

Relatório Final

Inventário Municipal de Emissões de Gases de Efeito Estufa



Prefeitura Municipal de Belo Horizonte

Llicitação 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

Coordenação Geral	Ronaldo Vasconcellos Novais
Coordenação Técnica	Rogério Pena Siqueira
Equipe Técnica – Grupos Temáticos	
Secretaria Municipal do Meio Ambiente - SMMA	Agnus Rocha Bittencourt Cylene 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 - GASMEG	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
Apoio Técnico	
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
Apoio Administrativo	
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

Coordenação e Controle de Qualidade	João Marcelo Horta Mendes
Equipe Técnica	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 ($19,81^{\circ}\text{S}$ e $43,95^{\circ}\text{O}$), 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.

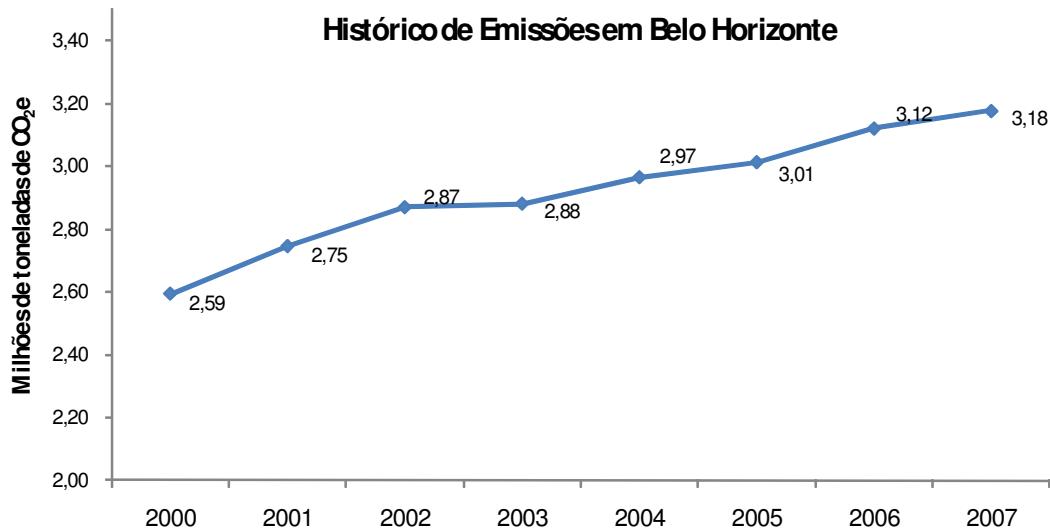
Para uma análise mais consistente do perfil de emissões de GEE do Município de Belo Horizonte, optou-se pela composição de uma série histórica, tendo como referência o ano 2000 como ano base e a evolução das emissões até o ano de 2007.

Foram contabilizadas emissões referentes aos seguintes gases: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Emissões de hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF_6), 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_2 equivalente (tCO_2e) de acordo com os potenciais de aquecimento global correspondente de cada gás.

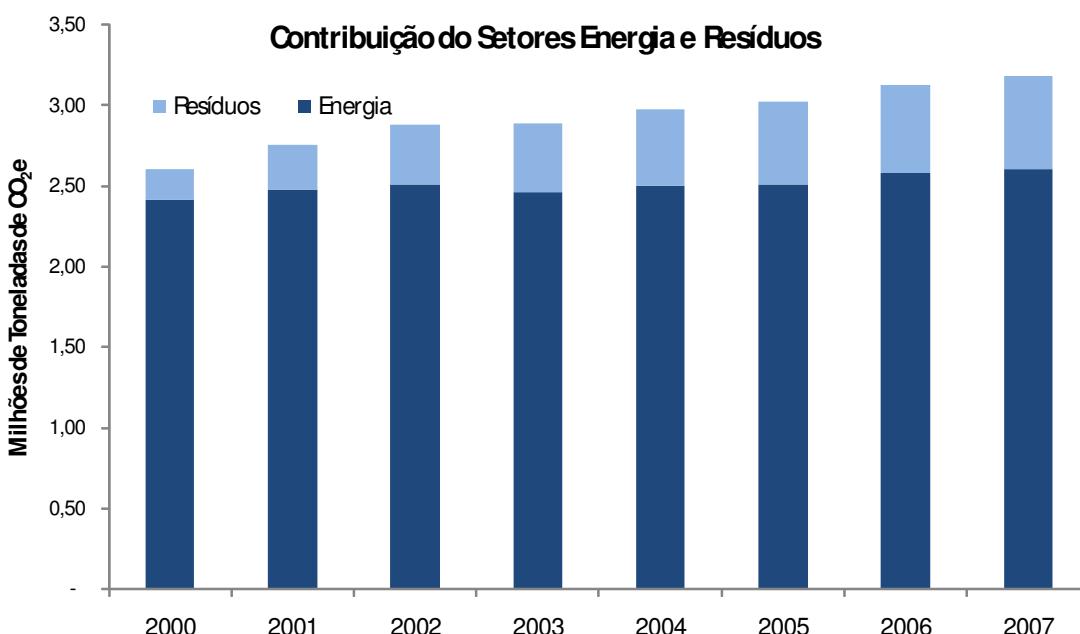
O Inventário Municipal de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Belo Horizonte segue a abordagem de escopos setoriais definida pelo documento "*IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*", que engloba Energia, Processos Industriais e Uso de Produto, Mudança no Uso do Solo e Resíduos.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

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

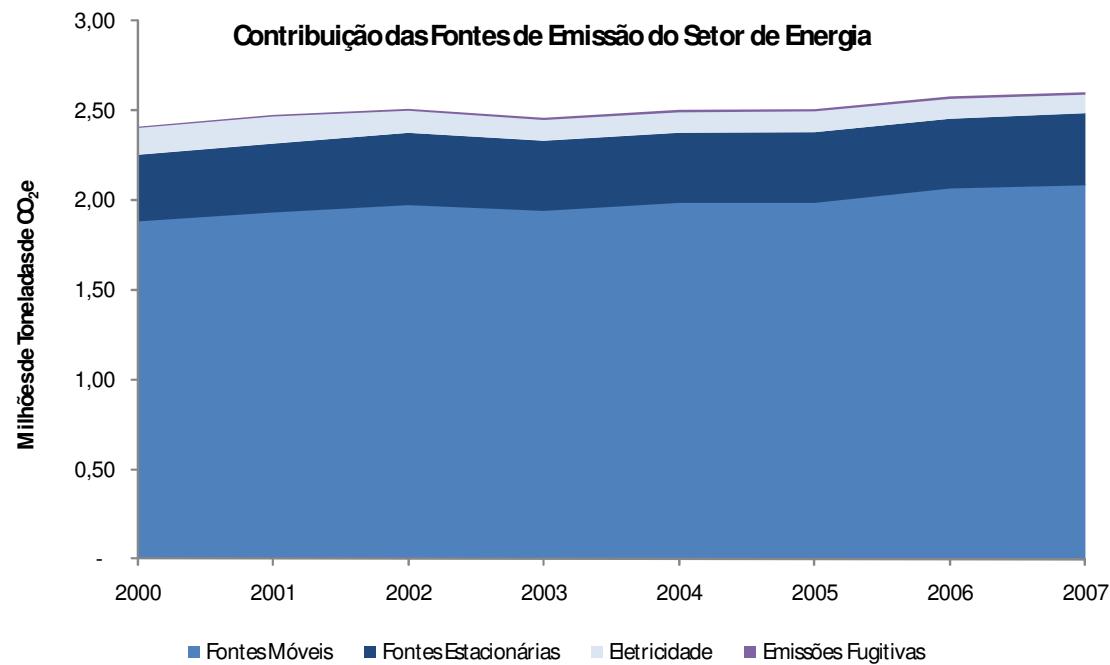
Combinando as emissões do setor governamental e da comunidade, as emissões totais de Belo Horizonte alcançaram em 2007 o número de 3,18 milhões de toneladas de CO₂e. Este valor é 22% superior ao total verificado para o ano 2000, portanto um crescimento médio anual de 2,96%.



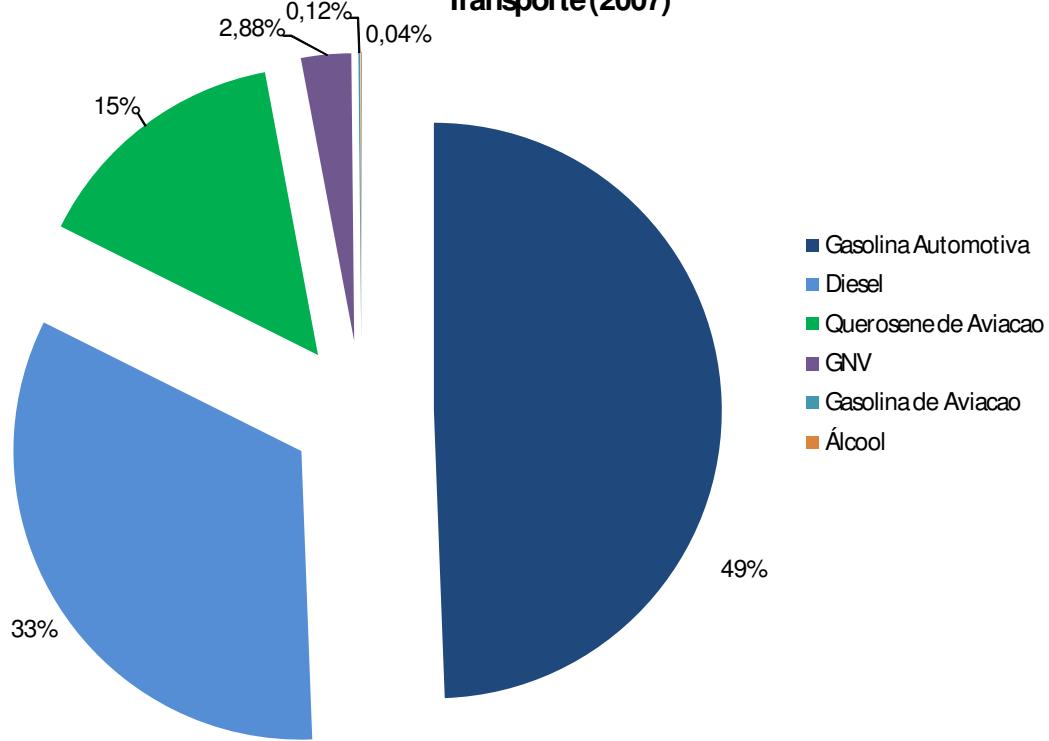
As emissões do escopo setorial Energia revelaram-se predominantes, respondendo por 82% do total verificado em 2007. As emissões do escopo setorial de resíduos contribuíram com 18% e o escopo setorial Mudança do Uso do Solo não contribuiu para as emissões de Belo Horizonte e sim para remoções de GEE da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



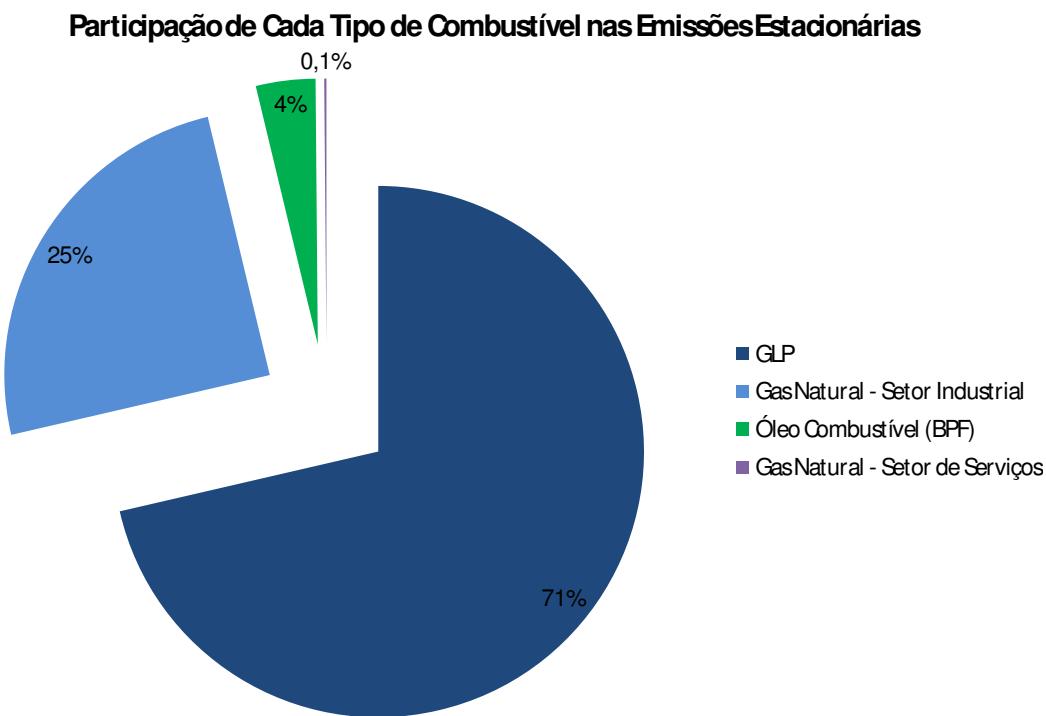
As emissões de Belo Horizonte do escopo setorial Energia totalizaram 2,61 milhões de toneladas de CO₂e em 2007. Dentre este grupo de emissões, as decorrentes do setor de Transportes foram as mais preponderantes, sendo a Gasolina Automotiva responsável por 49% das emissões totais das fontes móveis e o Diesel B2 responsável por 33% no mesmo ano.



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

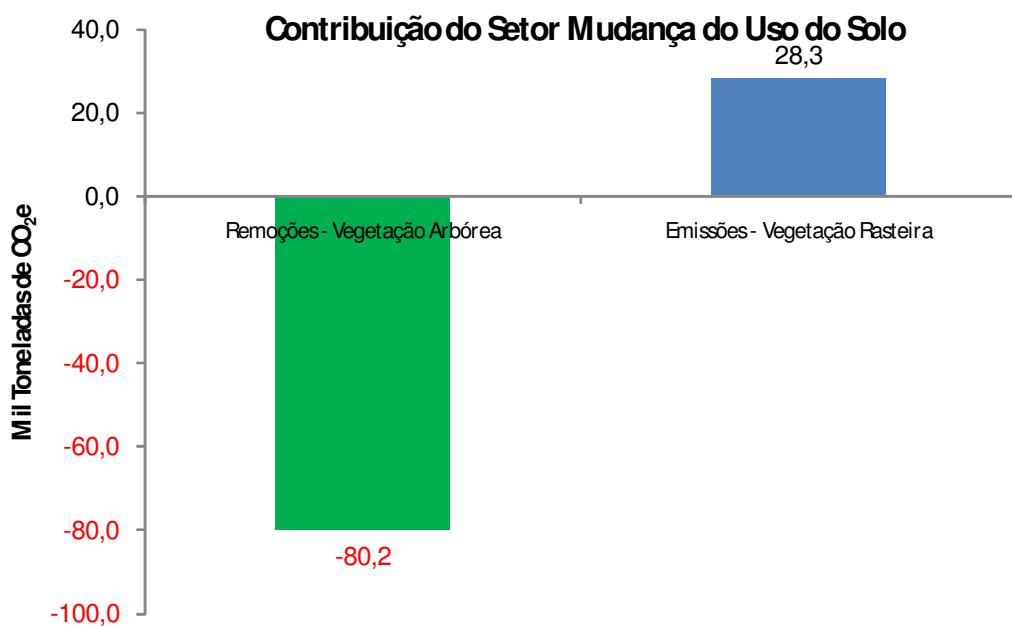


Dentre as fontes estacionárias de emissão de GEE, o gás GLP consumido em residências e no setor de serviços foi o principal emissor (71%), seguido do Gás Natural consumido no setor industrial (25%).

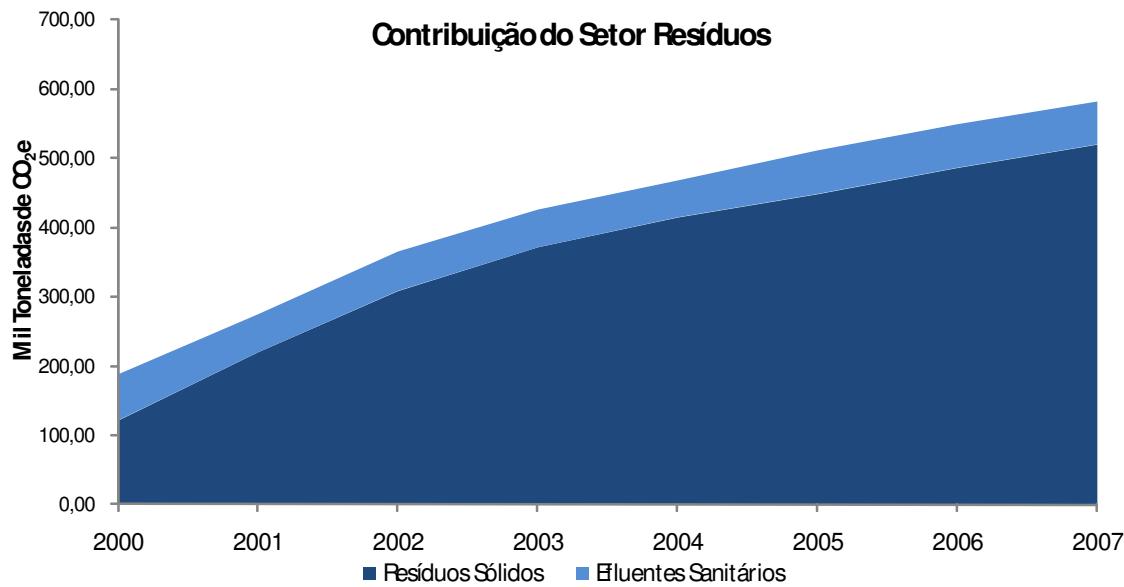


No escopo setorial de Mudança do Uso do Solo, o Município de Belo Horizonte apresentou remoções líquidas de GEE no acumulado do período 2000 a 2007 (remoções médias anuais de 6.487 toneladas de CO₂e). Isto por que as áreas ocupadas por vegetação arbórea na cidade aumentaram no período em análise.

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 CO₂e em 2007) foram mais relevantes do que as emissões decorrentes do tratamento de efluentes sanitários (62 mil toneladas de CO₂e 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

<u>APRESENTAÇÃO</u>	2
<u>RESPONSABILIDADES GERAIS</u>	4
<u>SUMÁRIO EXECUTIVO</u>	6
<u>ÍNDICE</u>	12
<u>1. INTRODUÇÃO</u>	15
<u>1.1 Contextualização do Problema e a Experiência do Município de Belo Horizonte</u>	15
<u>1.2 Informações sobre o Clima de Belo Horizonte</u>	18
<u>1.3 Informações sobre o Perfil Sócio-econômico de Belo Horizonte</u>	23
<u>2. DIRETRIZES DO INVENTÁRIO MUNICIPAL DE GEE</u>	32
<u>2.1 Seleção do Ano Base e Gases de Efeito Estufa Incluídos no Inventário</u>	32
<u>2.2 Fronteiras do Inventário e Escopos Setoriais Abordados</u>	34
<u>2.3 Procedimentos de Garantia e Controle de Qualidade</u>	37
<u>3. METODOLOGIA</u>	40
<u>3.1 Consolidação das Emissões: Setor Governamental</u>	40
<u>3.2 Consolidação das Emissões: Comunidade</u>	42
<u>3.3 Metodologias de Cálculos</u>	45
<u>3.3.1 Emissão de CO₂ por consumo de combustíveis</u>	45
<u>3.3.2 Emissão de CH₄ por consumo de combustíveis</u>	45
<u>3.3.3 Emissão de N₂O por consumo de combustíveis</u>	46
<u>3.3.4 Emissões fugitivas de CH₄ pela Rede de Distribuição de Gás Natural em Belo Horizonte e pelos pontos finais de consumo</u>	46
<u>3.3.5 Emissão de CO₂ por consumo de energia elétrica</u>	48

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

ANEXO II 109

ANEXO III 112

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do Problema e a Experiência do Município de Belo 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 Partes¹, 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

¹ 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 Word Forum*² (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*³). 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 Montevidéu (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.

