |          |
| Steam Generation Efficiency      | 120.3%  |  |  |  | lbs/Mlb         | 161.5285        | 0.0050           | 0.0009            | 161.9076 |
| Total Btu input/lb steam         | 1144.24 |  |  |  |                 |                 |                  |                   |          |

| 2008 Steam Emissions Coefficient                          |  |   |                             |                             |                              |                               |  |                             |                             |                              |                               |
|---|--|---|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| To convert metered lbs of steam to Btu                    |  | Steam Fuel Breakdown & Emissions Coefficients |                             |                             |                              |                               | Steam Coefficient per MMBtu Delivered to Buildings |                             |                             |                              |                               |
|   |  |   |                             |                             |                              |                               | divided by fuel mix percentage                     |                             |                             |                              |                               |
| Lbs of steam generated per lb of steam delivered (1/0.85) |  |   | CO <sub>2</sub> (lbs/MMBTU) | CH <sub>4</sub> (lbs/MMBTU) | N <sub>2</sub> O (lbs/MMBTU) | CO <sub>2</sub> e (lbs/MMBTU) | % of mix   | CO <sub>2</sub> (lbs/MMBTU) | CH <sub>4</sub> (lbs/MMBTU) | N <sub>2</sub> O (lbs/MMBTU) | CO <sub>2</sub> e (lbs/MMBTU) |
| 1.1655  |  | Residual fuel Oil                             | 165.57                      | 0.0066                      | 0.0013                       | 166.1161                      | 42.62%   | 70.5705                     | 0.0028                      | 0.0006                       | 70.8045                       |
| 122.6%  |  | Natural gas                                   | 116.89                      | 0.0022                      | 0.0002                       | 117.0037                      | 57.02%   | 66.6498                     | 0.0013                      | 0.0001                       | 66.7152                       |
| 95.1%   |  | Kerosene                                      | 165.79                      | 0.0066                      | 0.0013                       | 166.3366                      | 0.36%  | 0.5915                      | 0.0000                      | 0.0000                       | 0.5935                        |
| 1193  |  | Average                                       | 448.2439                    | 0.0154                      | 0.0029                       | 449.4564                      | 100.0%   | 137.8118                    | 0.0041                      | 0.0007                       | 138.1132                      |
| 18  |  |   |                             |                             |                              |                               | Steam Coefficient per Mlb Delivered to Buildings   |                             |                             |                              |                               |
| 1175  |  |   |                             |                             |                              |                               | CO <sub>2</sub> (lb/Mlb)                           | CH <sub>4</sub> (lb/Mlb)    | N <sub>2</sub> O (lb/Mlb)   | CO <sub>2</sub> e (lb/Mlb)   |                               |
| 1117.18   |  |   |                             |                             |                              |                               | 153.9608   | 0.0046                      | 0.0008                      | 154.2974                     |                               |

| 2009 STEAM EMISSIONS COEFFICIENT                          |  |   |                             |                             |                              |                               |  |                             |                             |                              |                               |
|---|--|---|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| To convert metered lbs of steam to Btu                    |  | Steam Fuel Breakdown & Emissions Coefficients |                             |                             |                              |                               | Steam Coefficient per MMBTU Delivered to Buildings |                             |                             |                              |                               |
|   |  |   |                             |                             |                              |                               | divided by fuel mix percentage                     |                             |                             |                              |                               |
| Lbs of steam generated per lb of steam delivered (1/0.85) |  |   | CO <sub>2</sub> (lbs/MMBTU) | CH <sub>4</sub> (lbs/MMBTU) | N <sub>2</sub> O (lbs/MMBTU) | CO <sub>2</sub> e (lbs/MMBTU) | % of mix   | CO <sub>2</sub> (lbs/MMBTU) | CH <sub>4</sub> (lbs/MMBTU) | N <sub>2</sub> O (lbs/MMBTU) | CO <sub>2</sub> e (lbs/MMBTU) |
| 1.1612  |  | Residual fuel Oil                             | 165.57                      | 0.0066                      | 0.0013                       | 166.1161                      | 44.82%   | 74.2141                     | 0.0030                      | 0.0006                       | 74.4601                       |
| 114.6%  |  | Natural gas                                   | 116.89                      | 0.0022                      | 0.0002                       | 117.0037                      | 54.60%   | 63.8175                     | 0.0012                      | 0.0001                       | 63.8801                       |
| 101.3%  |  | Kerosene                                      | 165.79                      | 0.0066                      | 0.0013                       | 166.3366                      | 0.58%  | 0.9602                      | 0.0000                      | 0.0000                       | 0.9634                        |
| 1193  |  | Average                                       | 448.2439                    | 0.0154                      | 0.0029                       | 449.4564                      | 100.0%   | 138.9918                    | 0.0042                      | 0.0007                       | 139.3037                      |
| 18  |  |   |                             |                             |                              |                               | Steam Coefficient per Mlb Delivered to Buildings   |                             |                             |                              |                               |
| 1175  |  |   |                             |                             |                              |                               | CO <sub>2</sub> (lbs/Mlb)                          | CH <sub>4</sub> (lbs/Mlb)   | N <sub>2</sub> O (lbs/Mlb)  | CO <sub>2</sub> e (lbs/Mlb)  |                               |
| 1190.70   |  |   |                             |                             |                              |                               | 165.4977   | 0.0050                      | 0.0009                      | 165.8690                     |                               |



