

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**TRANSPORTE PÚBLICO E MUDANÇAS**  
**CLIMÁTICAS EM BELO HORIZONTE:**  
**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO PROJETO *BUS***  
***RAPID TRANSIT* (BRT) PARA REDUÇÃO DE**  
**EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

**Henrique de Almeida Pereira**

**Belo Horizonte**

**2009**

**TRANSPORTE PÚBLICO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS  
EM BELO HORIZONTE:  
AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO PROJETO *BUS RAPID  
TRANSIT* (BRT) PARA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GASES  
DE EFEITO ESTUFA**

**Henrique de Almeida Pereira**

**Henrique de Almeida Pereira**

**TRANSPORTE PÚBLICO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS  
EM BELO HORIZONTE:  
AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO PROJETO *BUS RAPID  
TRANSIT* (BRT) PARA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GASES  
DE EFEITO ESTUFA**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Emissões Atmosféricas

Linha de pesquisa: Mudanças Climáticas

Orientador: Prof. Gilberto Caldeira Bandeira de Melo

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG  
2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental  
Escola de Engenharia  
Av. Contorno 842 - 7º andar 30110 - 060 Belo Horizonte - BRASIL  
Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental  
Tel. (31) 3238-1038 - Fax (31) 3238.1768  
Assunto:e-mail [especial@desa.ufmg.br](mailto:especial@desa.ufmg.br)

**ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E TECNOLOGIA  
AMBIENTAL**

**ATA DE DEFESA DO TRABALHO FINAL DE: HENRIQUE DE ALMEIDA PEREIRA**

**ORIENTADOR: GILBERTO CALDEIRA BANDEIRA DE MELO**

**NÚMERO DE REGISTRO: 203**

No dia 04 de novembro de 2009, reuniu-se no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG a Comissão Examinadora da Monografia, indicada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental, para julgar, em exame final, a Monografia intitulada.

**“TRANSPORTE PÚBLICO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM BELO HORIZONTE:  
AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO PROJETO BUS RAPID TRANSIT (BRT) PARA  
REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA”**

Requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental. Abrindo a sessão a Presidente da Comissão Examinadora, Prof. Eduardo Delano Leite Ribeiro, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da Monografia, passou a palavra ao aluno para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do aluno. Logo após, a Comissão se reuniu a portas fechadas, para julgamento e expedição do resultado final. Foram atribuídas as seguintes notas (0 a 100)

Comissão Examinadora			Notas	Plano Monografia (0-20) Orientador	Trab. Escrito (0-60)	Apres. Oral (0-20)	<b>Total</b> (0-100)
Prof	Eduardo Delano Leite Ribeiro	DESA		15	45	15	
Prof	Raphael Tobias Vasconcelos Barros	DESA			45	15	
				MÉDIA			95

Pelas indicações, a aluna deve proceder às alterações sugeridas no trabalho, para a sua edição definitiva, a ser entregue no prazo de 60 dias. O resultado final foi comunicado publicamente ao interessado pelo Presidente da Comissão que nada mais havendo a tratar, encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, assinada por todos os membros participantes da Comissão.

Belo Horizonte, 04 de novembro de 2009.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos amigos da MundusCarbo e da BHTrans. À família o agradecimento pela paciência e compreensão.

## RESUMO

Este trabalho apresenta as relações entre transporte e mudança climática. Devido a crescente pressão populacional e os recentes incentivos criados pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas faz-se necessário o desenvolvimento de soluções de transporte público para reduzir o impacto climático dos centros urbanos. O caso de Belo Horizonte foi utilizado para discutir a contribuição do sistema de transporte público em termos de emissões e potenciais alternativas para um sistema mais eficiente e menos emissor. O município se prepara para a instalação de 5 sistemas de *Bus Rapid Transit* (BRT). Sistemas BRT são tecnologias de transporte rodoviário com eficiência de sistemas ferroviários e vem ganhando espaço em países em desenvolvimento devido ao relativo baixo custo de implantação, principalmente se comparado ao metrô.

Objetiva-se, portanto, discutir a relação entre transporte e mudanças climáticas avaliando os sistemas BRT como tecnologia mitigadora das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no transporte público. Mais especificamente, buscou-se avaliar as emissões de GEE por transporte público no município de Belo Horizonte por meio de um estudo de caso no BRT da Avenida Antônio Carlos. O estudo aplicou a metodologia do MDL AM0031 *Baseline Methodology for Bus Rapid Transit Projects* ao projeto da Antônio Carlos quantificando as reduções de emissão.

Para tanto, o trabalho apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre Mudanças Climáticas e sua relação com o transporte rodoviário. Discute ainda sobre os sistemas BRT e sua aplicação na América Latina permitindo a construção de um paralelo com a situação do Município de Belo Horizonte. Para aplicação da metodologia AM0031, a pesquisa levantou dados operacionais junto a BHTrans detalhando o sistema de transporte público em Belo Horizonte, a frota em operação, consumo de combustíveis, volume de passageiros e demais dados operacionais.

O BRT da Avenida Antônio Carlos terá 27 km de extensão e custo estimado de R\$ 556 milhões. São esperados 25 mil passageiros por hora. Espera-se grande eficiência do sistema uma vez que este operará em pista exclusiva, com estações duplas e ultrapassagem. O sistema contará ainda com estações de embarque com pré-pagamento e sistemas de TI para controle de saídas e chegadas. Hidalgo (2008) avaliou a eficiência de sistemas BRT e metrô concluindo que ambos operam em faixas equivalentes entre 20.000 e 40.000 passageiros hora sentido (PHS) transportados.

Este trabalho demonstra que as reduções de emissão de gases de efeito estufa oriundas do projeto totalizam 59.393 tCO<sub>2</sub>e por ano, o que representa 61,83% de redução em relação ao sistema atual de transporte urbano nesta via. Em termos absolutos, conclui-se que a redução do projeto é insignificante em relação as emissões totais do município, que totalizaram, em 2007, 3,18 milhões de tCO<sub>2</sub>e (1,86%). Entretanto, a aplicação de sistemas BRT em grande escala pode ter um impacto significativo se reduções da ordem de 60% também forem alcançadas nos demais sistemas BRT em avaliação. As emissões oriundas de fontes móveis correspondem a 80% das emissões do escopo setorial de energia em Belo Horizonte, destas o diesel é a segunda fonte mais representativa totalizando 687.712 tCO<sub>2</sub>e em 2007.

**Palavra Chave:** transporte público, mudanças climáticas, BRT, MDL, emissões atmosféricas, gases de efeito estufa.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>1 OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	4
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	5
2.1.1 <i>A Base Científica</i> .....	5
2.1.2 <i>Perfil de emissões de GEE: Brasil e Minas Gerais</i> .....	9
2.1.3 <i>Perfil de emissões de GEE: Belo Horizonte</i> .....	11
2.2 TRANSPORTE PÚBLICO: TECNOLOGIAS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	14
2.2.1 <i>Bus Rapid Transit (BRT)</i> .....	14
2.2.2 <i>Transporte e Mudanças Climáticas</i> .....	15
2.2.3 <i>BRT como projeto de redução de GEE na América Latina</i> .....	17
2.3 BELO HORIZONTE .....	19
2.3.1 <i>Vias, Frotas e Consumo de Combustíveis</i> .....	19
<b>3 BRT EM BELO HORIZONTE .....</b>	<b>23</b>
3.1 SITUAÇÃO DO MUNICÍPIO .....	23
3.2 PROJETOS BRT EM AVALIAÇÃO.....	25
3.3 BRT AVENIDA ANTÔNIO CARLOS .....	26
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
4.1 METODOLOGIA DE LINHA DE BASE PARA PROJETOS BUS RAPID TRANSIT .....	31
4.1.1 <i>Aplicação</i> .....	31
4.1.2 <i>Resumo descritivo</i> .....	31
4.1.3 <i>Fronteira de Projeto</i> .....	32
4.2 EMISSÕES DE LINHA DE BASE .....	32
4.2.1 <i>Determinação das Categorias de Veículos</i> .....	33
4.2.2 <i>Cálculo dos Fatores de Emissão</i> .....	34
4.3 EMISSÕES DE PROJETO.....	35
4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE VAZAMENTOS .....	37
4.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE MONITORAMENTO .....	37
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
5.1 EMISSÕES DE LINHA DE BASE.....	38
5.2 EMISSÕES DE PROJETO.....	39
5.3 REDUÇÕES TOTAIS.....	40
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concentração de CO <sub>2</sub> na atmosfera terrestre 1960 – 2000 .....	6
Figura 2. Variações da temperatura média global 1860 - 2000 .....	8
Figura 3. Participação do transporte rodoviário nas emissões de transporte do Brasil - 1994 .....	10
Figura 4. Participação do transporte rodoviário nas emissões de transporte de Minas Gerais - 2004. ....	11
Figura 5. Histórico de Emissões de GEE de Belo Horizonte – 2000 a 2007 .....	12
Figura 6. Contribuição dos Setores Energia e Resíduos para as Emissões de GEE de Belo Horizonte – 2000 a 2007.....	12
Figura 7. Contribuição das fontes de emissão do Setor Energia em Belo Horizonte – 2000 a 2007 ...	13
Figura 8. Participação de cada combustível nas Emissões do Setor de Transporte em Belo Horizonte – 2007.....	13
Figura 9. Evolução do consumo de combustíveis em Belo Horizonte – 2004 a 2008 .....	21
Figura 10. Participação modal rodoviário em Belo Horizonte (2008).....	24
Figura 11. Rota BRT Avenida Antônio Carlos.....	26
Figura 12. Diagrama do Sistema BRT da Antônio Carlos.....	27
Figura 13. Esquema de via BRT com paradas duplas com ultrapassagem livre - BRT Antônio Carlos .....	30
Figura 14. Alternativas metodológicas para cálculo de emissão por passageiro transportado .....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Potencial de Aquecimento Global (GWP) dos principais Gases de Efeito Estufa .....	7
Tabela 2. Fatores de Emissão projeto MDL TransMilenio .....	18
Tabela 3. Projetos de Transporte (BRT e Metrô) na América Latina em registro no MDL .....	18
Tabela 4. Dados do sistema de transporte público de Belo Horizonte em 2008 .....	25
Tabela 5. Projetos BRT em Belo Horizonte .....	25
Tabela 6. Fontes de emissão incluídas e excluídas da fronteira de projeto .....	32
Tabela 7. Dados de entrada para cálculo de emissões da linha de base.....	38
Tabela 8. Dados de entrada para cálculo de emissões da linha de base.....	39
Tabela 9. Dados de entrada para cálculo de emissões da linha de base.....	39
Tabela 10. Dados de entrada para cálculo de emissão do projeto.....	40

## INTRODUÇÃO

A temática das mudanças climáticas tem dominado o debate ambiental. O aquecimento global é considerado um dos grandes problemas da sociedade moderna e grandes esforços são empreendidos para combater as crescentes emissões de gases estufa. Contudo, muito pouco se discute sobre as ações cotidianas emissoras de Gases de Efeito Estufa (GEE) e como alterar hábitos há muito consolidados em nosso dia a dia.

Dentre estes problemas do cotidiano se destaca o transporte rodoviário, que nas grandes cidades se materializa em engarrafamentos, serviços de transporte público de qualidade duvidosa e altos investimentos em infraestrutura que em poucos anos são subjugados pela crescente quantidade de carros, ônibus e pessoas. Uma alteração estrutural demanda não apenas investimento mas também a participação da sociedade. Este trabalho discute as relações entre mudanças climáticas e o transporte rodoviário em Belo Horizonte.

Como estudo de aplicação é discutido o papel dos sistemas *Bus Rapid Transit* (BRT) como tecnologia de mitigação do efeito estufa. Vários sistemas BRT estão sendo implementados na América Latina. O projeto do TransMilenio na Colômbia é exemplo mundial e reduziu entre 2006 e 2007 as emissões de 128.285 tCO<sub>2</sub>e (UNFCCC 2006). Belo Horizonte discute a implantação de 5 sistemas BRT: Antônio Carlos, Carlos Luz, Pedro II, Amazonas e Nossa Senhora do Carmo. O BRT da Antônio Carlos está em fase avançada de implantação de infraestrutura e foi, portanto, considerado adequado para uma análise quantitativa por este trabalho.

Objetiva-se aplicar a metodologia de cálculo de redução de emissão AM0031<sup>1</sup> em sistemas BRT aprovada pela Convenção Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (CQNUMC). Este trabalho quantificou uma redução de emissão de 59.393 tCO<sub>2</sub>e por ano devido a implantação do BRT Antônio Carlos. No contexto do município de Belo Horizonte, tal redução é pouco relevante e representa 1,86% das emissões totais da cidade. Por outro lado, o resultado sinaliza um bom potencial dos sistemas BRT para mitigar as emissões do transporte público no âmbito municipal.

---

<sup>1</sup> Disponível em: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/GBFY1EP0Q2XUZQY9HJLL5BP9DOM0QW>

# 1 OBJETIVOS

## 1.1 *Objetivo geral*

Discutir a relação entre transporte e mudanças climáticas avaliando os sistemas de *Bus Rapid Transit* (BRT) como tecnologia mitigadora das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no transporte público municipal por meio de um estudo de caso.

## 1.2 *Objetivos específicos*

Avaliar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelo transporte público no município de Belo Horizonte por meio de um estudo de caso no BRT da Avenida Antônio Carlos:

- Discutir a aplicação da metodologia do MDL AM0031 *Baseline Methodology for Bus Rapid Transit Projects* ao projeto BRT da Antônio Carlos;
- Quantificar as reduções de emissão esperadas pelo projeto BRT Antônio Carlos segundo a metodologia do MDL AM0031.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Mudanças Climáticas

#### 2.1.1 A Base Científica

Em 1896, Svante Arrhenius publicou o artigo *Sobre a influência do Ácido Carbônico no Ar para a Temperatura sobre o Solo*<sup>2</sup>. Esta foi a primeira tentativa de quantificar os efeitos do aumento de concentração de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera sobre o aumento de temperatura da superfície terrestre. Apesar dos cálculos do químico sueco serem baseados em um volume restrito de dados, suas conclusões apresentaram-se como surpreendentemente realistas. Apesar do reconhecido esforço quantitativo, Arrhenius não foi o primeiro a investigar o Efeito Estufa. O matemático francês, Jean Baptiste-Joseph Fourier, introduziu o conceito de efeito estufa ao comparar a atmosfera terrestre a um jarro de vidro que é aquecido não pela radiação solar direta, mas principalmente pela radiação de ondas longas emitidas pelo solo. Observa-se portanto, que a temática climática não é recente e remete ao século XIX.

