

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Cenários de Emissões de Poluentes
Atmosféricos pela Frota do Transporte Coletivo
de Juiz De Fora - MG

Dayana Delgado Bastos Pereira

Juiz de Fora

2014

**Cenários de Emissões de Poluentes
Atmosféricos pela Frota do Transporte Coletivo
de Juiz De Fora - MG**

Dayana Delgado Bastos Pereira

Dayana Delgado Bastos Pereira

Cenários de Emissões de Poluentes Atmosféricos pela Frota do Transporte Coletivo de Juiz De Fora – MG

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Área de concentração: Engenharia Ambiental e Sanitária.

Linha de pesquisa: Poluição Atmosférica.

Orientador (a): Aline Sarmento Procópio.

Juiz de Fora

Faculdade de Engenharia da UFJF

2014

**“Cenários de Emissões de Poluentes Atmosféricos pela Frota do Transporte Coletivo de
Juiz De Fora - MG”**

DAYANA DELGADO BASTOS PEREIRA

Trabalho Final de Curso submetido à banca examinadora constituída de acordo com o artigo 9º da Resolução CCESA 4, de 9 de abril de 2012, estabelecida pelo Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 12 de dezembro de 2014.

Por:

Prof^a. D. Sc. Aline Sarmiento Procópio - Orientadora

M. Sc. Emanuel Manfred Freire Brandt

Prof^a. M. Sc. Sue Ellen Costa Bottrel

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me guiado ao caminho certo e me acompanhado ao longo de toda esta caminhada.

Agradeço a minha família por todo apoio, compreensão, carinho e companheirismo em todas as situações. Agradeço por toda a força, confiança e momentos de alegria. Eu jamais teria chego tão longe se vocês não estivessem ao meu lado, fazendo com que eu sempre seguisse em busca dos meus sonhos. Esta conquista também é de vocês!

Aos meus amigos de turma, por todos os momentos bons e ruins que compartilhamos, por todas as noites de estudo e gargalhadas e por todas as histórias. Tenho certeza que esses anos não seriam os mesmos sem vocês. Vocês são muito importantes para mim!

A todos os professores que participaram da minha formação, pela experiência e conhecimento transmitidos, pelos valores éticos e por fazer todo o possível para que nosso ensino fosse completo. Em especial à Aline, que além de ser uma orientadora excelente, é um exemplo de profissional. Sem o seu conhecimento, dedicação e cuidado não seria possível a realização desse trabalho. Obrigado por todos os ensinamentos, foi um prazer ter trabalhado com você!

A Faculdade de Engenharia, em especial ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Juiz de Fora, que acreditaram e fizeram possível a criação do curso e a realização desta conquista.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma me acompanharam e ajudaram na conclusão desta etapa. Obrigada por tudo!

RESUMO

A poluição atmosférica é um fator responsável pela degradação da qualidade de vida das populações e fonte de diversos impactos ambientais, especialmente em grandes centros urbanos. A poluição oriunda de veículos automotores representa grande parte dessa emissão e o aumento da quantidade de veículos agrava esta situação. Neste contexto estão os ônibus urbanos utilizados no transporte público, que apesar de ter uma frota menor que a de automóveis, são responsáveis pela emissão de vários poluentes atmosféricos. O objetivo principal desse trabalho foi estimar as emissões atmosféricas de CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO, SO_x, NMHC, HC Total e MP Total, da frota de ônibus urbanos utilizada no transporte coletivo de Juiz de Fora. Para estes cálculos foram utilizadas as metodologias apresentadas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC, pela *Environmental Protection Agency* – EPA e pela *European Environmental Agency* – EEA, além de dados de inventários nacionais. Além dos cálculos de emissão para o município inteiro foram estimadas as emissões destes poluentes para quatro vias do centro urbano da cidade. As emissões foram estimadas também em cenários de renovação da frota e utilização de futuras misturas de biodiesel no diesel. Através dos cálculos foram encontrados valores significativos de emissão de NO_x, SO_x, CO₂, CO e HC para os ônibus urbanos de Juiz de Fora, além de uma concentração alta de emissão de poluentes nas vias avaliadas do centro da cidade. O cenário de renovação da frota apresentou-se como uma alternativa para a melhoria da qualidade do ar, uma vez que reduziu consideravelmente as emissões de NO_x, SO₂ e material particulado. Já o cenário de introdução de misturas com maior percentual de biodiesel apresentou redução de HC, material particulado e CO, com acréscimo nas emissões de NO_x.

Palavras-chave: qualidade do ar, transporte coletivo, emissões atmosféricas veiculares.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	IX
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. PRINCIPAIS POLUENTES VEICULARES	3
1.2. PROCONVE.....	7
1.3. COMBUSTÍVEIS – DIESEL E BIODIESEL.....	10
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. OBJETIVO GERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. METODOLOGIA	15
3.1. ESTIMATIVA DE COMBUSTÍVEL CONSUMIDO.....	17
3.2. CÁLCULO DAS EMISSÕES DE CO ₂	18
3.3. CÁLCULO DAS EMISSÕES DE CH ₄ E N ₂ O.....	19
3.4. CÁLCULO DAS EMISSÕES DE NO _x , MP, NMHC E CO	21
3.5. CÁLCULO DAS EMISSÕES DE SO _x	23
3.6. CÁLCULO DE EMISSÕES PARA O USO DE BIODIESEL	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS.....	27
4.2. EVOLUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA FROTA	28
4.3. EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS	30
4.3.1. EMISSÕES DE POLUENTES NAS PRINCIPAIS VIAS DO CENTRO DA CIDADE.....	34
4.3.2. CENÁRIO DE RENOVAÇÃO DA FROTA – EMISSÕES DE POLUENTES INDIRETOS.....	37
4.3.3. CENÁRIOS DE UTILIZAÇÃO DO BIODIESEL.....	39
5. CONCLUSÕES	46
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXOS	54
ANEXO I.....	55
APÊNDICES.....	58
APÊNDICE A	59
APÊNDICE B	85
APÊNDICE C	63
APÊNDICE D.....	81
APÊNDICE E	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Emissões percentuais em Juiz de Fora por categoria de veículo.	6
Figura 1.2 – Redução percentual das emissões entre as fases do PROCONVE.	10
Figura 1.3 – Evolução do teor de enxofre no óleo diesel.	12
Figura 3.1 – Fluxograma de decisão para a escolha do <i>Tier</i>	16
Figura 4.1 – Evolução da frota dos ônibus urbanos circulantes em Juiz de Fora.....	28
Figura 4.2 – Ônibus em circulação na cidade de Juiz de Fora por ano de fabricação.....	29
Figura 4.3 – Principais vias do centro de Juiz de Fora consideradas para o cálculo de emissão de poluentes nesta região.	35
Figura 4.4 – Variações quantitativas das emissões no cenário de renovação total da frota.	39
Figura 4.5 – Variação percentual de emissões para a utilização das diferentes misturas de biodiesel.....	40
Figura 4.6 – Variação quantitativa de emissões de (a) NO _x , (b) MP, (c) HC e (d) CO, para a utilização de biodiesel.	42
Figura 4.7 – Variação das emissões para a utilização de misturas de biodiesel B6 e B7 em relação ao B5.	43
Figura 4.8 – Variação das emissões para a utilização do B10 em percentuais da frota em relação ao B5.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Fases do PROCONVE para veículos pesados do ciclo diesel.....	8
Tabela 3.1– Fatores de emissão do NO _x , MP, NMHC e CO.....	22
Tabela 3.2 – Teor de enxofre no Diesel e Consumo específico	24
Tabela 3.3 – Coeficientes para as correlações de emissões.....	26
Tabela 4.1 – Emissões anuais de poluentes atmosféricos oriundas dos ônibus urbanos de Juiz de Fora.....	31
Tabela 4.2 – Razão entre dados de Araújo (2013) e do presente trabalho.....	34
Tabela 4.3 – Emissões de poluentes oriundos de ônibus urbanos em trechos das quatro principais vias de ônibus do centro de Juiz de Fora.....	36
Tabela 4.4 – Emissões de poluentes em um cenário de renovação total da frota para o P7.....	38
Tabela I. 1 – Relações entre Unidades.....	56
Tabela I. 2 – Fatores de Conversão para Energia.....	56
Tabela I. 3 – Coeficientes de Equivalência Médios para Combustíveis.....	57
Tabela I. 4 – Densidades e Poderes Caloríficos.....	57
Tabela A. 1 – Caracterização da Frota por Ano e por Empresa: Ano Base 2013.....	60
Tabela A. 2 – Caracterização da Frota por Ano e por Empresa: Ano Base 2012.....	61
Tabela A. 3 – Frota por PROCONVE: Ano Base 2013.....	62
Tabela A. 4 – Frota por PROCONVE: Ano Base 2012.....	62
Tabela B. 1 – Intensidade de Uso Diária: Ano Base 2013.....	64
Tabela B. 2 – Intensidade de Uso Diária: Ano Base 2012.....	65
Tabela B. 3 – Intensidade de Uso Diária para o Centro de Juiz de Fora.....	66
Tabela C. 1 – Levantamento da Quilometragem no Centro da Cidade – Empresa A.....	68
Tabela C. 2 – Levantamento da Quilometragem no Centro da Cidade – Empresa B e C.....	70
Tabela C. 3 – Levantamento da Quilometragem no Centro da Cidade – Empresa D.....	72
Tabela C. 4 – Levantamento da Quilometragem no Centro da Cidade – Empresa E.....	74
Tabela C. 5 – Levantamento da Quilometragem no Centro da Cidade – Empresa F.....	76
Tabela C. 6 – Levantamento da Quilometragem no Centro da Cidade – Empresa G.....	77
Tabela C. 7 – Levantamento da Quilometragem no Centro da Cidade – Empresa H.....	79
Tabela D. 1 – Combustível Consumido: Ano Base 2013.....	82
Tabela D. 2 – Combustível Consumido: Ano Base 2012.....	83
Tabela D. 3 – Combustível Consumido: Centro da Cidade de Juiz de Fora.....	84