² State of the Word 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

³ 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 Limpo⁴, 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.

⁴ 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 ($19,81^{\circ}\text{S}$ e $43,95^{\circ}\text{O}$) (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 climatológicas⁵ 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).

⁵ 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.

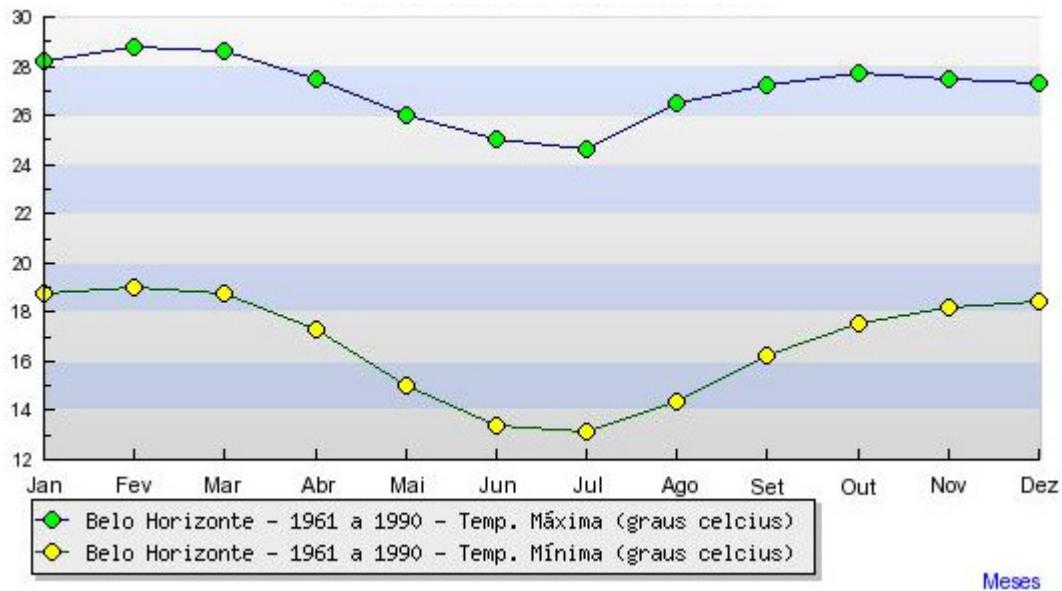


Figura 2: Temperatura Máxima e Mínima segundo a Normal Climatológica (1961-1990) de Belo Horizonte. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

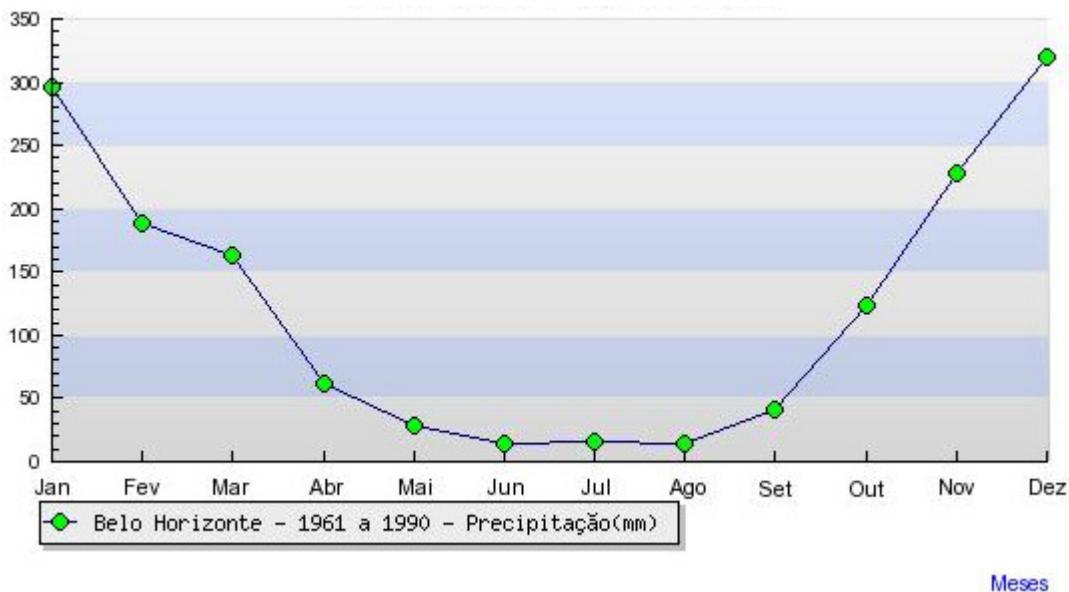


Figura 3: Precipitação segundo a Normal Climatológica (1961-1990) de Belo Horizonte. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

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

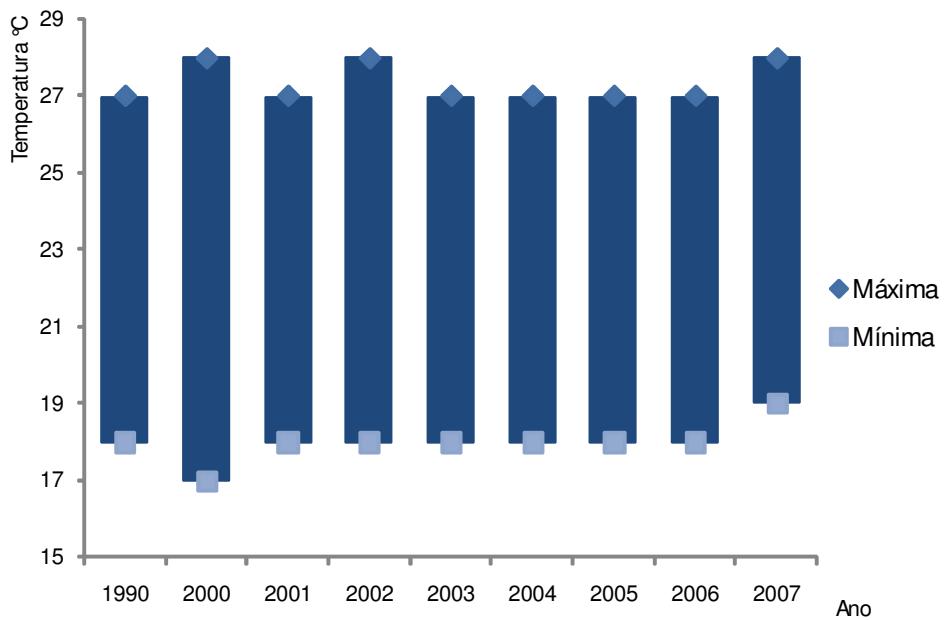


Figura 4: Temperaturas médias máximas e mínimas em Belo Horizonte (INPE/INMET)

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.

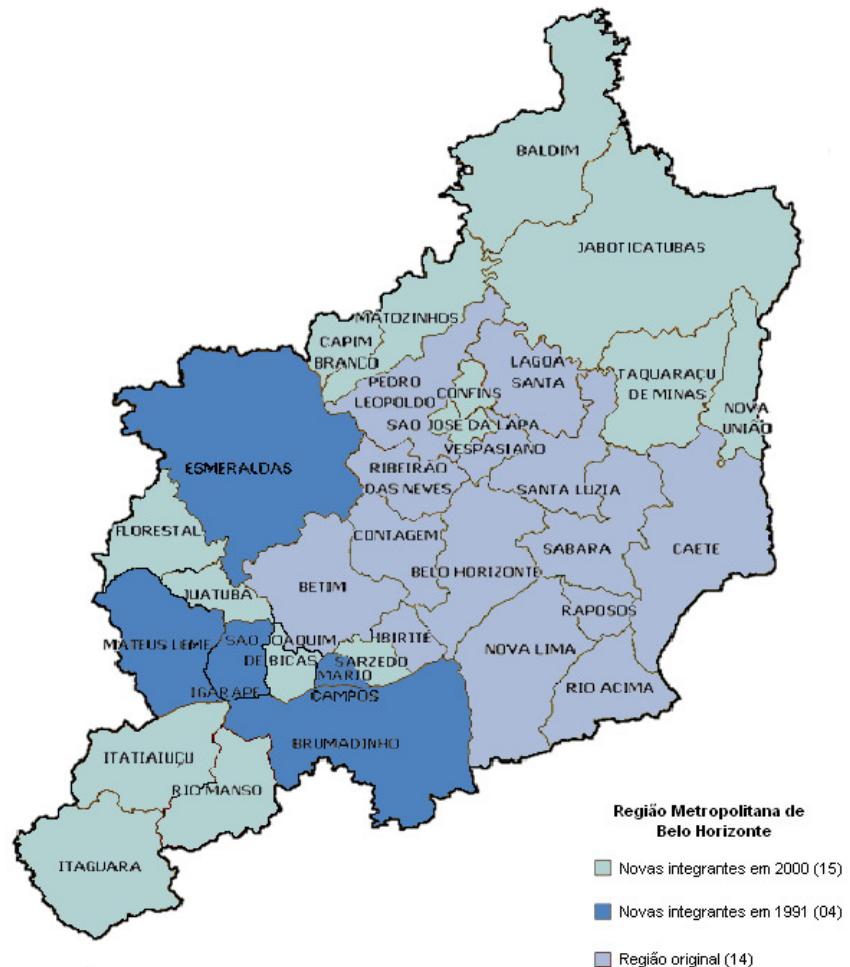


Figura 5: Evolução da região metropolitana de Belo Horizonte até o ano 2000. Fonte: Dados Prefeitura de Belo Horizonte. Mapa modificado com base em:
http://www.observatoriodasmetropoles.ufrj.br/metrodata/ibrm/ibrm_bh_ich.htm

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

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.

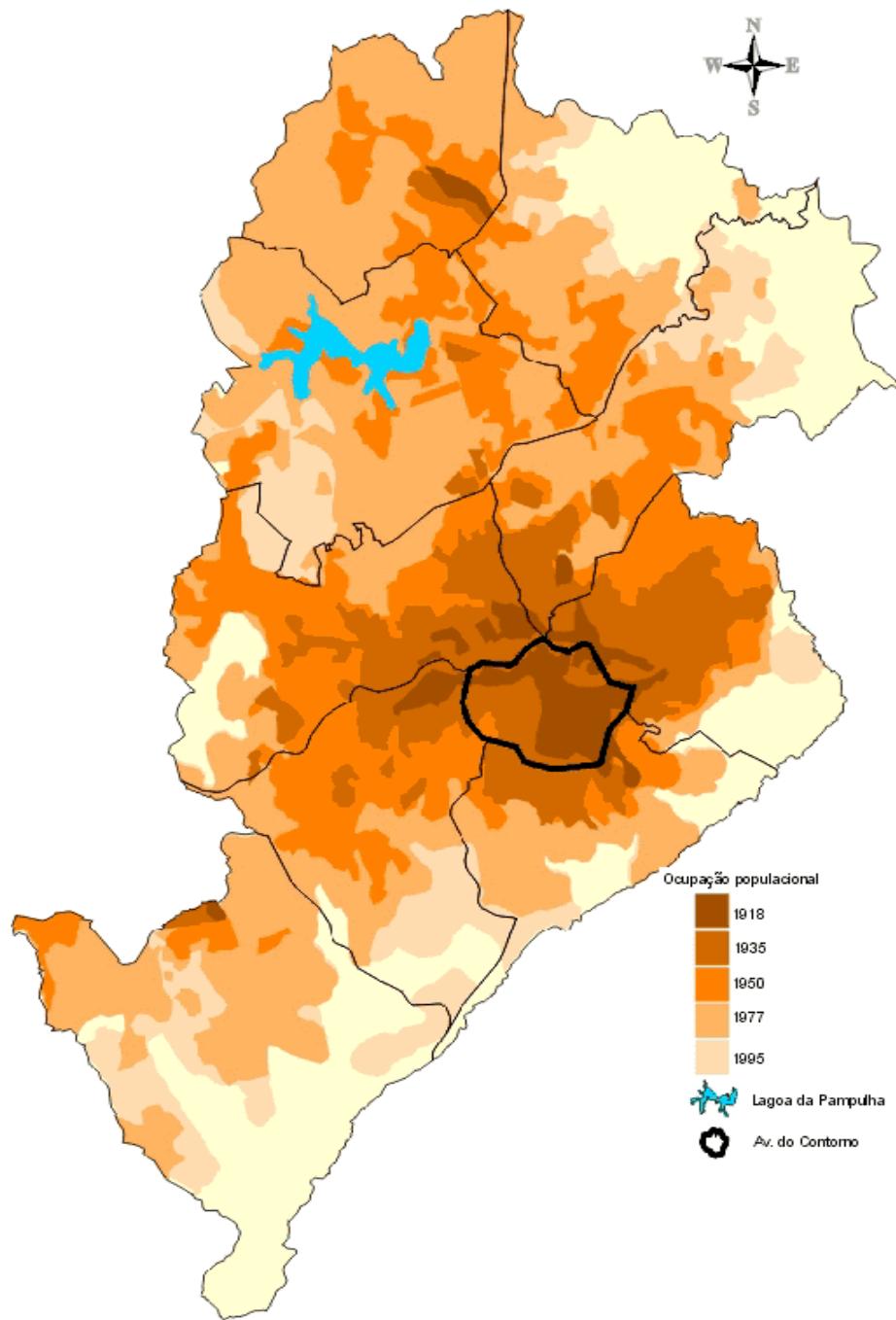


Figura 7: Evolução da Mancha Urbana de Belo Horizonte. Fonte: Mapa modificado com base em mapa disponível no site da Prefeitura de Belo Horizonte

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.

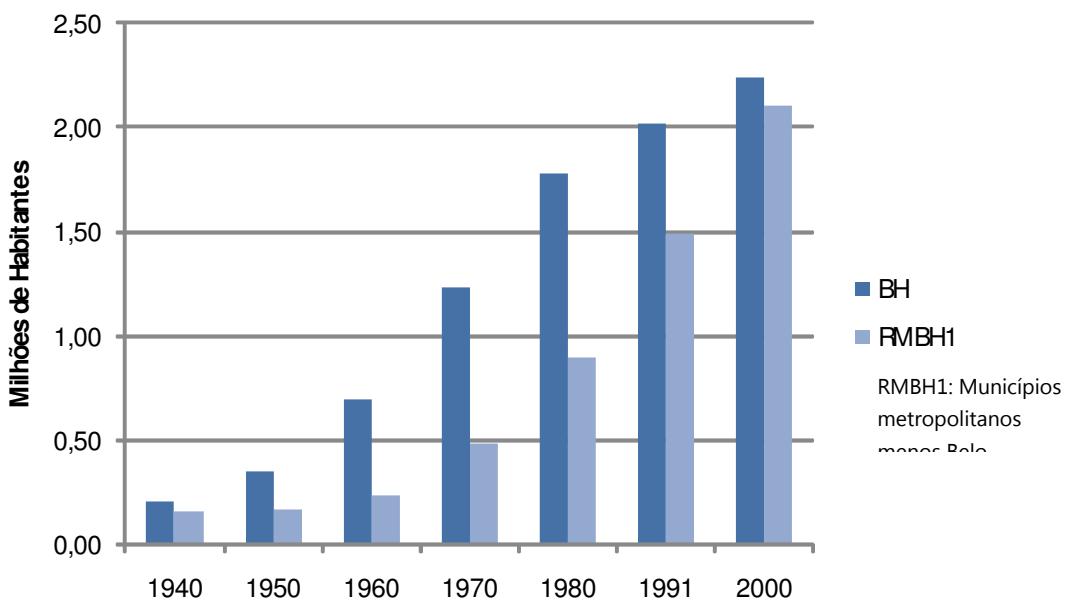


Figura 8: População de Belo Horizonte e RMBH entre 1940-2000. Fonte dos dados:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-

<88392005000400003&lng=en&nrm=issn>

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).

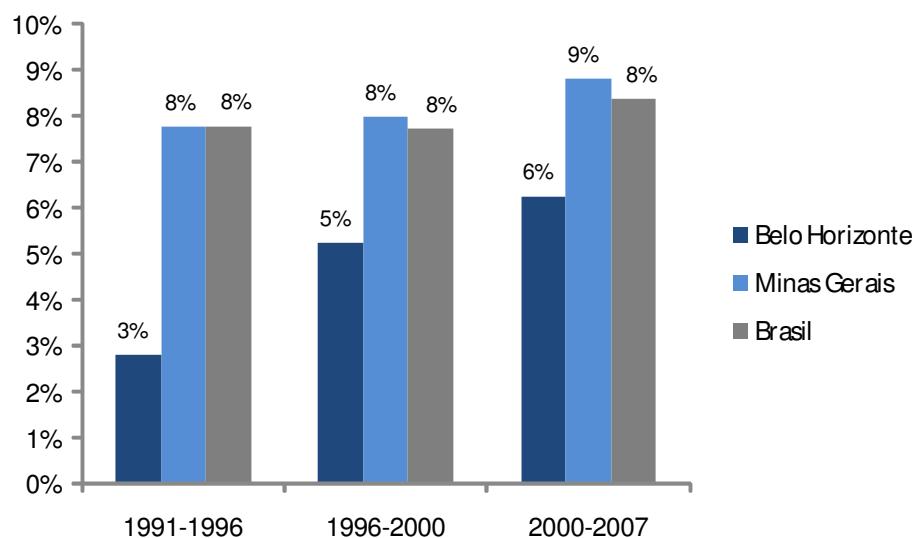


Figura 9: Crescimento da população de Belo Horizonte, Minas Gerais e Brasil em relação ao ano de 1991, 1996 e 2000. Fonte dos dados: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

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 2006⁶ (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.

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

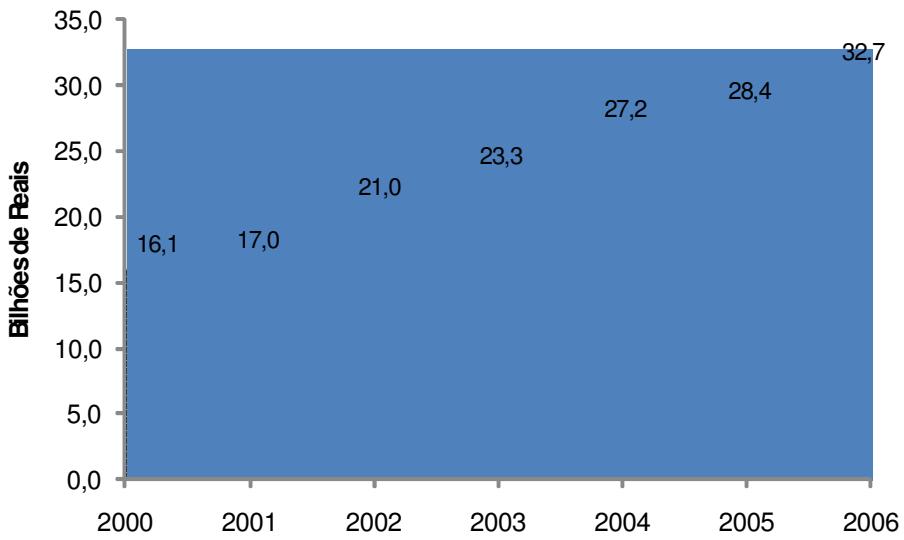


Figura 10: Produto Interno Bruto de Belo Horizonte entre os anos de 2000 e 2006. Fonte dos dados: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

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).