O clima médio global da Terra é determinado pela energia irradiada pelo Sol e por propriedades da Terra e sua atmosfera, principalmente a reflexão, absorção e emissão de energia na atmosfera e na superfície terrestre. Da luz incidente total envolvendo todos os comprimentos de onda que chegam até a Terra, cerca de 50% alcança a superfície, onde é absorvida. Outros 20% da luz incidente são absorvidos por gases e pelo vapor de água presentes no ar. Os outros 30% são refletidos de volta para o espaço pelas nuvens, gelo, neve, areia e por outros corpos refletivos sem que ocorra qualquer absorção (Bird 2002). Portanto, variações climáticas podem ser causadas por alterações na energia solar recebida, nas propriedades da atmosfera ou ainda na superfície terrestre.

Importantes alterações ocorreram na atmosfera e na superfície terrestre modificando o balanço energético da Terra e, conseqüentemente, levando a mudanças no clima (IPCC 2007). Entre estas alterações destacam-se o aumento de concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE), que aumentam a capacidade de absorção atmosférica da radiação que seria refletida de volta ao espaço, do aumento de aerossóis<sup>3</sup> que refletem e absorvem radiação solar e alterações nas propriedades radiativas da nuvens. Evidências que a concentração de GEEs está aumentando na atmosfera não eram conclusivas até a década de 1960 quando

---

<sup>2</sup> Tradução livre do autor. Texto original intitulado *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground*.

<sup>3</sup> Partículas microscópicas no ar ou gotículas

as observações das séries temporais de concentração de CO<sub>2</sub> das primeiras estações de monitoramento se tornaram suficientes para revelar uma tendência ascendente de concentração deste gás.

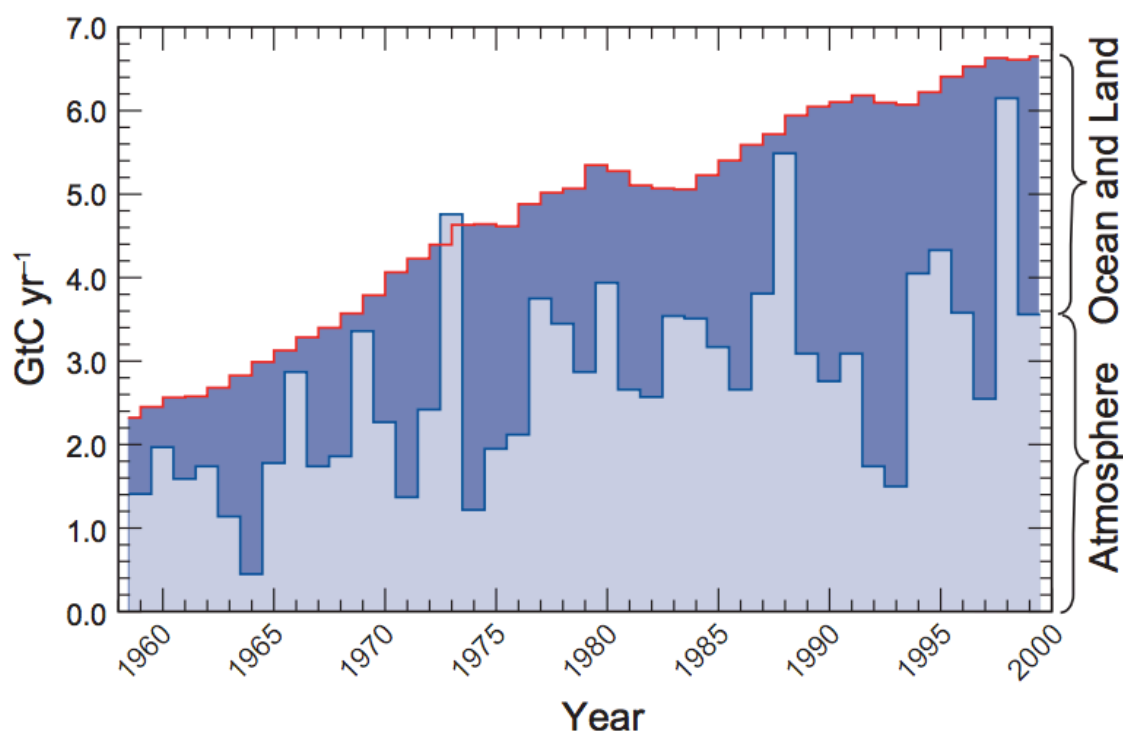


Figura 1. Concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre 1960 – 2000

Fonte: Wallace and Hobbs 2006

O fator dominante nas alterações climáticas em nossa era industrial é a concentração crescente de vários gases de efeito estufa na atmosfera. As propriedades físico-químicas destes gases lhes confere características<sup>4</sup> que lhes permitem a absorção da radiação infravermelha térmica em várias faixas de onda. A Terra emite energia e para que a temperatura se mantenha constante a quantidade de energia absorvida deverá ser igual à quantidade de energia liberada. Assim, parte do infravermelho térmico emitido pela superfície da Terra e pela atmosfera escapa diretamente para o espaço. Outra parte, após sua absorção pelos Gases de Efeito Estufa e vapor de água presentes no ar, é reemitida aleatoriamente em todas as direções. Uma parte do infravermelho térmico é, portanto, redirecionada para a superfície da Terra, sendo então reabsorvida. Este fenômeno tem como consequência o aquecimento adicional tanto da superfície como do ar, e é

<sup>4</sup> A radiação é absorvida praticamente de forma total quando sua frequência quase se iguala à frequência do movimento interno de uma molécula que venha a encontrar. Os Gases de Efeito Estufa tem frequência de vibração molecular próxima do comprimento de onda da radiação infravermelha. Para as frequências na região do infravermelho (luz visível), os movimentos relevantes são as vibrações dos átomos que constituem as moléculas relativas uns aos outros causando movimentos de estiramento ou deformação angular.

denominado efeito estufa (Bird 2002). Vários dos principais GEEs ocorrem naturalmente mas aumentos em suas concentrações atmosféricas nos últimos 250 anos são causadas principalmente por atividades humanas. Outros GEEs são resultados exclusivos da atividade humana.

Os GEEs possuem impactos relativos para o efeito estufa. Para comparar a contribuição de cada GEE é conveniente definir o índice denominado Potencial de Aquecimento Global (da sigla em inglês GWP). O GWP é definido como a massa de CO<sub>2</sub> que, quando injetada na atmosfera, produz um incremento no efeito estufa equivalente àquele causado pela injeção de 1 kg de outro GEE (Wallace and Hobbs 2006). O GWP representa o efeito combinado do tempo de permanência de determinado gás na atmosfera e de sua eficiência relativa de absorção da radiação infravermelha comparado ao CO<sub>2</sub>. O cálculo do GWP é apresentado pela fórmula abaixo:

$$GWP = \frac{\int_0^T a_x c_x(t) dt}{\int_0^T a_{CO_2} c_{CO_2}(t) dt}$$

Onde  $T$  é o intervalo de tempo,  $a_x$  a eficiência radiativa do gás  $x$  na unidade  $w.m^{-2} kg^{-1}$ ,  $c_x$  é a fração da massa do gás  $x$  injetado na atmosfera no tempo  $t = 0$  que continua na atmosfera no tempo  $t$ , e  $a_{CO_2}$  e  $c_{CO_2}$  são as quantidades correspondentes de CO<sub>2</sub>. A Tabela 1 abaixo apresenta o GWP dos principais gases de efeito estufa.

Tabela 1. Potencial de Aquecimento Global (GWP) dos principais Gases de Efeito Estufa

Nome	Fórmula	Tempo de Residência (anos)	GWP
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	-	1
Metano	CH <sub>4</sub>	12	21
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	114	310
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	270	11.700
PFC-14	CF <sub>4</sub>	50.000	6.500
Hexafluoreto de Enxofre	SF <sub>6</sub>	3.200	23.900

Fonte: IPCC 2007

O recente esforço do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Globais do Clima (em inglês IPCC) tem evidenciado o papel do homem como agente causador central das Mudanças Climáticas. O aumento da concentração de gases traço na atmosfera levou ao aumento da temperatura média global para além dos +15°C trazendo consequências importantes. 2005 e 2008 foram os dois anos mais quentes desde 1850 (IPCC 2007). Outrossim, 11 dos 12 anos entre 1995 e 2006, excluindo-se 1996, estão entre os 12 anos mais quentes nos registros desde 1850 (IPCC 2007). O gráfico abaixo apresenta a

tendência linear das temperaturas médias globais do período compreendido entre 1860 à 2005.

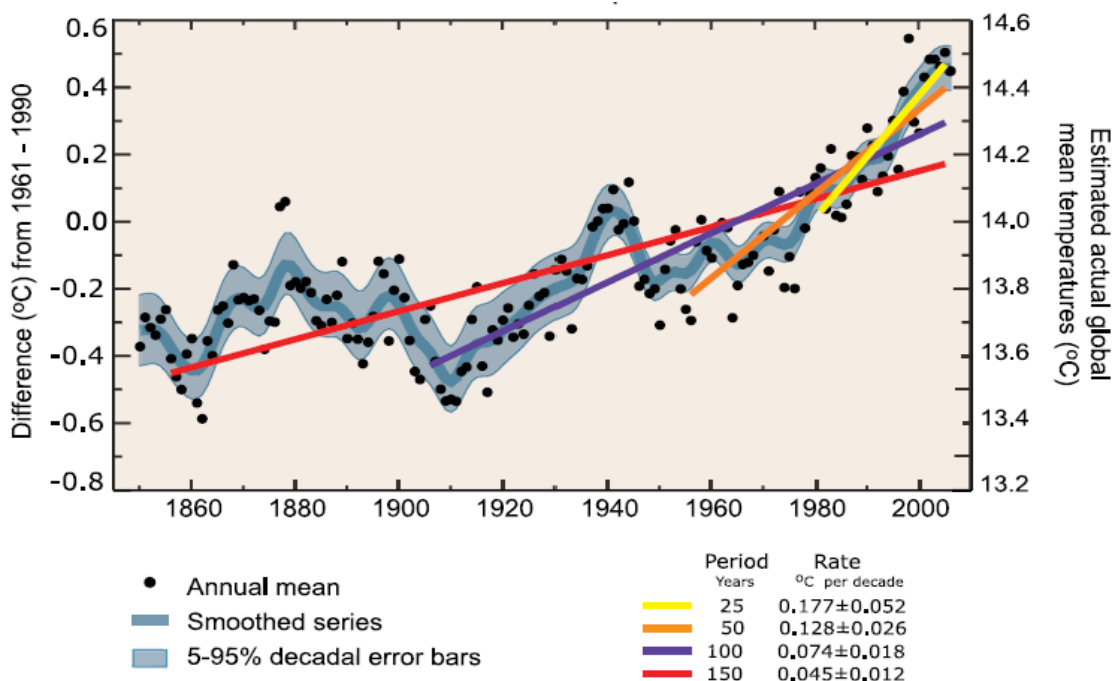


Figura 2. Variações da temperatura média global 1860 - 2000

Fonte: IPCC 2006

Como consequência, observações na última década trazem dados alarmantes sobre as alterações do clima (IPCC 2007). A tendência linear de aquecimento para dos últimos 50 anos foi reajustada para 0,13°C, quase o dobro dos valores observados para o último século. Observações desde 1961 demonstram que a temperatura dos oceanos aumentou em profundidades de até 3.000 m e que os oceanos tem absorvido 80% da temperatura adicional do sistema climático. Este aquecimento tem causado a expansão da água do mar, contribuindo para o aumento do nível do mar. Geleiras e a cobertura de neve reduziram-se em ambos os hemisférios. A redução generalizada das geleiras e nas calotas polares também contribuíram para o aumento do nível do mar, que entre 1961 e 2003 foi de 1,8mm. Entre 1993 e 2003 a taxa foi ainda maior: cerca de 3,1mm por ano. Além disso, o aumento de temperatura observado no ártico foi o dobro do aumento médio global. As temperaturas no topo do *permafrost* aumentaram em até 3°C desde 1980. Finalmente, as alterações climáticas impactaram taxas de precipitação e evaporação. Ventos de media latitude ficaram mais fortes em ambos os hemisférios, secas mais intensas e mais longas foram também observadas desde 1970 principalmente nos trópicos e sub-trópicos.

As projeções apontam claramente que grande parte das observações listadas continuarão mesmo que as concentrações de GEE na atmosfera sejam estabilizadas:

*“Para as próximas duas décadas, um aquecimento de cerca de 0,2°C por década é projetado para uma série de cenários de emissões. Mesmo se a concentração de todos os gases de efeito estufa e aerossóis se mantiverem constantes a níveis do ano 2000, um aquecimento adicional de cerca de 0,1°C por década seria esperado.” (IPCC 2007)*

Observa-se também que o mesmo relatório do IPCC aponta, com um intervalo de confiança de 10%<sup>5</sup>, que a continuidade das emissões de GEE em níveis iguais ou superiores aos atuais causará um aquecimento global adicional que induzirá alterações ao sistema climático global durante o século XXI que serão maiores que as alterações observadas no século passado.

### **2.1.2 Perfil de emissões de GEE: Brasil e Minas Gerais**

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (do inglês UNFCCC) de 1992, estabelece em seu Artigo 4 a obrigatoriedade dos Países em Desenvolvimento signatários em apresentar seus inventários nacionais de emissões antrópicas por fontes e das remoções por sumidouros de todos os gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal. O Brasil estabeleceu uma equipe sob coordenação do MCT para preparar sua Comunicação Nacional Inicial a Convenção. O primeiro inventário nacional contemplou as emissões brasileiras de 1990 a 1994. Devido a baixa participação de combustíveis fósseis na geração elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) onde aproximadamente 90% da geração é hidrelétrica (EPE 2009) e crescente participação do etanol como combustível de fontes móveis as emissões totais por consumo de combustíveis representa 22% das emissões totais do Brasil em 1994. No mesmo ano as emissões por Mudança no Uso da Terra e Florestas somaram 75% das emissões brasileiras. Se olharmos apenas o consumo de combustíveis no setor de transporte a emissão total em 1994 foi de 94.324 GgCO<sub>2</sub>e correspondendo a 9% das emissões nacionais (MCT 2004). O gráfico

---

<sup>5</sup> As terminologias do IPCC utilizam intervalos de confiança para descrever a probabilidade de uma afirmação/projeção ocorrer. Para um intervalo de confiança estatística de 10%, existe uma probabilidade de 90% da afirmação/projeção ocorrer. Para um intervalo de confiança estatística de 5% existe uma probabilidade de 95% da afirmação/projeção ocorrer.



abaixo apresenta a participação do Transporte Rodoviário nas emissões do Setor de Transportes no Brasil em 1994.