Tabela E. 1 – Resumo das Emissões Atmosféricas: Ano Base 2013.	86
Tabela E. 2 – Resumo das Emissões Atmosféricas: Ano Base 2012.	87
Tabela E. 3 – Resumo das Emissões Atmosféricas: Principais Vias Centro de Juiz de Fora. .	88
Tabela E. 4 – Resumo das Emissões Atmosféricas: Renovação da Frota.	89
Tabela F. 1 – Variação Percentual das Emissões Atmosféricas com a Utilização do Biodiesel.	91
Tabela F. 2 – Emissões Atmosféricas com a Utilização do Biodiesel de Diferentes Misturas de Biodiesel: Ano Base 2013.	92
Tabela F. 3 – Emissões Atmosféricas com a Utilização do Biodiesel de Diferentes Misturas de Biodiesel: Ano Base 2012.	92
Tabela F. 4 – Emissões Atmosféricas no Centro da Cidade de Juiz de Fora com a Utilização do Biodiesel.	93
Tabela F. 5 – Emissões Atmosféricas com a Utilização do Biodiesel na Frota Renovada.	93

1. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é cada vez mais um problema nos centros urbanos, sendo responsável pela degradação da qualidade de vida das populações. A industrialização e a intensificação da urbanização aumentam a concentração de poluentes na atmosfera, especialmente quando estas ocorrem de forma desordenada e sem controle. O desenvolvimento urbano sem planejamento gera níveis de tráfego intenso, aumentando a poluição em áreas com grande concentração de pessoas e causando maior impacto à saúde da população.

Juiz de Fora é um município localizado na Zona da Mata mineira e concentrava uma população estimada de 550.710 habitantes, em 2014, com uma área de 1.436 km² (IBGE, 2014). Segundos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2014) a cidade possuía em 2013 uma frota total de 220.912 veículos automotores, alcançando o 4º lugar entre os municípios com maior frota de Minas Gerais, atrás de Belo Horizonte (1.596.081), Uberlândia (390.979) e Contagem (294.030). A frota de Juiz de Fora apresentou crescimento de 24% entre 2010 e 2013 (IBGE, 2014), o que implica em um aumento da poluição atmosférica advinda destas fontes veiculares. Com relação à sua geomorfologia, a cidade possui um relevo acidentado, com altitudes médias de 700 a 900 metros e apresenta um clima com duas estações bem definidas: estação quente, que vai de outubro a abril, com elevados índices pluviométricos e altos valores de temperatura e umidade relativa; e estação fria: de maio a setembro, que apresenta tempo mais seco, temperaturas baixas e baixo índice pluviométrico. A direção de ventos predominantes é norte-sul, e associada às características geomorfológicas do vale do rio Paraibuna, formam um corredor preferencial de deslocamento de massas de ar que se dirige para o centro urbano da cidade (CPS/UFJF, 2012). As interações entre as emissões de poluentes, a topografia e as condições meteorológicas são fatores determinantes na dispersão da poluição, conseqüentemente influenciam na exposição da população e dos recursos naturais aos poluentes, indicando o surgimento de efeitos adversos nestes. Estas interações são responsáveis pela definição dos níveis de qualidade do ar no local (INEA, 2009).

Os poluentes atmosféricos emitidos por veículos automotores têm uma grande contribuição na poluição atmosférica de grandes centros urbanos, totalizando cerca de

75% das emissões (INEA, 2009). O aumento da frota, especialmente em grandes cidades, apresenta um problema para a qualidade de vida da população, principalmente em relação à mobilidade urbana e à poluição atmosférica agravada pelo aumento de veículos. Isso aponta para a necessidade de implantação de instrumentos de gestão que controlem e monitorem adequadamente as fontes poluidoras, buscando alternativas que minimizem os impactos causados por estas. Para que estas ferramentas de gestão possam ser aplicadas efetivamente é necessária a caracterização das emissões, bem como a identificação da participação de cada categoria na emissão de cada poluente.

Com base nisso, a elaboração de um inventário de emissões atmosféricas oriundas das categorias de veículos automotores propicia meios para auxiliar o poder público e a própria sociedade na avaliação e acompanhamento da poluição do ar local. Um inventário é uma ferramenta que direciona o planejamento e a implantação de diretrizes voltadas à melhoria da qualidade ambiental e à mitigação dos impactos das emissões sobre a saúde humana, auxiliando na elaboração e na avaliação dos Planos de Controle de Poluição por Veículos em Uso (PCPV) (MMA, 2011).

A elaboração do PCPV é uma determinação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) por meio da Resolução nº 418/2009 (BRASIL, 2009). O PCPV deve utilizar como base um inventário de emissões de fontes móveis e, quando houver, o monitoramento da qualidade do ar. Através deste plano é possível identificar se há a necessidade de realização de um Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso e outras ações que visem à redução da emissão veicular e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade do ar no município.

O monitoramento da qualidade do ar já é uma ferramenta de controle da poluição atmosférica em muitos centros urbanos como Belo Horizonte (FEAM, 2013), Rio de Janeiro (INEA, 2013) e São Paulo (CETESB, 2014a). Para estes estudos foram avaliadas tanto as fontes fixas como as fontes móveis, todavia, como mencionado anteriormente, o percentual de emissões dos veículos automotores em relação às emissões totais (fontes fixas e móveis) confirma que a frota veicular é responsável pela maioria da emissão dos poluentes em centros urbanos (FEAM, 2013; INEA, 2013; CETESB, 2014a). Juiz de Fora não possui uma rede de monitoramento da qualidade do

ar urbano, evidenciando a importante colaboração que a realização de inventários dessas fontes emissoras de poluentes atmosféricos oferece ao município.

Há em Juiz de Fora um inventário de todas as fontes móveis emissoras de poluentes atmosféricos, para o ano base de 2011 (ARAÚJO *et al.*, 2013), sendo escolhido para este estudo apenas a categoria ônibus urbanos. Esta escolha foi feita, devido à possibilidade de serem levantados dados reais da frota de ônibus urbanos utilizada no transporte público do município, minimizando possíveis erros devido a algumas estimativas assumidas por Araújo *et al.* (2013), aumentando a acurácia dos resultados. Além disso, a escolha da frota estudada é importante por ser um serviço público, sob responsabilidade da Prefeitura de Juiz de Fora. Este fator possibilita maior fiscalização e controle da emissão de poluentes desta fonte, assim como a implementação de um sistema de monitoramento da poluição atmosférica. Ampliam-se, assim, as possibilidades de ações a serem tomadas diante dos resultados obtidos neste inventário.

1.1. PRINCIPAIS POLUENTES VEICULARES

Segundo a Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990, Art. 1º, parágrafo único):

Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Com relação à sua origem, os poluentes podem ser classificados como primários ou secundários, sendo denominados poluentes primários aqueles emitidos diretamente em uma fonte poluidora e, poluentes secundários os formados através de reações químicas na atmosfera.

As fontes veiculares produzem emissões a partir da combustão de diferentes tipos de combustível, dentre estas estão os gases de efeito estufa diretos (GEE) como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), bem como outros poluentes, tais como o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos não-metano (NMHC), os óxidos de enxofre (SO_x), o material particulado (MP) e óxidos de nitrogênio (NO_x), que

causam ou contribuem para a poluição do ar além de serem precursores indiretos do efeito estufa (IPCC, 2006).

A principal emissão de gás de efeito estufa é dióxido de carbono (CO_2), resultado da combustão completa dos combustíveis. Cerca de 99% do carbono no combustível é convertido a este gás e esta conversão é relativamente independente das configurações de queima. A porção de carbono não convertida a CO_2 se deve a combustão incompleta do combustível, que por sua vez gera o poluente CO (EPA, 2010).

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor e inodoro, emitido majoritariamente pelo escapamento de veículos, correspondendo a 95% das emissões deste gás em centros urbanos, segundo a *Environmental Protection Agency* - EPA (2014). A formação deste poluente em veículos pode ser causada quando a temperatura de combustão é reduzida, a mistura de oxigênio e combustível é ineficiente ou ainda, quando o tempo de residência na câmara de combustão é baixo ou insuficiente (EPA, 2010). Os níveis de CO normalmente aumentam em períodos de clima frio, uma vez que a baixa temperatura diminui a eficiência da combustão além de causar inversões térmicas, aprisionando o poluente junto ao solo.