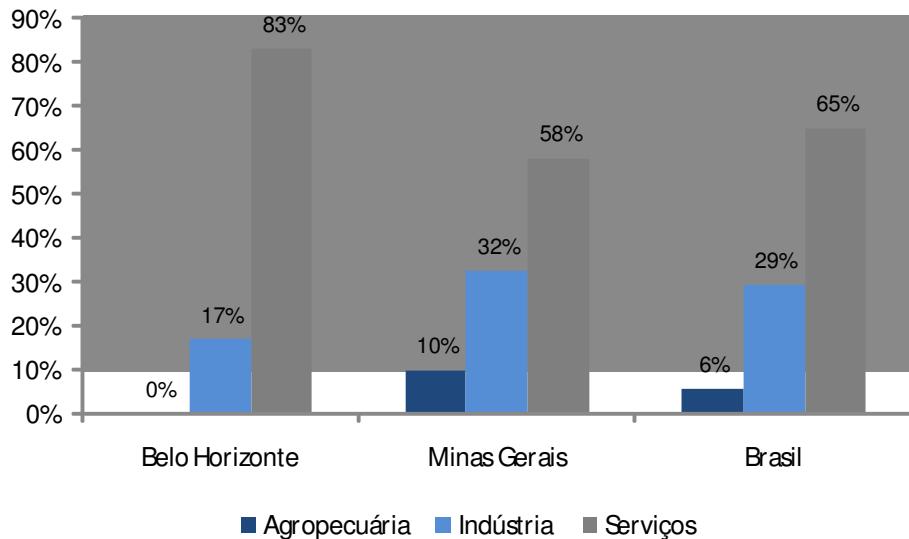


Figura 11: Participação dos setores econômicos na composição do Produto Interno Bruto (PIB) de Belo Horizonte, Minas Gerais e Brasil. Ano 2006. Fonte dos dados: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

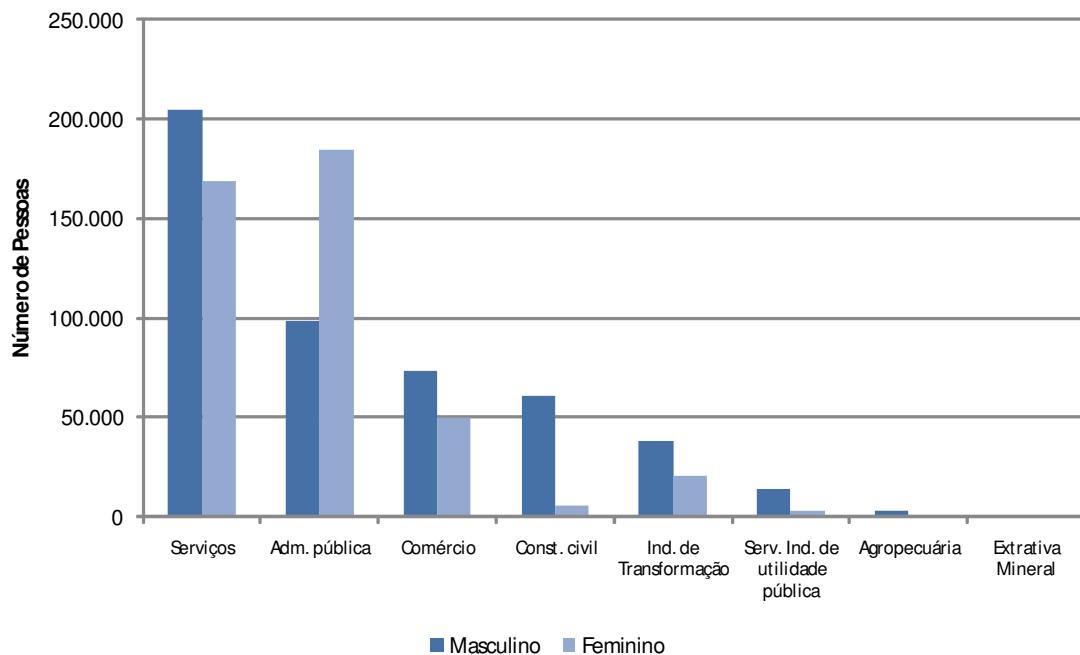


Figura 12: Trabalhadores no mercado de trabalho formal por setores de atividade econômica e sexo - Belo Horizonte – 2002. Fonte dos dados: Prefeitura de Belo Horizonte

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)	Frota de ônibus e Microônib us	Aeroportos		Moviment o de Carga Aérea	Frota de Caminhõe s
			Passageiro	Passageiros		
				Internaciona l		
	1000 unid.	unidades	1000	1000 pessoas	toneladas	1000 unid.
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).

Tabela 7: Infraestrutura de Energia

Município	Consumo de Energia Elétrica			Postos de GNV
	Residencial	Comercial	Industrial	
	kWh por hab.	kWh por hab.	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.html)

Tabela 8: Infraestrutura de Saneamento

Município	Água			Esgoto		
	Ligações	Atendimento	Volume	Ligações	Atendimento	Tratamento
	1000 unid.	%	milhões de m ³ /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)

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 àquelas de inventários de anos subseqüentes.

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_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Emissões de hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF_6), 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_2 equivalente (tCO_2e) de acordo com os potenciais de aquecimento global⁷ informados abaixo (Tabela 9).

Tabela 9: GWP dos gases de efeito estufa

Gás de Efeito Estufa	Potencial de Aquecimento Global
Dióxido de carbono	1
Metano (CH_4)	21
Óxido nitroso (N_2O)	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.

⁷ 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

Grupo Temático	Entidades Envolvidas
Grupo 1: Energia – Emissões por Fontes Estacionárias, Consumo de Eletricidade e Emissões Fugitivas	- Secretaria Municipal de Meio Ambiente - Comitê Municipal sobre Mudanças Climáticas e Ecoeficiência - Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) / GASMEG - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)
Grupo 2: Energia – Emissões por Fontes Móveis	- Secretaria Municipal de Meio Ambiente - Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte (BHTrans) - Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero) - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)
Grupo 3: Processos Industriais e Uso do Solo	- Secretaria Municipal de Meio Ambiente - Gerência de Planejamento e Monitoramento Ambiental - Gerência de Licenciamento Ambiental e Empreendimentos de Impacto

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

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 consequencia, 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_4) 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
	Combustão Móvel	Transporte	Gás natural
			GNV
			Álcool
			Gasolina de Aviação
			Querosene de Aviação
			Gasolina Automotiva
			Diesel
Mudança no Uso do Solo	Emissões Fugitivas	Uso Industrial	
		Postos de GNV e Uso no Setor de Serviços	
		Vegetação arbórea	
	Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos	Vegetação rasteira	
		Malha Urbana	
		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 CO₂, CH₄ e N₂O) 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 CO₂ por consumo de combustíveis

Para o cálculo de emissões de CO₂ 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 CO₂ por consumo de combustíveis, no ano y (Mg CO₂);

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

NCV^c poder calorífico inferior do combustível c (TJ.Gg⁻¹);

EF^c fator de emissão de CO₂ pela queima do combustível c (Mg CO₂.TJ⁻¹).

3.3.2 Emissão de CH₄ por consumo de combustíveis

Além do tipo de combustível utilizado, as emissões de CH₄ por consumo de combustíveis dependem da tecnologia empregada na queima. Portanto, para o cálculo de emissões de CH₄ 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 CH₄ por consumo combustíveis, no ano y ;

GWP_{CH_4} potencial de aquecimento global do CH₄;

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

NCV^c poder calorífico inferior do combustível c (TJ.Gg⁻¹);

$EF_{CH_4}^{c,t}$ fator de emissão de CH₄ pelo consumo do combustível c através da tecnologia t (Mg N₂O.TJ⁻¹).

3.3.3 Emissão de N₂O por consumo de combustíveis

Assim como as emissões de CH₄, as emissões de N₂O dependem da tecnologia empregada na queima do combustível. Portanto, para o cálculo de emissões de N₂O 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 N₂O por consumo de combustíveis, no ano y (Mg CO₂e);

GWP_{N_2O} potencial de aquecimento global do N₂O;

$Q_y^{c,t}$ 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 N₂O pelo consumo do combustível c através da tecnologia t (Mg N₂O.TJ⁻¹).

3.3.4 Emissões fugitivas de CH₄ 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/cm². 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 CH₄ decorrentes de perdas (vazamentos) de Gás Natural durante sua transmissão, ao longo da Rede de Distribuição de Gás Natural operada pela GASMEG 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 CH₄ 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 CH₄ decorrentes de vazamentos na Rede de Distribuição de Gás Natural em Belo Horizonte, no ano y (Mg CO₂e);

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

V_{med} fator médio de vazamento (Nm³ GN / km.ano) (IPCC, 1996: 2.000);

D_{GN} densidade do Gás Natural (kg/Nm³) (PETROBRAS: 0,6);

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

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

As emissões fugitivas de CH₄ 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 ₄ decorrentes de vazamentos nos pontos de uso de Gás Natural em Belo Horizonte, no ano y (Mg CO ₂ e);
$Q_{GN,y}$	quantidade de Gás Natural consumida no ano y (m ³);
NCV_{GN}	poder calorífico inferior do Gás Natural (kJ/m ³);
$V_{\max,uso}^{CH_4}$	fator máximo de emissão de metano para o ponto de uso (kg CH ₄ /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 CO₂ por consumo de energia elétrica

As emissões indiretas de CO₂ 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 CO₂ por consumo de energia elétrica, no ano y (Mg CO₂);

CE_y consumo de energia elétrica, no ano y (GWh);

EF_y^{rede} fator de emissão de CO₂, do ano y, pela rede elétrica servindo ao Município (Mg CO₂.GWh⁻¹). 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 CH₄ 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 CH₄ por tratamento de lodo biológico na ETE Arrudas, no ano y (Mg CO₂e);

$Q_{Biogás,y}$ volume de biogás registrado em medidor de vazão, em base normal, no ano y (m³);

$FV_{CH_4,y}$ 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/m³);

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

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

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 CH₄ por tratamento de efluentes sanitários na ETE Onça, no ano y (Mg CO₂e);

$Q_{Biogás,y}$ volume de biogás registrado em medidor de vazão, em base normal, no ano y (m³);

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

D_{CH_4} densidade do metano, em base normal (0,72 kg/m³);

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:

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

Sendo:

$E_{RAFA}^{CH_4}$ emissão de metano por tratamento de efluentes sanitários em Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente, no ano y (Mg CO₂e);

$Q_{Efluente,y}$ vazão de efluentes admitidos nos reatores no ano y (m³);

$DBO_{Afluente,y}$ 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 CH₄ / 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:

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

Sendo:

$E_{Rio}^{CH_4}$ emissão de metano por autodepuração em corpo hídrico de efluentes sanitários não tratados, no ano y (Mg CO₂e);

$POP_{BH,y}$	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 ₄ /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 ₂ 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 ₄ /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 CH₄ 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 CH₄ 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 ₂ 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 ₄ ;
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 ₄ e CO ₂ 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 CO₂e);

$\frac{44}{12}$ fator de conversão de massa molecular de C para CO₂;

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 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 ₂ 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
Total	13.405	13.499	11.844	11.819	11.801	11.737	11.455	11.018

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 (chevendo 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.

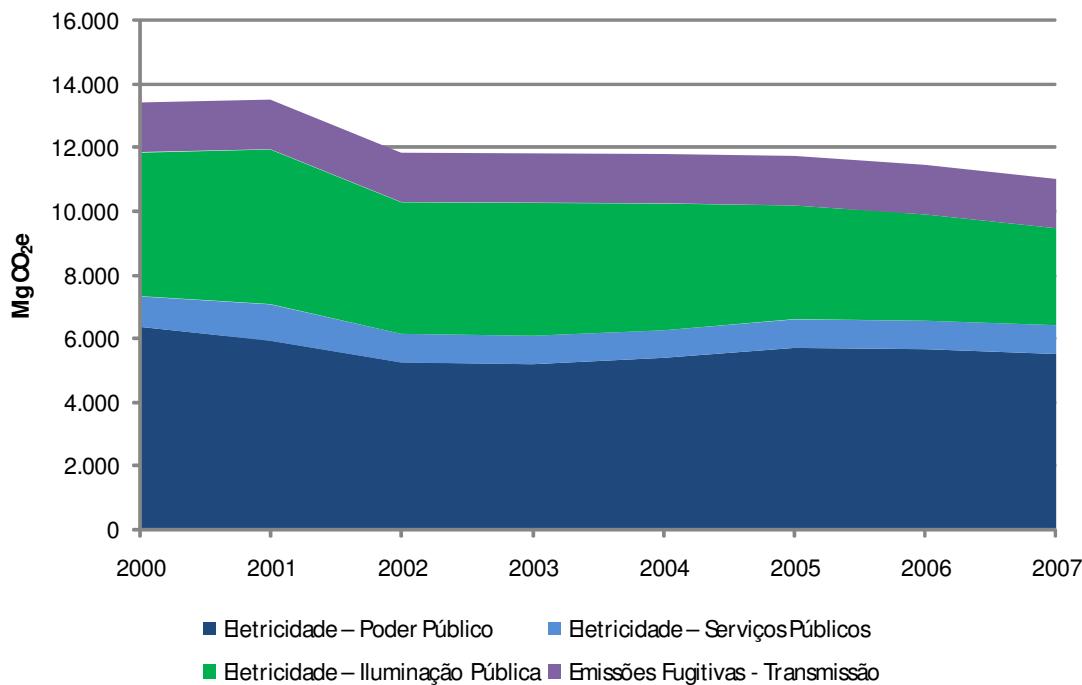


Figura 13: Evolução das emissões do Setor Governamental em Belo Horizonte entre os anos 2000 e 2007

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 CO₂ 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.

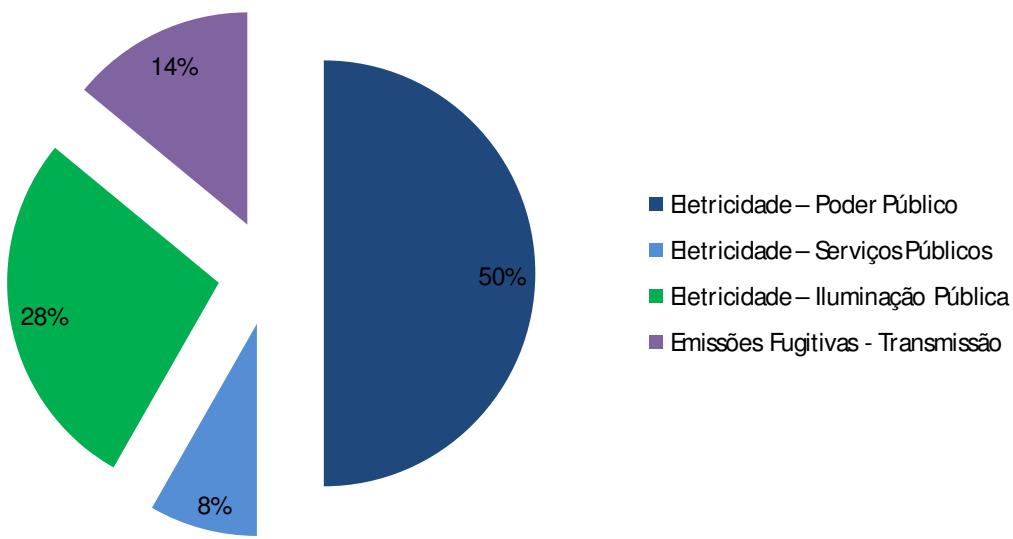


Figura 14: Distribuição das emissões do Setor Governamental em Belo Horizonte no ano de 2007, do escopo setorial de energia

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 ₂ 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.

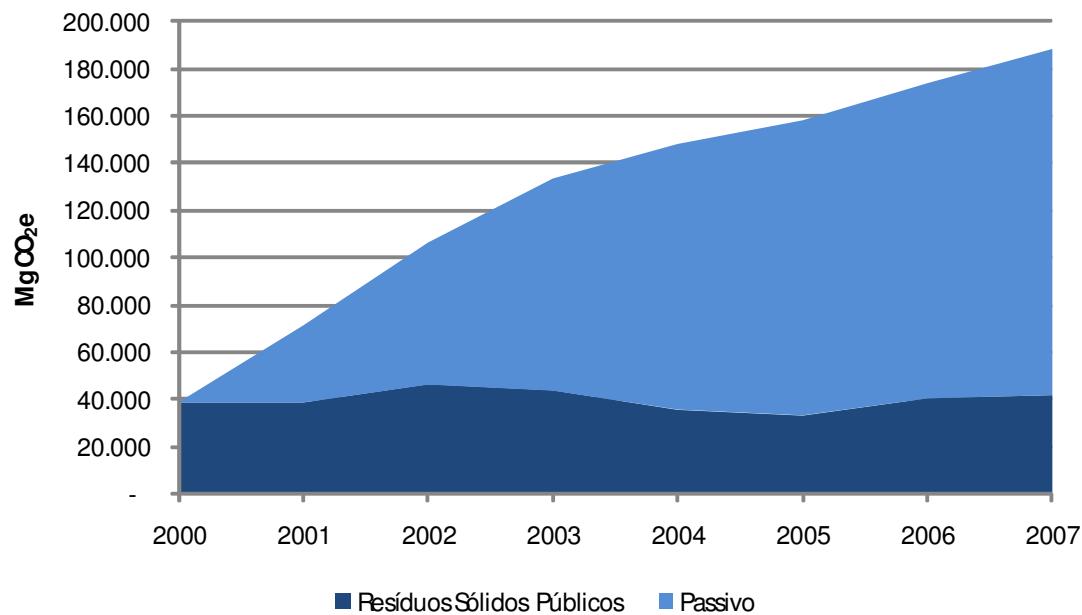


Figura 15: Emissões de GEE entre os anos 2000 e 2007 devido à disposição de resíduos sólidos públicos com o passivo correspondente

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.