# Fuel Emissions Coefficients

| 2009 FUEL EMISSIONS COEFFICIENTS      |        |                           |                 |                  |                   |            |                              |
|---------------------------------------|--------|---------------------------|-----------------|------------------|-------------------|------------|------------------------------|
|                                       | UNIT   | GREENHOUSE GAS (LBS/UNIT) |                 |                  |                   | MMBTU/UNIT | FUEL EFFICIENCY (MILES/UNIT) |
|                                       |        | CO <sub>2</sub>           | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | CO <sub>2</sub> e |            |                              |
| <b>Stationary source</b>              |        |                           |                 |                  |                   |            |                              |
| #2 Distillate Fuel Oil (building)**   | gallon | 22.50144                  | 0.00335         | 0.00018          | 22.62830          | 0.13800    |                              |
| #2 Distillate Fuel Oil (industrial)   | gallon | 22.50144                  | 0.00091         | 0.00018          | 22.57719          | 0.13800    |                              |
| #4 Distillate Fuel Oil (building)**   | gallon | 24.15349                  | 0.00354         | 0.00019          | 24.28771          | 0.14600    |                              |
| #4 Distillate Fuel Oil (industrial)** | gallon | 24.15349                  | 0.00097         | 0.00019          | 24.23364          | 0.14600    |                              |
| #6 Residual Fuel Oil (building)       | gallon | 24.83507                  | 0.00364         | 0.00020          | 24.97297          | 0.15000    |                              |
| #6 Residual Fuel Oil (industrial)**   | gallon | 24.83507                  | 0.00099         | 0.00020          | 24.91742          | 0.15000    |                              |
| Biodiesel (100%)*                     | gallon | 20.83703                  | 0.00031         | 0.00003          | 20.85318          | 0.12800    |                              |
| Kerosene (building)**                 | gallon | 22.38133                  | 0.00327         | 0.00018          | 22.50544          | 0.13500    |                              |
| Kerosene (industrial)                 | gallon | 22.38133                  | 0.00089         | 0.00018          | 22.45544          | 0.13500    |                              |
| Natural Gas (building)**              | therm  | 11.68891                  | 0.00110         | 0.00002          | 11.71889          | 0.10000    |                              |
| Natural Gas (industrial)              | therm  | 11.68891                  | 0.00022         | 0.00002          | 11.70037          | 0.10000    |                              |
| Propane (building)**                  | gallon | 12.33015                  | 0.00221         | 0.00012          | 12.41380          | 0.09100    |                              |
| Propane (industrial)                  | gallon | 12.33015                  | 0.00060         | 0.00012          | 12.38010          | 0.09100    |                              |
| <b>Mobile source</b>                  |        |                           |                 |                  |                   |            |                              |
| <b>On-road</b>                        |        |                           |                 |                  |                   |            |                              |
| Biodiesel (100%), heavy trucks*       | gallon | 20.83368                  | 0.00010         | 0.00009          | 20.86463          | 0.12810    | 12.69033                     |
| Compressed natural gas, bus           | therm  | 11.69707                  | 0.02418         | 0.00215          | 12.87204          | 0.10000    | 5.57860                      |
| Diesel, bus                           | gallon | 22.50920                  | 0.00014         | 0.00013          | 22.55382          | 0.13810    | 12.69033                     |
| Diesel, heavy-duty vehicles           | gallon | 22.50920                  | 0.00010         | 0.00009          | 22.54014          | 0.13810    | 8.79932                      |
| Ethanol (100%), passenger cars*       | gallon | 12.67658                  | 0.00188         | 0.00228          | 13.42417          | 0.08405    | 21.91949                     |
| Gasoline, light trucks                | gallon | 19.35659                  | 0.00116         | 0.00160          | 19.87584          | 0.12500    | 16.71987                     |
| Gasoline, passenger cars              | gallon | 19.35659                  | 0.00134         | 0.00142          | 19.82523          | 0.12500    | 21.91949                     |
| <b>Off-road</b>                       |        |                           |                 |                  |                   |            |                              |
| Aviation gasoline                     | gallon | 18.32041                  | 0.01552         | 0.00024          | 18.72152          | 0.12019    |                              |
| Diesel, locomotives                   | gallon | 22.50920                  | 0.00176         | 0.00057          | 22.72393          | 0.13869    |                              |
| Diesel, ships and boats               | gallon | 22.50920                  | 0.00163         | 0.00057          | 22.72115          | 0.13869    |                              |
| Jet fuel                              | gallon | 21.09824                  | 0.00060         | 0.00068          | 21.32260          | 0.13500    |                              |

\* Per the LGOP, CO<sub>2</sub> from biofuels is considered biogenic and is reported as a Scope 3 source

\*\* Per the LGOP, building usage here is identified as residential, commercial, or institutional

# Heating and Cooling Degree Days

Heating and Cooling Degree Days, Central Park 2005-2009 Using 65 Degrees (°F) Base Temperature

|                       | YEAR | ANNUAL TOTAL | % CHANGE FROM PREVIOUS YEAR |
|-----------------------|------|--------------|-----------------------------|
| <b>Calendar years</b> |      |              |                             |
| Heating degree days   | 2005 | 4733         |                             |
| Heating degree days   | 2006 | 3987         | -15.76%                     |
| Heating degree days   | 2007 | 4705         | 18.01%                      |
| Heating degree days   | 2008 | 4598         | -2.27%                      |
| Heating degree days   | 2009 | 4760         | 3.52%                       |
| Cooling degree days   | 2005 | 1472         |                             |
| Cooling degree days   | 2006 | 1130         | -23.23%                     |
| Cooling degree days   | 2007 | 1212         | 7.26%                       |
| Cooling degree days   | 2008 | 1163         | -4.04%                      |
| Cooling degree days   | 2009 | 876          | -24.68%                     |
| <b>Fiscal years</b>   |      |              |                             |
| Heating degree days   | 2006 | 4261         |                             |
| Heating degree days   | 2007 | 4460         | 4.67%                       |
| Heating degree days   | 2008 | 4470         | 0.22%                       |
| Heating degree days   | 2009 | 4835         | 8.17%                       |
| Cooling degree days   | 2006 | 1435         |                             |
| Cooling degree days   | 2007 | 1177         | -17.98%                     |
| Cooling degree days   | 2008 | 1202         | 2.12%                       |
| Cooling degree days   | 2009 | 1051         | -12.56%                     |

Source: <http://cdo.ncdc.noaa.gov/pls/plclimprod/somdmain.somdwrapper?datasetabbv=DS3220&countryabbv=f&georegionabbv=NAMER>