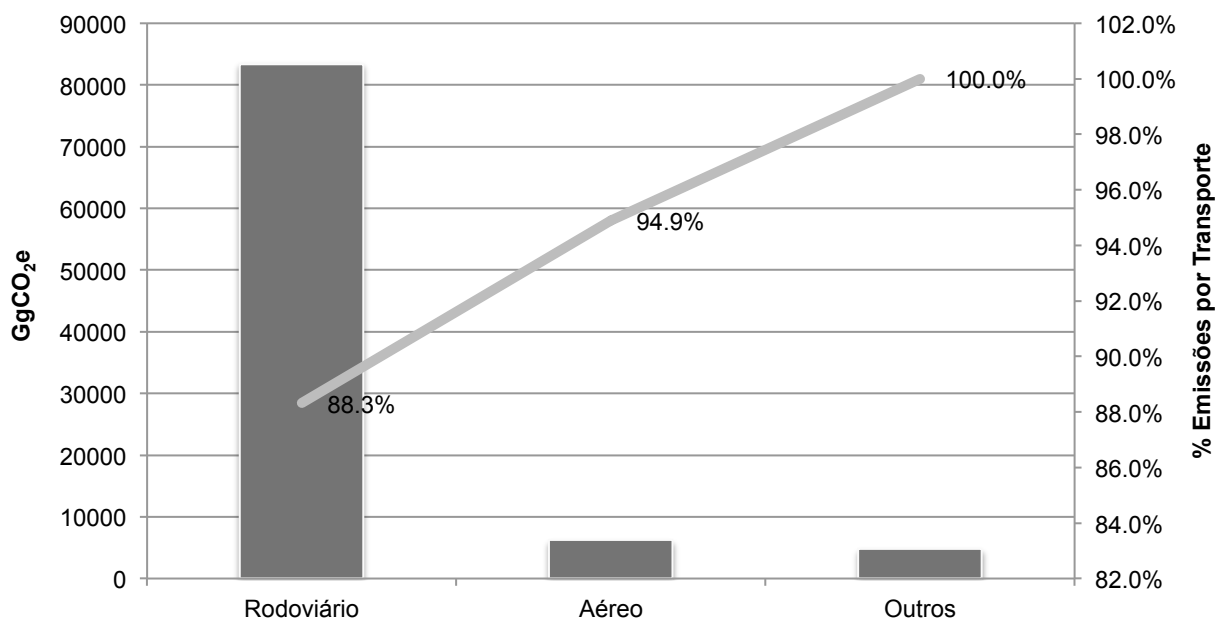


Figura 3. Participação do transporte rodoviário nas emissões de transporte do Brasil - 1994

Fonte: MCT

O cenário do Estado de Minas Gerais é semelhante a situação nacional já que as emissões causadas por Mudanças do Uso do Solo e Florestas são maiores que aquelas do Setor de Energia, contudo, em proporções menos discrepantes. O inventário mineiro foi coordenado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e contempla apenas o ano de 2005. Naquele ano as emissões totais de gases de efeito estufa em Minas Gerais foram de 122.950 GgCO<sub>2</sub>e. As atividades de Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo foram responsáveis por 51,42% das emissões enquanto o Setor de Energia foi responsável por 36,88% das emissões totais de CO<sub>2</sub>e (FEAM 2008). Vale ressaltar que em termos líquidos de emissão de CO<sub>2</sub> o Setor de Energia vem em primeiro lugar, sendo responsável por 42.656,69 GgCO<sub>2</sub> em 2005, enquanto o Setor de Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo emitiu no mesmo período 25.240,90 GgCO<sub>2</sub>. Contudo, as emissões de metano na agricultura, sobremaneira na pecuária, são significativas e quanto ponderadas pelo GWP do metano levam este setor ao primeiro do ranking estadual. Uma análise aprofundada do Setor de Energia demonstra que a Indústria foi responsável por 45,5% das emissões deste setor e a atividade de transportes por 36,6% das emissões. O gráfico abaixo apresenta a participação por modal nas emissões totais do Setor de Transporte no Estado de Minas Gerais.

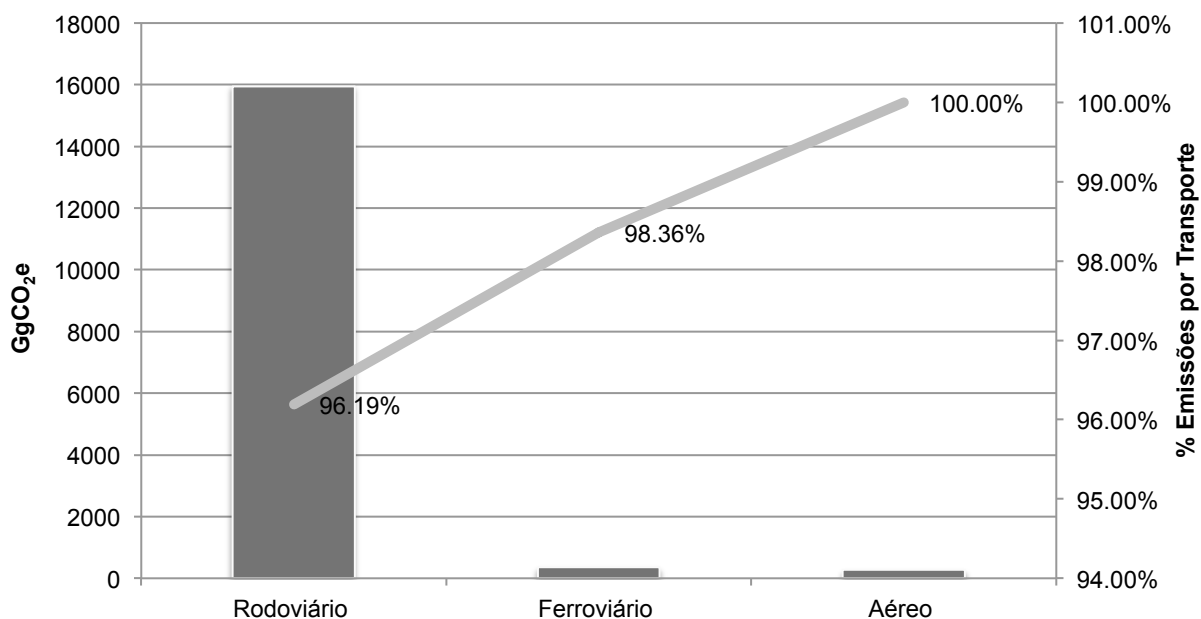


Figura 4. Participação do transporte rodoviário nas emissões de transporte de Minas Gerais - 2004

Fonte: FEAM

A Prefeitura de Belo Horizonte lançou edital no final de 2008 para realização de seu inventário municipal. A previsão de conclusão do serviço é final de 2009, portanto, não existem ainda dados oficiais do perfil de emissões do município. Entretanto, foi possível levantar alguns dados de emissão do município junto ao Comitê Municipal de Mudanças Climáticas e Ecoeficiência (CMMCE), em especial os valores agregados das emissões do setor de transportes. Este trabalho busca também contribuir um perfil de emissão do transporte público do município. Os capítulos seguintes trabalharão de maneira detalhada estas emissões através de dados fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), o CMMCE e da BHTrans.

### 2.1.3 Perfil de emissões de GEE: Belo Horizonte

As emissões totais de Belo Horizonte alcançaram em 2007 o número de 3,18 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e. Este valor é 22% superior ao total quantificado para o ano 2000, apresentando, portanto um crescimento médio anual de 2,96%.

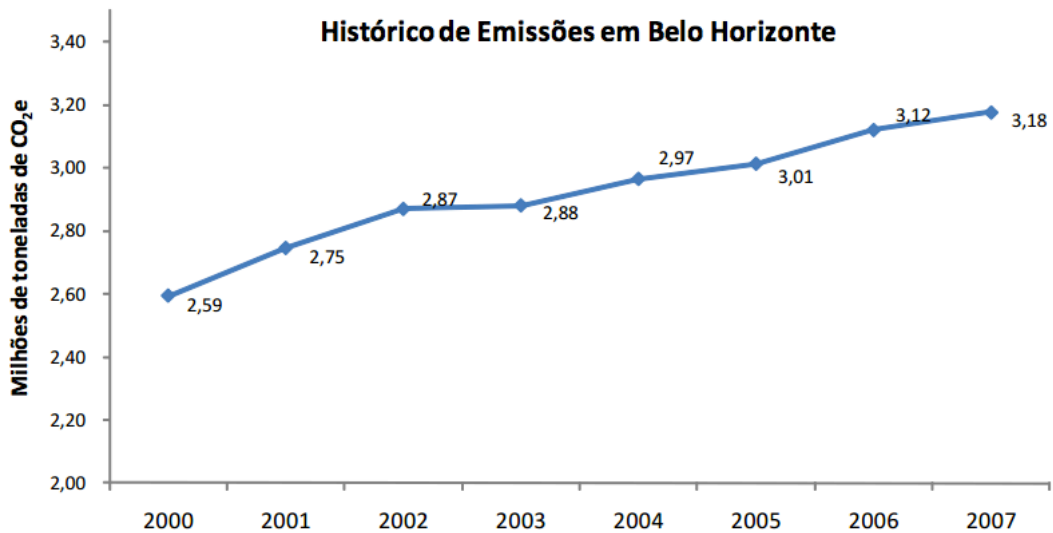


Figura 5. Histórico de Emissões de GEE de Belo Horizonte – 2000 a 2007

Fonte: Dados preliminares fornecidos pela CMMCE e MundusCarbo

As emissões do escopo setorial Energia, no qual se encontra as emissões do transporte rodoviário, revelam-se predominantes, respondendo por 82% das emissões totais em 2007. A segunda fonte de emissão mais relevante refere-se ao escopo setorial Resíduos que contribuiu com 18% das emissões totais do município em 2007.

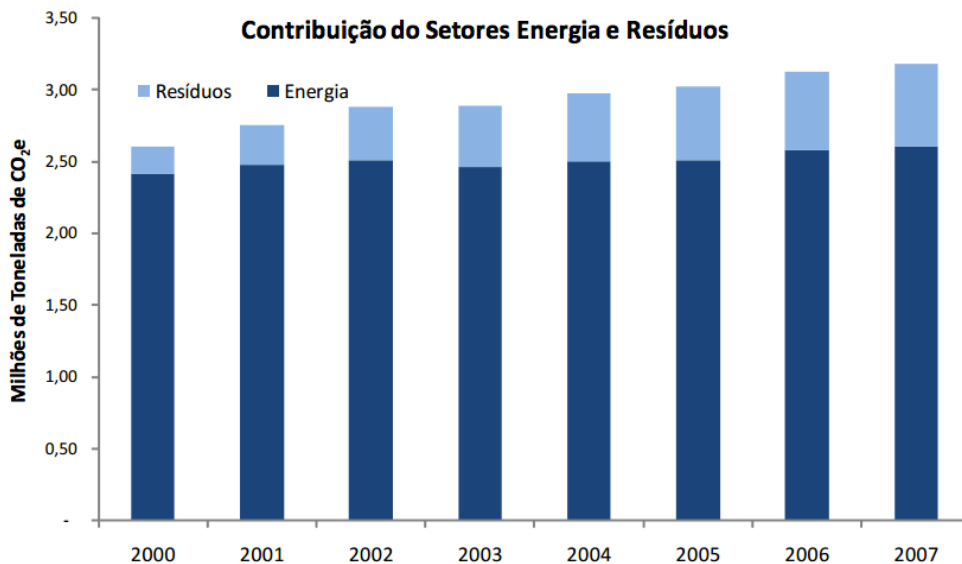


Figura 6. Contribuição dos Setores Energia e Resíduos para as Emissões de GEE de Belo Horizonte – 2000 a 2007

Fonte: Dados preliminares fornecidos pela CMMCE e MundusCarbo

As emissões no Setor Energia totalizaram 2,61 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e em 2007. Dentre este grupo de emissões, as decorrentes do setor de Transporte foram as mais preponderantes, sendo a Gasolina responsável por 49% (1,03 milhões de tCO<sub>2</sub>e) das emissões totais das fontes móveis e o Diesel B2 responsável por 33% (0,68 milhões de tCO<sub>2</sub>e) no mesmo ano.