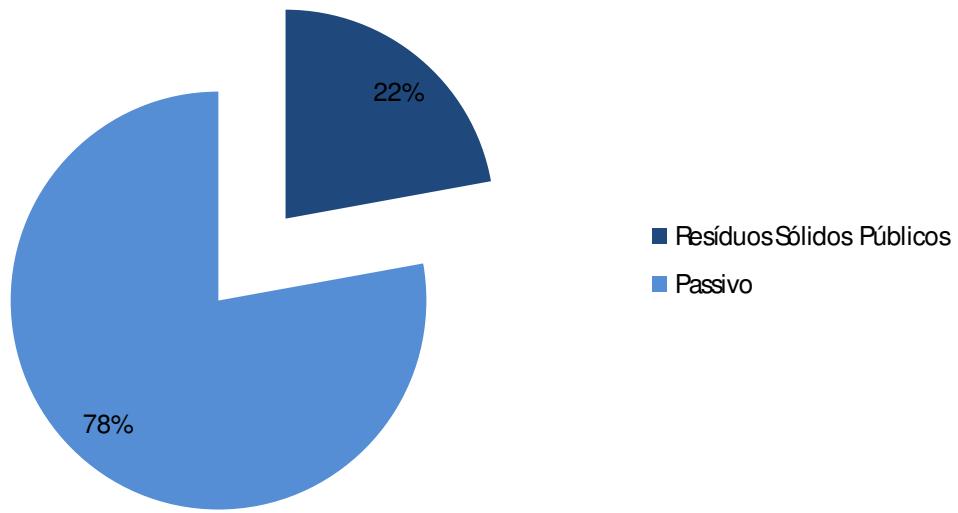


Figura 16: Distribuição das emissões do Setor Governamental em Belo Horizonte no ano de 2007, do escopo setorial de resíduos

4.1.3 Total de Emissões do Setor Governamental

Ao todo, o setor governamental em Belo Horizonte emitiu 199.227 toneladas de CO₂e em 2007. Reunindo as emissões dos escopos de Energia e Resíduos, é possível identificar as fontes que mais contribuiram 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 ₂ 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
Eletroicidade - Serviços Públicos	-	967	1.152	901	901	874	907	892	911
Total		52.04 3	84.72 5	118.16 8	145.17 4	159.83 4	169.78 9	185.15 9	199.22 7

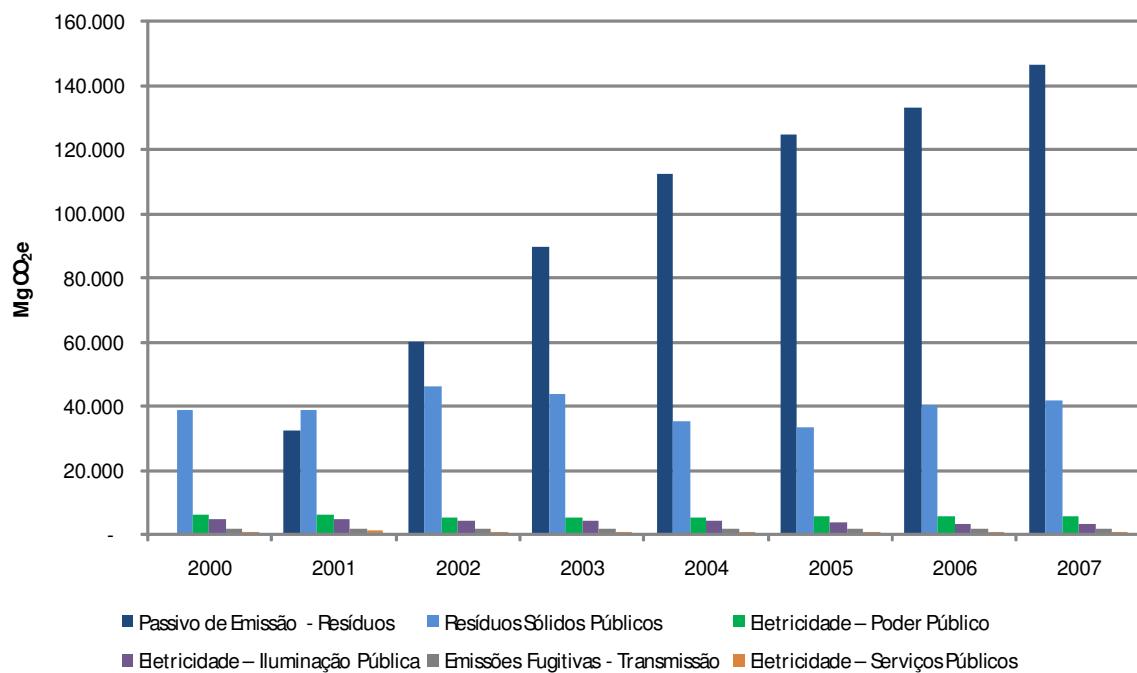


Figura 17: Identificação das fontes de emissão mais preponderantes do setor governamental em Belo Horizonte

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 CO₂ (dada a origem fóssil do carbono presente nestes combustíveis) além de CH₄ e N₂O. As emissões de CH₄ ocorrem em função da queima incompleta dos combustíveis e as emissões de N₂O 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 CH₄ (combustão incompleta) foram consideradas. As emissões de CO₂ provenientes da queima de materiais de origem biogênica não estão incluídas no total do inventário, mas apresentadas a parte em sessão específica. Emissões de N₂O 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 CO₂, CH₄ e N₂O 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 ₂ 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
Subtotal – Combustão Móvel		1.885.207	1.933.546	1.974.564	1.942.612	1.987.208	1.987.233	2.067.118	2.085.328
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
Subtotal – Combustão		368.156	381.842	399.566	388.581	388.237	391.485	385.019	398.574

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
Subtotal – Eletricidade		151.139	152.636	125.929	118.470	116.066	117.373	112.786	103.168
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
Subtotal – Em. Fugitivas		7.502	9.107	10.471	11.706	12.680	12.745	13.315	14.011
Total		2.412.005	2.477.130	2.510.530	2.461.369	2.504.191	2.508.837	2.578.238	2.601.081

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).

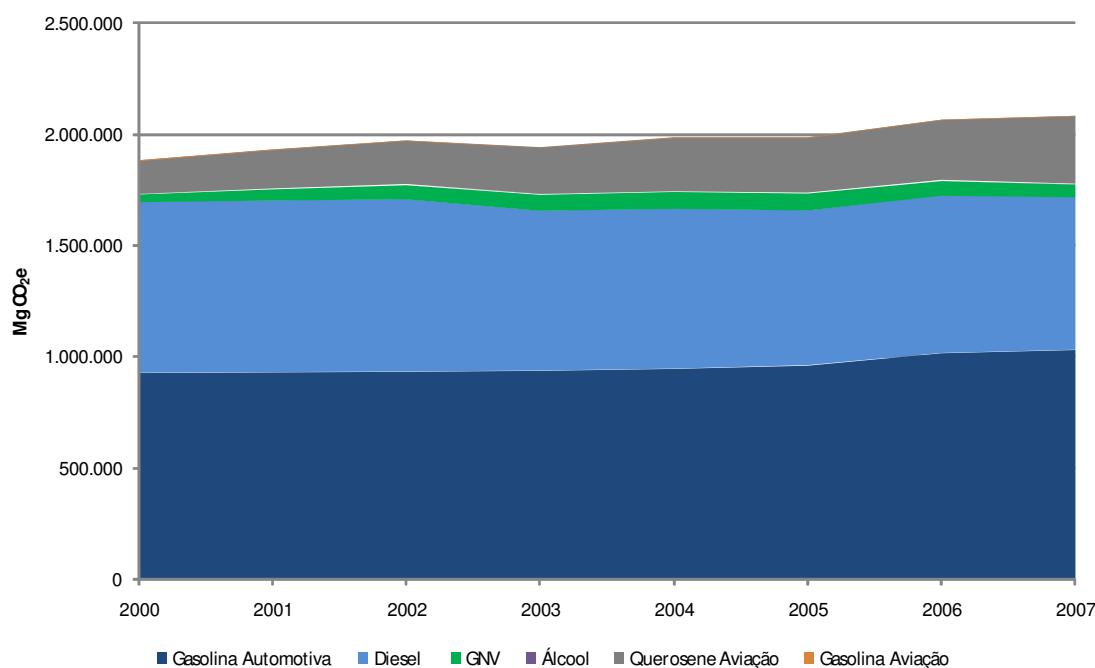


Figura 18: Evolução das emissões do setor de transportes (combustão móvel) em Belo Horizonte – 2000 a 2007

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).

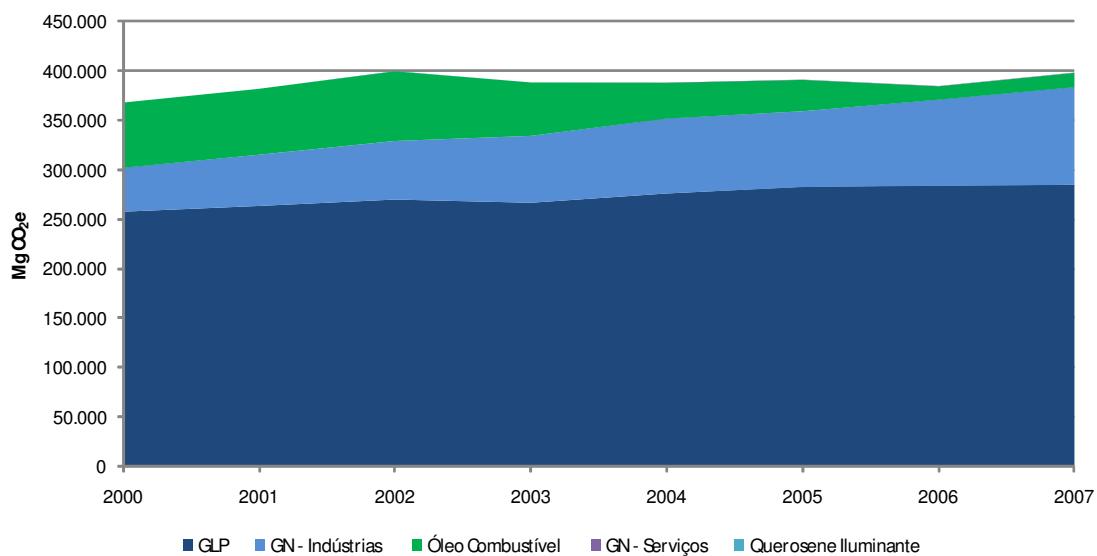


Figura 19: Evolução das emissões de combustão estacionária em Belo Horizonte – 2000 a 2007

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).

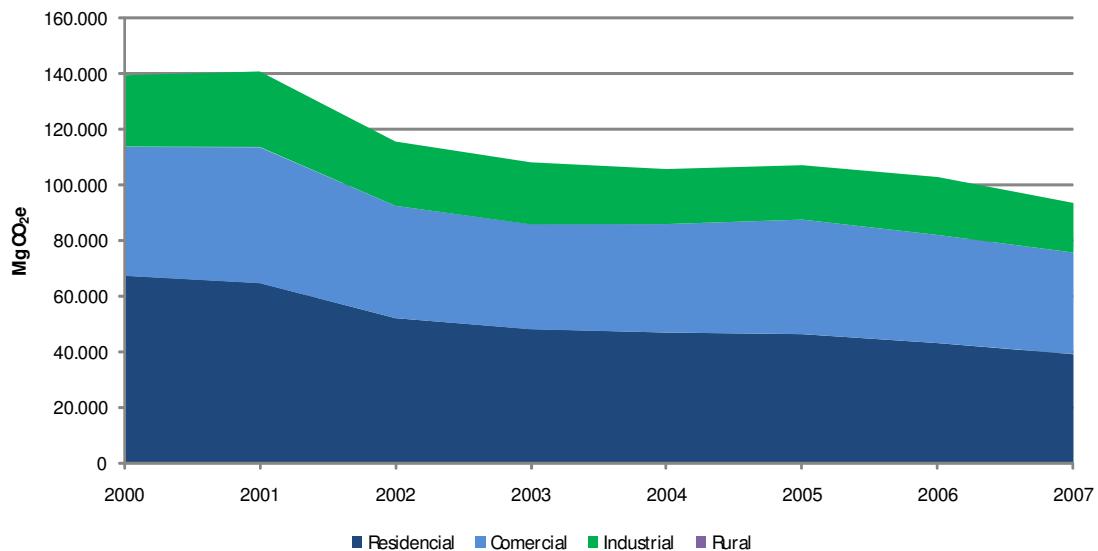
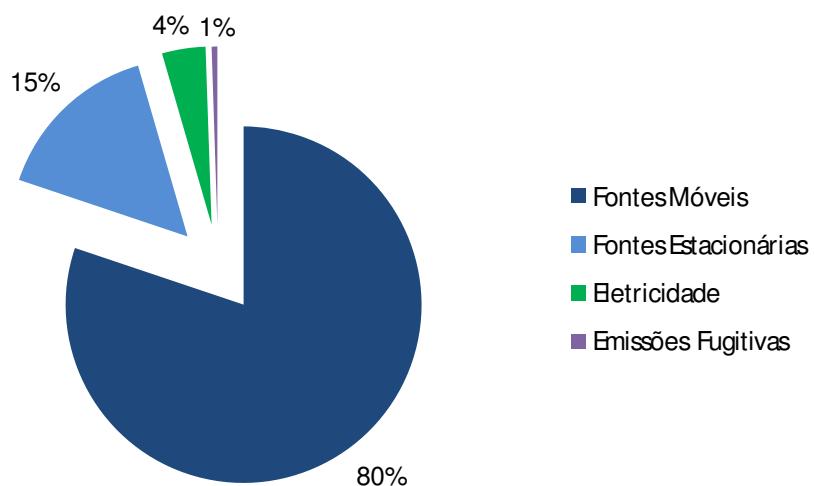


Figura 20: Evolução das emissões de combustão estacionária em Belo Horizonte – 2000 a 2007

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 CO₂ pela rede elétrica servindo ao Município em 2002 em relação a 2001⁸; 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.



⁸ Para 2001 este fator foi de 0,046 Mg CO₂/MWh; para 2002, o valor foi de 0,038 Mg CO₂e/MWh. O desenvolvimento dos fatores de emissão de CO₂ 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.