# Citywide GHG Emissions Summary

|   | UNITS   | 2005           |                    |                      | 2006           |                    |                    | 2007           |                    |                      |
|---|---------|----------------|--------------------|----------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------------|
|   |         | CONSUMED       | MTCO <sub>2e</sub> | MMBTU*               | CONSUMED       | MTCO <sub>2e</sub> | MMBTU*             | CONSUMED       | MTCO <sub>2e</sub> | MMBTU*               |
| <b>Buildings</b>                                |         |                |                    |                      |                |                    |                    |                |                    |                      |
| Distillate fuel oil                             | gallons | 512,776,350    | 5,327,200          | 71,453,829           | 435,814,800    | 4,527,651          | 60,729,470         | 509,887,713    | 5,297,190          | 71,051,306           |
| Electricity                                     | kWh     | 48,341,915,006 | 20,434,297         | 470,054,427          | 47,460,914,019 | 17,950,066         | 444,627,995        | 49,222,433,013 | 18,074,009         | 466,614,596          |
| Natural gas                                     | therms  | 2,451,990,068  | 13,032,381         | 245,199,007          | 2,361,398,806  | 12,550,846         | 236,139,881        | 2,570,616,509  | 14,170,578         | 257,061,651          |
| Residual fuel oil                               | gallons | 234,325,007    | 2,654,094          | 35,148,751           | 199,155,648    | 2,255,747          | 29,873,347         | 233,004,978    | 2,639,143          | 34,950,747           |
| Steam   | mbs     | 25,781,088     | 2,233,406          | 34,292,720           | 25,667,000     | 1,816,893          | 28,357,629         | 25,795,000     | 1,894,386          | 29,515,756           |
| <b>Transportation</b>                           |         |                |                    |                      |                |                    |                    |                |                    |                      |
| CNG - bus                                       | therms  | 2,361,134      | 13,786             | 236,113              | 2,361,134      | 13,786             | 236,113            | 14,593,305     | 85,205             | 1,459,331            |
| Biodiesel B5 - bus                              | gallons |                |                    |                      |                |                    |                    |                |                    |                      |
| Diesel - bus                                    | gallons | 66,395,066     | 679,264            | 9,168,842            | 66,395,066     | 679,238            | 9,168,842          | 66,395,066     | 679,238            | 9,168,842            |
| Diesel - commuter rail                          | gallons | 1,375,601      | 14,179             | 190,783              | 1,400,047      | 14,431             | 194,173            | 1,400,047      | 14,431             | 194,173              |
| Diesel - heavy trucks                           | gallons | 87,453,399     | 893,985            | 12,076,898           | 77,522,803     | 792,596            | 10,705,530         | 82,183,167     | 840,244            | 11,349,104           |
| Diesel - solid waste transport - rail           | gallons | 2,518,771      | 25,962             | 349,330              | 2,944,671      | 30,352             | 408,398            | 3,135,129      | 32,315             | 434,813              |
| Diesel - solid waste transport - truck          | gallons | 10,231,141     | 104,587            | 1,412,872            | 9,499,511      | 97,123             | 1,311,837          | 8,363,139      | 85,505             | 1,154,910            |
| Electricity - subways and commuter rail         | kWh     | 2,728,682,604  | 1,153,424          | 26,268,754           | 2,635,967,148  | 996,942            | 24,694,526         | 2,734,550,607  | 1,004,101          | 25,922,758           |
| Gasoline - light trucks                         | gallons | 94,517,784     | 769,894            | 11,789,723           | 93,634,614     | 763,572            | 11,704,327         | 93,792,861     | 766,580            | 11,724,108           |
| Gasoline - passenger cars                       | gallons | 820,349,005    | 6,696,317          | 102,543,626          | 817,209,572    | 6,664,184          | 102,151,196        | 811,095,080    | 6,629,178          | 101,386,885          |
| <b>Streetslights and traffic signals</b>        |         |                |                    |                      |                |                    |                    |                |                    |                      |
| Electricity                                     | kWh     | 318,925,241    | 134,811            | 3,101,082            | 313,776,281    | 118,672            | 2,939,550          | 313,555,546    | 115,135            | 2,972,417            |
| <b>Fugitive and process emissions</b>           |         |                |                    |                      |                |                    |                    |                |                    |                      |
| CH <sub>4</sub> - landfills                     | MT      | 5,651          | 118,667            |                      | 5,523          | 115,988            |                    | 5,053          | 106,114            |                      |
| CH <sub>4</sub> - natural gas distribution      | therms  | 37,520,844     | 70,056             |                      | 36,134,599     | 67,468             |                    | 39,014,319     | 72,844             |                      |
| CH <sub>4</sub> - wastewater treatment plants   | MT      | 6,545          | 137,444            |                      | 6,545          | 259,295            |                    | 12,347         | 259,295            |                      |
| HFCs - municipal fleet                          | MT      | 10             | 12,622             |                      | 9              | 11,200             |                    | 9              | 11,378             |                      |
| N <sub>2</sub> O - wastewater treatment process | MT      | 285            | 88,361             |                      | 275            | 85,294             |                    | 279            | 86,624             |                      |
| SF <sub>6</sub> - electricity distribution      | pounds  | 187,952        | 2,037,561          |                      | 137,149        | 1,486,813          |                    | 96,551         | 1,046,696          |                      |
| <b>Total Scope 1</b>                            |         |                | <b>32,676,360</b>  | <b>489,569,773</b>   |                | <b>30,415,583</b>  | <b>462,623,115</b> |                | <b>32,822,558</b>  | <b>499,935,869</b>   |
| <b>Total Scope 2</b>                            |         |                | <b>23,955,937</b>  | <b>533,716,984</b>   |                | <b>20,882,573</b>  | <b>500,619,700</b> |                | <b>21,087,630</b>  | <b>525,025,527</b>   |
| <b>TOTAL Scope 1 and 2</b>                      |         |                | <b>56,632,297</b>  | <b>1,023,286,757</b> |                | <b>51,298,156</b>  | <b>963,242,815</b> |                | <b>53,910,188</b>  | <b>1,024,961,396</b> |
| <b>Scope 3</b>                                  |         |                |                    |                      |                |                    |                    |                |                    |                      |
| Biogenic CO <sub>2</sub> from fuel              | MT      |                | 524,391            |                      |                | 509,295            |                    |                | 495,965            |                      |
| Exported solid waste landfill gas               | MT      |                | 2,699,120          |                      |                | 2,702,362          |                    |                | 2,691,282          |                      |
| Aviation emissions                              | MT      |                | 14,345,894         |                      |                | 14,146,259         |                    |                | 15,733,804         |                      |
| <b>TOTAL Scope 3</b>                            |         |                | <b>17,569,405</b>  |                      |                | <b>17,357,916</b>  |                    |                | <b>18,921,051</b>  |                      |