As emissões do GEE metano (CH_4), diferentemente do CO_2 , variam de acordo com o tipo de combustível e a configuração da queima, mas são mais elevadas durante períodos de combustão incompleta ou quando a temperatura da combustão é baixa, como no caso da partida a frio. Normalmente, as condições que favorecem a formação de CH_4 também favorecem as emissões de N_2O (EPA, 2010).

A formação de N_2O durante o processo de combustão é regulada por uma série de reações e a sua formação depende de muitos fatores. A formação de N_2O é minimizada quando as temperaturas de combustão são mantidas elevadas e o excesso de ar é mantido a um mínimo. As emissões deste gás podem variar amplamente de unidade para unidade, ou mesmo a partir da mesma unidade em diferentes condições de funcionamento (EPA, 2010).

Os óxidos de nitrogênio (NO_x) podem ser formados através de dois processos na combustão: o NO_x térmico, que é produzido devido a reação entre o N_2 atmosférico e o O_2 , reação estimulada pelas altas temperaturas e pressões na câmara de combustão; e o

NO_x químico, formado através da conversão química do nitrogênio presente no combustível. O termo NO_x engloba o óxido nítrico (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂). O óxido nitroso (N₂O) não está incluído nos cálculos de NO_x mas é computado separadamente. Segundo dados da EPA (2010), para a maioria dos sistemas de combustão de combustíveis fósseis, mais de 95% do NO_x emitidos está na forma de óxido nítrico (NO). Os compostos NO_x, na presença de luz reage e induzem a formação de O₃ troposférico, sendo um dos principais precursores deste poluente (EPA, 2010).

Os hidrocarbonetos, juntamente com os óxidos de nitrogênio, apresentam-se como importantes agentes precursores da formação de ozônio. Estes poluentes são constituídos por cadeias de carbono e hidrogênio, podendo ser cíclicas ou não. Os hidrocarbonetos não metano (NMHC) podem ter origens naturais, industriais ou veiculares, neste caso sendo provenientes da combustão incompleta do combustível. Têm diferentes tempos de residência na atmosfera e causam efeitos nocivos à saúde dependendo dos compostos emitidos e suas concentrações, como o exemplo do benzeno, que pode ser cancerígeno quando em altos níveis.

A emissão dos óxidos de enxofre (SO_x) ocorre através da oxidação do enxofre contido nos combustíveis derivados do petróleo, especialmente o diesel. O dióxido de enxofre (SO₂) é um gás incolor e reativo, que representa o principal produto desta oxidação, cerca de 95%, sendo o restante oxidado a trióxido de enxofre (SO₃) ou emitido como sulfato (SO₄²⁻). As emissões de SO_x usualmente variam apenas com o teor de enxofre no combustível. Geralmente, os maiores níveis de SO₂ são emitidos próximos a complexos industriais, todavia, em grandes centros urbanos, sua origem se dá principalmente devido às emissões de veículos pesados a diesel. Os principais problemas causados pelos óxidos de enxofre são a chuva ácida e o *smog industrial* (EPA, 2010).

O material particulado total (MP) consiste em uma mistura de sólidos e de gotículas de líquido, com exceção da água pura, em suspensão na atmosfera. Este inclui também os sulfatos (SO₄²⁻), formados a partir da oxidação completa de SO₂, que se aderem aos particulados de origem orgânica, como a fuligem, aumentando sua massa (MMA, 2013). O MP pode ser emitido diretamente na atmosfera ou pode ser formado pela reação entre poluentes de fontes distintas. Este apresenta uma ampla gama de tamanhos,

sendo os menores que 10 μm os com maior poder de penetração no organismo, podendo causar graves problemas de saúde (EPA, 2014).

No inventário de emissões veiculares de Juiz de Fora, ano base 2011, é possível observar que as emissões são predominantemente oriundas dos automóveis, exceto para as emissões de NO_x , onde o maior responsável é a frota de ônibus da cidade (ARAÚJO, 2013). As emissões encontradas para Juiz de Fora em 2011 foram 594.048,2 t de CO_2 ; 156,8 t de CH_4 ; 71,2 t de N_2O ; 5.712,5 t de CO; 8.285,2 t de NO_x ; e 1.844,7 de t de compostos orgânicos voláteis não metano (ARAÚJO, 2013). As relações percentuais de emissão para cada categoria de veículos em Juiz de Fora de Araújo são apresentadas na Figura 1.1.

O presente trabalho considera as emissões de óxidos de enxofre e material particulado, além das emissões dos poluentes apresentados na Figura 1.1, para os ônibus urbanos.



Fonte: Araújo *et al.* (2013).

Figura 1.1 – Emissões percentuais em Juiz de Fora por categoria de veículo. Ano Base: 2011

1.2. PROCONVE

O PROCONVE é o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, instituído pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução nº 18/1986 (BRASIL, 1986) e endossado pela Lei nº 8723/1993 (BRASIL, 1993). É um programa que conta com a coordenação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e tem como principais objetivos estabelecer limites de emissão veiculares que atendam os padrões de qualidade do ar do Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar, PRONAR e incentivar melhorias tecnológicas tanto no âmbito de combustíveis como na fabricação de veículos novos (MMA, 2013).

Os limites de emissão estabelecidos pelo PROCONVE são implementados através de fases que preveem uma redução significativa de emissões para os veículos novos a partir de sua data de exigência. A cada fase que sucede, os limites se tornam mais rigorosos, buscando diminuir cada vez mais a poluição veicular. Os poluentes controlados através do estabelecimento do limite máximo de emissão são: NO_x (óxidos de nitrogênio), CO (monóxido de carbono), MP (material particulado), NMHC (hidrocarbonetos não metano), HC (hidrocarbonetos totais), CH₄ (metano) e NH₃ (amônia). Para controlar as emissões de SO_x (óxidos de enxofre), o PROCONVE estabelece o teor máximo de enxofre no combustível (IBAMA, 2011).

Para que o programa garanta a melhoria da qualidade do ar, foram estabelecidas estratégias que vão desde a homologação de um veículo ao controle pós venda. São verificadas se as emissões dos veículos novos comercializados estão em conformidade com o limite máximo da fase em que este se encaixa, e também são requeridos mecanismos de manutenção ao longo da vida útil do mesmo. O controle pós-venda é estabelecido pela Resolução CONAMA nº 418/2009 (BRASIL, 2009), que prevê programas de inspeção e fiscalização que devem ser implantados pelos órgãos estaduais e municipais responsáveis. O sistema de controle se baseia em três principais pontos: inspeção, manutenção e fiscalização (IBAMA, 2011).

Para o estabelecimento dos limites de emissão, os veículos são enquadrados conforme seu peso e características. O enquadramento dos veículos se dá primeiramente de acordo com seu peso bruto total (PBT), e uma vez classificado através deste fator como

leve ou pesado, este obedecerá a limites máximos de emissões distintos. As fases do PROCONVE possuem estratégias diferentes de acordo com a categoria em que o veículo se encaixa, sendo estas denominadas fases ‘L’ para os veículos leves e fases ‘P’ para os veículos pesados. Além da caracterização através do peso, os veículos são classificados pelo ciclo de combustível que possuem (IBAMA, 2011).

Os ônibus urbanos são enquadrados como veículos pesados do ciclo diesel, e desta maneira obedecem às fases ‘P’ do PROCONVE. Desde 01 de janeiro de 2012, a fase em vigor é a P7, assim, todos os veículos fabricados a partir desta data devem cumprir os valores máximos de emissão estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 403/08 (BRASIL, 2008).

A Tabela 1.1 a seguir apresenta as fases do PROCONVE, seus anos de vigência e suas respectivas resoluções determinantes, para os veículos pesados.

Tabela 1.1 – Fases do PROCONVE para veículos pesados do ciclo diesel.

PROCONVE	Norma CONAMA	Vigência (a partir de)
P1 *	Res. 18/86	1987 (ônibus urbanos) *
P2 *	Res. 08/93	80% - 1994 100% - 1996
P3	Res. 08/93	1994 (ônibus urbanos)
P4	Res. 08/93	1998 (ônibus urbanos)
P5	Res. 315/02	2004 (ônibus urbanos)
P6 **	Res. 315/02	2009 **
P7	Res. 403/08	2012

*Os limites máximos estabelecidos pelas fases P1 e P2 não foram exigidos legalmente.

**A fase P6 não chegou a ser implantada.

Fonte: Adaptado de COPPE (2011) e JOSEPH JR. (2009).

Considerando as fases do PROCONVE para ônibus urbanos, pode se dizer que, somente a partir da Resolução CONAMA nº 8/1993 (BRASIL, 1993) o controle de emissões foi de fato efetivo, com isso, somente após esta foram feitas melhorias significativas. Isto aconteceu uma vez que nas primeiras fases, P1 e P2, os limites de emissão não foram exigidos legalmente para todos os parâmetros. A implementação da fase P6 não chegou a entrar em prática devido à indisponibilidade do combustível adequado aos motores, e de dificuldades na logística de distribuição de diesel e de uréia (utilizada no sistema de controle de NO_x previsto para veículos do ciclo diesel – controle pós combustão). Esta

fase tinha como objetivos principais as reduções das emissões de MP, NO_x e HC, objetivos mantidos na fase posterior, a P7 (JOSEPH JR, 2009).