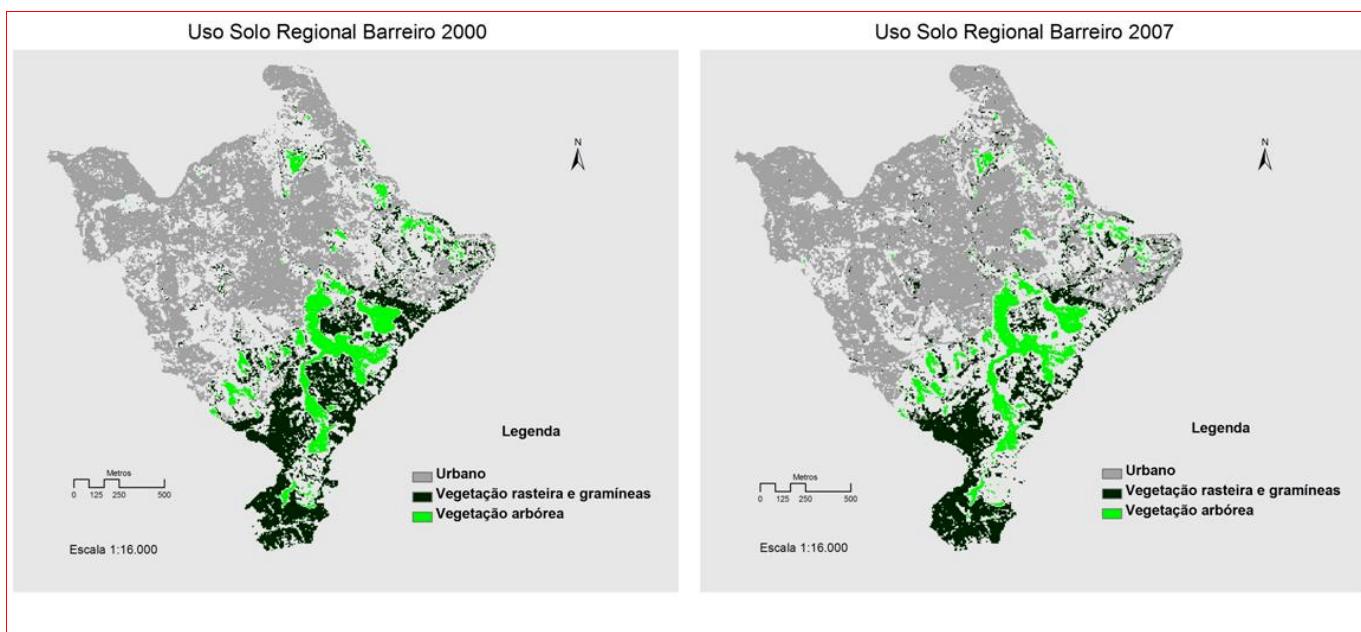


Figura 22 – Regional Barreiro

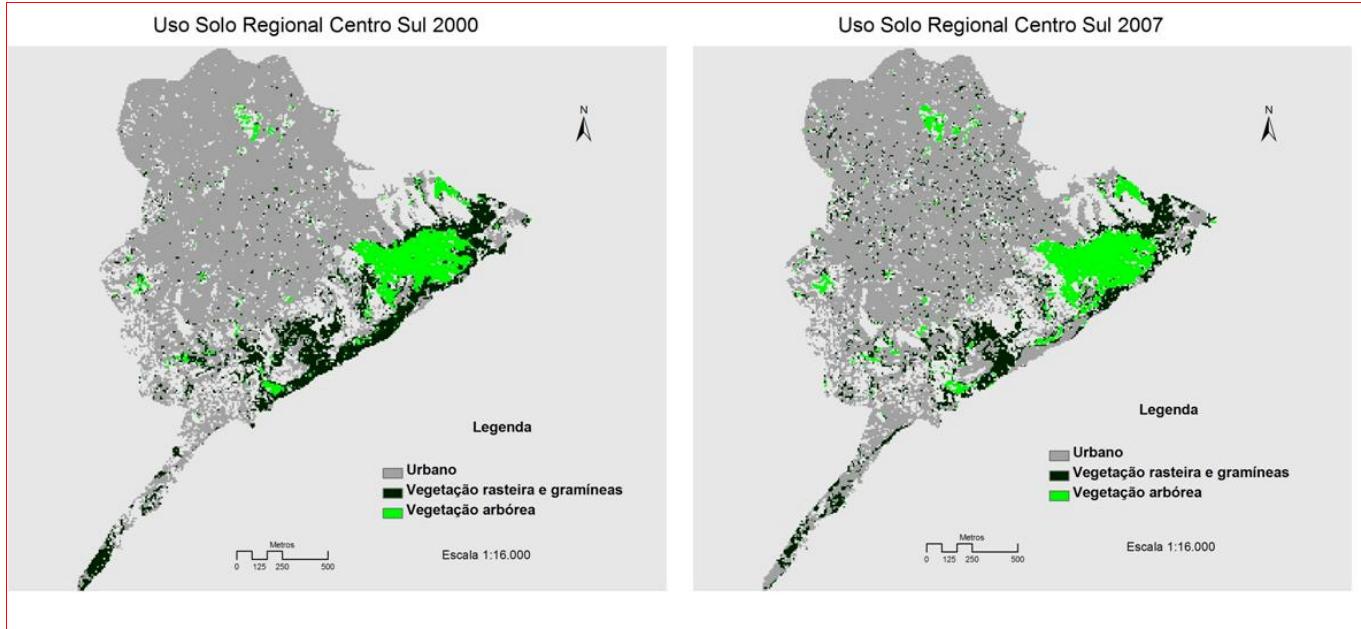


Figura 23 – Regional Centro Sul

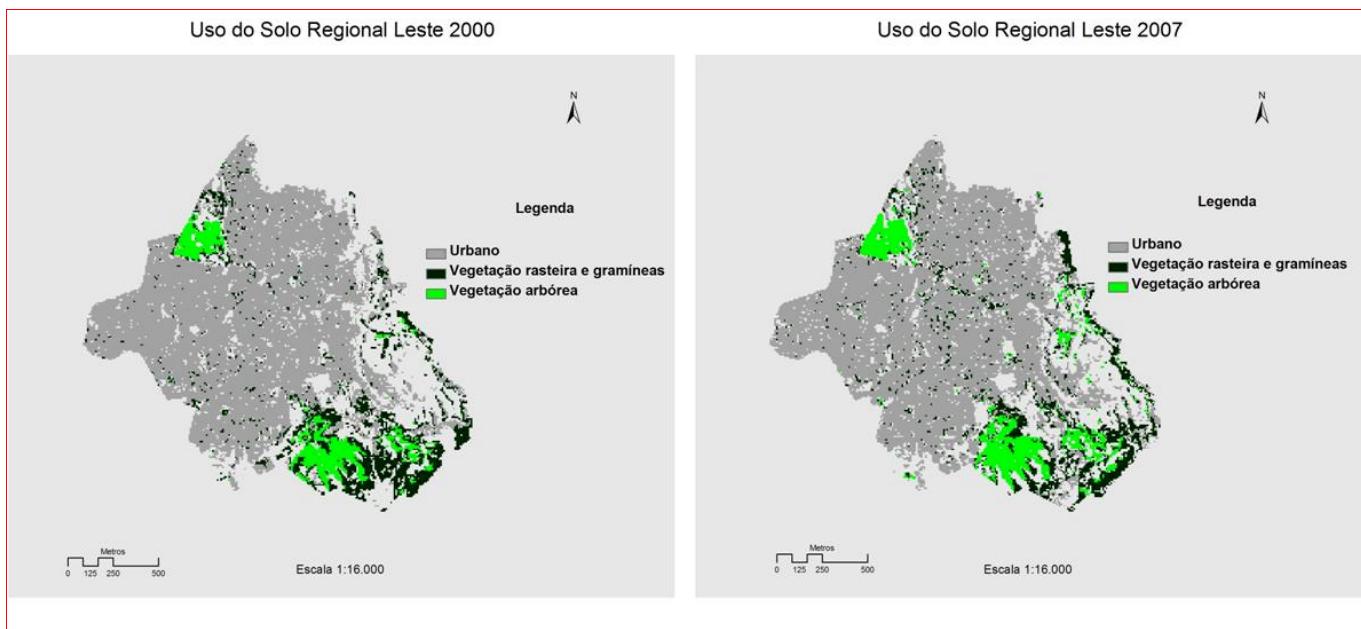


Figura 24 – Regional Leste

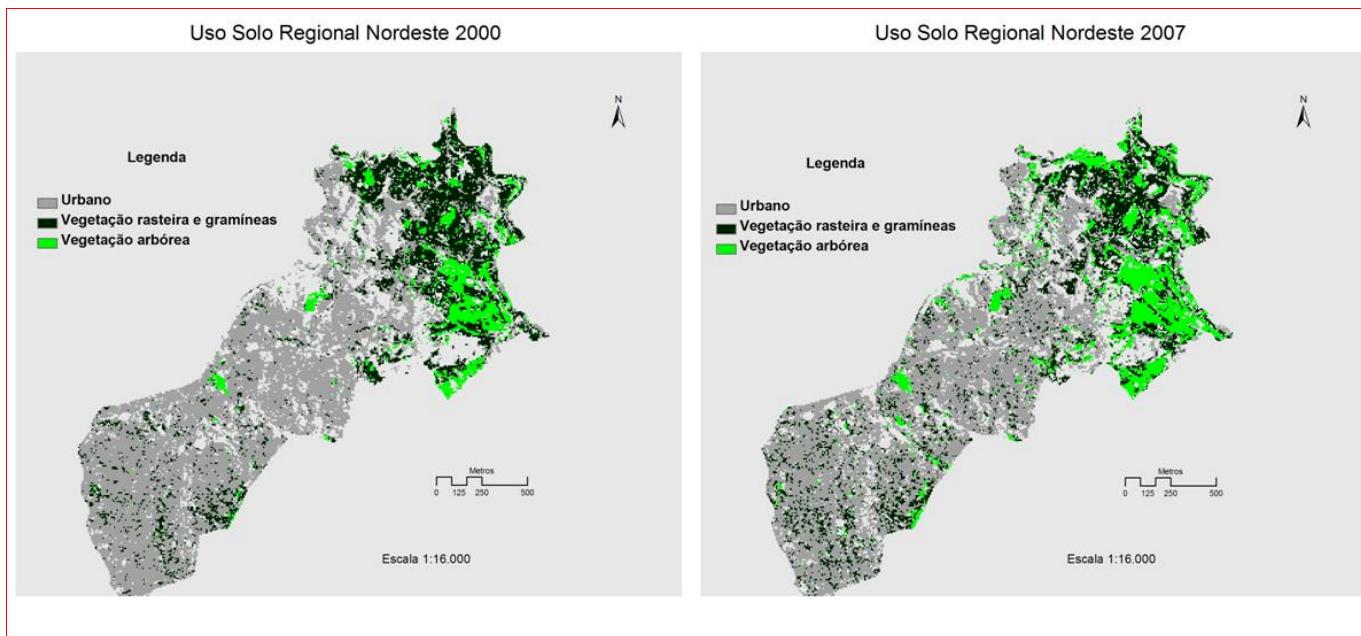


Figura 25 – Regional Nordeste

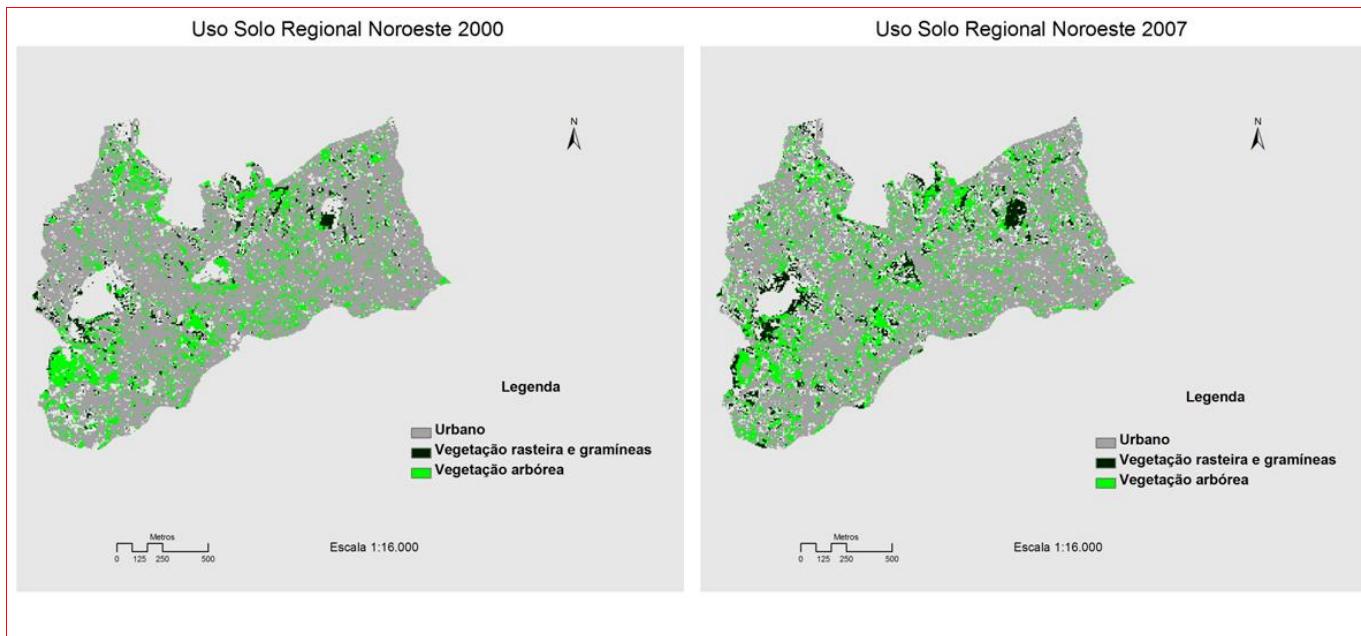


Figura 26 – Regional Noroeste

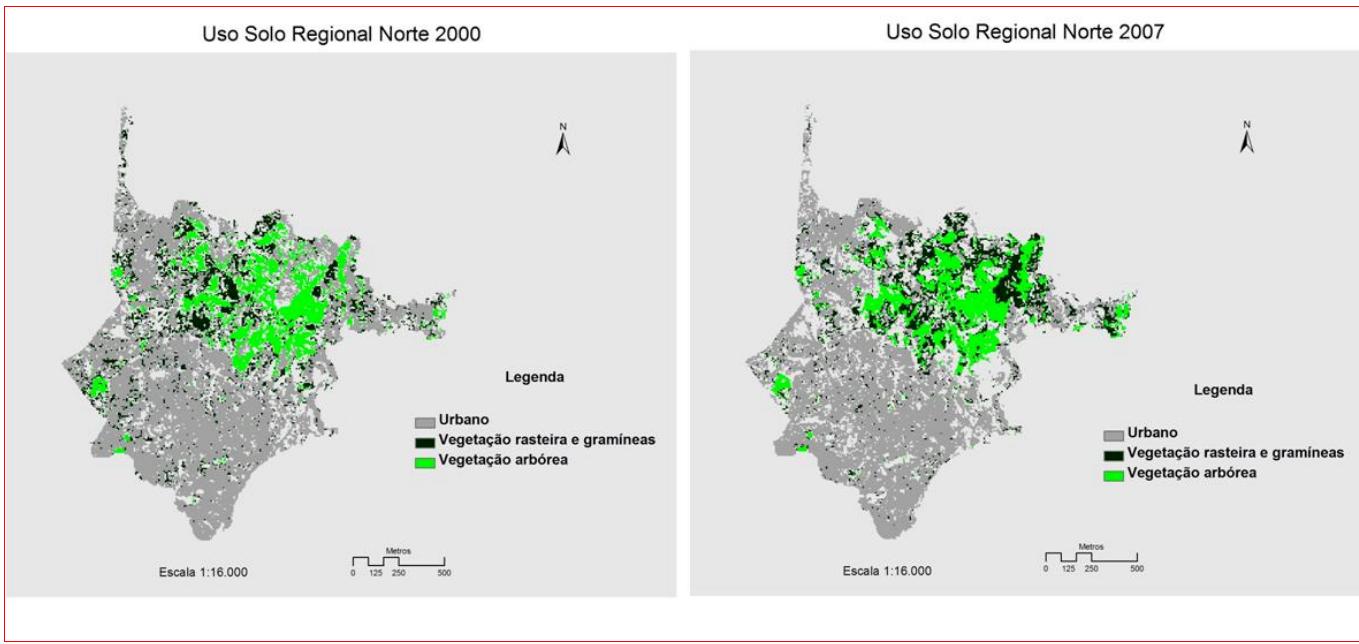


Figura 27 – Regional Norte

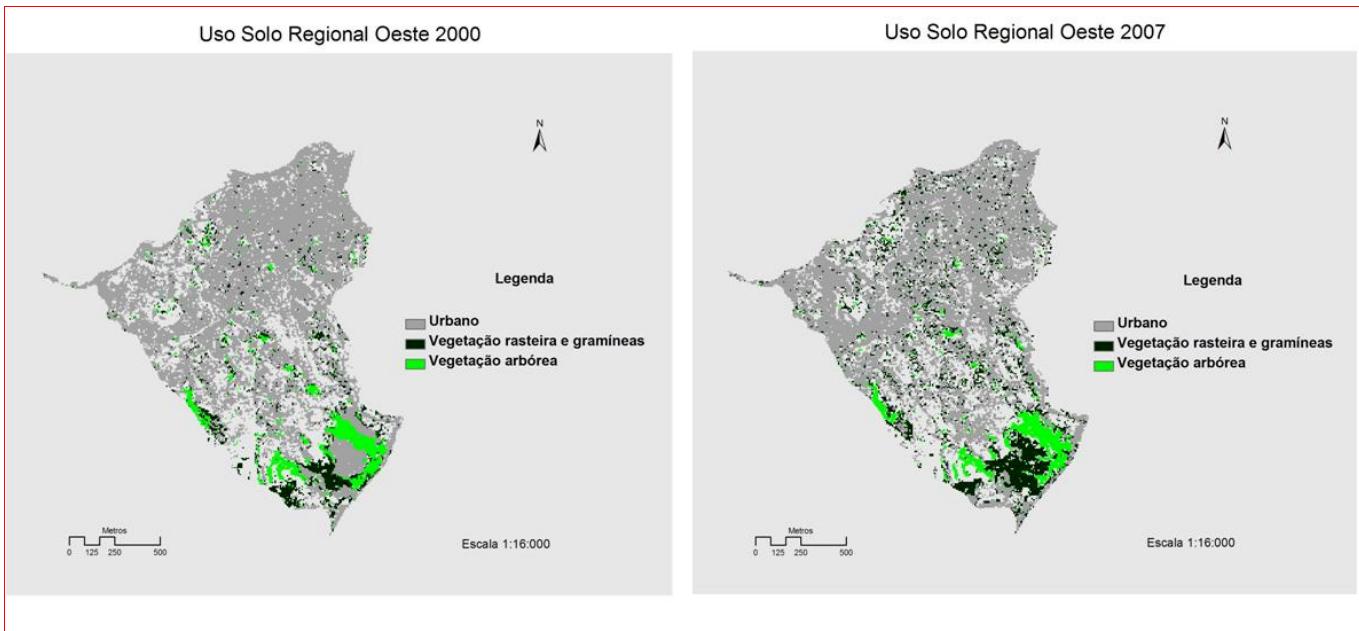


Figura 28 – Regional Oeste

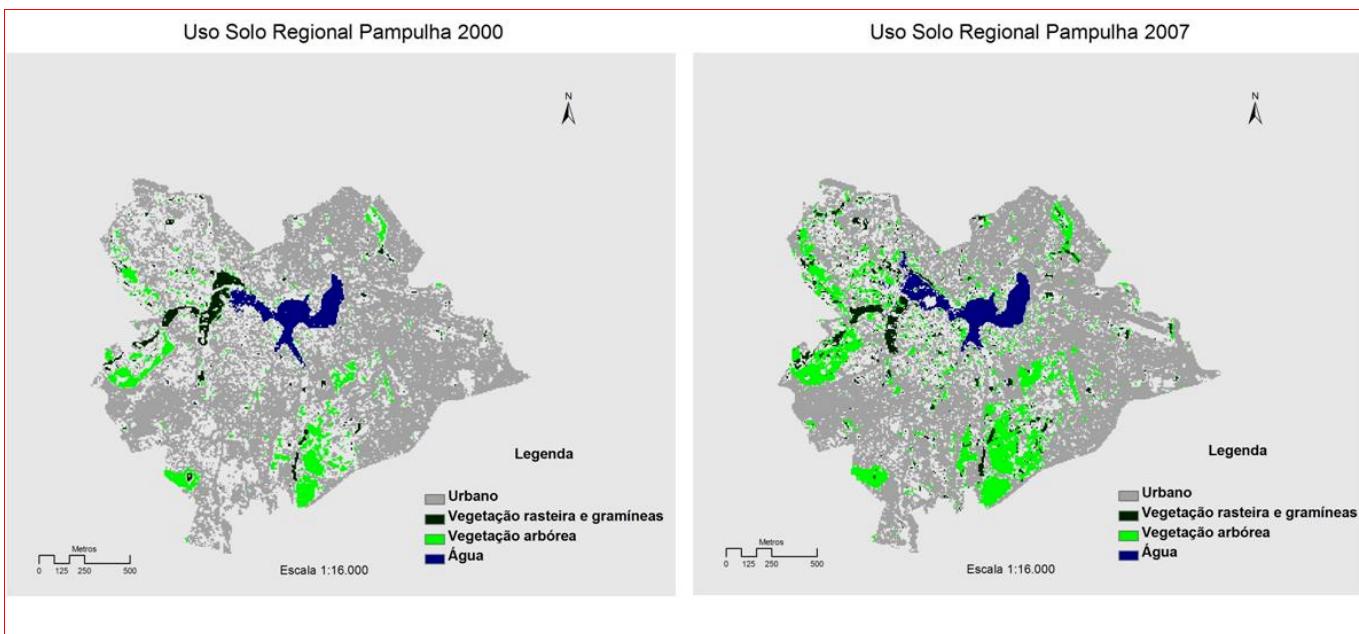


Figura 29 – Regional Pampulha

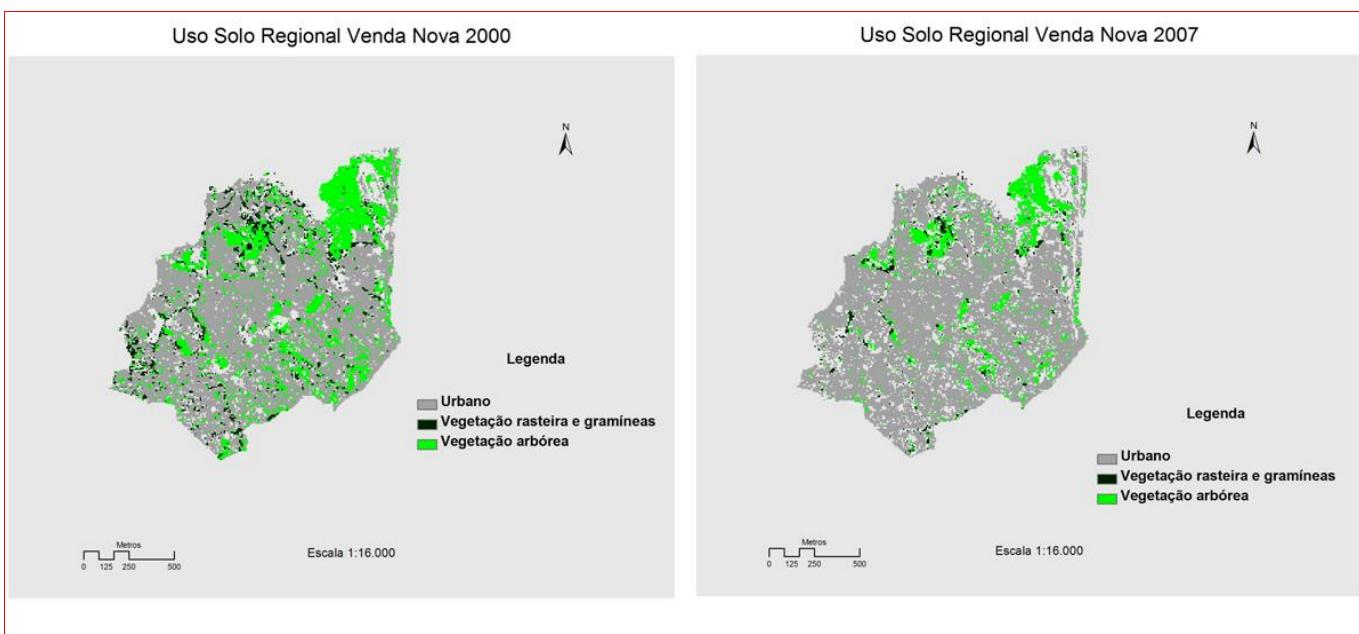


Figura 30 – Regional Venda Nova

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 CO₂e de remoções, conforme ilustrado na figura abaixo.

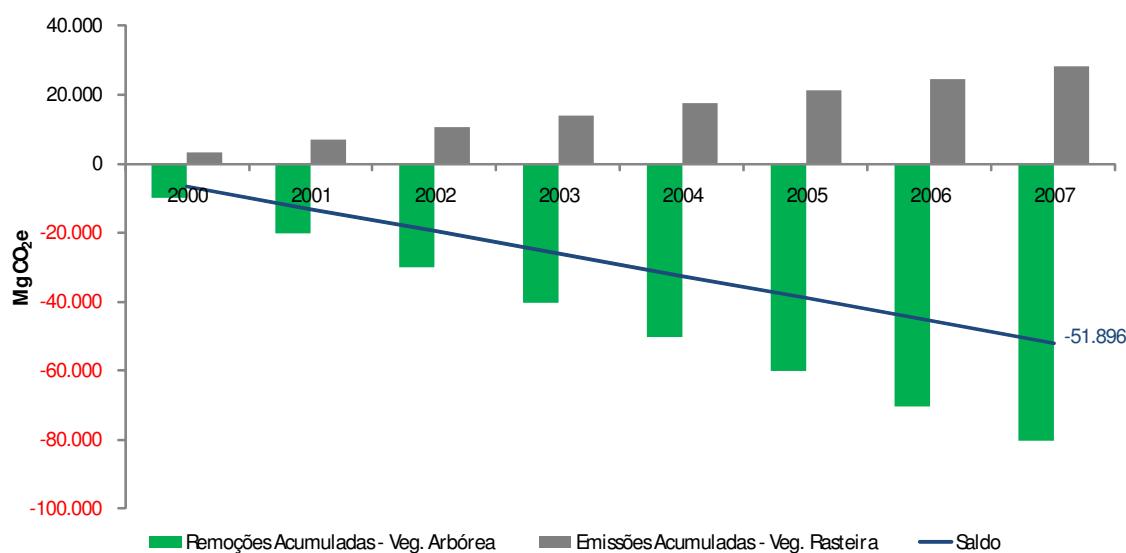


Figura 31: Acumulado de remoções e emissões de GEE em Belo Horizonte por mudança no uso do solo entre 2000 e 2007

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 ₂ 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	115.77 0	157.44 8	185.44 7	207.68 9	226.09 5	243.61 1
Subtotal Resíduos	82.510	148.65 2	202.16 8	238.11 8	266.67 7	290.31 2	312.80 2	332.05 3
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
Subtotal Efluentes	66.94 2	54.90 0	57.05 1	54.69 7	53.19 6	63.10 7	62.85 8	62.10 8
Total	149.45 1	203.55 3	259.21 8	292.81 6	319.87 3	353.41 8	375.66 1	394.16 1

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.