\* All MMBTU figures represent source MMBTU

|   | UNITS   | 2008           |                    |                      | 2009           |                    |                      | % CHANGE 2008 - 2009 |                    |               | % CHANGE 2005 - 2009 |                    |               |
|---|---------|----------------|--------------------|----------------------|----------------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------|----------------------|--------------------|---------------|
|   |         | CONSUMED       | MTCO <sub>2e</sub> | MMBTU*               | CONSUMED       | MTCO <sub>2e</sub> | MMBTU*               | CONSUMED             | MTCO <sub>2e</sub> | MMBTU*        | CONSUMED             | MTCO <sub>2e</sub> | MMBTU*        |
| <b>Buildings</b>                                |         |                |                    |                      |                |                    |                      |                      |                    |               |                      |                    |               |
| Distillate fuel oil                             | gallons | 498,848,992    | 5,182,509          | 69,513,094           | 515,562,545    | 5,356,146          | 71,842,081           | 3.35%                | 3.35%              | 3.35%         | 0.54%                | 0.54%              | 0.54%         |
| Electricity                                     | kWh     | 48,567,357,167 | 16,884,650         | 475,241,516          | 47,446,592,025 | 14,898,124         | 456,763,594          | -2.31%               | -11.77%            | -3.89%        | -1.85%               | -27.09%            | -2.83%        |
| Natural gas                                     | therms  | 2,578,412,147  | 13,704,880         | 257,841,215          | 2,568,278,563  | 13,651,161         | 256,827,856          | -0.39%               | -0.39%             | -0.39%        | 4.74%                | 4.75%              | 4.74%         |
| Residual fuel oil                               | gallons | 227,960,579    | 2,582,007          | 34,194,087           | 235,597,893    | 2,668,512          | 35,339,684           | 3.35%                | 3.35%              | 3.35%         | 0.54%                | 0.54%              | 0.54%         |
| Steam   | mlbs    | 23,833,964     | 1,668,095          | 26,626,859           | 22,758,555     | 1,712,283          | 27,098,628           | -4.51%               | 2.65%              | 1.77%         | -11.72%              | -23.33%            | -20.98%       |
| <b>Transportation</b>                           |         |                |                    |                      |                |                    |                      |                      |                    |               |                      |                    |               |
| CNG - bus                                       | therms  | 15,128,859     | 88,332             | 1,512,886            | 14,565,515     | 85,043             | 1,456,552            | -3.72%               | -3.72%             | -3.72%        | 516.89%              | 516.89%            | 516.89%       |
| Biodiesel B5 - bus                              | gallons | 3,722,965      | 36,184             | 514,124              | 14,497,125     | 140,898            | 2,001,984            | 289.40%              | 289.40%            | 289.40%       |                      |                    |               |
| Diesel - bus                                    | gallons | 51,074,334     | 522,505            | 7,053,122            | 35,220,954     | 360,319            | 4,863,846            | -31.04%              | -31.04%            | -31.04%       | -46.95%              | -46.95%            | 46.95%        |
| Diesel - commuter rail                          | gallons | 1,408,756      | 14,521             | 195,381              | 1,364,645      | 14,066             | 189,263              | -3.13%               | -3.13%             | -3.13%        | -0.80%               | -0.80%             | -0.80%        |
| Diesel - heavy trucks                           | gallons | 79,644,242     | 814,259            | 10,998,491           | 78,167,643     | 799,189            | 10,794,579           | -1.85%               | -1.85%             | -1.85%        | -10.62%              | -10.60%            | -10.62%       |
| Diesel - solid waste transport - rail           | gallons | 3,357,812      | 34,610             | 465,697              | 3,500,510      | 36,081             | 485,487              | 4.25%                | 4.25%              | 4.25%         | 38.98%               | 38.98%             | 38.98%        |
| Diesel - solid waste transport - truck          | gallons | 5,500,496      | 56,235             | 759,592              | 5,412,994      | 55,343             | 747,509              | -1.59%               | -1.59%             | -1.59%        | -47.09%              | -47.08%            | -47.09%       |
| Electricity - subways and commuter rail         | kWh     | 2,877,865,744  | 1,000,502          | 28,160,505           | 2,914,932,407  | 915,282            | 28,061,763           | 1.29%                | -8.52%             | -0.35%        | 6.83%                | -20.65%            | 6.83%         |
| Gasoline - light trucks                         | gallons | 93,301,328     | 763,428            | 11,662,666           | 93,958,574     | 765,070            | 11,744,822           | 0.70%                | 0.22%              | 0.70%         | -0.38%               | -0.63%             | -0.38%        |
| Gasoline - passenger cars                       | gallons | 833,181,235    | 6,817,413          | 104,147,654          | 837,671,018    | 6,820,843          | 104,708,877          | 0.54%                | 0.05%              | 0.54%         | 2.11%                | 1.86%              | 2.11%         |
| <b>Streetslights and traffic signals</b>        |         |                |                    |                      |                |                    |                      |                      |                    |               |                      |                    |               |
| Electricity                                     | kWh     | 312,580,297    | 108,670            | 3,058,662            | 271,592,667    | 85,279             | 2,614,595            | -13.11%              | -21.52%            | -14.52%       | -14.84%              | -36.74%            |               |
| <b>Fugitive and process emissions</b>           |         |                |                    |                      |                |                    |                      |                      |                    |               |                      |                    |               |
| CH <sub>4</sub> - landfills                     | MT      | 5,026          | 105,548            |                      | 4,869          | 102,241            |                      | -3.13%               | -3.13%             |               | -13.84%              | -13.84%            |               |
| CH <sub>4</sub> - natural gas distribution      | therms  | 39,579,572     | 73,420             |                      | 39,853,812     | 73,929             |                      | 0.69%                | 0.69%              |               | 6.22%                | 5.53%              |               |
| CH <sub>4</sub> - wastewater treatment plants   | MT      | 12,002         | 252,035            |                      | 10,808         | 227,121            |                      | -9.94%               | -9.88%             |               | 65.14%               | 65.25%             |               |
| HFCs - municipal fleet                          | MT      | 9              | 11,580             |                      | 9              | 11,354             |                      | 0.40%                | -1.95%             |               | -7.06%               | -10.04%            |               |
| N <sub>2</sub> O - wastewater treatment process | MT      | 277            | 85,983             |                      | 282            | 87,276             |                      | 1.50%                | 1.50%              |               | -1.20%               | -1.20%             |               |
| SF <sub>6</sub> - electricity distribution      | pounds  | 59,457         | 644,565            |                      | 40,254         | 436,387            |                      | -32.30%              | -32.30%            |               | -78.58%              | -78.58%            |               |
| <b>Total Scope 1</b>                            |         |                | <b>31,790,013</b>  | <b>498,858,008</b>   |                | <b>31,690,978</b>  | <b>501,002,541</b>   |                      | <b>-0.31%</b>      | <b>0.43%</b>  |                      | <b>-3.02%</b>      | <b>2.34%</b>  |
| <b>Total Scope 2</b>                            |         |                | <b>19,661,917</b>  | <b>533,087,542</b>   |                | <b>17,610,970</b>  | <b>514,538,580</b>   |                      | <b>-10.43%</b>     | <b>-3.48%</b> |                      | <b>-26.49%</b>     | <b>-3.59%</b> |
| <b>TOTAL Scope 1 and 2</b>                      |         |                | <b>51,451,929</b>  | <b>1,031,945,550</b> |                | <b>49,301,948</b>  | <b>1,015,541,121</b> |                      | <b>-4.18%</b>      | <b>-1.59%</b> |                      | <b>-12.94%</b>     | <b>-0.76%</b> |
| <b>Scope 3</b>                                  |         |                |                    |                      |                |                    |                      |                      |                    |               |                      |                    |               |
| Biogenic CO <sub>2</sub> from fuel              | MT      |                | 500,922            |                      |                | 515,616            |                      |                      | 2.93%              |               |                      | -1.67%             |               |
| Exported solid waste landfill gas               | MT      |                | 2,687,027          |                      |                | 2,654,098          |                      |                      | -1.23%             |               |                      | -1.67%             |               |
| Aviation emissions                              | MT      |                | 14,343,938         |                      |                | 14,179,668         |                      |                      | -1.15%             |               |                      | -1.16%             |               |
| <b>TOTAL Scope 3</b>                            |         |                | <b>17,531,886</b>  |                      |                | <b>17,349,382</b>  |                      |                      | <b>-1.04%</b>      |               |                      | <b>-1.25%</b>      |               |