A legislação atualmente em vigor, P7, introduziu os sistemas de pós-tratamento, ou seja, controle da emissão após a combustão, que visam principalmente a redução de material particulado, compostos de nitrogênio (NO_x) e de enxofre (SO_x). Alguns sistemas de pós-tratamento funcionam através do aumento da taxa de oxidação (catalisadores de oxidação), podendo levar à maior produção de material particulado. Assim, para que este controle pós-combustão seja aplicado sem efeitos reversos e sem deteriorar seus aparelhos, é necessária uma redução considerável do teor de enxofre no combustível (MMA, 2013). A redução de emissão de compostos NO_x se dá através da adição de compostos de uréia, que reagem para formar N₂ (nitrogênio) e H₂O (vapor d'água), não poluentes. No Brasil, o composto de uréia adicionado é denominado ARLA 32 (Agente Redutor Líquido Automotivo), com concentração de uréia de 32,5% em peso (CO(NH₂)₂). Este é adicionado a um tanque próprio e é pulverizado junto aos gases de escape, sendo sua função o fornecimento de amônia (NH₃) para a redução do NO_x a N₂ (LEAL, 2009).

A fase P7 reduz em 90% o teor de enxofre no combustível em relação à fase P5, diminuindo o teor de 500 ppm (S500) para 50 ppm (S50) na utilização em veículos novos, fabricados a partir de 2012 e prevê uma redução ainda maior a partir de 2013, quando o teor cai de 50 ppm (S50) para 10 ppm (S10) (ANP, 2011). Através da Figura 1.2, é possível observar que a fase P7 reduz em cerca de 80% as emissões de MP com relação à fase P5, sendo também possível verificar uma redução de aproximadamente 60% das emissões de NO_x entre essas fases (JOSEPH JR, 2009).

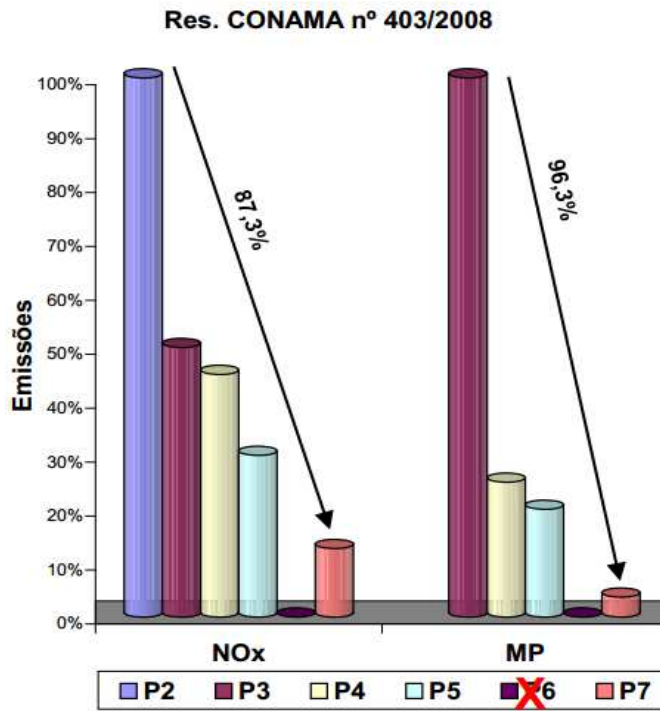


Figura 1.2 – Redução percentual das emissões entre as fases do PROCONVE.

Além dos limites de emissão dos veículos, o PROCONVE, através do IBAMA, confere autorização para o uso de combustíveis alternativos, e prevê melhorias em combustíveis convencionais. A cada fase vigente são apresentadas características indicativas do combustível em questão, que no caso de veículos pesados é o diesel. A indicação de características e a necessidade de adaptação do combustível aos novos motores levam ao aprimoramento do mesmo e, conseqüentemente, à redução das emissões.

1.3. COMBUSTÍVEIS – DIESEL E BIODIESEL

O combustível utilizado pela totalidade da frota de ônibus urbanos é o diesel, com a opção de biodiesel como biocombustível (MMA, 2013). No entanto, o biodiesel foi adicionado a matriz energética brasileira através de misturas obrigatórias deste com o diesel convencional. A caracterização do motor e do combustível utilizado pela frota estudada é importante, pois diferencia sua emissão na metodologia de cálculo, sendo esta subdividida por tipologia de veículo e combustível.

O óleo diesel é utilizado em motores de combustão interna e ignição por compressão. É um composto derivado do petróleo, formado basicamente por hidrocarbonetos e baixas

concentrações de enxofre, nitrogênio e oxigênio. Por sua vez, o biodiesel é um combustível biodegradável que pode ser produzido a partir de diversas fontes distintas, sendo estas vegetais ou de gordura animal. No Brasil, alguns dos biodieseis mais comuns são os de mamona, palma do dendê, soja, girassol, entre outras (PETROBRAS, 2014).

Segundo dados do Balanço Energético Nacional – Ano Base 2013 (BEN, 2014), o setor de transporte rodoviário respondeu por 29,6% do consumo final de energia no país, o que corresponde a $77,007 \times 10^6$ tep (toneladas equivalentes de petróleo). O uso de óleo diesel neste setor corresponde a 48,2% do consumo total de energia, enquanto o uso do biodiesel corresponde a apenas 2,5% (BEN, 2014).

O grande consumo do diesel e a relevância das emissões provenientes desse demonstram a importância de indicações de redução e melhorias em sua composição e consumo. Desta maneira, o PROCONVE apresenta indicações quanto às características de combustíveis que se adequam aos motores e sistemas de controle de cada fase, uma vez que os motores novos requerem combustíveis cada vez menos poluentes. A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), através de suas resoluções, é responsável pelo estabelecimento das especificações e características do óleo diesel e do biodiesel a serem comercializado no país.

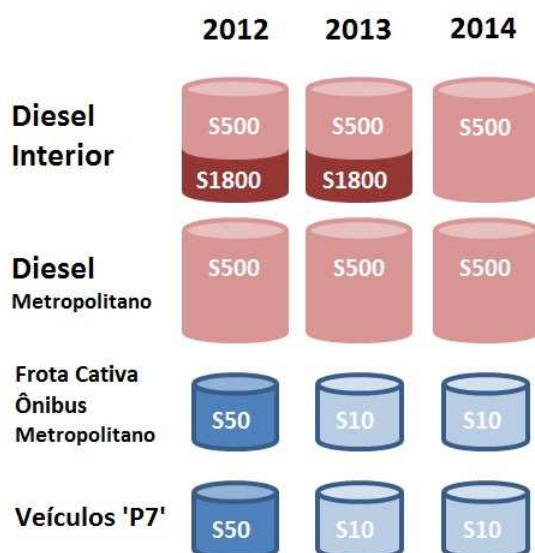
Considerando os objetivos do PROCONVE de promover a redução de emissões através da melhoria de características dos combustíveis disponibilizados à frota de veículos circulantes, foram estabelecidos limites máximos do teor de enxofre no diesel convencional. A redução do teor de enxofre implica na redução proporcional de gases SO_x , além de reduzir a produção de material particulado (oxidação de SO_2 a SO_4^{2-}) (MMA, 2013).

A redução do enxofre no diesel aconteceu gradualmente através de resoluções da ANP, que estabelece limites máximos de teor de enxofre, com diferenciação do diesel utilizado em regiões metropolitanas para o utilizado no interior. Os veículos produzidos a partir de 2012, enquadrados na fase P7 do PROCONVE, passaram a utilizar o diesel S50 (diesel com teor de enxofre, máximo, de 50 ppm) durante todo seu ano de fabricação, conforme previsto pela ANP nº 65/2011 (ANP, 2011). A partir de 1º de janeiro de 2013, estes veículos deveriam utilizar apenas o S10, com teor máximo de 10

ppm de enxofre (ANP, 2011). Juntamente com a diminuição do teor de enxofre no diesel, a partir de 2012, a mistura de 5% de biodiesel em todo o combustível comercializado se tornou obrigatória, previsto pela Lei nº 11.097/2005 (BRASIL, 2005). Assim, todo o diesel comercializado, seja esse S10, S50 ou outro com maior teor de enxofre, passou a conter 5% de biodiesel.

Para os veículos fabricados antes de 2012, a diferenciação do combustível se dá de acordo com sua região de atividade. Em regiões metropolitanas, o diesel com teor máximo permitido desde 2012 é o S500, sendo proibido o uso de S1800. As frotas cativas de ônibus nesta região seguem a utilização de diesel dos veículos enquadrados na fase P7 do PROCONVE. Fora de regiões metropolitanas, o diesel comercializado em 2012 era o S500 e o S1800. A ANP nº 65/2011 (ANP, 2011) também estabeleceu a substituição total da venda de S1800 por S500, a partir de 1º de janeiro de 2014.

Em 2013, a ANP nº 65/2011 foi revogada pela ANP nº 50/2013 que definiu apenas duas versões de diesel, conforme o teor máximo de enxofre - S10 e S500, ambos contendo a adição de 5% de biodiesel. A Figura 1.3 a seguir apresenta a evolução do teor de enxofre no óleo diesel. Cabe ressaltar que não há restrição quanto ao uso de diesel de baixo teor de enxofre - S50 ou S10 - em veículos anteriores à fase P7 do PROCONVE.