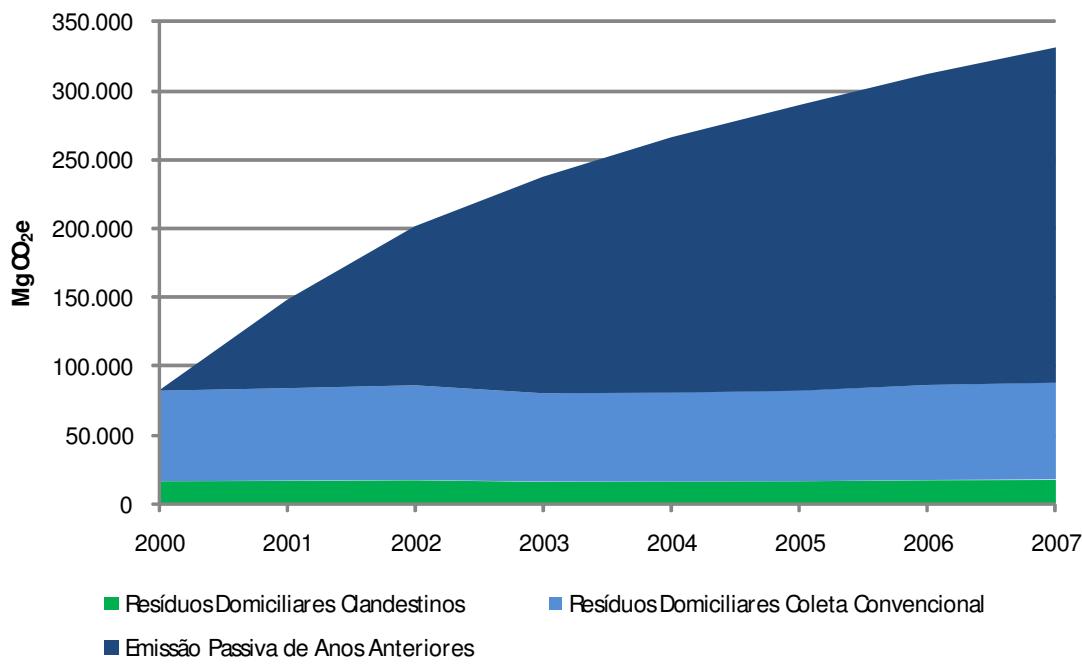


Figura 32: Emissões de GEE entre os anos 2000 e 2007 devido à disposição de resíduos sólidos públicos com o passivo correspondente

Quanto sub-escopo de tratamento de efluentes, os resultados apontaram que, de forma geral, em função da tendência de redução do consumo específico de água⁹ 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.

⁹ 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.

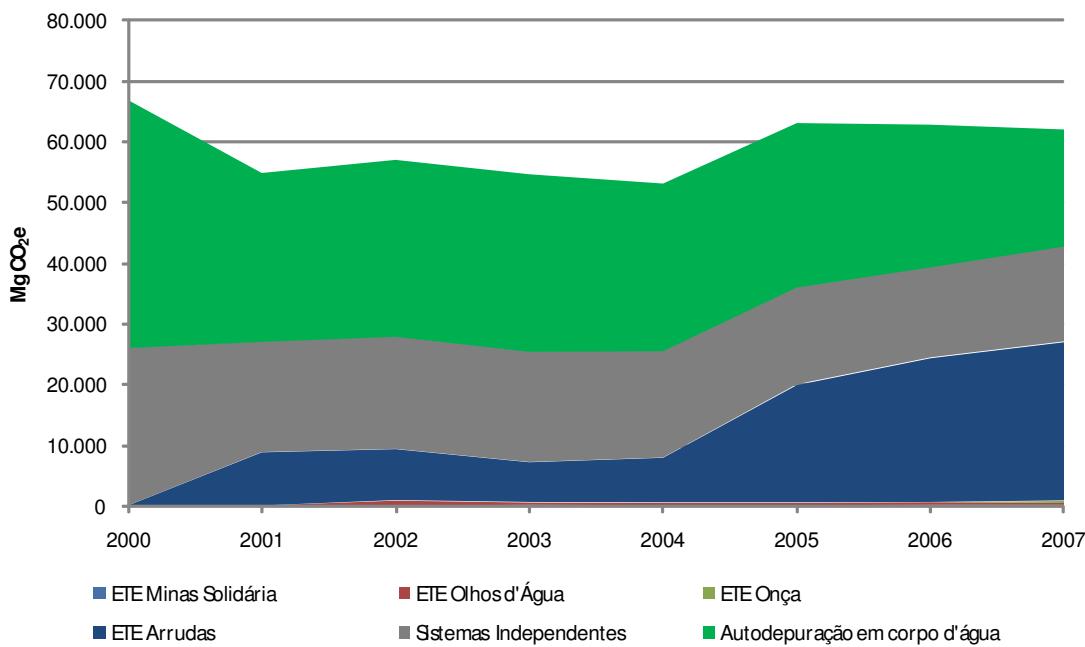


Figura 33: Emissões de GEE entre os anos 2000 e 2007 devido tratamento e lançamento de efluentes sanitários

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

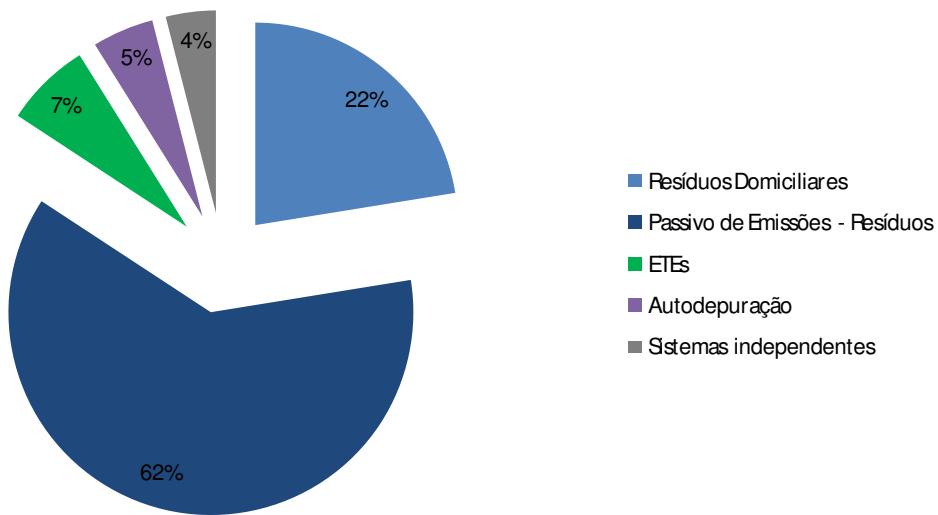


Figura 34: Distribuição das emissões da comunidade de Belo Horizonte no ano de 2007, do escopo setorial de resíduos

4.2.4 Total de Emissões da Comunidade

Ao todo, a comunidade de Belo Horizonte emitiu 2.988.756 toneladas de CO₂e em 2007. Reunindo as emissões dos escopos de Energia, Mudança do Uso do Solo e Resíduos, é possível identificar as fontes que mais contribuiram 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 ₂ 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
Total	2.554.969	2.674.196	2.763.261	2.747.698	2.817.577	2.855.768	2.947.411	2.988.756

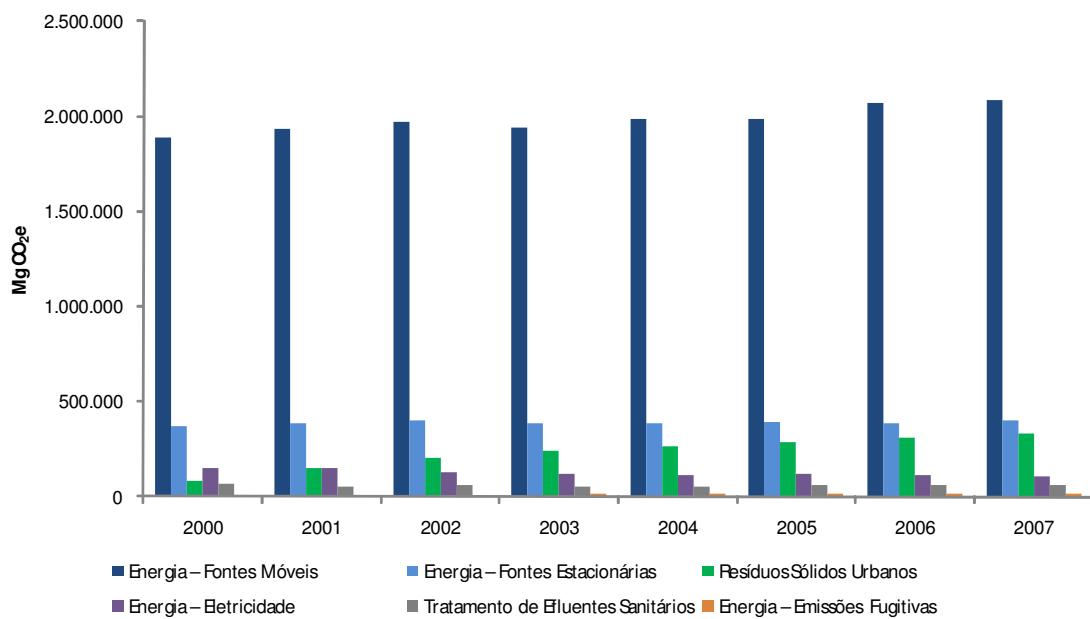


Figura 35: Identificação das fontes de emissão mais preponderantes da comunidade de Belo Horizonte

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 CO₂e. Este valor é 22% superior ao total verificado para o ano 2000, portanto um crescimento médio anual de 2,96%.

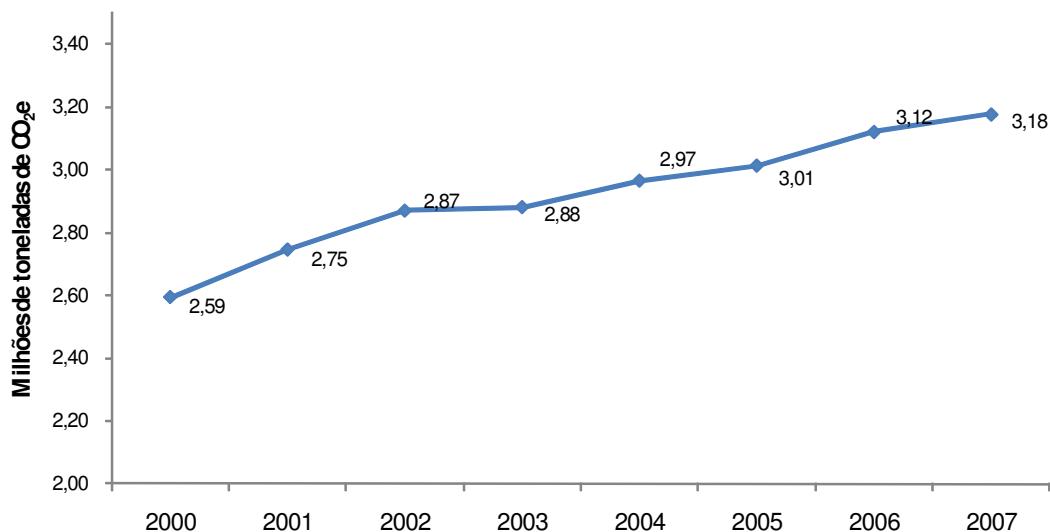


Figura 36: Evolução das emissões de GEE de Belo Horizonte entre 2000 e 2007

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.

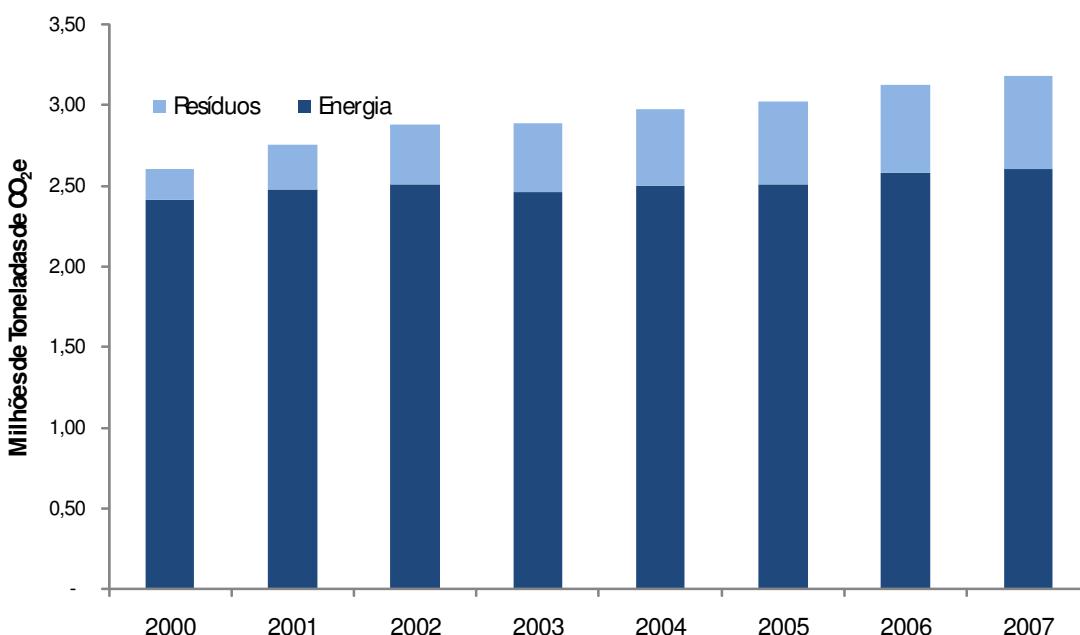


Figura 37: Identificação das fontes de emissão mais preponderantes da comunidade de Belo Horizonte

4.3.1 Escopo Setorial Energia

As emissões de Belo Horizonte do escopo setorial Energia totalizaram 2.601.081 toneladas de CO₂e 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.

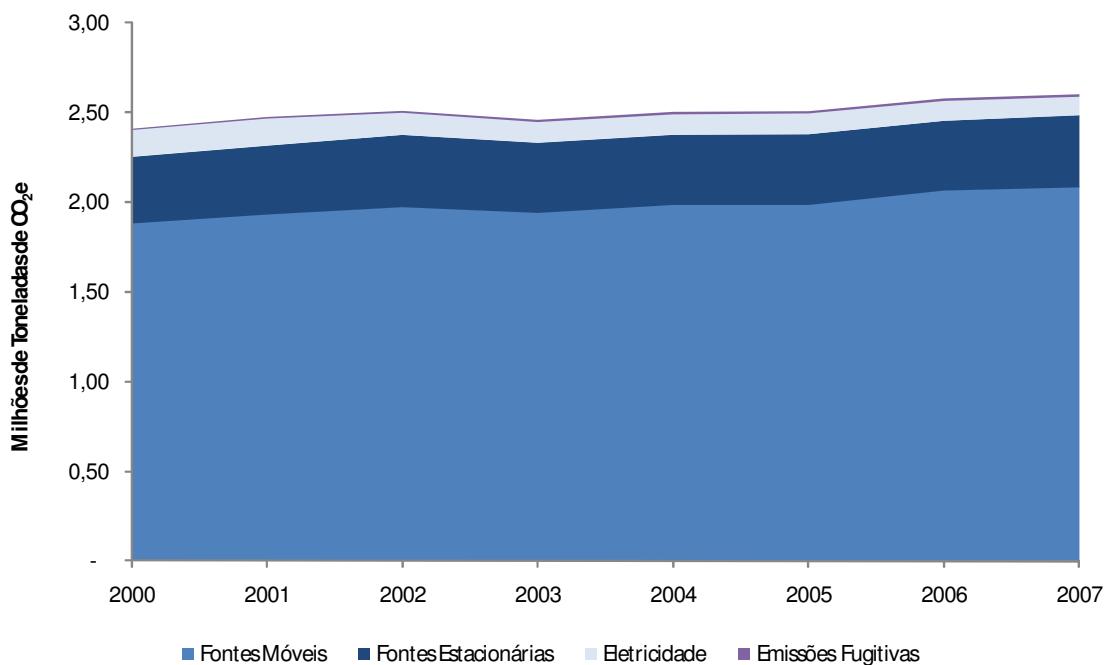


Figura 38: Evolução das emissões do escopo setorial de Energia em Belo Horizonte, 2000 a 2007

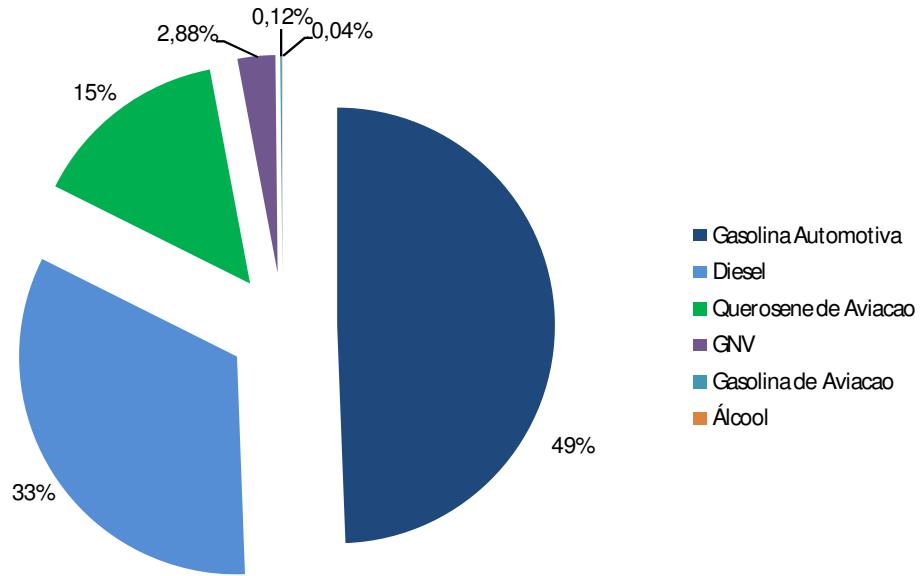


Figura 39: Distribuição das emissões por fontes móveis em Belo Horizonte no ano 2007

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%).