\* All MMBTU figures represent source MMBTU

# Municipal GHG Emissions Summary

|   | UNITS   | FY 2006       |                     |                   | FY 2007       |                     |                   | FY 2008       |                     |                   | FY 2009       |                     |                   |
|---|---------|---------------|---------------------|-------------------|---------------|---------------------|-------------------|---------------|---------------------|-------------------|---------------|---------------------|-------------------|
|   |         | CONSUMED      | MTCO <sub>2</sub> e | MMBTU*            | CONSUMED      | MTCO <sub>2</sub> e | MMBTU*            | CONSUMED      | MTCO <sub>2</sub> e | MMBTU*            | CONSUMED      | MTCO <sub>2</sub> e | MMBTU*            |
| <b>Buildings</b>                            |         |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |
| Distillate fuel oil                         | gallons | 22,508,188    | 236,948             | 3,169,089         | 23,981,074    | 252,454             | 3,376,467         | 22,069,094    | 232,036             | 3,104,180         | 22,603,586    | 238,388             | 3,189,473         |
| Electricity                                 | kWh     | 3,087,522,959 | 1,167,724           | 30,021,646        | 3,254,020,244 | 1,194,845           | 30,847,182        | 3,300,869,846 | 1,147,562           | 32,299,686        | 3,305,071,569 | 1,037,785           | 31,817,593        |
| Natural Gas                                 | therms  | 103,772,646   | 551,614             | 10,377,265        | 108,142,419   | 574,842             | 10,814,242        | 107,575,157   | 571,827             | 10,757,516        | 110,907,681   | 589,541             | 11,090,768        |
| Propane                                     | gallons | 0             | 0                   | 0                 | 27,956        | 157                 | 2,544             | 0             | 0                   | 0                 | 0             | 0                   | 0                 |
| Residual fuel oil                           | gallons | 20,328,026    | 230,267             | 3,049,204         | 18,768,141    | 212,597             | 2,815,221         | 20,453,024    | 231,683             | 3,067,954         | 20,690,429    | 234,372             | 3,103,564         |
| Steam                                       | Mlbs    | 1,813,855     | 128,398             | 2,003,998         | 1,881,702     | 138,192             | 2,153,124         | 1,900,890     | 133,040             | 2,123,639         | 1,905,860     | 143,391             | 2,129,192         |
| <b>Streetlights and traffic signals</b>     |         |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |
| Electricity                                 | kWh     | 306,246,001   | 115,824             | 2,977,794         | 305,782,427   | 112,180             | 2,898,730         | 304,843,185   | 105,980             | 2,982,953         | 264,800,723   | 83,147              | 2,549,210         |
| <b>Wastewater treatment</b>                 |         |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |
| Distillate fuel oil                         | gallons | 4,447,923     | 45,668              | 615,061           | 4,920,953     | 50,524              | 680,472           | 4,866,711     | 49,967              | 672,971           | 4,774,272     | 49,042              | 660,441           |
| Electricity                                 | kWh     | 587,886,001   | 222,343             | 5,716,332         | 601,576,209   | 220,893             | 5,702,771         | 601,624,495   | 209,157             | 5,887,019         | 632,689,781   | 198,663             | 6,090,841         |
| Methane                                     | MT      |               | 148,426             |                   |               | 194,772             |                   |               | 245,974             |                   |               | 251,785             |                   |
| Natural Gas                                 | therms  | 3,677,037     | 19,515              | 367,704           | 5,657,225     | 30,024              | 565,723           | 7,339,970     | 38,955              | 733,997           | 7,784,567     | 41,314              | 778,457           |
| Nitrous oxide                               | MT      | 268           | 83,134              |                   | 277           | 85,808              |                   | 283           | 87,790              |                   | 288           | 89,138              |                   |
| Propane                                     | gallons |               |                     |                   | 481           | 3                   | 44                | 817           | 5                   | 74                | 0             | 0                   | 0                 |
| Steam                                       | Mlbs    | 2,822         | 200                 | 3,118             | 3,262         | 240                 | 3,733             | 5,024         | 352                 | 5,613             | 5,024         | 378                 | 5,613             |
| <b>Water supply</b>                         |         |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |
| Distillate fuel oil                         | gallons | 139,367       | 1,427               | 20,348            | 154,189       | 1,579               | 22,512            | 233,216       | 2,388               | 34,049            | 195,704       | 1,960               | 27,007            |
| Electricity                                 | kWh     | 62,132,608    | 23,499              | 604,149           | 65,428,474    | 24,025              | 620,243           | 68,332,051    | 23,756              | 668,643           | 65,911,585    | 20,696              | 634,524           |
| Kerosene                                    | gallons | 0             | 0                   | 0                 | 15,841        | 161                 | 2,139             | 21,176        | 216                 | 2,859             | 17,136        | 175                 | 2,313             |
| Natural Gas                                 | therms  | 502,343       | 2,666               | 50,234            | 509,724       | 2,705               | 50,972            | 647,374       | 3,436               | 64,737            | 688,428       | 3,654               | 68,843            |
| Propane                                     | gallons | 1,079,769     | 6,063               | 98,259            | 1,171,819     | 6,580               | 106,636           | 1,302,280     | 7,313               | 118,507           | 1,364,044     | 7,660               | 124,128           |
| Steam                                       | Mlbs    | 3,720         | 263                 | 4,110             | 3,850         | 283                 | 4,405             | 4,426         | 310                 | 4,945             | 4,417         | 332                 | 4,935             |
| <b>Transportation</b>                       |         |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |
| Diesel and biodiesel - trucks               | gallons | 15,216,757    | 156,185             | 2,101,362         | 15,452,221    | 158,602             | 2,133,878         | 15,577,983    | 159,270             | 2,151,245         | 16,021,840    | 157,459             | 2,212,472         |
| Diesel - marine vessels                     | gallons | 4,265,000     | 43,956              | 588,570           | 4,348,900     | 44,820              | 600,148           | 4,481,941     | 46,192              | 618,508           | 4,679,855     | 48,231              | 645,820           |
| Diesel - solid waste transport, rail        | gallons | 2,731,721     | 28,157              | 378,864           | 3,157,621     | 32,547              | 437,932           | 3,112,658     | 32,083              | 431,693           | 3,341,728     | 34,445              | 463,466           |
| Diesel - solid waste transport, truck       | gallons | 9,865,326     | 100,863             | 1,362,355         | 9,133,696     | 93,376              | 1,261,320         | 7,592,582     | 77,624              | 1,048,499         | 5,469,819     | 55,924              | 755,356           |
| Ethanol (E85)                               | gallons | 123,000       | 281                 | 11,093            | 82,515        | 189                 | 7,442             | 76,340        | 175                 | 6,885             | 83,642        | 160                 | 7,863             |
| Gasoline                                    | gallons | 15,170,768    | 123,534             | 1,835,931         | 15,548,762    | 129,792             | 1,882,899         | 15,801,166    | 129,105             | 1,914,513         | 15,471,631    | 125,936             | 1,871,722         |
| Jet fuel                                    | gallons | 227,126       | 2,197               | 30,662            | 261,864       | 2,533               | 35,352            | 233,303       | 2,256               | 31,496            | 217,587       | 2,104               | 29,374            |
| <b>Solid waste facilities</b>               |         |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |
| Methane                                     | MT      |               | 119,499             |                   |               | 110,542             |                   |               | 105,576             |                   |               | 102,548             |                   |
| <b>Other fugitive and process emissions</b> |         |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |
| HFCs - municipal fleet                      | MT      |               | 11,370              |                   |               | 11,563              |                   |               | 11,685              |                   |               | 11,354              |                   |
| <b>Total Scope 1</b>                        |         |               | <b>1,911,770</b>    | <b>24,055,999</b> |               | <b>1,996,171</b>    | <b>24,795,941</b> |               | <b>2,035,554</b>    | <b>24,759,685</b> |               | <b>2,045,189</b>    | <b>25,031,068</b> |
| <b>Total Scope 2</b>                        |         |               | <b>1,658,251</b>    | <b>41,331,146</b> |               | <b>1,690,758</b>    | <b>42,230,188</b> |               | <b>1,620,156</b>    | <b>43,972,497</b> |               | <b>1,484,393</b>    | <b>43,231,908</b> |
| <b>TOTAL Scope 1 and 2</b>                  |         |               | <b>3,570,021</b>    | <b>65,387,146</b> |               | <b>3,686,929</b>    | <b>67,026,129</b> |               | <b>3,655,710</b>    | <b>68,732,182</b> |               | <b>3,529,581</b>    | <b>68,262,975</b> |
| <b>Scope 3</b>                              |         |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |               |                     |                   |
| Employee commute                            | MT      |               | 224,207             |                   |               | 223,248             |                   |               | 237,830             |                   |               | 228,868             |                   |
| Biogenic CO <sub>2</sub> e from fuel        | MT      |               | 13,625              |                   |               | 13,746              |                   |               | 20,940              |                   |               | 15,239              |                   |
| Employee solid waste                        | MT      |               | 174,178             |                   |               | 176,400             |                   |               | 179,015             |                   |               | 177,192             |                   |
| <b>TOTAL Scope 3</b>                        |         |               | <b>412,010</b>      |                   |               | <b>413,394</b>      |                   |               | <b>437,785</b>      |                   |               | <b>429,070</b>      |                   |