Fonte: Adaptado de ANP (2011; 2013).

Figura 1.3 – Evolução do teor de enxofre no óleo diesel.

O biodiesel se apresentou inicialmente como a alternativa de biocombustível ao diesel. Originado de fontes vegetais e animais, é um combustível renovável e biodegradável que tem sido aplicado cada vez mais devido ao aumento da preocupação com questões ambientais, como pode ser verificado através de sua utilização obrigatória no diesel convencional por meio de misturas percentuais. O biodiesel é usado como alternativa de combustível para melhorar a eficiência de combustão e reduzir a emissão de HC, MP, CO e SO_x, porém sua adição ao combustível convencional mostra um acréscimo nas emissões de NO_x (EPA, 2002). O acréscimo da emissão de NO_x pode apresentar um aspecto significativo, uma vez que 66% da emissão de NO_x está relacionado à frota de ônibus em Juiz de Fora, conforme apresentado na Figura 1.1 (ARAÚJO, 2013).

A utilização do biodiesel pode substituir completa ou parcialmente o diesel nos motores. A mistura do biodiesel no diesel convencional pode acontecer em diversas proporções, sendo denominada BX (X = % de biodiesel na mistura), assim, o biodiesel puro é denominado B100. A porcentagem da mistura comercializada, além de suas especificações e características, é prevista por resoluções da Agência Nacional do Petróleo (ANP).

No Brasil, a introdução do biodiesel ao combustível comercializado se deu a partir da adição de frações percentuais deste ao diesel comum. Em 2004, a Portaria ANP nº 42/2004, estabeleceu as características do biodiesel, também chamado de B100, e estipulou a proporção de 2% a ser adicionado ao combustível convencional, mistura conhecida por B2 (ANP, 2004). Através da Lei nº 11.097/2005 o biodiesel foi introduzido de fato na matriz energética brasileira, sendo o uso de B2 mandatório a partir de 1º de janeiro de 2008 e o do B5 mandatório a partir de 2012 (BRASIL, 2005). Em conformidade a isto, o combustível B2 foi substituído pelo B5, 5% de biodiesel, pela ANP nº 7/2008, passando a ser comercializado a partir de 1º de janeiro de 2010.

Atualmente, a Lei nº 13.033/2014 estabeleceu novas porcentagens de misturas de biodiesel ao combustível convencional: 6% (B6), a partir de 1º de julho de 2014 e 7% (B7), a partir de 1º de novembro de 2014, sendo estas misturas realizadas nos combustíveis vigentes: S500 e S10. Segundo a Petrobras (2014), qualquer motor a diesel pode utilizar o biodiesel sem necessidade de adaptação ou prejuízo de desempenho.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal do presente trabalho é inventariar as emissões dos poluentes atmosféricos - CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO, MP, SO_x, NMHC – provenientes da frota de ônibus urbanos circulantes em Juiz de Fora, confrontando possíveis cenários.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desse trabalho são:

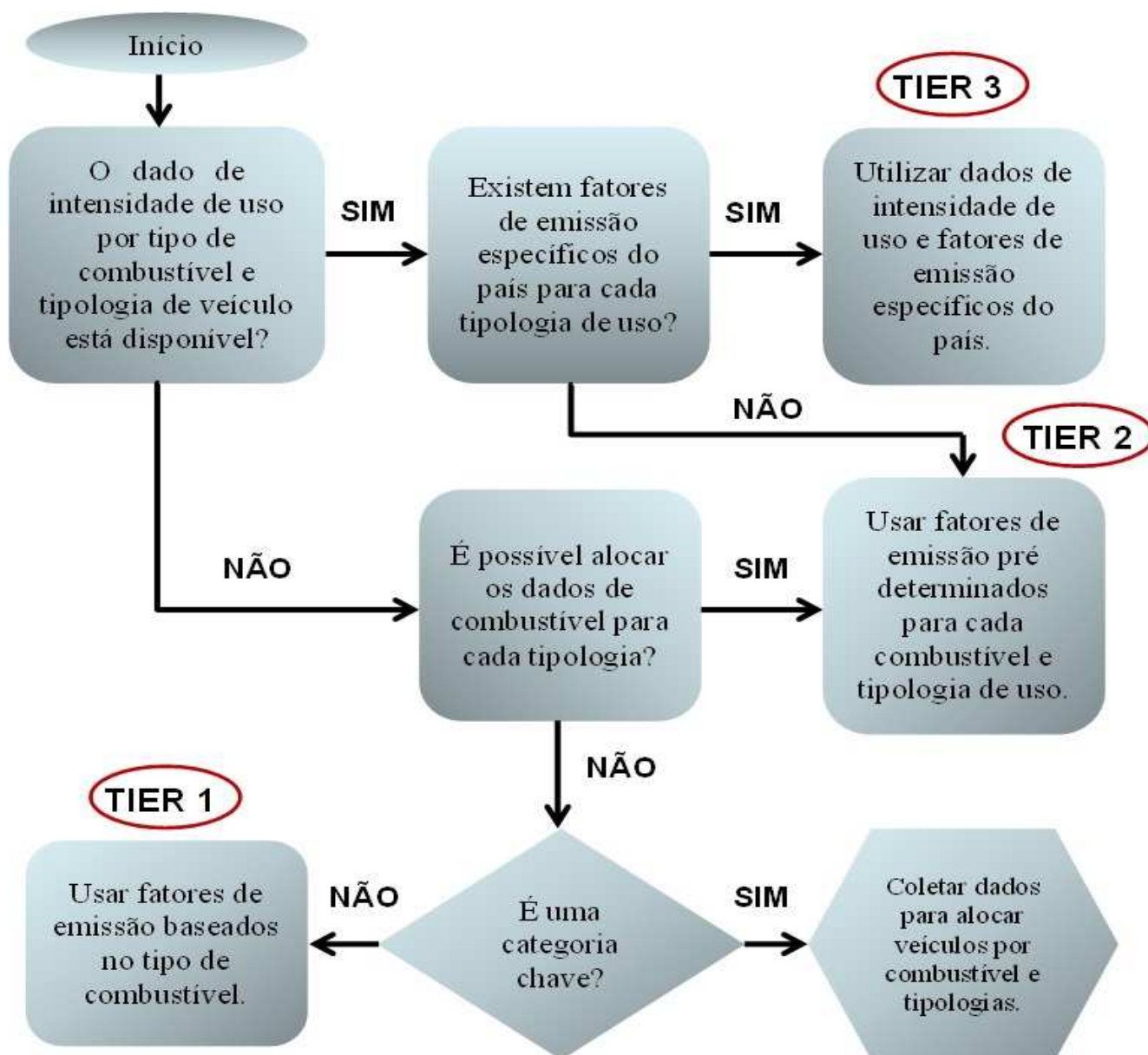
- Levantamento e caracterização da frota de ônibus urbanos do transporte público de Juiz de Fora.
- Avaliação da participação percentual da região central da cidade (quatro principais vias de ônibus) em relação à emissão total de poluentes atmosféricos pela frota de ônibus urbanos de Juiz de Fora.
- Estimativa de emissões futuras de poluentes em cenários de renovação da frota.
- Estimativa de emissões futuras de poluentes indiretos – NO_x, MP, SO_x, CO e HC – em cenários de usos de diferentes teores de biocombustível pela frota de ônibus urbanos de Juiz de Fora.

3. METODOLOGIA

A metodologia de cálculo das emissões de poluentes atmosféricos referentes à frota de ônibus urbanos da cidade de Juiz de Fora utilizada neste trabalho é a mesma proposta e apresentada pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2000; IPCC, 2006), *Environmental Protection Agency* (EPA, 2002) e *European Environmental Agency* (EEA, 2012; EEA, 2014) sendo estas utilizadas em diversos inventários e estudos nacionais, tais como os feitos pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011; MMA, 2013), Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE, 2011) e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2011; CETESB, 2014b).

Esta metodologia tem como objetivo estimar e quantificar as emissões dos poluentes atmosféricos através de dados de entrada referentes aos veículos estudados. Devido à impossibilidade de obtenção da emissão de cada poluente diretamente em sua fonte, faz-se necessário que fatores de emissões sejam utilizados para estas estimativas. Os fatores de emissão são valores representativos que relacionam a emissão do poluente com determinada fonte e atividade relacionada. Estes são elaborados, na maioria dos casos, através de médias de dados confiáveis disponíveis, sendo representativos no tempo e espaço de estudo. Esses fatores facilitam a estimativa das emissões provenientes de várias fontes distintas de poluição do ar (EPA, 2000). Os fatores de emissão são específicos para cada poluente, cada tipologia de veículo e o combustível utilizado por este. Além disso, para a obtenção destes fatores são associados aspectos tecnológicos de controle e características de operação dos veículos analisados.

O IPCC (2000) subdivide os cálculos em diferentes *Tiers*, ou seja, conjuntos distintos de equações que variam de acordo com a disponibilidade de dados do estudo (dados de entrada) e o grau de detalhamento do método para a estimativa da emissão total de cada poluente. Assim, quanto maior o *Tier*, maior a acurácia do cálculo. A escolha do *Tier* deve ser acompanhada de análises de disponibilidade de dados e avaliações que considerem quais poluentes são mais relevantes para a área estudada, sendo denominadas categorias chave (IPCC, 2006). A Figura 3.1 apresenta um fluxograma da tomada de decisões relativas aos *Tiers*.