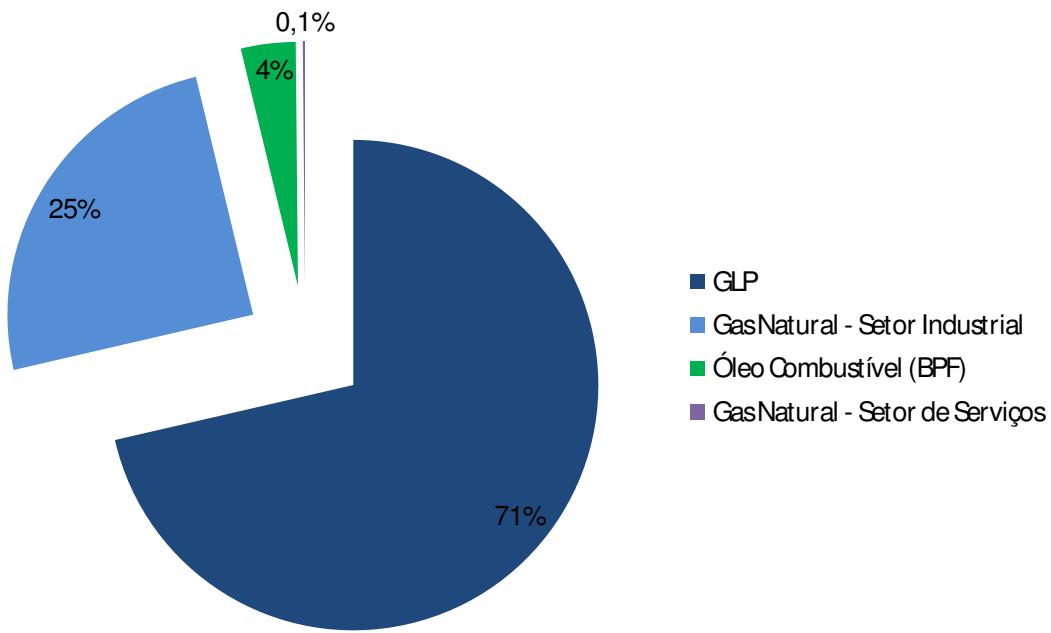


Figura 40: Distribuição das emissões por fontes estacionárias em Belo Horizonte no ano 2007

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 CO₂e). 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.

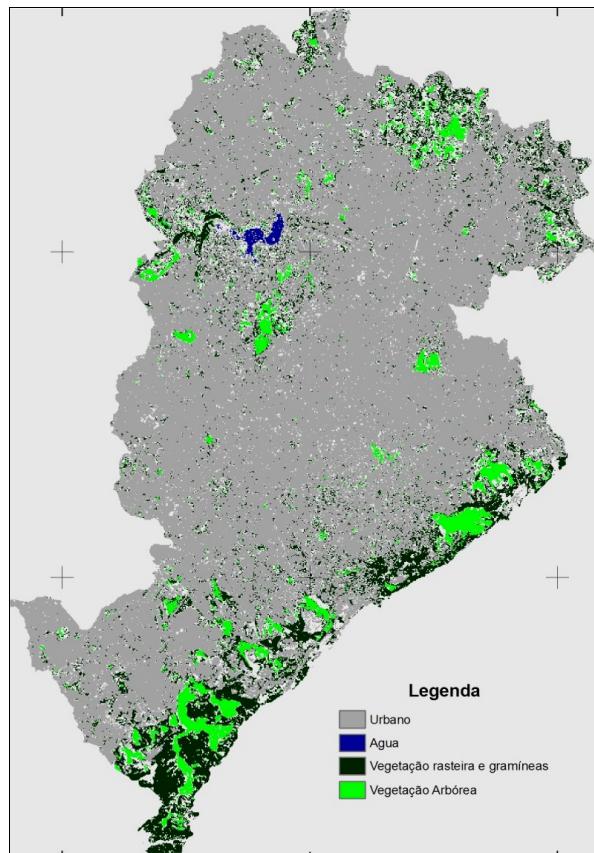


Figura 41: Classificação do uso do solo em Belo Horizonte no ano 2000

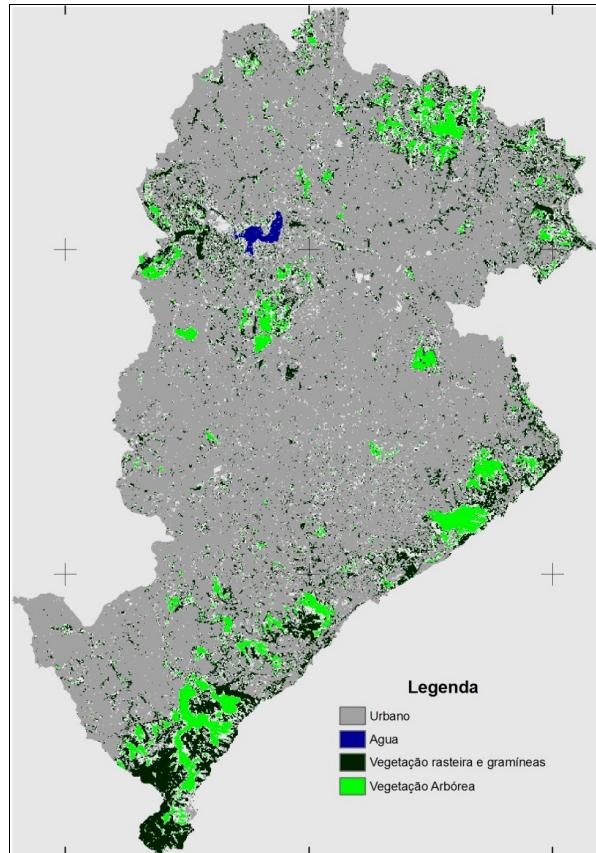


Figura 42: Classificação do uso do solo em Belo Horizonte no ano 2007

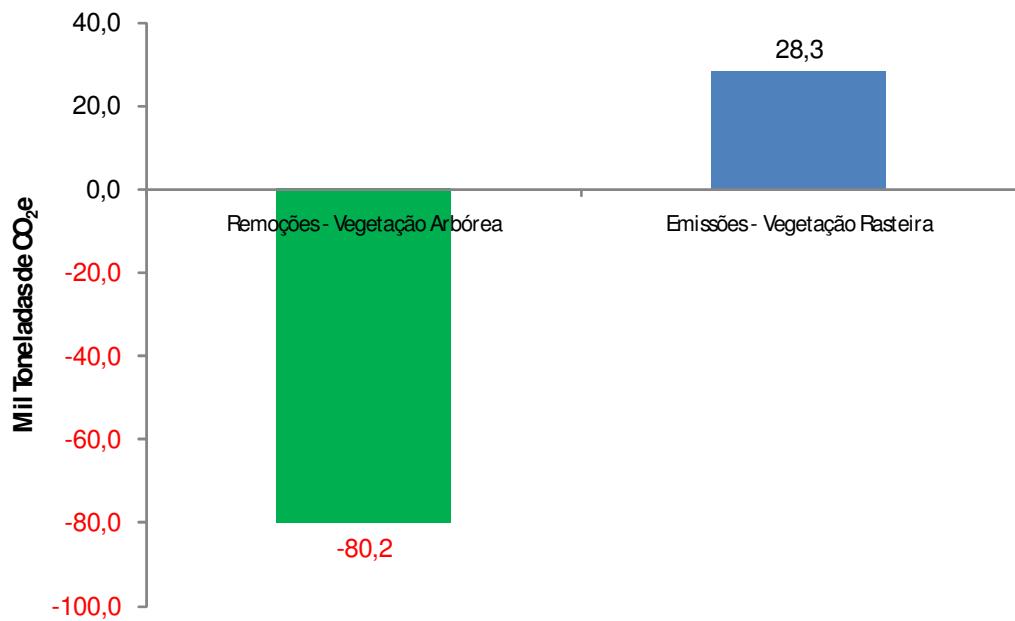


Figura 43: Remoções e Emissões de GEE por alteração no uso do solo em Belo Horizonte, 2000 a 2007

4.3.3 Escopo Setorial Resíduos

No escopo setorial de Resíduos, as emissões decorrentes do tratamento de resíduos sólidos urbanos (520.263 toneladas de CO₂e em 2007) foram mais relevantes do que as emissões decorrentes do tratamento de efluentes sanitários (62.108 t CO₂e 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%).

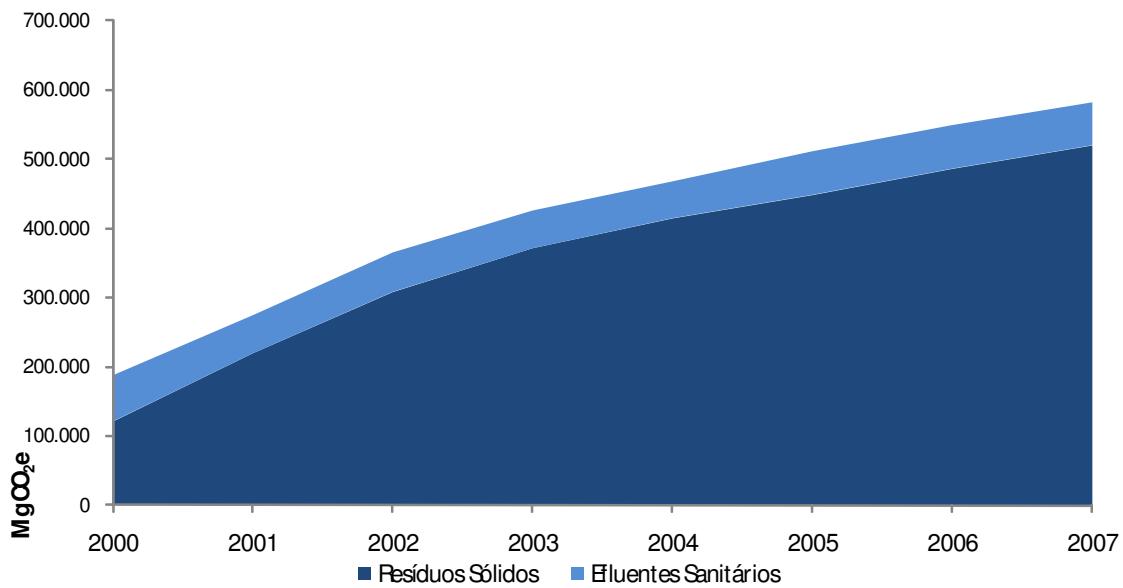


Figura 44: Emissões de GEE do escopo setorial de Resíduos em Belo Horizonte, 2000 a 2007

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 GASMIIG. 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 (Mg CO2e)	Emissões em 2007 (Mg CO2e)	Variação (%)
Combustão Móvel	Gasolina Automotiva	409.443	1.030.217	151,6%
	Diesel	761.771	687.712	-9,7%
	Querosene de Aviacao	48.949	305.599	524,3%
	GNV	-	58.310	N/A
	Gasolina de Aviacao	5.143	2.558	-50,3%
	Álcool	2.034	931	-54,2%
Subtotal Combustão Móvel		1.227.340	2.085.328	69,9%
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%
Subtotal Combustão Estacionária	441.431	398.574	-9,7%
Total	1.668.771	2.483.902	48,8%

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	Variação (%)

	(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%
Total	81.786	130.104	59,1%

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 CO₂e. Em 2007 as emissões foram 80% superiores a este número.

4.5 EMISSÕES DA QUEIMA DE BIOMASSA

As emissões de CO₂ 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 CH₄ decorrentes da combustão incompleta do etanol.

No entanto, para fins informativos, as emissões de CO₂ pela queima de biomassa são relatadas separadamente, conforme mostrado pela tabela e figura abaixo.

Tabela 23: Emissões de CO₂ por queima de etanol hidratado em Belo Horizonte

Ano	Volume Consumido (m³)	Emissão de CO₂ (Mg)
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 CO₂ de Álcool entre 2000 e 2008 não foi suficiente para alcançar os níveis de 1990.

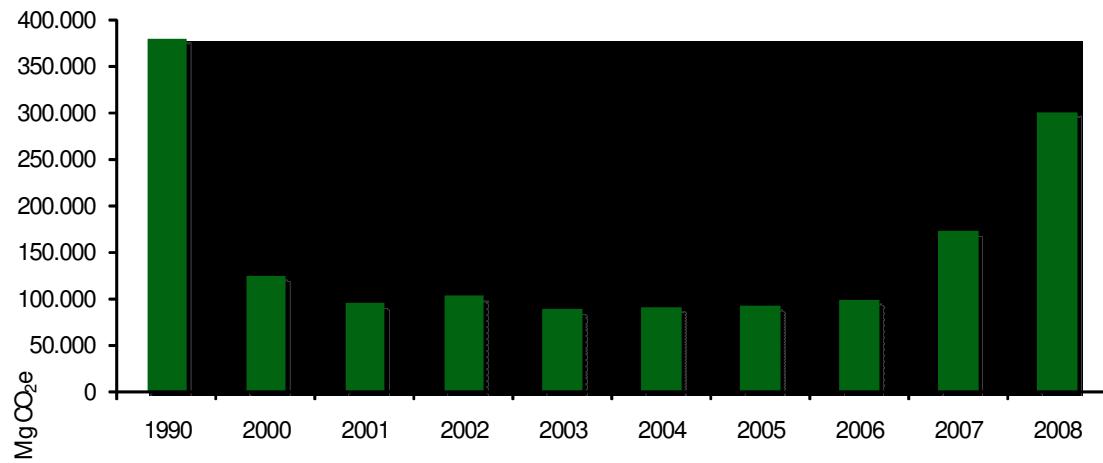


Figura 45: Emissões de CO₂ por queima de etanol hidratado em Belo Horizonte

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*:

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

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 porcentual associada a cada uma das quantidades de uma multiplicação.

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

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

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 porcentual 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%:

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

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

$$(15) \quad \sigma_g = \exp \left\{ \sqrt{\ln \left(1 + \left[\frac{U}{200} \right]^2 \right)} \right\}$$

$$(16) \quad \mu_g = \exp \left\{ \ln(\mu) - \frac{1}{2} \cdot \ln \left(1 + \left[\frac{U}{200} \right]^2 \right) \right\}$$

Onde:

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

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

μ_g Média geométrica;

μ Média aritmética;

σ_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 ₂ e)	Inceteza Combinada	Limite Inferior (Mg CO ₂ e)	Limite Superior (Mg CO ₂ 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 5	3.013.821	10,06%	2.710.577	3.317.064
200 6	3.121.115	10,42%	2.795.764	3.446.467
200 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 CO₂e, 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 CO₂e 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 Sidnei, 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 extendida 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 CO₂e 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 ₂ e	Mg CO ₂ e/hab	kg CO ₂ /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 CO₂e

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 CO₂. 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. Acessado em Jul 2009.

Canadell et al. (2007) Contributions to accelerating atmospheric CO₂ 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. 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. 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 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. Normais 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 greenhousegas 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.ipcc.ch. 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.hmtreasury.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 CO₂ 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 (tCO₂/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 extração 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

(tCO₂/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: Nm³ e L, respectivamente. Nesses casos a quantidade (toneladas) foi calculada a partir da multiplicação pela densidade.

FE_c Fator de emissão do combustível c (tCO₂/TJ).

NCV_c Poder calorífico inferior do combustível c (tCO₂e/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 CH₄ e N₂O não são consideradas.

Resultados

Os resultados estão compilados na Tabela .

Tabela 26. Fatores de emissão de CO₂ do SIN (tCO₂e/MWh)

2000	2001	2002	2003	2004	2005
0,03883 0	0,04561 5	0,03761 4	0,02760 1	0,03438 0	0,03456 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 CO₂ 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 porcentagem). Para intervalos de confiança assimétricos foi considerada a maior diferença percentual entre a média e o limite de confiança;

U_i Incerteza porcentual 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 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 porcentual 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 porcentagem do resultado do cálculo do fator de emissão (Tabela 27).

Tabela 27. Fatores de emissão de CO₂ do SIN e incertezas associadas

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
EF SIN	0,03883	0,04561	0,03761	0,02760	0,03438	0,03456

(tCO₂e/MWh)	0	5	4	1	0	4
Incerteza Combinada	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.

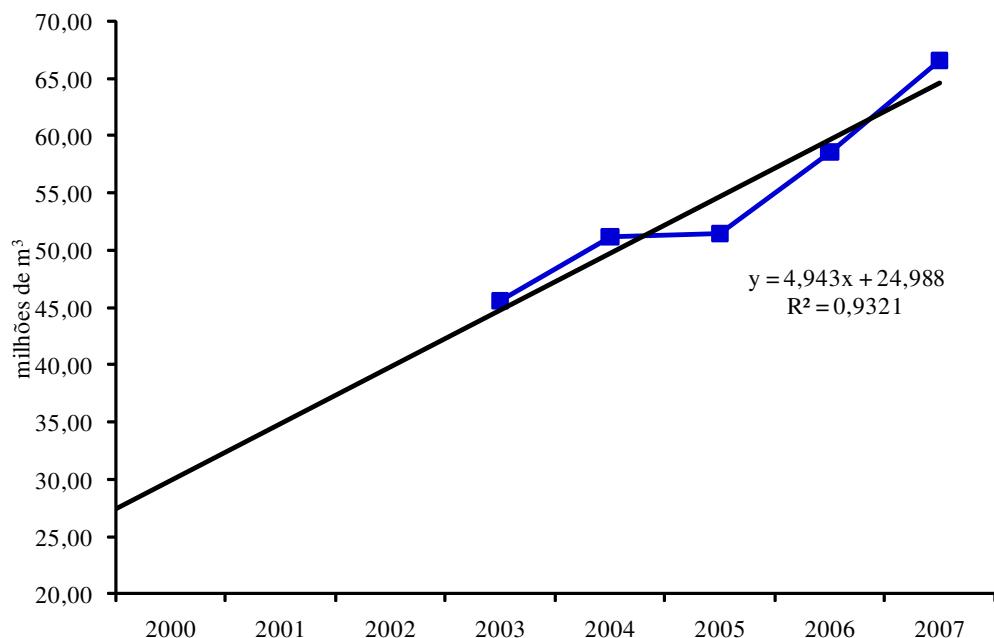


Figura 46: Estimativa de vendas de Gás Natural no setor industrial de Belo Horizonte no período 2000 a 2007

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.

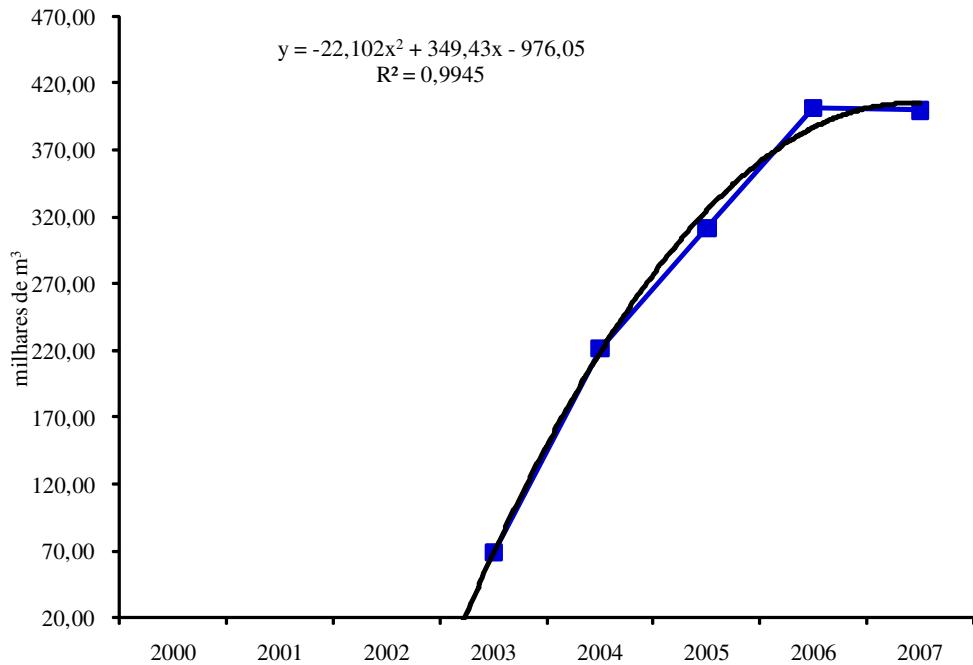


Figura 47: Estimativa de vendas de Gás Natural no setor de serviços de Belo Horizonte no período 2000 a 2007

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.