\* All MMBTU figures represent source MMBTU

|   | UNITS   | CY 2008       |                     |                   | CY 2009       |                     |                   | % CHANGE FY 2008 - 2009 |                     |               | % CHANGE FY 2006 - 2009 |                     |              | % CHANGE CY 2008 - 2009 |                     |               |
|---|---------|---------------|---------------------|-------------------|---------------|---------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|---------------|-------------------------|---------------------|--------------|-------------------------|---------------------|---------------|
|   |         | CONSUMED      | MTCO <sub>2</sub> e | MMBTU*            | CONSUMED      | MTCO <sub>2</sub> e | MMBTU*            | CONSUMED                | MTCO <sub>2</sub> e | MMBTU*        | CONSUMED                | MTCO <sub>2</sub> e | MMBTU*       | CONSUMED                | MTCO <sub>2</sub> e | MMBTU*        |
| <b>Buildings</b>                            |         |               |                     |                   |               |                     |                   |                         |                     |               |                         |                     |              |                         |                     |               |
| Distillate fuel oil                         | gallons | 22,312,339    | 234,593             | 3,138,395         | 21,105,574    | 223,014             | 2,980,984         | 2.42%                   | 2.74%               | 2.75%         | 0.42%                   | 0.61%               | 0.64%        | -5.41%                  | -4.94%              | -5.02%        |
| Electricity                                 | kWh     | 3,303,755,994 | 1,148,565           | 32,327,928        | 3,285,182,375 | 1,031,540           | 31,626,122        | 0.13%                   | -9.57%              | -1.49%        | 7.05%                   | -11.13%             | 5.98%        | -0.56%                  | -10.19%             | -2.17%        |
| Natural Gas                                 | therms  | 102,609,982   | 545,434             | 10,260,998        | 108,353,726   | 575,965             | 10,835,373        | 3.10%                   | 3.10%               | 3.10%         | 6.88%                   | 6.88%               | 6.88%        | 5.60%                   | 5.60%               | 5.60%         |
| Propane                                     | gallons | 0             | 0                   | 0                 | 0             | 0                   | 0                 |                         |                     |               |                         |                     |              |                         |                     |               |
| Residual fuel oil                           | gallons | 20,614,802    | 233,515             | 3,092,220         | 20,999,247    | 237,870             | 3,149,887         | 1.16%                   | 1.16%               | 1.16%         | 1.78%                   | 1.78%               | 1.78%        | 1.86%                   | 1.86%               | 1.86%         |
| Steam                                       | Mlbs    | 1,864,991     | 130,527             | 2,083,534         | 1,865,498     | 140,354             | 2,084,100         | 0.26%                   | 7.78%               | 0.26%         | 5.07%                   | 11.68%              | 6.25%        | 0.03%                   | 7.53%               | 0.03%         |
| <b>Streetlights and traffic signals</b>     |         |               |                     |                   |               |                     |                   |                         |                     |               |                         |                     |              |                         |                     |               |
| Electricity                                 | kWh     | 305,529,815   | 106,219             | 2,989,672         | 264,806,834   | 83,149              | 2,549,269         | -13.14%                 | -21.54%             | -14.54%       | -13.53%                 | -28.21%             | -14.39%      | -13.33%                 | -21.72%             | -14.73%       |
| <b>Wastewater treatment</b>                 |         |               |                     |                   |               |                     |                   |                         |                     |               |                         |                     |              |                         |                     |               |
| Distillate fuel oil                         | gallons | 4,492,773     | 46,128              | 621,263           | 5,011,692     | 51,531              | 693,823           | -1.90%                  | -1.85%              | -1.86%        | 7.34%                   | 7.39%               | 7.38%        | 11.55%                  | 11.71%              | 11.68%        |
| Electricity                                 | kWh     | 607,198,511   | 211,095             | 5,941,562         | 655,766,070   | 205,909             | 6,312,994         | 5.16%                   | -5.02%              | 3.46%         | 7.62%                   | -10.65%             | 6.55%        | 8.00%                   | -2.46%              | 6.25%         |
| Methane                                     | MT      |               | 252,035             |                   |               | 227,121             |                   |                         | 2.36%               |               |                         | 69.64%              |              |                         |                     | -9.88%        |
| Natural Gas                                 | therms  | 7,150,481     | 37,949              | 715,048           | 6,598,620     | 35,020              | 659,862           | 6.06%                   | 6.06%               | 6.06%         | 111.71%                 | 111.71%             | 111.71%      | -7.72%                  | -7.72%              | -7.72%        |
| Nitrous oxide                               | MT      | 277           | 85,983              |                   | 282           | 87,276              |                   | 1.54%                   | 1.54%               |               | 7.22%                   | 7.22%               |              | 1.50%                   | 1.50%               |               |
| Propane                                     | gallons | 471           | 3                   | 43                | 0             | 0                   | 0                 | -100.00%                | -100.00%            | -100.00%      |                         |                     |              | -100.00%                | -100.00%            | -100.00%      |
| Steam                                       | Mlbs    | 4,945         | 346                 | 5,524             | 2,977         | 224                 | 3,326             | 0.00%                   | 7.50%               | 0.00%         | 78.03%                  | 89.22%              | 80.02%       | -39.80%                 | -35.28%             | -39.80%       |
| <b>Water supply</b>                         |         |               |                     |                   |               |                     |                   |                         |                     |               |                         |                     |              |                         |                     |               |
| Distillate fuel oil                         | gallons | 199,776       | 2,201               | 29,167            | 218,418       | 2,202               | 30,142            | -16.08%                 | -17.92%             | -20.68%       | 40.42%                  | 37.36%              | 32.73%       | 9.33%                   | 0.03%               | 3.34%         |
| Electricity                                 | kWh     | 66,804,052    | 23,225              | 653,691           | 65,985,537    | 20,719              | 635,236           | -3.54%                  | -12.88%             | -5.10%        | 6.08%                   | -11.93%             | 5.03%        | -1.23%                  | -10.79%             | -2.82%        |
| Kerosene                                    | gallons | 24,386        | 248                 | 3,292             | 12,813        | 131                 | 1,730             | -19.08%                 | -19.08%             | -19.08%       |                         |                     |              | -47.46%                 | -47.46%             | -47.46%       |