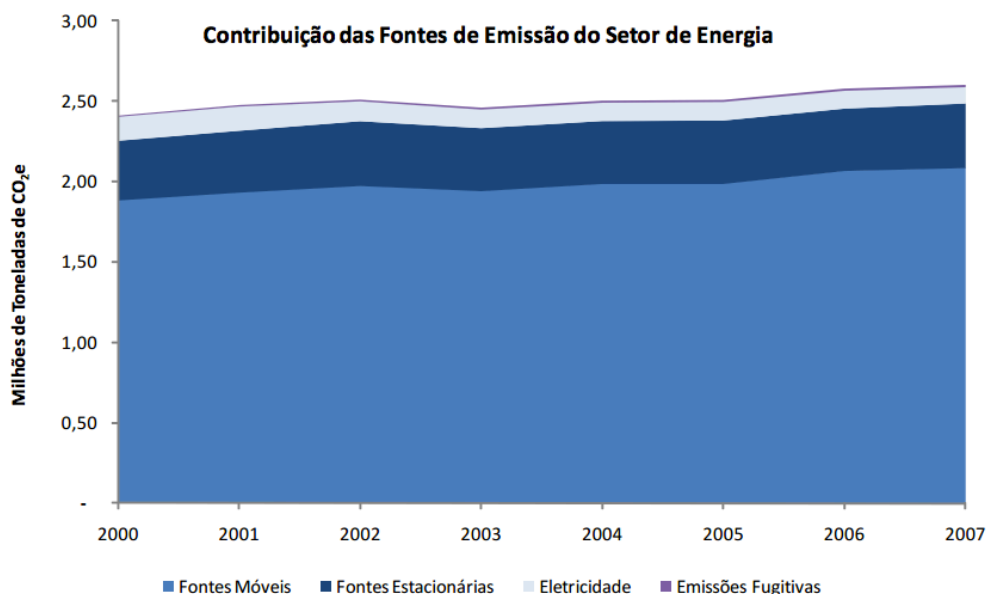


Figura 7. Contribuição das fontes de emissão do Setor Energia em Belo Horizonte – 2000 a 2007

Fonte: Dados preliminares fornecidos pela CMMCE e MundusCarbo

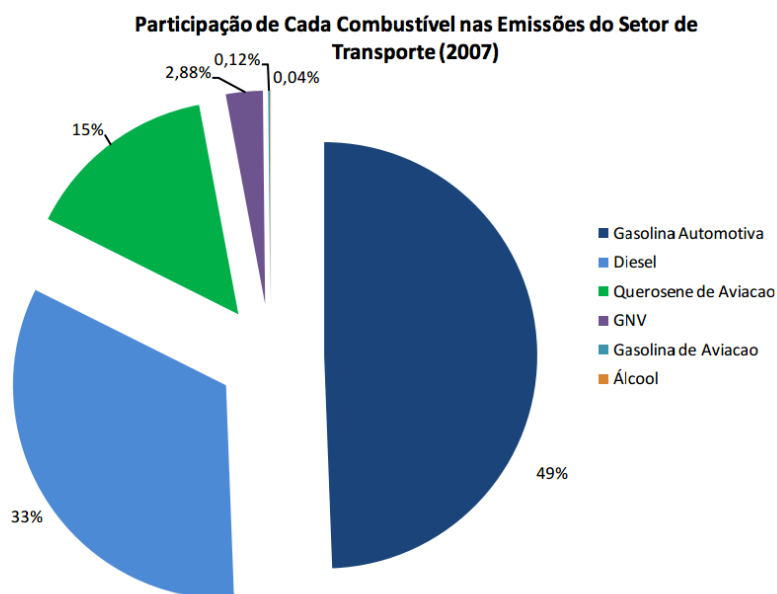


Figura 8. Participação de cada combustível nas Emissões do Setor de Transporte em Belo Horizonte – 2007

Fonte: Dados preliminares fornecidos pela CMMCE e MundusCarbo

## **2.2 Transporte Público: tecnologias e mudanças climáticas**

### **2.2.1 Bus Rapid Transit (BRT)**

Investimentos em transporte público são metas prioritários, especialmente em grandes metrópoles, para garantir o futuro sustentável dos grandes centros urbanos. Se tais investimentos permitirão um afastamento do atual padrão de mobilidade automotiva é ainda uma importante questão. Contudo, independentemente de como um sistema de transporte público eficiente se pareça no futuro o número de opções para os atuais planejadores urbanos é vasto. Apesar da literatura destacar variações em sistemas de trens que predominem em estratégias específicas de reforma urbana (Edwards and Mackett 1996; Sislak 2000), variando de linhas metropolitanas pesadas, metrô e linhas leves, existe um crescente interesse em estratégias para utilizar melhor o ônibus como meio primário de transporte público, e não apenas como um sistema limitado a alimentar os modais ferroviários (Hensher 2007).

Wright e Hook (2007) compilaram detalhes de vários sistemas BRT para avaliar suas vantagens e desvantagens em termos de custo e performance. Objetivando uma solução custo-eficiente e um serviço de transporte efetivo, os autores demonstram que existem oportunidades para avaliação de sistemas mistos de ônibus e ferroviário que podem ser modulados para atender um amplo espectro de demandas e usuários. Não obstante, o que é, talvez, mais pertinente é o reconhecimento de que a evolução, normalmente tida como “natural” ou óbvia, da substituição de operações de ônibus em tráfego misto por sistemas ferroviários em termos de capacidade de passageiros por hora não é mais estritamente válido (Hensher and Golob 2008). Sistemas BRT como o *TransMilenio* na Colômbia, demonstram que, se adequadamente configurados, podem transportar mais passageiros por hora do que sistemas ferroviários. O principal corredor de Bogotá tem picos de 35.000 viagens por hora em uma direção, com espaços entre ônibus bastante reduzidos durante o pico, tempo médio de desembarque nas estações de 25 segundos por passageiro, veículos articulados para 160 passageiros e pagamento fora do veículo em sistemas de *smartcard*. Curitiba, têm picos de 20.000 viagens por hora em uma direção. Em Sidney, Austrália, a linha de metrô mais utilizada realiza 14.000 viagens por hora em uma direção. Segundo, Hidalgo (2008) existe um intervalo entre 20.000 e 40.000 passageiros por hora por direção onde sistemas BRT e Metrô conseguem prover uma capacidade similar. Contudo, o autor destaca que existem diferenças substanciais nos custos de implantação por km: entre 5 ~ 20 milhões de dólares para sistemas BRT e 30 ~ 160 milhões de dólares para sistemas de metrô.

Segundo Levinson (2002) , o sistema BRT é uma modo rápido de transporte que combina a qualidade dos sistemas ferroviários com a flexibilidade dos ônibus. BRT é uma tecnologia desenhada para aumentar a eficiência do sistema de ônibus. Um sistema BRT é composto por três elementos complementares que o distingue de outras medidas para aumentar o fluxo de ônibus. (i) BRT envolve a construção de vias exclusivas de ônibus ou a separação de faixas exclusivas em vias mistas. (ii) Como o BRT é orientado ao usuário, o sistema implica em ônibus modernos e confortáveis, estações que facilitem o embarque e desembarque dos passageiros, tecnologias de cobrança, integração modal e excelência no atendimento ao cliente (Wright 2002). (iii) Para atingir o segundo elemento, o sistema BRT normalmente demanda transformações institucionais que implicam na criação e/ou fortalecimento da agência municipal encarregada pela gestão do sistema BRT. Adicionalmente, Peñalosa (2003) aponta benefícios de sistemas privados se comparados a sistemas BRT operados pelo poder público.

Belo Horizonte está avaliando a implantação de 5 sistemas BRT. Em fase mais avançada o corredor de ônibus da Avenida Antônio Carlos será foco deste trabalho. Outros projetos em análise pela prefeitura do município são Avenida Pedro II e Avenida Carlos Luz (Catalão), Avenida Amazonas, Avenida Cristiano Machado e Avenida Nossa Senhora do Carmo. A próxima seção apresentará uma breve revisão bibliográfica sobre as relações entre Transporte Público e Mudanças Climáticas.

### **2.2.2 Transporte e Mudanças Climáticas**

Petróleo é o combustível dominante no setor de transportes, com o transporte rodoviário respondendo por 81% de toda energia utilizada no setor (Chapman 2007). Esta dependência por fontes fósseis faz com que o setor de transportes seja um dos principais contribuintes à emissão de gases de efeito estufa e é um dos poucos setores da economia onde emissões de GEE continuam aumentando. Johannsson (2003) destaca ainda as emissões da cadeia de fornecimento, já que as emissões na produção e distribuição de combustíveis derivados de petróleo produzem volumes significativos de GEE. Por exemplo, uma avaliação do total de emissões de CO<sub>2</sub> (do poço a roda) de um carro médio demonstrou que 76% foram causadas pelo consumo de combustíveis, 9% na sua fabricação e outros 15% tiveram origem em emissões e perdas na cadeia de fornecimento do combustível (Potter 2003).

O carro se tornou uma obsessão mundial. Na medida que a renda média da população aumenta, a aquisição de carros também aumenta, uma tendência também em países emergentes como China, Índia e Brasil (Chapman 2007). O veículo de passeio é o segundo

maior contribuinte nas emissões globais de GEE do setor de transporte, só perdendo para os veículos de carga. Alguns autores argumentam que a evolução tecnológica tem reduzido o consumo de combustíveis dos veículos médios significativamente e, conseqüentemente, suas emissões. Contudo, evidências demonstram que estas reduções de curto prazo serão rapidamente ultrapassadas no médio prazo pela crescente demanda e uso de carros (Chapman 2007). Portanto, a humanidade enfrenta a difícil tarefa da mudança de hábito, de reajuste do estilo de vida para uma rotina sem carros.

Com a entrada em vigor do Protocolo de Quioto em 16 de Fevereiro de 2005 passou-se a discutir como tecnologias e ações no setor de transporte poderiam levar a reduções de emissões significativas no setor de transporte já que esta fonte corresponde por 25% das emissões mundiais e vem crescendo a taxas preocupantes. O Protocolo criou mecanismos de flexibilização que permitem os países signatários desenvolvidos e com metas de redução (Países do Anexo I) a buscar reduções de emissões fora de suas fronteiras nacionais. Entre os mecanismos de flexibilização destaca-se o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que estabelece critérios para países em desenvolvimento e sem metas (não Anexo I) reduzirem suas emissões voluntariamente e comercializar esta redução aos países do Anexo I.

Projetos de MDL para redução de emissão no setor de transporte são complexos devido a dificuldade metodológica em se estabelecer um cenário transparente, conservador e factível de emissões na ausência do projeto, denominado cenário de linha de base. No caso de sistemas BRT por exemplo, para se avaliar as reduções líquidas relacionadas ao projeto deve-se, primeiramente, estabelecer fatores de emissão por passageiro modal, por exemplo, ex-usuários do sistema de transporte de ônibus convencional, ex-usuários de taxi, ex-usuários de carro, etc. Em seguida, um fator de emissão do novo sistema BRT deverá ser quantificado. Bem, parece simples que a diferença entre as emissões antes e depois de entrada em operação do sistema é a redução causada pelo projeto. Esta lógica é apenas parcialmente verdadeira já que estes projetos são de longo prazo e o cenário de usuários e fatores de emissão de usuários podem ser bastante voláteis. Por exemplo, caso toda a frota de carros de Belo Horizonte passe a utilizar álcool hidratado como combustível as emissões de CO<sub>2</sub> por esta fonte será “zero” já que o álcool não contribui para o acréscimo deste gás na atmosfera, e apenas uma baixa emissão de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O deverá ser contabilizada. Neste exemplo, para os ex-usuários de carro o sistema BRT passa então a contribuir para o aumento de emissão de GEE e não para sua redução.

Apesar da complexidade, existe uma metodologia aprovada pela UNFCCC para projetos BRT. A metodologia *AM0031* é denominada *Metodologia de Linha de Base para Projetos de Bus Rapid Transit* atualmente em sua segunda versão. A próxima seção apresentará a experiência dos projetos MDL de BRT na América Latina.

### **2.2.3 BRT como projeto de redução de GEE na América Latina**

A Corporación Andina de Fomento (CAF) é uma instituição financeira multilateral de apoio ao desenvolvimento sustentável, a integração regional latino americana e a competitividade. Destaca-se o papel da CAF no fomento ao MDL na América Latina e ao interesse por projetos complexos como o BRT. Através do Programa Latino-americano de Carbono (PLAC) a CAF busca contribuir para a redução do aquecimento global e para a promoção de energias limpas na América Latina e no Caribe. O setor de transporte urbano tem recebido grande atenção pela instituição já que o potencial para sistemas de transporte eficientes tem grande impacto nas metrópoles da região, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e aumento da qualidade de vida da população.

Reduções de emissão de GEE no transporte urbano podem ser atingidas pela abordagem de redução de emissões por quilometro. Por exemplo, novas tecnologias de transporte, mudanças de comportamento, substituição de combustíveis e projetos de infraestrutura. Outra abordagem é a redução de emissões por unidade transportada. Por exemplo, alterações modais, principalmente do transporte particular para o público, veículos (ônibus) maiores e incremento do fator de ocupação. Finalmente, outra alternativa é a redução de emissões pela redução na distância das viagens, por exemplo, alterações profundas de comportamento para se viver e trabalhar em áreas próximas ou na mesma área. Segundo avaliação da CAF o maior potencial de redução de emissões de CO<sub>2</sub> está no aumento da taxa de ocupação e implantação de unidades de transporte maiores. Com médio potencial está a alteração modal (e.x. ônibus por táxi ou veículo particular) e a substituição de combustível (e.x maior participação de biocombustíveis, veículos elétricos, hidrogênio). O menor potencial de redução está na substituição da frota por veículos novos mais eficientes. Deve-se notar que sistemas BRT tendem a promover reduções em todas estas áreas.

O TransMilenio na Colômbia é certamente o projeto BRT mais conhecido na América Latina. Desenhado para promover uma alteração profunda no transporte público Colombiano, onde o número de veículos ilegais era alto, o TransMilenio integrou a implantação de infraestrutura e novos veículos maiores e mais eficientes com ações regulatórias para tirar de circulação a frota ilegal. O projeto MDL estimou reduções anuais de emissão de 246.563 tCO<sub>2</sub>e por ano. Contudo, a performance do projeto está aquém do estimado e no período



entre 2006 e 2007 apenas 128.885 tCO<sub>2</sub>e foram reduzidos pelo projeto. A tabela abaixo apresenta os fatores de emissão estimados para o TransMilenio antes de sua implantação.

Tabela 2. Fatores de Emissão projeto MDL TransMilenio

Parâmetro	Unidade	Descrição	Valor
EF <sub>P,C</sub>	gCO <sub>2</sub> e.passageiro <sup>-1</sup>	Fator de emissão por passageiro transportado em carro	1,783
EF <sub>P,T</sub>	gCO <sub>2</sub> e.passageiro <sup>-1</sup>	Fator de emissão por passageiro transportado em taxi	2.345
EF <sub>P,O</sub>	gCO <sub>2</sub> e.passageiro <sup>-1</sup>	Fator de emissão por passageiro transportado em ônibus convencional	930
PE <sub>BRT</sub>	gCO <sub>2</sub> e.passageiro <sup>-1</sup>	Fator de emissão por passageiro transportado em BRT	403

Fonte: UNFCCC Projeto 0672

Três outros projetos BRT e um projeto de metrô estão em fase de registro do MDL como atividades de redução de emissão. O TransMilenio fase II-IV em Bogotá, o MIO em Cali, o TransMetro em Barranquilla e o MegaBus em Pereira. A tabela abaixo apresenta dados populacionais e de projeto bem como estimativas de redução de emissão calculadas pelos proponentes de projeto.