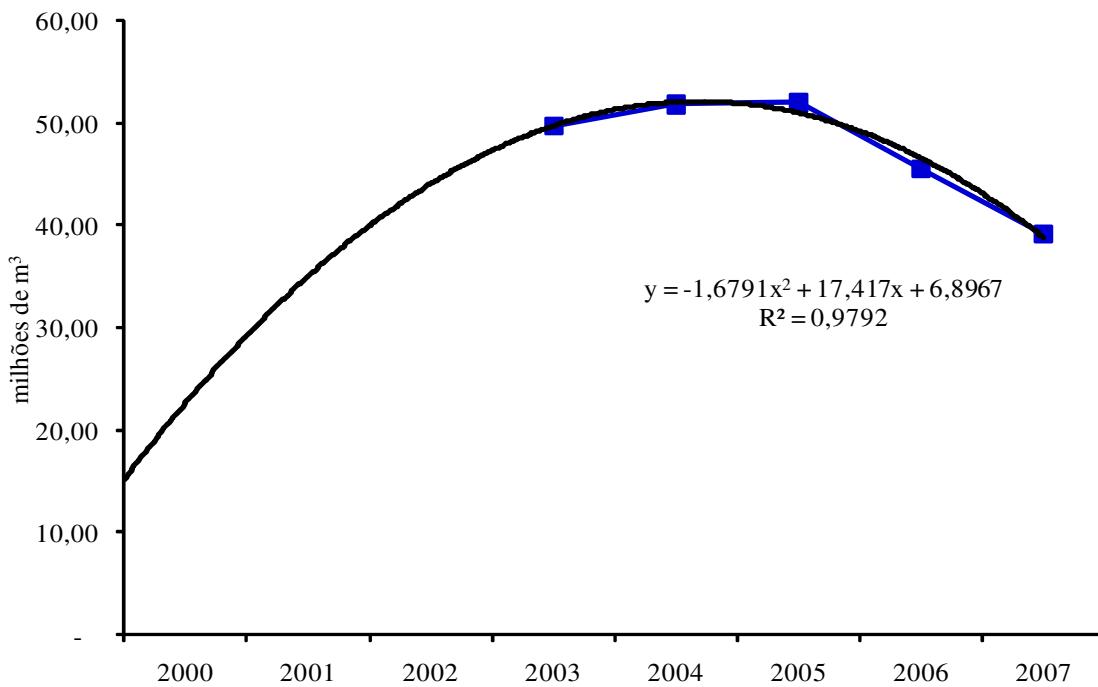


Figura 48: Estimativa de vendas de Gás Natural no setor de serviços de Belo Horizonte no período 2000 a 2007

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

Ano	GN Industrial (Milhões de m³)	GN Serviços (Milhões de m³)	GNV (Milhões de m³)
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 CO₂) 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.

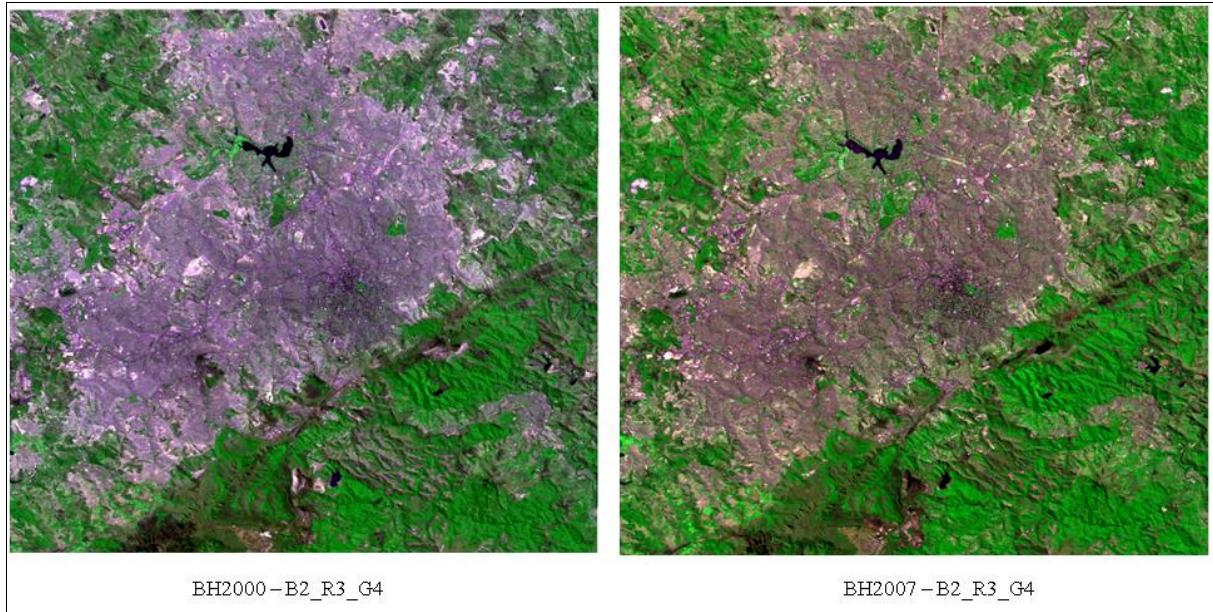


Figura 49 – Imagens Landsat de Belo Horizonte em composição colorida RGB

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).

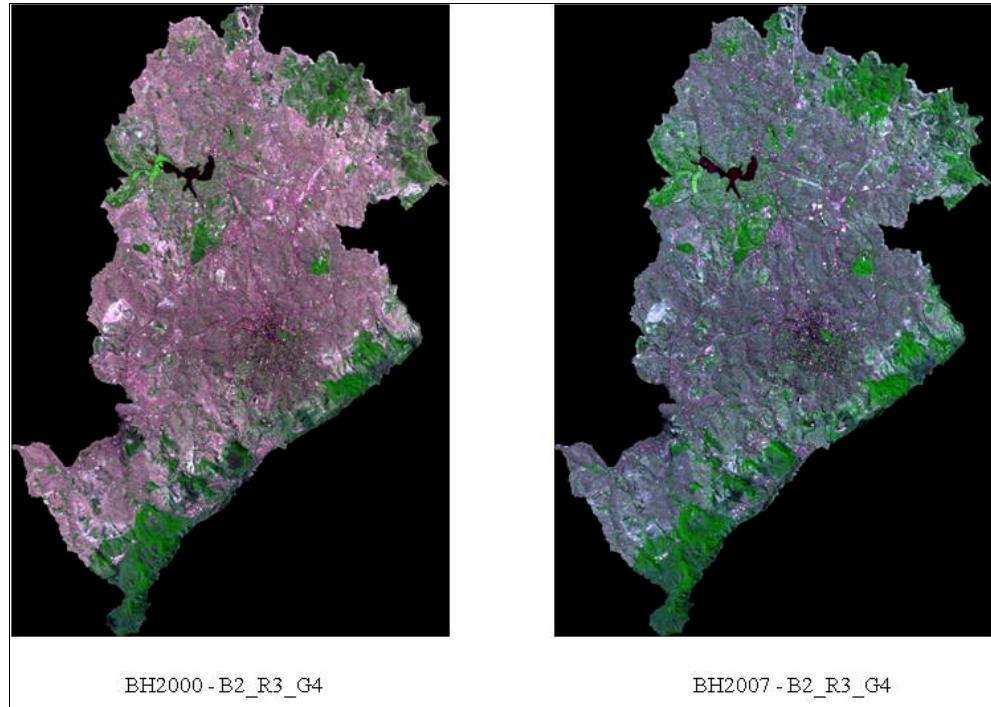


Figura 50 – Áreas de estudo selecionadas

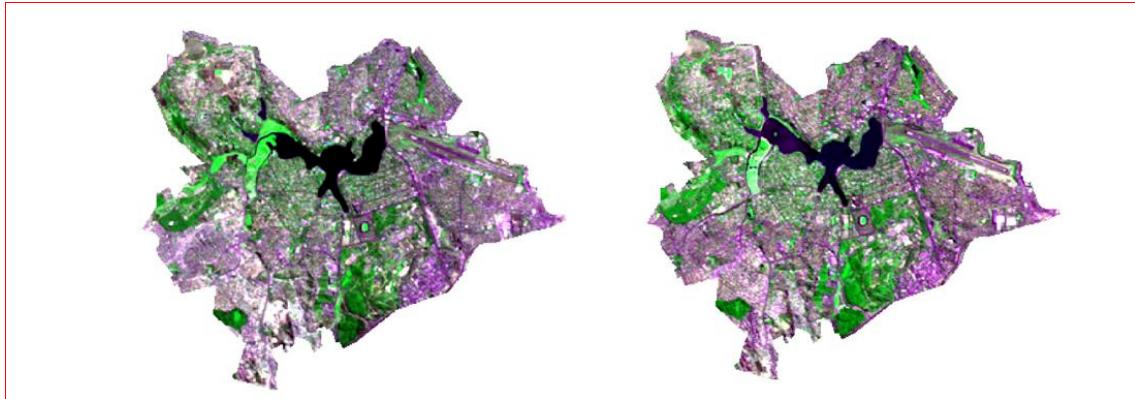


Figura 51 – Regional Pampulha 2000 e 2007

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: constituida 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 um 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.

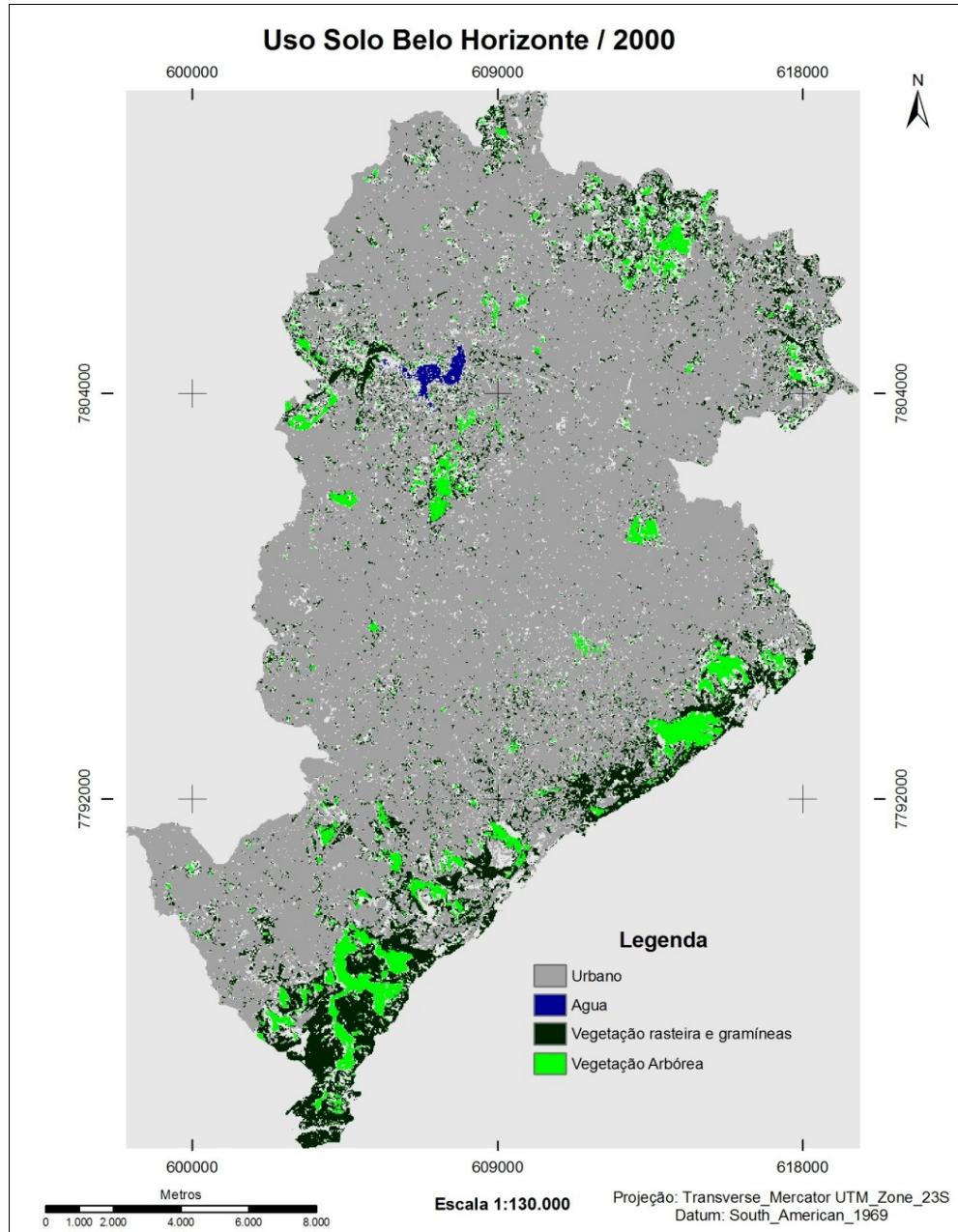


Figura 52 – Mapa de Uso do Solo BH 2000

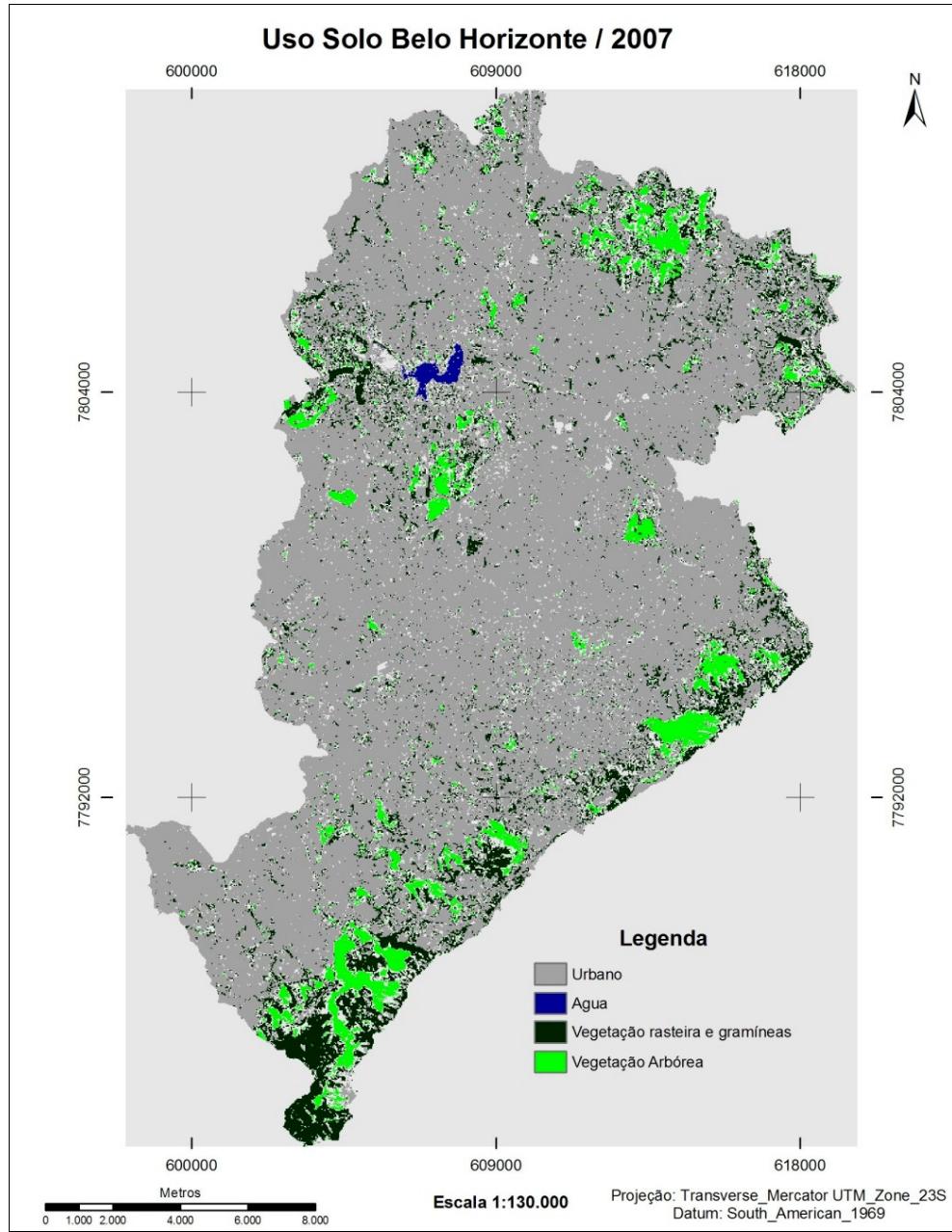


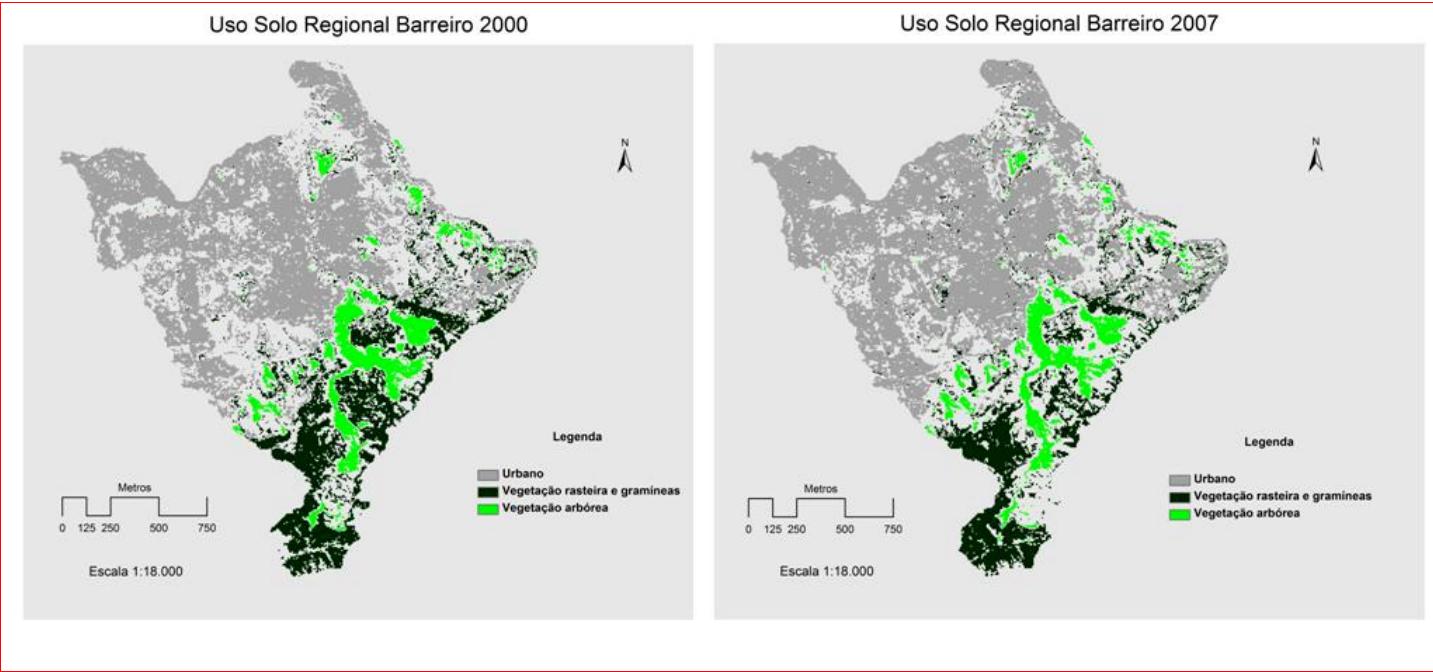
Figura 53 – Mapa de Uso Solo BH 2007

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

Classe		Amostras	Percentual	Área (Hectares)
1	Agua	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
Total		323.690	100.00	29.132,10

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

Classe		Amostras	Percentual	Área (Hectares)
1	Agua	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
Total		326.061	100.00	29.345,49



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.