| Natural Gas                                 | therms  | 713,863       | 3,789               | 71,386            | 717,401       | 3,807               | 71,740            | 6.34%                   | 6.34%               | 6.34%         | 37.04%                  | 37.04%              | 37.04%       | 0.50%                   | 0.50%               | 0.50%         |
| Propane                                     | gallons | 1,178,524     | 6,618               | 107,246           | 1,302,483     | 7,314               | 118,526           | 4.74%                   | 4.74%               | 4.74%         | 26.33%                  | 26.33%              | 26.33%       | 10.52%                  | 10.52%              | 10.52%        |
| Steam                                       | Mlbs    | 4,241         | 297                 | 4,738             | 5,026         | 378                 | 5,615             | -0.20%                  | 7.28%               | -0.20%        | 18.74%                  | 26.20%              | 20.06%       | 18.51%                  | 27.40%              | 18.51%        |
| <b>Transportation</b>                       |         |               |                     |                   |               |                     |                   |                         |                     |               |                         |                     |              |                         |                     |               |
| Diesel and biodiesel - trucks               | gallons | 16,802,382    | 171,788             | 2,330,330         | 16,752,563    | 164,933             | 2,313,869         | 2.85%                   | -1.14%              | 2.85%         | 5.29%                   | 0.82%               | 5.29%        | -0.30%                  | -3.99%              | -0.71%        |
| Diesel - marine vessels                     | gallons | 4,333,623     | 44,663              | 601,032           | 4,354,231     | 44,875              | 603,890           | 4.42%                   | 4.42%               | 4.42%         | 9.73%                   | 9.73%               | 9.73%        | 0.48%                   | 0.48%               | 0.48%         |
| Diesel - solid waste transport, rail        | gallons | 3,135,129     | 32,315              | 434,813           | 3,500,510     | 36,081              | 485,487           | 7.36%                   | 7.36%               | 7.36%         | 22.33%                  | 22.33%              | 22.33%       | 11.65%                  | 11.65%              | 11.65%        |
| Diesel - solid waste transport, truck       | gallons | 8,363,139     | 85,502              | 1,154,910         | 5,412,994     | 55,343              | 747,509           | -27.96%                 | -27.96%             | -27.96%       | -44.56%                 | -44.56%             | -44.56%      | -35.28%                 | -35.27%             | -35.28%       |
| Ethanol (E85)                               | gallons | 94,389        | 216                 | 11,373            | 61,701        | 142                 | 6,083             | 9.57%                   | -8.39%              | 14.21%        | -32.00%                 | -43.14%             | -29.12%      | -34.63%                 | -34.10%             | -46.51%       |
| Gasoline                                    | gallons | 15,297,459    | 125,170             | 2,032,653         | 14,959,893    | 121,939             | 1,809,813         | -2.09%                  | -2.45%              | -2.24%        | 1.98%                   | -2.97%              | 1.95%        | -2.21%                  | -2.58%              | -10.96%       |
| Jet fuel                                    | gallons | 228,414       | 2,209               | 30,836            | 214,693       | 2,076               | 28,984            | -6.74%                  | -6.74%              | -6.74%        | -4.20%                  | -4.20%              | -4.20%       | -6.01%                  | -6.01%              | -6.01%        |
| <b>Solid waste facilities</b>               |         |               |                     |                   |               |                     |                   |                         |                     |               |                         |                     |              |                         |                     |               |
| Methane                                     | MT      |               | 105,548             |                   |               | 102,241             |                   |                         | -2.87%              |               |                         | -14.19%             |              |                         |                     | -3.13%        |
| <b>Other fugitive and process emissions</b> |         |               |                     |                   |               |                     |                   |                         |                     |               |                         |                     |              |                         |                     |               |
| HFCs - municipal fleet                      | MT      |               | 11,580              |                   |               | 11,354              |                   |                         | -2.83%              |               |                         | -0.13%              |              |                         |                     | -1.95%        |
| <b>Total Scope 1</b>                        |         |               | <b>2,027,486</b>    | <b>24,635,005</b> |               | <b>1,990,238</b>    | <b>24,537,702</b> |                         | <b>0.47%</b>        | <b>1.10%</b>  |                         | <b>6.98%</b>        | <b>4.05%</b> |                         | <b>-1.84%</b>       | <b>-0.39%</b> |
| <b>Total Scope 2</b>                        |         |               | <b>1,620,274</b>    | <b>44,006,648</b> |               | <b>1,482,274</b>    | <b>43,216,662</b> |                         | <b>-8.38%</b>       | <b>-1.68%</b> |                         | <b>-10.48%</b>      | <b>4.60%</b> |                         | <b>-8.52%</b>       | <b>-1.8%</b>  |
| <b>TOTAL Scope 1 and 2</b>                  |         |               | <b>3,647,759</b>    | <b>68,641,653</b> |               | <b>3,472,512</b>    | <b>67,754,364</b> |                         | <b>-3.45%</b>       | <b>-0.68%</b> |                         | <b>-1.13%</b>       | <b>4.40%</b> |                         | <b>-4.80%</b>       | <b>-1.29%</b> |
| <b>Scope 3</b>                              |         |               |                     |                   |               |                     |                   |                         |                     |               |                         |                     |              |                         |                     |               |
| Employee commute                            | MT      |               | 234,365             |                   |               | 230,774             |                   |                         | -3.77%              |               |                         | 2.08%               |              |                         |                     | -1.53%        |
| Biogenic CO <sub>2</sub> e from fuel        | MT      |               | 22,445              |                   |               | 20,238              |                   |                         | -27.23%             |               |                         | 11.84%              |              |                         |                     | -9.83%        |
| Employee solid waste                        | MT      |               | 176,856             |                   |               | 178,741             |                   |                         | -1.02%              |               |                         | 1.73%               |              |                         |                     | 1.07%         |
| <b>TOTAL Scope 3</b>                        |         |               | <b>433,666</b>      |                   |               | <b>429,753</b>      |                   |                         | <b>-3.77%</b>       |               |                         | <b>2.25%</b>        |              |                         |                     | <b>-0.90%</b> |