Fonte: Adaptado de IPCC (2006).

Figura 3.1 – Fluxograma de decisão para a escolha do Tier.

Segundo o relatório do IPCC “*Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” (2006), ao se tratar de poluentes ditos como gases diretos de efeito estufa (CO₂, N₂O e CH₄), suas emissões podem ser estimadas tanto pelo combustível consumido, como pela distância percorrida pela frota (intensidade de uso), sendo a primeira forma mais apropriada para os cálculos de emissão do CO₂ (Tier 2) e a segunda para os cálculos de emissão do NO₂ e CH₄ (Tier 3). Segundo o mesmo relatório (IPCC, 2006), não há necessidade de aplicação do Tier 3 para o cálculo das emissões de CO₂, uma vez que não haveria melhoria significativa na acurácia dos resultados.

Para o cálculo de emissões dos gases precursores indiretos de efeito estufa (NO_x, CO, NMHC e MP), o uso de processos mais detalhados bem como de dados de fatores de emissão específicos de cada país garantem a acurácia do método. (IPCC, 2006).

Segundo a metodologia da *European Environment Agency* - EMEP/EEA (2014) para o cálculo dos óxidos de enxofre são utilizados dados referentes ao combustível utilizado pela frota, tais como teor de enxofre no combustível e consumo específico, além da razão de conversão de enxofre para sulfatos que é variável de acordo com a tecnologia de pós-tratamento (EEA, 2014).

É importante ressaltar que para o presente trabalho foram utilizados dados da frota de ônibus urbano de Juiz de Fora. Desta maneira, apenas uma tipologia de veículos e um único tipo de combustível são avaliados e quantificados na metodologia a seguir.

3.1. ESTIMATIVA DE COMBUSTÍVEL CONSUMIDO

A estimativa do combustível consumido deve ser calculada considerando a tipologia do combustível, a quilometragem rodada e a frota em estudo. Para a frota de ônibus urbanos de Juiz de Fora, o levantamento foi feito através de informações fornecidas pela SETTRA (Secretaria de Trânsito e Transporte de Juiz de Fora) referente aos dados de frota, intensidade de uso e consumo médio de combustível por km rodado (Apêndice A e B). A equação de cálculo é apresentada a seguir:

$$C = F * d * q \quad \text{Equação 1}$$

Onde: **C** → Combustível consumido [L de combustível];

F → Frota de veículos [veículo];

d → Intensidade de uso [km/veículo];

q → Consumo médio de combustível por km rodado [L de combustível/km].

3.2. CÁLCULO DAS EMISSÕES DE CO₂

Como mencionado anteriormente, o cálculo das emissões de CO₂ pode ser feito em dois *Tiers* distintos, dependendo da disponibilidade de dados (IPCC, 2006). O *Tier 1* utiliza o teor de carbono e fator de emissão pré-definidos; o fator de emissão é calculado através do teor de carbono total multiplicado pelo balanço de massa (conversão de carbono para dióxido de carbono - CO₂). Considera-se todo o carbono emitido, como CO₂, CH₄, CO, NMVOC e material particulado. Por sua vez, no *Tier 2*, o fator de emissão é calculado através da densidade energética, da porcentagem de oxidação completa e do teor de carbono real do combustível usado e comercializado, garantindo assim uma acurácia maior, conforme apresentado na Equação 2 abaixo.

$$FE_{CO_2} = TC * \%Ox * d_{energ} * \left(\frac{44}{12}\right) \quad \text{Equação 2}$$

Onde: FE_{CO_2} → Fator de emissão do CO₂ [Kg/L de combustível];

TC → Teor de carbono no combustível [kg/tep];

$\%Ox$ → Porcentagem de oxidação do carbono [%];

d_{energ} → Densidade energética do combustível [tep/L de combustível];

$\frac{44}{12}$ → Balanço de massa de C para CO₂.

De posse do fator de emissão, a estimativa das emissões de CO₂ é feita de maneira semelhante para ambos os *Tiers*. A equação cálculo da emissão deste gás é apresentada na Equação 3.

$$E_{CO_2} = FE_{CO_2} * C \quad \text{Equação 3}$$

Onde: E_{CO_2} → Emissão de CO₂ [Kg];

C → Combustível consumido [L de combustível];

FE_{CO_2} → Fator de emissão do CO₂ [Kg/L de combustível].

De acordo com o IPCC (2006), as emissões adicionais de CO₂ provenientes de catalisadores à base de uréia (CO(NH₂)₂) podem ser estimadas através da Equação 4. Este seria o caso do ARLA 32, usado como aditivo no catalisador de veículos da fase P7 do PROCONVE. O adicional de emissão dos catalisadores à base de uréia não foi calculado uma vez que não há dados sobre a quantidade de aditivo consumida pela frota analisada.

$$Ea_{CO_2} = \text{Atividade} * \frac{12}{60} * \text{Pureza} * \frac{44}{12} \quad \text{Equação 4}$$

Onde: Ea_{CO_2} → Emissão adicional de CO₂ proveniente do uso de catalisadores à base de amônia [Kg];

Atividade → Quantidade de aditivo consumida pelo catalisador [Kg];

$\frac{12}{60}$ → Balanço de massa de uréia para CO₂;

Pureza → Fração em massa de uréia no aditivo [%];

$\frac{44}{12}$ → Balanço de massa de C para CO₂.

Para a estimativa das emissões de CO₂ neste trabalho foi aplicado o *Tier 2*. Valores de fator de emissão do CO₂, densidade energética, porcentagem de oxidação completa e teor de carbono real do combustível comercializado foram obtidos no Relatório Final do “1º Inventário Nacional De Emissões Atmosféricas Por Veículos Automotores Rodoviários” elaborado pelo MMA (2011) e do “1º Relatório de Referência do Estado de São Paulo de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, Período de 1990 a 2008” elaborado pela CETESB (2011). O fator de emissão considerado para o CO₂, para o combustível Diesel e para a tipologia de veículo ônibus urbano é 2,71Kg/L (MMA, 2011).

3.3. CÁLCULO DAS EMISSÕES DE CH₄ E N₂O

O cálculo de emissão dos gases CH₄ e N₂O, quando comparado ao CO₂, apresenta maior grau de detalhamento e dificuldade para ser estimado, uma vez que seus fatores

de emissão dependem da tipologia do veículo, do tipo de tecnologia de controle de poluição, do combustível utilizado e das características de operação deste (IPCC, 2006).

A metodologia apresentado pelo IPCC em “*Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*” (2006) apresenta três *Tiers* para o cálculo das emissões. Nos dois primeiros, é considerado o combustível consumido, enquanto no terceiro o valor de entrada na fórmula é a quilometragem percorrida por veículo. O *Tier 1* e *2* apresentam a mesma equação de cálculo (análoga à Equação 3), porém se distinguem devido à diferenciação da frota por tipologia. No primeiro, o cálculo é feito através do combustível consumido independente da classe do veículo, enquanto no segundo o cálculo é dividido por tipologia. Para a estimativa no *Tier 3* são necessários valores de fator de emissão que considerem dados específicos do país. A emissão estimada para este *Tier* é obtida através do somatório da multiplicação da frota, por tipo de veículo e combustível, e sua respectiva intensidade de uso (quilometragem percorrida). As equações de cálculo de emissões para o CH₄ e N₂O para o *Tier 3* são apresentadas a seguir (Equação 5 e 6).

$$E_{CH_4} = FE_{CH_4} * d * F \quad \text{Equação 5}$$

$$E_{N_2O} = FE_{N_2O} * d * F \quad \text{Equação 6}$$

Onde: E_{CH_4} → Emissão de CH₄ [g];

E_{N_2O} → Emissão de CH₄ [g];

FE_{CH_4} → Fator de emissão do N₂O [g/km percorrida];

FE_{N_2O} → Fator de emissão do N₂O [g/km percorrida];

F → Frota de veículos [veículo];

d → Intensidade de uso [km percorrida/veículo].

Para o total de emissões de CH₄ e N₂O calculado através do *Tier 3*, o IPCC (2006) também apresenta mecanismos de cálculo que consideram um adicional para ‘partida a frio’. A ‘partida a frio’ ocorre quando a temperatura do motor está abaixo daquela na

qual o catalisador começa a operar, ou no caso de veículos sem catalisadores, antes que o motor atinja sua operação normal (IPCC, 2006). Nesse caso, a emissão total de poluentes de dá conforme a Equação 7.

$$E_{Total} = E_{quente} + E_{frio} \quad \text{Equação 7}$$

Onde: E_{Total} → Emissão total [g];

E_{quente} → Emissão do poluente durante operação normal do motor [g];

E_{frio} → Adicional de emissão de ‘partida a frio’ (situação prévia à operação normal do motor) [g].