Tabela 3. Projetos de Transporte (BRT e Metrô) na América Latina em registro no MDL

	TransMilenio Fase II-IV	MIO	TRANSMETRO	MEGABUS
Cidade	Bogotá	Cali	Barranquilla	Pereira
População (milhões de hab.)	7,3	2,2	2,0	0,45
Via (Km)	130	44	15	30
Ônibus Articulado	1.200 (retirada de 40% dos ônibus convencionais)	200 (retirada de 80% dos ônibus convencionais)	N/A	60 (retirada de 50% dos ônibus convencionais)
Ônibus Alimentadores	500	200	N/A	100
Passageiros por dia	1,8 milhões	1 milhão	350.000	150.000
Redução de tCO <sub>2</sub> e por ano	246.600	256.300	75.000	33.400

Fonte: UNFCCC

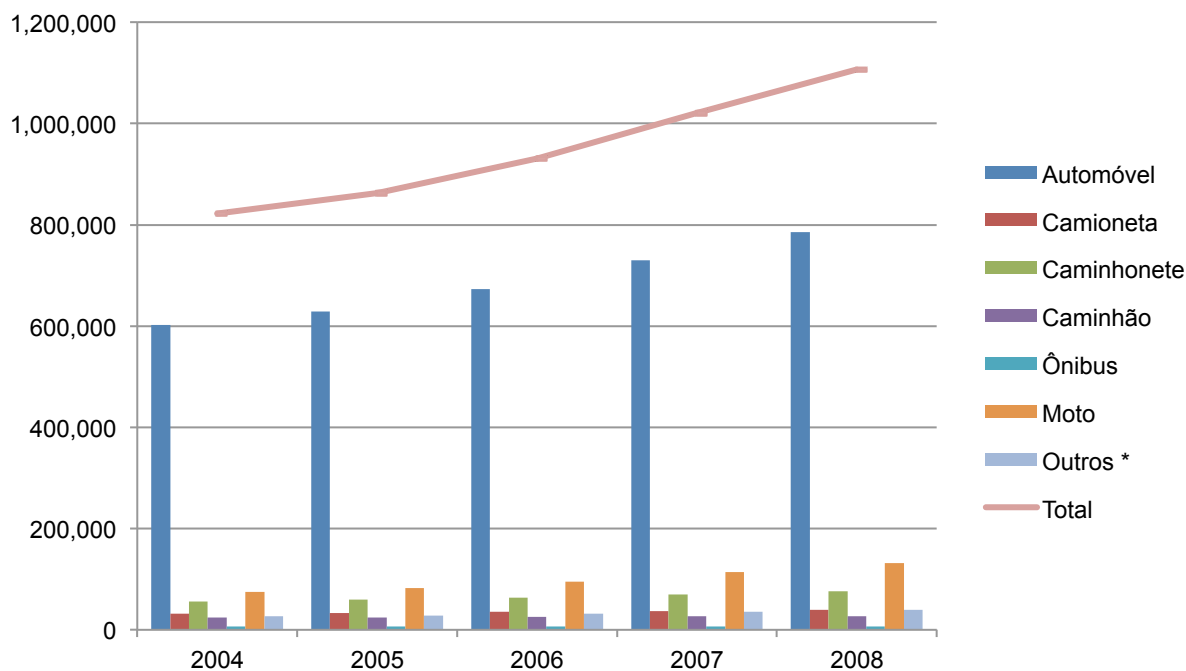
Medelín possui ainda outro projeto interessante de sistema de teleférico, desenhado para 20.000 passageiros por dia onde estima-se a redução de 17.000 tCO<sub>2</sub>e por ano. Até o momento as experiências do BRT como tecnologia de redução de emissão são mistas. A metodologia existente permite o desenvolvimento para quase todos os projetos BRT, excluindo-se aqueles com integração com sistemas de metrô. Neste caso duas novas metodologias (NM0258 e NM0256) desenvolvidas para o sistema de Metrô da Cidade do

México e de Mumbai podem ser aplicadas. Ainda, as receitas pelo projeto de MDL são pequenas para os volumes de investimento em infraestrutura e veículos não constituindo, portanto, um incentivo financeiro pertinente para a realização de projetos BRT. Segundo a CAF, as receitas com os créditos de carbono são de interesse pois melhoram os indicadores financeiros e auxiliam na imagem do município. Outra lição importante do TransMilenio foi a baixa performance do projeto até o momento e o grande esforço de monitoramento necessário para o projeto de carbono.

## **2.3 Belo Horizonte**

### **2.3.1 Vias, Frotas e Consumo de Combustíveis**

Belo Horizonte tem área de 331 km<sup>2</sup> e população de 2,4 milhões de habitantes (IBGE 2009). Sua taxa de crescimento demográfico vem apresentando declínio desde a década de 1970 estando em torno de 2,2% ao ano. Contudo é ainda bastante elevada se comparada no conjunto da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), indicando que a região ainda apresentará significativo acréscimo populacional nas próximas décadas. As características topográficas do município condicionam seu sistema viário que tem extensão total de 4.709km (BHTrans 2009). Segundo estatísticas da BHTrans (2009) a extensão da rede de transporte coletivo é de 1.816km, cerca de 39% do total do sistema viário. Entre 2004 e 2008, a frota de veículos registrada em Belo Horizonte apresentou um crescimento de 35%, resultando numa relação de um veículo para cada 2,2 habitantes. Deve-se ressaltar ainda o avanço do número de motocicletas, que cresceu 75 % no mesmo período, mais que o dobro do crescimento do número total de veículos. O gráfico abaixo apresenta a evolução da frota de veículos no município no período entre 2004 e 2008.



**FIGURA 5.** Evolução de frota de veículo em Belo Horizonte – 2004 a 2008

Fonte: BHTrans

No mesmo período o consumo de Diesel no município aumentou 3,8% passando de 260.602 milhões de litros por ano para 270.603 milhões de litros por ano. Já o consumo de Gasolina teve aumento 10,2% saindo de 527.611 milhões de litros por ano para 581.275 milhões de litros por ano. Os dados de consumo de Álcool Hidratado são surpreendentes. Entre 2004 e 2008 o aumento de consumo de Álcool Hidratado em Belo Horizonte foi de 227%, saltando de 63.036 milhões de litros por ano para 206.125 milhões de litros por ano. O gráfico abaixo apresenta a evolução do consumo de Diesel, Gasolina e Álcool Hidratado em Belo Horizonte de 2004 a 2008.

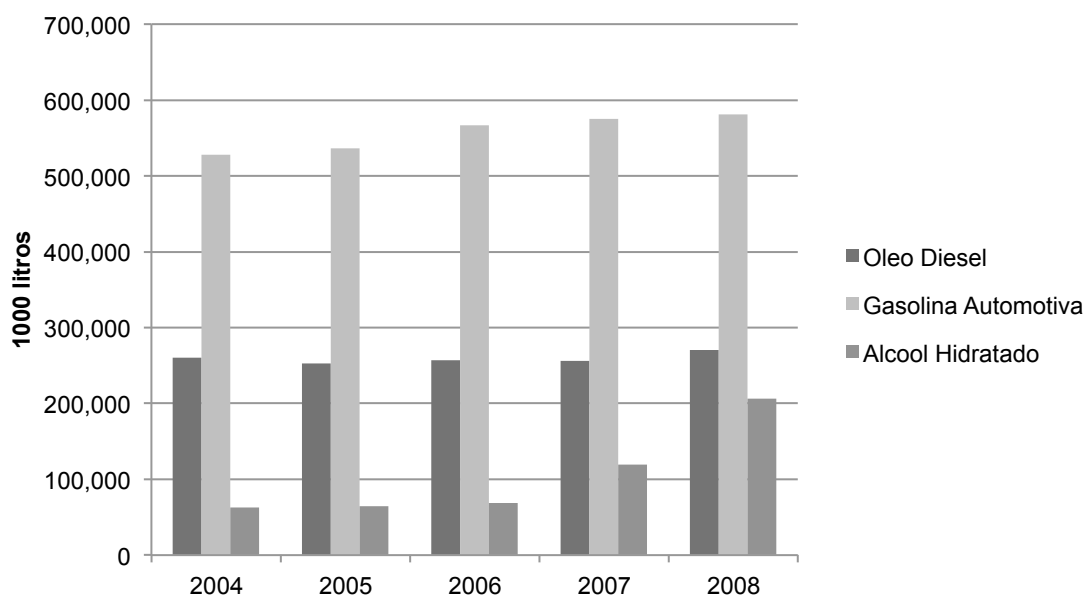


Figura 9. Evolução do consumo de combustíveis em Belo Horizonte – 2004 a 2008

Fonte: ANP

A crescente frota e, conseqüentemente, o crescente consumo de combustíveis fósseis em Belo Horizonte tem, certamente, levado ao aumento das emissões municipais de GEE pelo transporte rodoviário. Um mitigador importante nos últimos anos foi proporcionado pela tecnologia *flex*, o que pode ser observado no gráfico acima onde o consumo de Álcool Hidratado no município mais do que dobrou entre 2004 e 2008. Contudo, para reduzirmos de maneira significativa as emissões de CO<sub>2</sub> pelo transporte rodoviário uma alteração modal para o transporte público é necessário (Chapman 2007). Trens e ônibus são as soluções óbvias, mas adicionalmente, modais de emissão zero como a caminhada e a bicicleta são também alternativas reais. Uma estratégia comum para encorajar a utilização do transporte público é aumentar os custos de uso dos carros através de taxas indiretas. Por exemplo, aumento dos valores 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 usuário de carros entre 1 – 3%. Outro exemplo bem sucedido no exterior são as taxas de congestionamento que reduziram o tráfego na área central em 40% e 30% em Singapura e Londres respectivamente. Todavia, políticas de taxaçoão indireta são normalmente impopulares e a aceitação pública pode ser baixa a menos que as receitas sejam reinvestidas apropriadamente no transporte coletivo (Chapman 2007).

Este capítulo buscou apresentar o estado da arte nas temáticas de mudanças climáticas, transporte e suas correlações. Os capítulos seguintes apresentarão o sistema BRT como uma potencial solução para o crescente tráfego nas grandes metrópoles e como tecnologia de mitigação das mudanças climáticas. Os esforços de sistemas de BRT na América Latina serão apresentados bem como os resultados preliminares para redução de GEE. Em seguida será apresentado de maneira descritiva os planejamentos da Prefeitura de Belo Horizonte para o estabelecimento de 5 sistemas BRT no município. O caso da Avenida Antônio Carlos será então analisado e a metodologia de cálculo de redução de emissão em sistemas BRT aplicada.

### **3 BRT EM BELO HORIZONTE**

#### **3.1 Situação do Município**

Belo Horizonte, a primeira capital planejada do país, foi construída a partir de uma concepção urbanística do engenheiro Aarão Reis. Para atender aos anseios políticos e sociais de modernidade, a cidade foi desenhada com espaços definidos para os setores urbano e suburbano, delimitados pela avenida do Contorno, que tem a forma de um grande anel. O setor urbano – atualmente a Área Central – foi o único inteiramente planejado, formando um tabuleiro de xadrez de ruas cruzando-se em ângulos retos com grandes avenidas, ruas largas, quarteirões simétricos e um grande parque central. A capital foi inaugurada em 12 de dezembro de 1897 e inicialmente planejada para conter um máximo de 200 mil habitantes. Já em 1940, ultrapassou este número, chegando, na virada do século, a uma população de mais de dois milhões de habitantes, distribuída em sua extensão territorial de 330,90km<sup>2</sup>.

O sistema de transporte coletivo por ônibus do município de Belo Horizonte transporta, aproximadamente, 1.460.000 passageiros pagantes por dia útil, utilizando uma frota de 2.824 ônibus em 268 linhas, operadas por quatro consórcios de empresas operadoras, além de 28 Km de linha do Trem Metropolitano. São 3,8 milhões de viagens por dia em Belo Horizonte com média de 1,6 viagens por habitante por dia. Desde 1997, o sistema vem sendo reestruturado, de acordo com as propostas do Plano de Reestruturação do Sistema de Transporte Coletivo de Belo Horizonte - BHBUS, no sentido de se criar uma rede de transporte integrada. Assim, foram implantadas 4 estações de integração: em 1997 foi implantada a primeira estação do BHBUS, a Estação Diamante; em 2000 a Estação Venda Nova; em 2001 a Estação São Gabriel (integração ônibus/metrô); em 2002 a Estação Barreiro, e em 2008 a Estação Vilarinho de integração com o metrô, ainda operando parcialmente. O gráfico abaixo apresenta a repartição modal do município (em %) no ano de 2008.

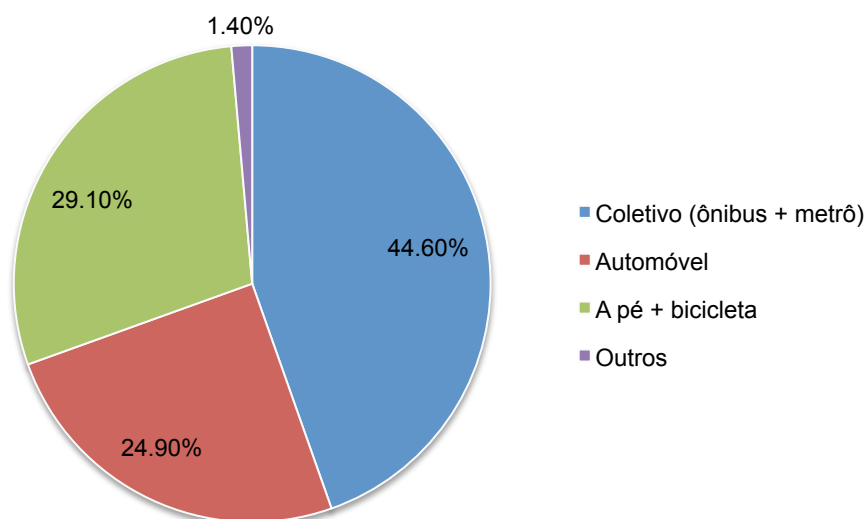


Figura 10. Participação modal rodoviária em Belo Horizonte (2008)

Fonte: BHTrans 2008

Em 1998, foram feitas modificações no sistema de linhas que não fazem parte dos sistemas tronco-alimentados, com revisão das ligações das linhas diametrais e criação das linhas perimetrais (que não passam pelo hipercentro da cidade). A implantação do Sistema de Bilhetagem Eletrônica possibilitou a implementação de política tarifária, diversificando os valores cobrados pela utilização do serviço de transporte e permitindo integrações temporais entre os diversos serviços de transporte, inclusive com o metrô.