\* All MMBTU figures represent source MMBTU

# Figures and Tables

| Figure   | Page |
|--|------|
| Figure 1: Per Capita Greenhouse Gas Emissions for U.S. and International Cities.....                       | 6    |
| Figure 2: 2009 Citywide CO <sub>2</sub> e Emissions by Sector.....   | 6    |
| Figure 3: Percentage of Commuters Using Sustainable Transport.....   | 7    |
| Figure 4: Percentage of Households Without Cars.....   | 7    |
| Figure 5: Percentage of Commuters Walking to Work.....   | 7    |
| Figure 6: Annual Electricity Consumed Per Capita, MWh.....   | 7    |
| Figure 7: Annual Residential Electricity Consumed Per Capita, MWh.....                                     | 7    |
| Figure 8: 2008 to 2009 Changes in New York City's Citywide Greenhouse Gas Footprint.....                   | 12   |
| Figure 9: FY 2008 to FY 2009 Changes in New York City's Municipal Greenhouse Gas Footprint.....            | 12   |
| Figure 10: 2009 Electricity Generation Fuel Mix for NYC Consumption.....                                   | 17   |
| Figure 11: 2009 Citywide CO <sub>2</sub> e Emissions by Sector.....  | 23   |
| Figure 12: 2009 Citywide CO <sub>2</sub> e Emissions by Source.....  | 23   |
| Figure 13: 2005 to 2009 Citywide CO <sub>2</sub> e Emissions by Sector.....                                | 23   |
| Figure 14: 2005 to 2006 Citywide CO <sub>2</sub> e Emissions by Source.....                                | 23   |
| Figure 15: 2005 to 2009 Changes in New York City's Citywide Greenhouse Gas Footprint.....                  | 24   |
| Figure 16: 2009 Citywide CO <sub>2</sub> e Emissions by Sector.....  | 25   |
| Figure 17: 2009 Citywide CO <sub>2</sub> e Emissions by Source.....  | 25   |
| Figure 18: 2009 Citywide CO <sub>2</sub> e Transportation Emissions by Mode.....                           | 25   |
| Figure 19: 2009 Citywide CO <sub>2</sub> e Transportation Emissions by Source.....                         | 25   |
| Figure 20: FY 2009 Municipal CO <sub>2</sub> e Emissions by Sector.....                                    | 29   |
| Figure 21: FY 2009 Municipal CO <sub>2</sub> e Emissions by Source.....                                    | 29   |
| Figure 22: FY 2005 to 2009 Municipal CO <sub>2</sub> e Emissions by Sector.....                            | 29   |
| Figure 23: FY 2005 to 2009 Municipal CO <sub>2</sub> e Emissions by Source.....                            | 29   |
| Figure 24: FY 2007 to FY 2009 Changes in New York City's Municipal Greenhouse Gas Footprint.....           | 30   |
| Figure 25: FY 2009 Municipal Buildings CO <sub>2</sub> e Emissions by Agency.....                          | 31   |
| Figure 26: FY 2009 Municipal Vehicle CO <sub>2</sub> e Emissions by Agency.....                            | 31   |
| Figure 27: FY 2009 Municipal Buildings CO <sub>2</sub> e Emissions by Source.....                          | 31   |
| Figure 28: FY 2009 Municipal Vehicle CO <sub>2</sub> e Emissions by Source.....                            | 31   |
| Figure 29: FY 2009 Municipal Wastewater CO <sub>2</sub> e Emissions by Source.....                         | 32   |
| Figure 30: FY 2009 Municipal Water Supply CO <sub>2</sub> e Emissions by Source.....                       | 32   |
| Figure 31: FY 2009 New York City CO <sub>2</sub> e Emissions from Transport of Solid Waste.....            | 32   |
| Figure 32: FY 2009 New York City CO <sub>2</sub> e Emissions from Streetlights and Traffic Signals.....    | 32   |
| Figure 33: Correlation of Cooling and Heating Degree Days to Steam Use.....                                | 39   |
| Figure 34: Correlation of Cooling Degree Days to Electricity Use.....                                      | 39   |
| Figure 35: Correlation of Heating Degree Days to Natural Gas Use.....                                      | 39   |
| Figure 36: Correlation of Heating Degree Days to Fuel Oil Use.....   | 39   |
| <br>   |      |
| Table  |      |
| Table 1: 2008 to 2009 Changes in Citywide CO <sub>2</sub> e Emissions.....                                 | 13   |
| Table 2: FY 2008 to FY 2009 Changes in Municipal CO <sub>2</sub> e Emissions.....                          | 13   |
| Table 3: Summary of Changes to Emissions Coefficients.....   | 16   |
| Table 4: Breakdown of Citywide CO <sub>2</sub> e Emissions Changes, 2005 Base to 2005 Adjusted.....        | 17   |
| Table 5: Breakdown of Municipal CO <sub>2</sub> e Emissions Changes, FY 2006 Base to FY 2006 Adjusted..... | 18   |
| Table 6: Breakdown of Municipal CO <sub>2</sub> e Emissions Changes CY 2008 Base to CY 2008 Adjusted.....  | 18   |
| Table 7: Summary of Average Citywide Fuel Economy (Miles per Gallon).....                                  | 19   |
| Table 8: New York City Citywide Greenhouse Gas Emissions.....  | 22   |
| Table 9: 2005 to 2009 Changes in Citywide CO <sub>2</sub> e Emissions.....                                 | 24   |
| Table 10: 2009 Citywide Emissions by Scope and GHG.....  | 24   |
| Table 11: New York City Municipal Greenhouse Gas Emissions.....  | 28   |
| Table 12: FY 2006 to FY 2009 Changes in Municipal CO <sub>2</sub> e Emissions.....                         | 30   |
| Table 13: FY 2009 Municipal Emissions by Scope and GHG.....  | 30   |
| Table 14: CY 2008 to CY 2009 Changes in Municipal CO <sub>2</sub> e Emissions.....                         | 30   |
| Table 15: CY 2009 Municipal Emissions by Scope and GHG.....  | 30   |

All calculations presented in this report are based on data submitted to the New York City Mayor's Office. While every effort has been made to ensure these data's accuracy, the possibility for errors exists. This report is not intended to be a flawless accounting of New York City's carbon emissions, but is rather intended to provide guidance from which policy decisions may be based. The City of New York does not accept responsibility for the completeness or accuracy of this report, and it shall not be held liable for any damage or loss that may result, either directly or indirectly, as a result of its use.

Mayor's Office of Long-Term  
Planning & Sustainability  
City Hall  
New York, NY 10007  
[www.nyc.gov/PlaNYC2030](http://www.nyc.gov/PlaNYC2030)