Os cálculos de emissão de CH₄ e N₂O estimados no presente trabalho foram obtidos através das equações de cálculo do *Tier 3*, porém, o adicional de partida a frio não foi considerado, devido a ausência de dados relativos ao número de partidas feitas e a não disponibilidade dos valores de emissão nacionais. Os fatores de emissão nacionais utilizados foram os mesmos do *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários* (MMA, 2013), sendo estes específicos para o combustível (Diesel) e frota estudada (ônibus urbanos). Os valores de fator de emissão para o CH₄ e N₂O são respectivamente: 0,06 g/km e 0,03 g/km.

3.4. CÁLCULO DAS EMISSÕES DE NO_x, MP, NMHC E CO

A metodologia de cálculo das emissões de NO_x, MP, NMHC e CO, assim como a do CH₄ e N₂O, exige maior detalhamento e disponibilidade de dados para que a acurácia seja garantida. As emissões dependem de fatores como tipologia de veículo, combustível, características da operação e tecnologia de controle de poluição, assim a existência de fatores de emissão específicos aos veículos circulantes no país se faz necessária e garante uma melhor qualidade dos resultados. A diferenciação entre os *Tiers* é semelhante à apresentada para os poluentes CH₄ e N₂O. Os cálculos para os *Tiers 1* e 2 são feitos considerando-se o combustível consumido, enquanto para o *Tier 3*, são usados dados de quilometragem percorrida pelos veículos da frota estudada. Nesta

metodologia, o adicional de ‘partida a frio’ também é previsto como incremento às emissões (EEA, 2012).

No Brasil, a emissão destes poluentes (precursores indiretos de efeito estufa) é regulamentada pelo PROCONVE, que estabelece, para suas diferentes fases, limites máximos de emissão para cada poluente. Desta maneira, o fator de emissão dos veículos circulantes varia conforme seu ano de fabricação e a fase do PROCONVE em que este está classificado. A Equação 8 apresenta a equação geral de cálculo das emissões.

$$E_{i,n} = \Sigma(FE_{i,n} * F_n) * d \quad \text{Equação 8}$$

Onde: $E_{i,n}$ → Emissão do poluente i por fase n do PROCONVE [g];

$FE_{i,n}$ → Fator de emissão do poluente i por fase n do PROCONVE [g/km];

F_n → Frota de veículos por fase n do PROCONVE [veículo];

d → Intensidade de uso [km/veículo].

O cálculo das emissões destes poluentes pela frota estudada neste trabalho foi feito através da aplicação do *Tier 3*, porém assim como no cálculo de CH₄ e N₂O, o adicional de ‘partida a frio’ não foi estimado. Os fatores de emissão, por fase do PROCONVE utilizados nesse estudo (Tabela 3.1) foram obtidos através dos Relatórios Finais do MMA (2011) e do “*Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores do Estado do Rio de Janeiro*” (COPPE, 2011).

Tabela 3.1 – Fatores de emissão do NO_x, MP, NMHC e CO

		NO _x	MP	NMHC	CO
Combustível		Diesel			
Tipologia		Ônibus Urbanos			
FE (g/km)	Pré PROCONVE, P1 e P2	17,57	1,08	1,12	3,06
	P3	11,1	0,54	0,92	2,75
	P4	10,84	0,21	0,51	1,5
	P5	7,84	0,13	0,27	1,39
	P7	3,17	0,03	0,28	1,46

Fonte: Adaptado de MMA (2011) e COPPE (2011).

3.5. CÁLCULO DAS EMISSÕES DE SO_x

A metodologia de cálculo das emissões de SO_x é proposta pelo *Emission Inventory Guidebook* realizado pela EEA (2014) e no *Worldwide Fuel Charter* (WFCC, 2013) e se divide em duas etapas: emissão de dióxidos de enxofre (SO₂) e sulfatos (SO₄²⁻) agregados ao material particulado. O enxofre presente no combustível é oxidado à SO₂ durante a combustão, sendo este o principal composto de enxofre emitido pelos motores. Porém, parte deste SO₂ é ainda oxidado a SO₄²⁻, que junto do vapor d'água formado pela combustão, se agrega ao material particulado, aumentando sua massa. Usualmente, a taxa de conversão de enxofre a sulfato (SO₄²⁻) é em torno de 1%, no entanto, sistemas de pós-tratamento que contenham catalisadores de oxidação podem aumentar essa taxa para 100% (MMA, 2013).

O aumento da taxa de oxidação de SO₂ para SO₄²⁻ pode levar a um aumento considerável da massa de material particulado (MP). Desta maneira, levando em consideração as tecnologias de controle de poluição previstas pelas fases mais recentes do PROCONVE, é necessário que os veículos enquadrados nestas utilizem combustível com baixo teor de enxofre (S). Em alinhamento com estas questões, o PROCONVE prevê ao longo de suas fases, limites cada vez mais baixos de teor de enxofre no Diesel e considera a contribuição do aumento da emissão de MP, devido às tecnologias de controle e do teor de enxofre nos fatores de emissão deste poluente. As equações 9 e 10 apresentam o cálculo das emissões de SO₂ e da porção de sulfato no material particulado.

$$E_{SO_4} = 7 * k_{S,n} * C_{e,n} * C_S \quad \text{Equação 9}$$

$$E_{SO_2} = 2 * k_{S,n} * C * (1 - C_S) \quad \text{Equação 10}$$

Onde: E_{SO_4} → Emissão específica de SO₄²⁻ [g de sulfatos/kWh];

E_{SO_2} → Emissão de SO₂ [g];

k_S → Teor de enxofre no diesel por fase n do PROCONVE [g/g de combustível];

$C_{e,n}$ → Consumo específico por fase n do PROCONVE [g de combustível/kWh];

C → Combustível consumido [L de combustível];

C_S → Razão de conversão de enxofre para sulfatos.

Além do teor de enxofre, o consumo específico de Diesel também varia de acordo com as fases do PROCONVE. Para o cálculo das emissões de SO_x , foram utilizados dados obtidos no relatório do MMA (2011) e apresentados a seguir através da Tabela 3.2. Os dados de teor de enxofre no Diesel são os de homologação, sendo os mesmos utilizados no cálculo dos fatores de emissão de outros poluentes. Para as estimativas das emissões foram necessários ainda constantes de conversão de unidades, obtidas no Balanço Energético Nacional de 2014 (BEN, 2014), apresentadas no Anexo I.

Tabela 3.2 – Teor de enxofre no Diesel e Consumo específico

Combustível	Diesel				
Tipologia	Ônibus Urbanos				
	Pré PROCONVE, P1 e P2	P3	P4	P5	P7
Teor de enxofre (S) (g/g)	2000	2000	2000	500	10
Consumo Específico (g/kWh)	225	218	210	220	210

Fonte: Adaptado de MMA (2011).

3.6. CÁLCULO DE EMISSÕES PARA O USO DE BIODIESEL

A inclusão do biodiesel no diesel, mesmo que em pequenas porcentagens de mistura, afeta as emissões de poluentes, uma vez que as metodologias de cálculo utilizam parâmetros que variam de acordo com o tipo de combustível, tais como: fator de emissão, combustível consumido, teor de enxofre e consumo específico.

Estudos feitos pela *Environmental Protection Agency* (EPA, 2002) apontaram que os impactos do uso desse biocombustível nas emissões variam de acordo com a matéria

prima de origem do biodiesel (soja, palma, mamona entre outros) e das características do diesel convencional com o qual este é misturado (EPA, 2002). A metodologia de cálculo aplicada nesse trabalho foi elaborada pela EPA (2002) no relatório “*A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*”. Neste, são considerados valores médios para os tipos de biodiesel e diesel convencional consumidos.

O método reporta que a variação das emissões de biodiesel se dá de maneira percentual às emissões de diesel puro, de acordo com a mistura de biocombustível neste. Assim, foram utilizadas equações que correlacionassem a percentagem de mudança na emissão de acordo com o percentual de biodiesel adicionado ao combustível convencional. As equações de cálculo foram elaboradas através de regressão logarítmica e são apresentadas através das Equações 11 e 12 a seguir. Substituindo-se a Equação 11 na Equação 12 obtém-se a percentagem de alteração das emissões de acordo com a fração em volume de biodiesel misturada ao diesel convencional. A equação de cálculo da percentagem de mudança é apresentada através da Equação 13 (EPA, 2002).

$$E = e^{a*(\%Bio)+b} \quad \text{Equação 11}$$

$$\%A_E = \left(\frac{E_{com\ biodiesel} - E_{sem\ biodiesel}}{E_{sem\ biodiesel}} \right) * 100 \quad \text{Equação 12}$$

$$\%A_E = [e^{a*(\%Bio)+b} - 1] * 100 \quad \text{Equação 13}$$

Onde: $\%A_E \rightarrow$ Percentagem de alteração na emissão [%];

$\%Bio \rightarrow$ Fração de biodiesel adicionada ao combustível convencional [%];

$a, b \rightarrow$ Coeficientes determinados através de ajuste de curva estatística.

Esta metodologia apresentou as relações entre as emissões de biodiesel e diesel para os poluentes precursores indiretos de efeito estufa: NO_x , MP, HC (Hidrocarbonetos Totais) e CO. Os ajustes de cálculo e coeficientes a e b apresentados no método são apresentados nas Tabelas 3.3. Cabe ressaltar que estes coeficientes, bem como a regressão logarítmica, foram elaborados pela EPA (2002) através de dados do biodiesel americano, podendo apresentar pequenas variações em relação ao utilizado no Brasil.