Com a evolução da cidade e o aumento da utilização do veículo privado e o consequente aumento dos níveis de congestionamento, é necessária a revisão de toda a rede de transporte público, buscando um serviço de maior qualidade, um aumento na velocidade operacional e maior conforto para o usuário. O aumento da mobilidade da população e da atratividade dos serviços oferecidos são objetivos a serem considerados na proposição de uma nova rede de transporte coletivo para Belo Horizonte. O sistema de transporte coletivo por ônibus do município de Belo Horizonte foi licitado em 2008, por um período de vinte anos. As principais características do sistema e a rede atual de transporte público por ônibus são apresentadas no quadro a seguir.

Tabela 4. Dados do sistema de transporte público de Belo Horizonte em 2008

Nº de linhas	268
Frota Total (ônibus)	2.848
Idade Média da Frota (ano / meses)	4a e 0m
Extensão Média das Linhas (m)	20.904
Total de Passageiros Mês	39.339.674
Média de Passageiros Dia Útil	1.465.504
Total de Cartões	1.071.270
Número de viagens realizadas	794.478
Produção quilométrica	16.663.315
IPK (Índice de Passageiro por km)	2,34

Fonte: BHTRANS - Dezembro/2008

### 3.2 Projetos BRT em avaliação

Atualmente a Prefeitura de Belo Horizonte e a BHTrans estão avaliando 5 projetos BRT para implantação no município. Tem-se como prioridade o projeto da Avenida Antônio Carlos para integração com a linha de metrô Lagoinha – Savassi projetada para entrar em operação em Dezembro de 2013. O BRT da Antônio Carlos e sua integração ao metrô são metas prioritárias para o projeto da Copa do Mundo de 2014. Outrossim, apesar do planejamento para extensão da linha de Trem Metropolitano até o novo centro administrativo do Estado de Minas Gerais, após a Copa do Mundo, o BRT deverá ser o principal meio de escoamento dos funcionários públicos do novo centro administrativo. Abaixo, o quadro resumo dos sistemas de BRT em avaliação no município. O objetivo deste trabalho não é discuti-los em profundidade, com exceção do BRT Antônio Carlos que será discutido na próxima seção.

Tabela 5. Projetos BRT em Belo Horizonte

Corredor	Ext. (km)	Custo (R\$ milhões)	Demanda de TC	Características
Ant. Calos – Pedro I	27	556	400 mil pass./dia 25 mil pass./hpm	Pista exclusiva com 2 faixas por sentido + estações + TI
Pedro II – Carlos Luz	12	174	150 mil pass./dia 15 mil pass./hpm	Faixas exclusivas junto ao canteiro + estações + TI
Amazonas	8	90	300 mil pass./dia 20 mil pass./hpm	Faixas exclusivas junto ao canteiro + estações + TI
Cristiano Machado	6	15	300 mil pass./dia 20 mil pass./hpm	Adequação da atual pista exclusiva + TI
Nossa Senhora Do Carmo	7	92	150 mil pass./dia 15 mil pass./hpm	Concepção a desenvolver

Fonte: BHTrans 2008



### 3.3 BRT Avenida Antônio Carlos

O Sistema de BRT de Belo Horizonte terá como projeto piloto o Eixo Antônio Carlos, operando na Região Norte de Belo Horizonte, pelos corredores da MG 010, Av. Vilarinho, Rua Padre Pedro Pinto, Avenida Dom Pedro I, Avenida Portugal, Av. Antônio Carlos e as vias que compõem o chamado Rotor, no Hipercentro. O eixo principal de transporte rápido por ônibus será formado pelas Avenidas Dom Pedro I e Antônio Carlos, além das vias do Hipercentro que distribuirão as linhas troncais e as integrarão com os demais serviços de transporte coletivo que operam na área central. Propõe-se ainda a criação de linhas troncais secundária como conexões operacionais do Eixo Antônio Carlos com os principais corredores viários do Município e estações do Metrô BH.

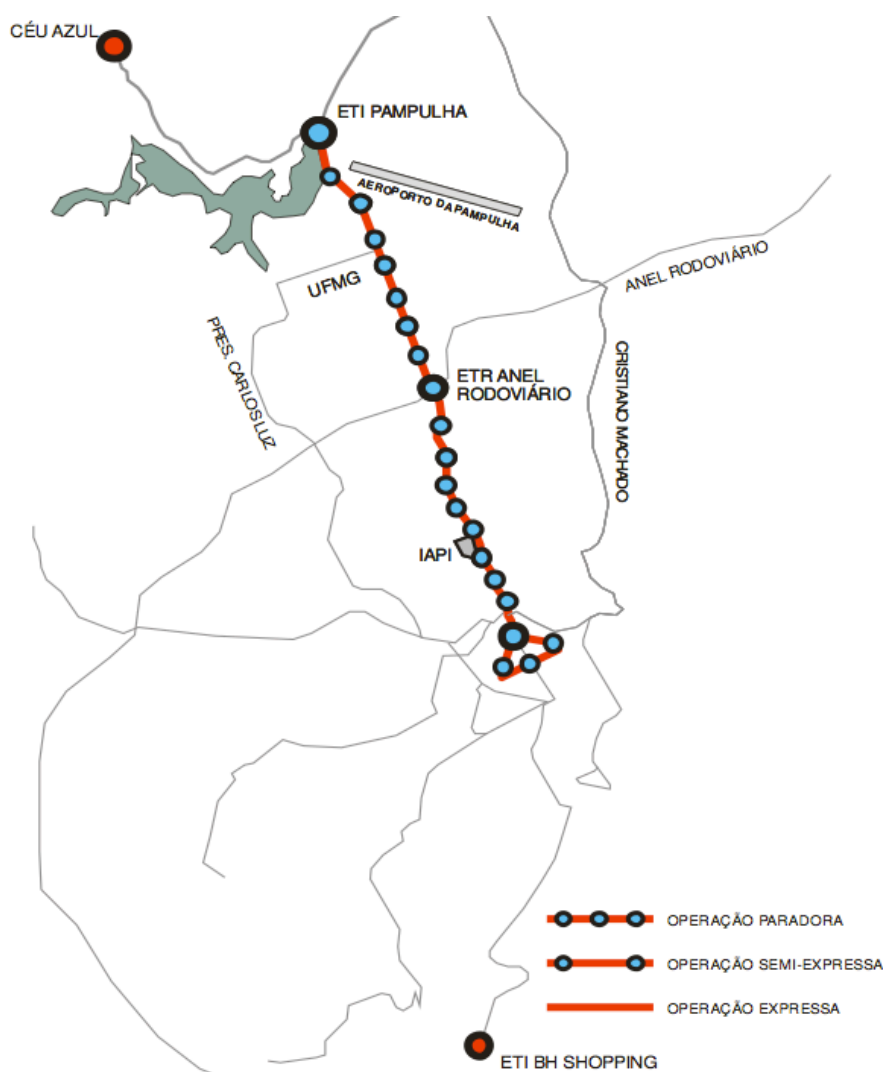


Figura 11. Rota BRT Avenida Antônio Carlos  
Fonte: BHTrans 2008

O projeto BRT da Av. Antônio Carlos busca iniciar a estruturação de uma rede de transporte rápido por ônibus, através do eixo mais importante da cidade. Nota-se pelo projeto de concepção que o Sistema BRT da Antônio Carlos, que este irá se conectar, a partir da Área Central, diretamente com os demais eixos de transporte público do Município de Belo Horizonte, através de algumas linhas troncais que integram-se com a rede da Região Norte. Pode-se observar ainda, que está sendo proposta a criação de uma grande estação de integração no cruzamento da Av. Antônio Carlos com o Anel Rodoviário, ponto de transferência da região metropolitana. Dessa maneira, além da criação de um novo modo de transporte coletivo de alta capacidade e qualidade, propõe-se a interligação operacional entre todos os principais corredores viários. Dessa maneira a Região Norte de Belo Horizonte estará diretamente conectada com os principais eixos de transporte do Município.

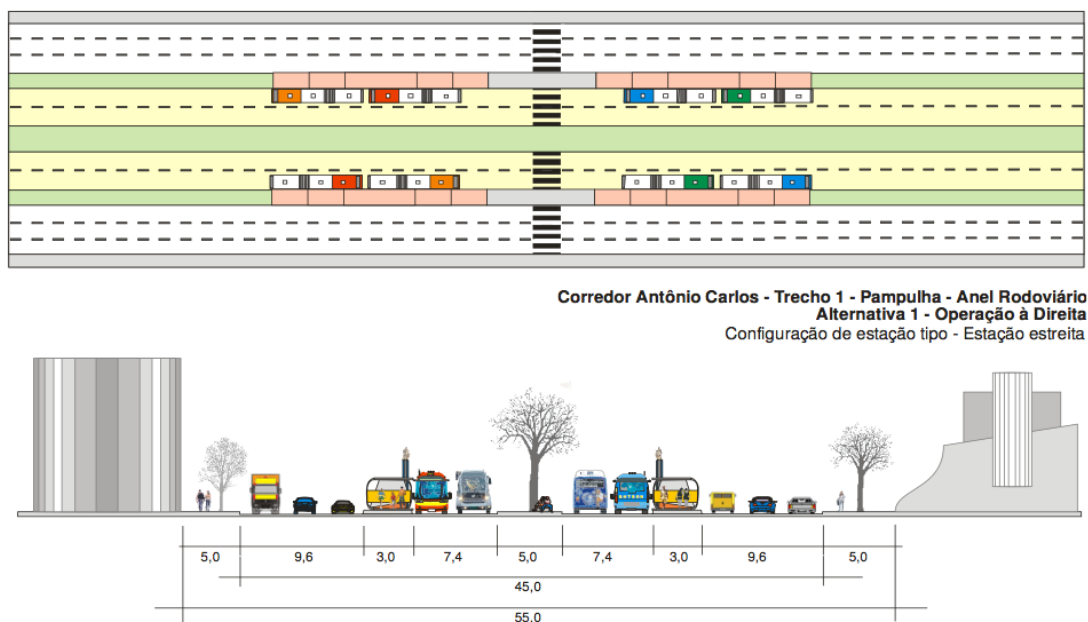


Figura 12. Diagrama do Sistema BRT da Antônio Carlos  
 Fonte: BHTrans 2008

As linhas que operarão no eixo principal da Av. Antônio Carlos serão de dois tipos:

a) **Linhas troncais estruturais**, operadas por veículos de grande capacidade, com acesso ao nível do piso dos ônibus, em estações de transferência com plataformas elevadas e embarque pré-pago. Essas linhas operarão apenas nos eixo de transporte rápido por ônibus, exceto em situações de contingência. Em seu estágio de concepção, são propostas sete linhas troncais estruturais, operando com ônibus articulado, saindo das estações de integração do Centro Administrativo, Venda Nova, Vilarinho, Pampulha e Céu Azul.

b) **Linhas troncais Secundárias**, que operarão com veículos padrão tanto nos eixos de transporte rápido como em vias convencionais onde passarão a operar normalmente à direita, sendo algumas vezes desprovidas de tratamento prioritário, o que comprometeria a operação de ônibus articulados. Em seu estágio de concepção, são propostas 6 linhas troncais secundárias, operando com ônibus padrão. A extensão média das linhas troncais é de 34 km, itinerário de ida e volta.

Devido a inexistência de dados recentes de origem e destino e de demanda (sobe-desce) de todas as linhas atuais, e ainda devido a indisponibilidade de dados base para simulação da rede de transporte coletivo substitutas e do remanejamento de demanda entre linhas atuais e novas linhas, o impacto total do novo sistema não pode ser estimado com precisão.

Dessa forma a estimativa operacional do sistema BRT da Antônio Carlos foi baseada nas seguintes premissas:

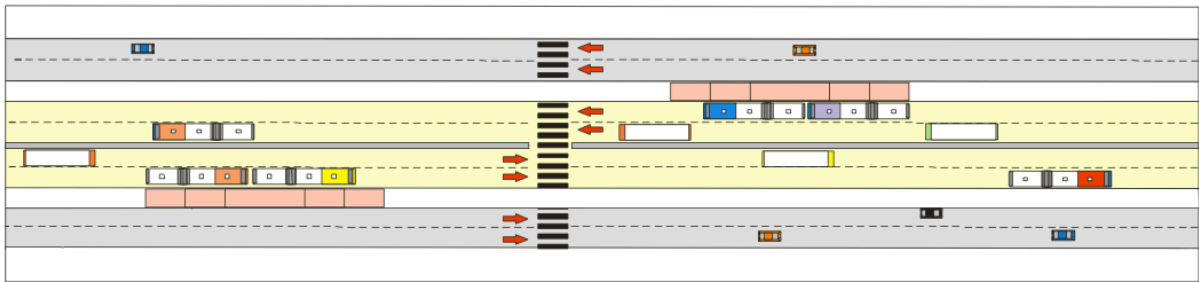
- a) As linhas municipais que operam na Av. Antônio Carlos carregaram uma demanda total de cerca de 25.000 passageiros por hora;
- b) Como observa-se um aumento constante da demanda de transporte público em todo o país, acrescentou-se algo entre 5 ~ 8% da demanda de 2007 (fator semelhante ao aumento de empregos formais e da massa salarial);
- c) Retirou-se um valor para a demanda no sentido centro-bairro, algo em torno 5 ~ 10%, haja vista a existência de polos atratores de viagens no eixo Antônio Carlos (Universidades, por exemplo);
- d) Retirou-se a demanda embarcada além do complexo da Lagoinha, que não refere-se ao corredor Antônio Carlos;
- e) Do total de passageiros transportados no eixo Antônio Carlos foi subtraído uma porcentagem referente ao Fator de Renovação, algo da ordem entre 15 e 20% em hora pico;
- f) Como está previsto o seccionamento e desvio das linhas metropolitanas, pode-se afirmar que uma parte considerável da demanda dessas linhas será transferida para as linhas troncais municipais, outra parte será desviada para o Metrô e o Corredor Cristiano Machado;

g) Foi considerado que a implantação de um sistema de transporte coletivo de alta qualidade e capacidade deverá atrair algo entre 10 e 25% dos atuais usuários do transporte individual;

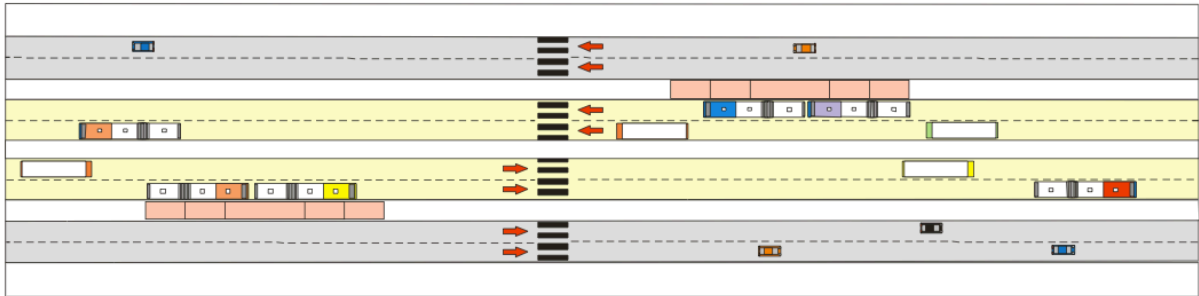
h) Estimou-se que haveria em 2007, por contagem realizada na Lagoinha e observação da ocupação geral da frota, um carregamento, no trecho crítico da Antônio Carlos, de cerca de 15.000 passageiros do sistema municipal em hora pico da manhã, valor coerente com um total de 25.000 para a demanda total;

i) Esse valor, acrescido em 20% (provável atração de usuários do transporte individual aliado ao crescimento da demanda entre 2007 e 2010), resultaria em cerca de 20.000 passageiros transportados no trecho mais carregado, numa hora pico da manhã, se estivesse implantado o sistema transporte rápido por ônibus.

Os valores estimados serão substituídos pela execução de uma série de pesquisas operacionais e de demanda, que permitam uma estimativa real e precisa, quando da elaboração dos projetos básicos e executivos. Para o pré-dimensionamento da frota foram estabelecidos valores para a velocidade comercial de cada trecho de corredor ou do sistema viário convencional, de acordo com estimativas baseadas e valores semelhantes aos do desempenho de ônibus em Belo Horizonte. O sistema BRT composto por um eixo contínuo 13 km de corredores de alta capacidade (Avenidas Dom Pedro I e Antônio Carlos. Onde, no Corredor Dom Pedro I operariam seis linhas troncais estruturais, com uma frequência de cerca de 90 articulados por hora pico da manhã, com uma demanda para 2010) de cerca de 11.300 passageiros/hora no sentido bairro-centro. No Corredor Antônio Carlos operariam 11 linhas troncais, sendo sete estruturais e quatro secundárias, haveriam 204 ônibus/hora pico da manhã – 156 articulados e 58 padrão - em lugar dos atuais 450 ônibus/hora apenas do sistema municipal, com uma demanda no trecho crítico de aproximadamente 24.000 PHS, para 2010. No Corredor Antônio Carlos a existência de ultrapassagem em toda sua extensão e as estações duplas com capacidade para operação de quatro articulados a boa operação estaria garantida por um longo prazo, podendo chegar até cerca de 300 ônibus/hora por sentido.



Paradas duplas com ultrapassagem livre com barreira central - Operação à direita



Paradas duplas com ultrapassagem livre e canteiro central -  
Operação à direita TRO Antônio Carlos - Trecho Pampulha/Anel Rodoviário

Figura 13. Esquema de via BRT com paradas duplas com ultrapassagem livre - BRT Antônio Carlos  
Fonte: BHTrans 2008

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Metodologia de Linha de Base para Projetos Bus Rapid Transit**

#### **4.1.1 Aplicação**

A metodologia AM0031 é aplicada a projetos que reduzam as emissões de gases de efeito estufa (GEE) através da construção e operação de sistemas de BRT para transporte urbano. A metodologia é aplicável também a extensões ou expansões de sistemas BRT existentes (e.x. adição de novas rotas ou linhas).

As seguintes condições de aplicação são requisitos da metodologia:

- O projeto tem diretrizes claras de redução de capacidade do sistema de transporte público atual através de restrição de permissões, descarte de veículos, instrumentos econômicos ou outros meios e a substituição pelo sistema BRT;
- Legislações locais não impedem o estabelecimento ou expansão do sistema BRT;
- O combustível da linha de base e/ou do projeto é gasolina, diesel ou GNV puros. Projetos utilizando biocombustíveis na linha de base ou no projeto não são elegíveis e devem propor uma revisão a esta metodologia;
- O sistema BRT de projeto é baseado em rodovia. A metodologia exclui sistemas aéreos e aquaviários. A metodologia também não é aplicável se o sistema BRT substitui um sistema urbano de trens;
- O sistema BRT substitui parcialmente ou totalmente um sistema de transporte público convencional em uma cidade. A metodologia não pode ser aplicada em cidades onde não existam transporte público;
- A metodologia é aplicável quando o cenário futuro mais plausível é a continuação do cenário corrente de sistema de transporte público.

#### **4.1.2 Resumo descritivo**

O sistema BRT de projeto substitui um sistema convencional de transporte público. O novo sistema de ônibus transporta passageiros que, na ausência do projeto, teriam utilizado o sistema convencional de transporte público ou outros modos de transporte como carros. A

redução e tirada de circulação de alguns dos ônibus convencionais através de descarte, redução de permissões ou instrumentos de mercado são, portanto, ações integrantes desta metodologia.

### 4.1.3 Fronteira de Projeto

A fronteira de projeto é definida como as viagens concluídas por passageiro no sistema BRT que é parte do sistema de transporte público e privado na cidade onde o sistema BRT está sendo instalado. A delimitação física do projeto é determinada pela área de atuação do novo BRT ou pela malha de transporte público. Para este trabalho fica definido as fronteiras físicas do novo sistema BRT Antônio Carlos.

A tabela abaixo apresenta as principais fontes de emissão incluídas ou excluídas da fronteira de projeto.

Tabela 6. Fontes de emissão incluídas e excluídas da fronteira de projeto

	Fonte	Gás	Incluído?	Justificativa
Linha de Base	Emissão por fontes móveis de diferentes modais de transporte público rodoviário que usarão o sistema BRT (ônibus, carros, taxis, etc.)	CO <sub>2</sub>	Sim	Fonte Principal
		CH <sub>4</sub>	Sim	
		N <sub>2</sub> O	Sim	
Atividade de Projeto	Fontes por Ônibus BRT	CO <sub>2</sub>	Sim	Fonte Principal
		CH <sub>4</sub>	Sim	
		N <sub>2</sub> O	Sim	

FONTE: Metodologia AM0031

## 4.2 Emissões de Linha de Base

As emissões de linha de base são calculadas em duas etapas

1. Determinação de emissões por passageiro transportado por categoria de veículo: cálculo realizado *ex ante*, incluindo um fator de alteração tecnológico. O fator de emissão é adaptado ao potencial de mudanças em distância de viagens e tipo de combustível utilizado em carros se as pesquisas indicarem que alterações em distancia de viagens e tipo de combustível reduziriam o fator de emissão da linha de base;
2. Emissões de linha de base: são estimadas *ex post* baseada nos passageiros transportados pelo sistema BRT e sua participação modal. Parâmetros centrais

utilizados para cálculo das emissões de linha de base são revisados através de pesquisas anuais e alterações/recálculos realizados se o fator de emissão recalculado for menor que o fator originalmente calculado.

Existem duas alternativas metodológicas para cálculo de emissão por passageiro transportado:

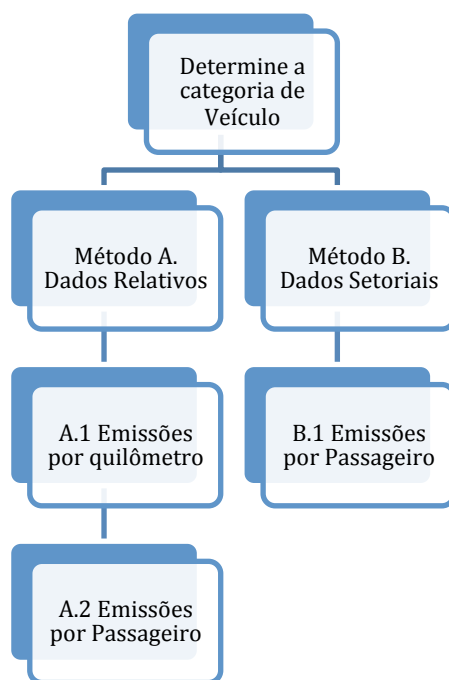


Figura 14. Alternativas metodológicas para cálculo de emissão por passageiro transportado

Fonte: Metodologia AM0031

**Método A.** Função das emissões por quilômetro e de passageiros por quilometro;

**Método B.** Função do consumo de combustível setorial por categoria de veículo e passageiros transportado.

A metodologia AM0031 permite ainda uma abordagem mista para aplicação dos métodos A e B para diferentes categorias de veículos.

#### 4.2.1 Determinação das Categorias de Veículos

A metodologia AM0031 apresenta alternativas para cálculo dos Fatores de Emissão por passageiro em diferentes categorias de veículos. Devido a ausência de dados para a realização de uma quantificação de emissão por passageiro em veículos particulares e táxi



para fins deste trabalho serão quantificadas apenas as reduções de emissão geradas pela migração completa dos usuários de transporte público atual para o sistema BRT. Ainda, como o sistema BRT está ainda em pré-dimensionamento, os dados de volume de passageiros e ônibus no horário de pico foram considerados como 10% do volume total da via, seguindo recomendações de especialistas da BHTrans. Assim, assume-se que todos os usuários atuais passarão a utilizar o sistema BRT que será implantado e toda demanda adicional, conforme calculado pela BHTrans será atendida pelo sistema BRT.

#### 4.2.2 Cálculo dos Fatores de Emissão

As equações empregadas por este trabalho são apresentadas na metodologia MDL AM0031. O cálculo do Fator de Emissão (EF) por km do sistema atual de ônibus urbano é dado pela equação (1) abaixo:

$$(1) \quad EF_{KM,i} = \sum_x \left[ SEC_{x,i} \cdot (EF_{CO_2,x} + EF_{CH_4,x} + EF_{N_2O,x}) \cdot \left( \frac{N_{x,i}}{N_i} \right) \right]$$

Onde:

$EF_{KM,i}$	= Fator de Emissão do Transporte por distância da categoria ônibus convencional (gCO <sub>2</sub> e por km rodado)
$SEC_{x,i}$	= Consumo específico de Diesel na categoria ônibus convencional (litro por Km)
$EF_{CO_2,x}$	= Fator de Emissão de CO <sub>2</sub> para Diesel (gCO <sub>2</sub> e por litro)
$EF_{CH_4,x}$	= Fator de Emissão de CH <sub>4</sub> para Diesel (gCO <sub>2</sub> e por litro)
$EF_{N_2O,x}$	= Fator de Emissão de N <sub>2</sub> O para Diesel (gCO <sub>2</sub> e por litro)
$N_{x,i}$	= Número total de veículos na categoria ônibus convencional
$N_i$	= Número total de veículo na categoria ônibus convencional que utilizam diesel

A Equação (2) determina as emissões por passageiro transportado em ônibus convencional.

$$(2) \quad EF_{P,Z} = \frac{EF_{KM,Z,L} \cdot DD_{Z,L}}{P_Z}$$

Onde:

$EF_{P,Z}$  = Fator de emissão de transporte em ônibus antes de implantação do BRT (gCO<sub>2</sub>e por passageiro)

$EF_{KM,Z,L}$  = Emissões por ônibus convencional (gCO<sub>2</sub>e por km)

$DD_{Z,L}$  = Distância total rodada por ônibus convencional (km)

$P_Z$  = Passageiros transportado por ônibus convencional na linha de base

A Equação (3) abaixo determina as emissões de Linha de Base do projeto:

$$(3) \quad BE_y = \sum_i (EF_{P,i,y} \cdot P_{i,y})$$

Onde:

$BE_y$  = Emissões de Linha de Base do projeto (tCO<sub>2</sub>e)

$EF_{P,i,y}$  = Fator de Emissão por passageiro na categoria ônibus convencional (gCO<sub>2</sub>e passageiro)

$P_{i,y}$  = Passageiros transportados pelo projeto BRT no ano y

### 4.3 Emissões de Projeto

As emissões de projeto correspondem as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O do novo sistema BRT apenas. Todas as emissões das viagens do novo sistema BRT deverão ser incluídas. As emissões podem ser calculadas baseadas em consumo específico de combustível ou baseado em dados monitorados pela companhia de ônibus. Para ambas alternativas é necessário a cruzamento de dados para garantir a qualidade das informações. Neste casos dados de outros veículos da companhia de ônibus ou de outros sistemas BRT podem ser

utilizados para comparação. Para este trabalho será realizada uma quantificação *ex ante* baseados em dados operacionais estimados pela BHTrans.

A Equação (4) abaixo apresenta o cálculo do Fator de Emissão do sistema BRT

$$(4) \quad EF_{KM,i,y} = \sum_x \left[ SEC_{x,i} \cdot (EF_{CO_2,x} + EF_{CH_4,x} + EF_{N_2O,x}) \right]$$

Onde:

$EF_{KM,i,y}$  = Fator de emissão por distância percorrida por tipo de ônibus *i* no ano *y* (gCO<sub>2</sub>e por km)

$SEC_{x,i,y}$  = Consumo específico de Diesel na categoria de ônibus *i* no ano *y*

$EF_{CO_2,x}$  = Fator de Emissão de CO<sub>2</sub> para Diesel (gCO<sub>2</sub>e por litro)

$EF_{CH_4,x}$  = Fator de Emissão de CH<sub>4</sub> para Diesel (gCO<sub>2</sub>e por litro)

$EF_{N_2O,x}$  = Fator de Emissão de N<sub>2</sub>O para Diesel (gCO<sub>2</sub>e por litro)

A Equação (5) determina as emissões totais de projeto levando em consideração os ônibus articulados e padrão responsáveis por alimentar o sistema BRT.

$$(5) \quad PE_y = \left[ (EF_{KM,TB,y} \cdot DD_{TB,y}) + (EF_{KM,FB,y} \cdot DD_{FB,y}) \right]$$

$PE_y$  = Emissões de Projeto no ano *y* (tCO<sub>2</sub>e)

$EF_{KM,TB,y}$  = Fator de Emissão por distância dos ônibus alimentadores (gCO<sub>2</sub>e por km)

$DD_{TB,y}$  = Distância total percorrida no ano *y* por ônibus alimentadores

$EF_{KM,FB,y}$  = Fator de Emissão por distância dos ônibus articulados (gCO<sub>2</sub>e por km)

$DD_{FB,y}$  = Distância total percorrida no ano *y* por ônibus articulado

#### **4.4 Considerações sobre Vazamentos**

Vazamentos são emissões causadas indiretamente pelo projeto que precisam ser contabilizadas. A metodologia AM031 lista uma série de emissões *upstream* que precisam ser contabilizadas:

- Emissões devido a construção das linha dedicadas do sistema BRT;
- Emissões adicionais devido a retirada de veículos que continuariam operando na ausência do projeto;
- Efeito de ciclo de vide pela redução de consumo de combustíveis;
- Alterações no fator de carga do sistema de transporte de linha de base devido ao projeto (e.x. o projeto potencialmente influencia a taxa de ocupação dos demais veículos);
- Reduções de congestionamento em outras vias, provocando aumento de velocidade de outros veículos e um efeito rebote.

Devido a falta de dados este trabalho não se propõe a calcular os potenciais vazamentos do projeto BRT da Avenida Antônio Carlos.

#### **4.5 Considerações sobre Monitoramento**

Certamente, o plano de monitoramento da metodologia AM0031 será o grande desafio do gestor do projeto MDL do BRT Antônio Carlos. A metodologia é complexa e cuidadosamente desenhada para capturar alterações de longo prazo no sistema de transporte público. Além de manter registros sobre questões operacionais do Sistema BRT como número de veículos, taxa de ocupação, número de passageiros transportado, distância percorrida, consumo de combustíveis o projeto MDL deverá ainda realizar pesquisas anuais de modo a capturar taxas de migração de usuários de outros modais e policias municipais que afetam o cenário de linha de base. Dados de vazamento também devem ser monitorados e ajustados anualmente.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Emissões de Linha de Base

As emissões de linha de base referem-se ao cenário atual de operação do transporte público municipal. A seguir apresenta-se os dados de entrada utilizado para cálculo e as emissões referentes a operação dos ônibus convencionais na Avenida Antônio Carlos. As Tabelas 7, 8 e 9 a seguir apresentam os dados de entrada para cálculo das emissões de Linha de Base do projeto BRT Antônio Carlos.

Primeiramente, quantificou-se o fator de emissão dos ônibus convencionais em gCO<sub>2</sub>e por km rodado. O dado de consumo médio da frota foi obtido junto ao fabricante em conformidade com o modelo mais comum em operação segundo informações da BHTrans. Ademais, toda a frota rodoviária pública em Belo Horizonte opera com Diesel não havendo outro combustível na matriz energética do transporte urbano. Assim, a partir dos dados apresentados na Tabela 7, resultou que cada ônibus em operação na Avenida Antônio Carlos emite 1.412,63 gCO<sub>2</sub>e por km.

Tabela 7. Dados de entrada para cálculo de emissões da linha de base

Parâmetro	Valor	Unidade	Fonte
SEC <sub>x,i</sub>	0,53	litro por km	Volvo / Transcop
EF <sub>CO<sub>2</sub>,x</sub>	2.661	gCO <sub>2</sub> por litro	IPCC 2006
EF <sub>CH<sub>4</sub>,x</sub>	2	gCO <sub>2</sub> por litro	IPCC 2006
EF <sub>N<sub>2</sub>O,x</sub>	21	gCO <sub>2</sub> por litro	IPCC 2006
N <sub>x,i</sub>	1	A razão entre as duas variáveis é 1 já que todos os ônibus da frota operam com diesel.	BHTrans
N <sub>i</sub>			

A seguir, quantifica-se as emissões por passageiro usuário da rota em avaliação. Os dados de rota foram fornecidos pela BHTrans e são apresentados a seguir (Tabela 8). As emissões por passageiro transportado em ônibus convencional totaliza 687 gCO<sub>2</sub>e por passageiro. Nota-se, a partir deste resultado intermediário, que as emissões do sistema atual em Belo Horizonte são 26,12% menores do que aquelas quantificadas em Bogotá que totalizam 930 gCO<sub>2</sub>e por passageiro (Tabela 2).

Tabela 8. Dados de entrada para cálculo de emissões da linha de base

Parâmetro	Valor	Unidade	Fonte
$EF_{KM,Z,L}$	1.413	gCO <sub>2</sub> / km	Calculado
$DD_{Z,L}$	186.300	km / dia	Calculado / BHTrans
$P_Z$	383.190	passageiro / dia	Calculado / BHTrans

A seguir, o fator de emissão por passageiro ( $EF_{P,i,y}$ ) em ônibus convencional é multiplicado pelo volume total de passageiro transportado pelo sistema público na Avenida Antônio Carlos (Tabela 9).

Tabela 9. Dados de entrada para cálculo de emissões da linha de base

Parâmetro	Valor	Unidade	Fonte
$EF_{P,i,y}$	687	gCO <sub>2</sub> / passageiro	Calculado
$P_{i,y}$	383.190	Passageiros por dia	Calculado / BHTrans

A partir dos dados acima, as emissões de linha de base calculadas para o projeto BRT Antônio Carlos são **96.058 tCO<sub>2</sub>e** por ano. Este valor representa as emissões atuais do sistema de transporte público na via.

## 5.2 Emissões de Projeto

Mesmo com a substituição da frota e ganhos de eficiência no sistema de transporte público, o Sistema BRT continuará a operar com Diesel fóssil e portanto, emitirá gases de efeito estufa. Estas emissões são denominadas emissões de projeto. Esta seção apresenta o resultado da quantificação das emissões da operação do Sistema BRT da Avenida Antônio Carlos. A Tabela 10, a seguir apresenta os dados de entrada utilizados para calcular as emissões do sistema BRT. Os dados foram fornecidos pelo fabricante de um potencial fornecedor dos ônibus articulados e convencionais que operarão no BRT. Dados operacionais e de rota foram extraídos de projetos e planejamento fornecidos pela BHTrans.

Tabela 10. Dados de entrada para cálculo de emissão do projeto

Parâmetro	Valor	Unidade	Fonte
$SEC_{x,i,y}$	0,53	litros km	Volvo
$SEC_{x,i,y}$	0,63	litros km	Volvo
$EF_{KM,TB,y}$	1.412,63	gCO <sub>2</sub> km	Calculado
$DD_{TB,y}$	8.869.500	km por ano	Calculado / BHTrans
$EF_{KM,FB,y}$	1.677,50	gCO <sub>2</sub> km	Calculado
$DD_{FB,y}$	14.388.300	km por ano	Calculado / BHTrans

São considerados dois tipos de veículos, um articulado e um convencional utilizado para alimentar as linhas tronco, denominados ônibus alimentador. O veículo articulado, por ser maior e mais pesado, tem um consumo 15,87% maior que o ônibus convencional atingindo 0,63 litros por km. Dados de rota do projeto fornecido pela BHTrans estima que os veículos articulados rodarão 1,2 milhão de km por mês na pista exclusiva da Avenida Antônio Carlos, totalizando emissões de 24.136 tCO<sub>2</sub>e por ano. Já os ônibus alimentadores deverão rodar 739 mil km por mês totalizando emissões de 12.529 tCO<sub>2</sub>e por ano. A somatória das emissões das duas frotas totaliza as emissões oriundas da operação do Sistema BRT da Avenida Antônio Carlos. Portanto, as emissões de projeto contabilizaram **36.665 tCO<sub>2</sub>e** por ano.

### 5.3 Reduções Totais

A diferença entre o cenário de linha de base e o cenário de projeto representa as reduções de emissões anuais devido a implantação do sistema BRT da Avenida Antônio Carlos, resultando **59.392 tCO<sub>2</sub>e** anuais. O valor representa 61,83% de redução em relação ao sistema convencional em via mista e 1,86% das emissões totais do município em 2007.

## 6 CONCLUSÕES

Esta pesquisa buscou discutir o problema das Mudanças Climáticas com foco no transporte. Foi apresentado o sistema BRT como tecnologia adequada e recomendável à redução de emissão de GEE em grandes centros urbanos. Dados de operação de sistemas semelhantes operando na América Latina foram apresentados e servirão de referência para o BRT da Belo Horizonte. As estimativas de redução de emissão a partir do projeto BRT da Antônio Carlos foram quantificadas e podem ser utilizadas como referência para a expansão do sistema. Apesar dos vazamentos não terem sido contabilizados experiências em outros projetos demonstram que estas emissões são relativamente pequenas respondendo entre 2 e 3% das emissões de linha de base. Segundo quantificações deste trabalho o projeto BRT Antônio Carlos reduziria emissões de 59.393 tCO<sub>2</sub>e por ano, totalizando 373.751 tCO<sub>2</sub>e ao final do primeiro período de créditos (7 anos). Estes dados são apenas preliminares e baseados em cálculos de viagens e volume de passageiros em horário de pico conforme projetos em avaliação pela BHTrans. Conforme explicitado no capítulo de metodologia, os volumes de pico foram considerados como 10% do volume total da via.

A redução de emissão quantificada representa 61,83% de redução em relação ao sistema atual de transporte urbano nesta via. Em termos absolutos, conclui-se que a redução do projeto é insignificante em relação as emissões totais do município, que totalizaram, em 2007, 3,18 milhões de tCO<sub>2</sub>e (1,86%). Entretanto, a aplicação de sistemas BRT em grande escala pode ter um impacto significativo se reduções da ordem de 60% também forem alcançadas nos demais sistemas BRT em avaliação. As emissões oriundas de fontes móveis correspondem a 80% das emissões do escopo setorial de energia em Belo Horizonte, destas o diesel é a segunda fonte mais representativa totalizando 687.712 tCO<sub>2</sub>e em 2007, portanto apenas o projeto da Antônio Carlos reduzirá 8,63% das emissões municipais de Diesel B2.

Este trabalho encoraja um aprofundamento da questão pela Prefeitura de Belo Horizonte e BHTrans e sugere a integração desta avaliação ambiental em fases preliminares dos futuros projetos de BRT no município. O volume de créditos de carbono dos cinco sistemas BRT planejados pode ser considerável e utilizados pela prefeitura para a melhoria do próprio sistema. Este trabalho encoraja ainda uma discussão profunda do tema para que o projeto de TI do BRT da Antônio Carlos já contemple as variáveis necessárias ao monitoramento do projeto facilitando sua implantação com um projeto MDL. Finalmente, Belo Horizonte tem a oportunidade de se posicionar, mais uma vez, como capital de vanguarda no Brasil.



## REFERÊNCIAS

- ANABLE, J.; BOARDMAN B. Transport and CO2. UKERC, 2005, London, Working Paper.
- BHTRANS. "Indicadores Estatísticos BHTrans 2007." Acessado em Julho 2009: <http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublico/Estat%C3%ADsticas%20e%20Publica%C3%A7%C3%B5es/Indicadores>.
- BIRD, C. Química Ambiental, 2002, Porto Alegre, Bookman.
- CHAPMAN, L. "Transport and climate change: a review." Journal of Transport Geography **15**(5): 354-367, 2007.
- EDWARDS, M.; MACKETT. R. L. "Developing new urban public transport systems: an irrational decision-making process." Transport Policy **3**: 225-239, 1996.
- EPE. Balanço Energético Nacional (BEN) 2009. Brasília, Empresa de Pesquisa Energética.
- FEAM. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado de Minas Gerais, 2008, Belo Horizonte, Fundação Estadual do Meio Ambiente Universidade Federal do Rio de Janeiro - Centro Clima: 104.
- HENSHER, D. A. "Sustainable Public Transport Systems: moving towards a value for money and network-based approach and away from blind commitment." Transport Policy **14**((1)): 98-102, 2007.
- HENSHER, D. A.; GOLOB, T. F. "Bus rapid transit systems: a comparative assessment." Transportation **35**(4): 501-518, 2008.
- HIDALGO, D.; GRAFTIEAUX, P. "Bus Rapid Transit Systems in Latin America and Asia Results and Difficulties in 11 Cities." Transportation Research Record(2072): 77-88, 2008.
- IBGE. "Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Projetos Cidades@." Acessado em Julho 2009: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>.
- IPCC. Climate Change 2007 The Physical Science Basis, 2007, Bön. n.
- JOHANNSSON, B. Transportation fuels - a system perspective. Handbooks in Transport 4: Handbook of Transport and the Environment. D. A. Hensher and K. J. Button, Elsevier: 141-158, 2003.
- LEVINSON, H. "Bus Rapid Transit: an overview." Journal of Public Transportation **5**(2): 1-30, 2002.
- MCT. Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal. Comunicação Inicial do Brasil, 2004 Ministério de Ciência e Tecnologia.
- PEÑALOSA, E. Rapid Implementation Strategies for Sustainable Transport: the Bogotá Story, 2003, 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2003, Washington DC.

POTTER, S. Transport energy and emissions: urban public transport. Handbooks in Transport 4: Handbook of Transport and the Environment. D. A. Hensher and K. J. Button, Elsevier: 247-262, 2003.

Sislak, K. G. Bus rapid transport as a substitute for light rail: A tail of two cities. 2000, 8th Joint Conference on Light Rail Transit, 2000, Transportation Research Board American Public Transportation Association.

UNFCCC. 2006 Acessado em Julho 2009 <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1159192623.07/view>

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. Atmospheric Science: an introductory survey, 2006, Oxford, Elsevier.

WRIGHT, L. Mass Transit Options: A Sourcebook for Policy-Makers in Developing Cities, 2002, GTZ. **Module 3A**.

WRIGHT, L. AND W. HOOK Bus Rapid Transit Planning Guide, 2007, New York, Institute for Transportation and Development Policy.