Tabela 3.3 – Coeficientes para as correlações de emissões.

Coeficiente “a”	
NO_x	0,000979
MP	-0,00638
HC	-0,0112
CO	-0,00656
Coeficiente “b”	
b → 0	

Fonte: Adaptado de EPA (2002).

Para a comparação e estimativa das alterações causadas nas emissões médias das diferentes misturas de biodiesel em motores diesel, foram usados os valores de coeficiente a e b da Tabela 3.3 aplicados à Equação 13.

Para os cálculos das emissões de SO_x em misturas de biodiesel no diesel, considerou-se que todo o teor de enxofre é proveniente do diesel convencional, desta maneira, a redução percentual destas emissões seriam diretamente proporcionais à porcentagem de mistura utilizada (DWIVEDI, 2006).

Para o cálculo das emissões feito neste trabalho foram necessários, além dos fatores de emissões, dados de frota dividida por fase do PROCONVE, autonomia dos veículos e quilometragem percorrida por veículo (Apêndice A e B).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS

Para a aplicação da metodologia de cálculo de combustível consumido e emissões de poluentes atmosféricos referentes à frota de ônibus urbanos da cidade de Juiz de Fora, foram utilizados dados de frota, autonomia e intensidade de uso (quilometragem total), fornecidos pela SETTRA (Secretaria de Trânsito e Transporte de Juiz de Fora). Os dados de frota obtidos foram subdivididos por ano de fabricação dos veículos, classificando-os quanto à fase do PROCONVE em que se enquadram e, conseqüentemente, relacionando-os a seus referentes fatores de emissão (Apêndice A).

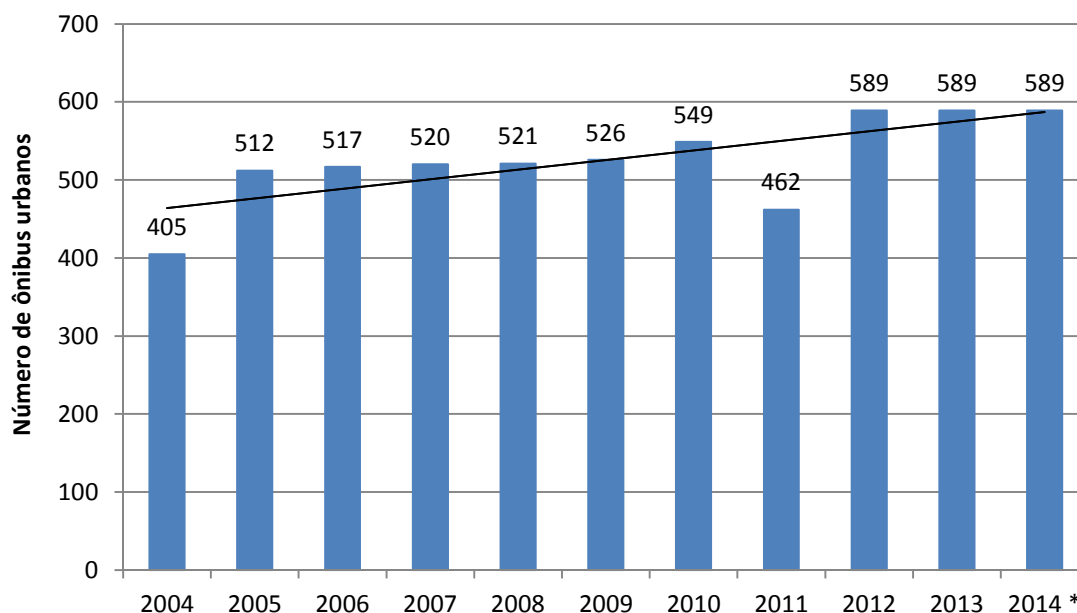
Através de informações da SETTRA, foi considerado que os ônibus urbanos de Juiz de Fora, dentro de suas respectivas empresas, são alocados em linhas diferentes e sua frequência de uso independe de seu ano. Assim, a quilometragem média diária percorrida por cada empresa pôde ser aplicada igualmente a todos os veículos da respectiva frota. Segundo a SETTRA, usualmente 15% dos veículos permanecem na garagem, para manutenção ou outras questões internas, desta maneira considerou-se para o cálculo da quilometragem média de cada veículo apenas 85% da frota (Apêndice B). A autonomia fornecida, que representa quantos quilômetros o veículo percorre para cada litro de combustível, também foi considerada média para todos os veículos da frota, independente de seu ano de fabricação.

Um levantamento do número de ônibus circulantes nas principais vias do centro da cidade e a respectiva distância percorrida foi realizado, resultando em um valor de quilometragem total nessa região também apresentado no Apêndice B. A obtenção destes dados para a região central foi realizada através do site da Associação Profissional das Empresas de Transporte de Passageiros de Juiz de Fora (ASTRANSP, 2014), onde foram coletados os números de viagens feitas por veículo de cada linha circulante no referido itinerário para dias úteis, sábados e domingos (Apêndice C).

4.2. EVOLUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA FROTA

O aumento do número de veículos em circulação é uma tendência nacional e estadual. Na última década o número de ônibus cresceu 44,20% no país e 45,02% no estado de Minas Gerais (DENATRAN, 2014). Nesta categoria, no entanto, são incluídos todos os tipos de ônibus emplacados (urbanos, corporativos, escolares e intermunicipais), enquanto neste estudo são analisados apenas os ônibus urbanos usados no transporte público de Juiz de Fora.

A frota de ônibus urbanos de Juiz de Fora, também apresentou uma tendência de crescimento ao longo dos anos de 2004 a 2014 (Figura 4.1), com um acréscimo de 184 veículos neste período (38,5% de crescimento), sendo seu crescimento abaixo do valor nacional e estadual (SETTRA, informação verbal). Houve um aumento significativo da frota em 2005, em torno de 26%, porém, entre os anos de 2005 e 2010 este crescimento foi relativamente baixo (6,74%). Em 2011, há uma queda considerável da frota, que se recupera em 2012. Entre 2012 e setembro de 2014 a frota permanece com número constante de veículos.



*Até setembro de 2014

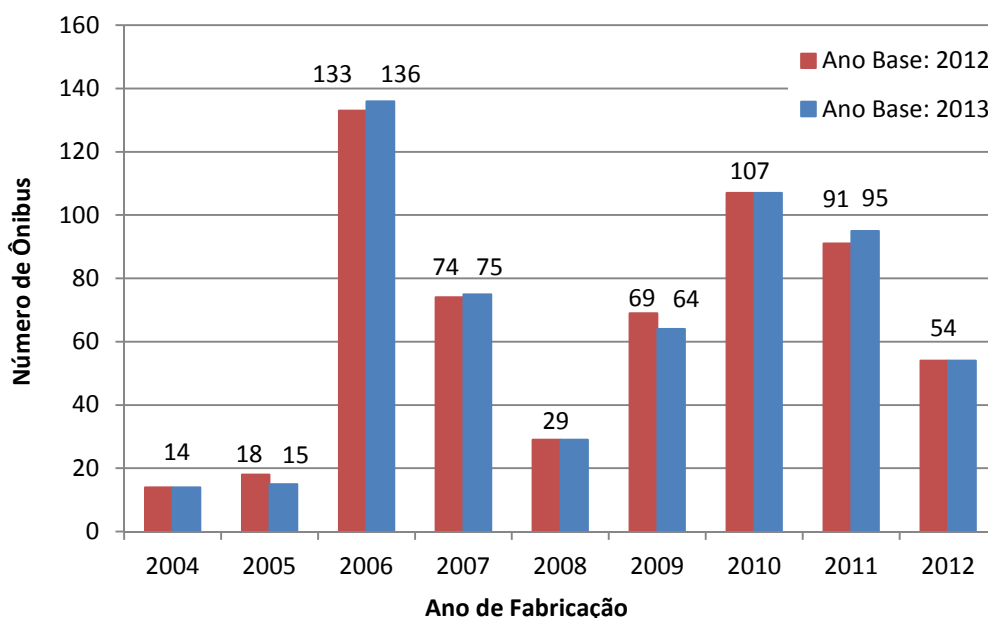
Fonte: Dados SETTRA (informação verbal).

Figura 4.1 – Evolução da frota dos ônibus urbanos circulantes em Juiz de Fora.

A renovação da frota em Juiz de Fora é prevista pelo Decreto Municipal nº 8798 de 2006 (JUIZ DE FORA, 2006), que prevê que as empresas responsáveis pelo ônibus urbanos da cidade retirem de circulação todos os veículos com mais de dez anos de uso. Além disso, a inserção de veículos adaptados é prevista pelo Decreto no 5296/2004 (BRASIL, 2004), que prevê que a totalidade da frota seja acessível a pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida até o final de 2014, fator que implica na aquisição de veículos em conformidade com esta.

Porém, a inalteração no número de veículos entre 2012 e setembro de 2014 e a pouca variação na caracterização da frota nos anos de 2012 e 2013, podem ser explicadas através da declaração do secretário de Transporte e Trânsito de Juiz de Fora, Rodrigo Tortoriello. De acordo com ele, no ano 2013, por força da ação do Ministério Público, não foram possíveis o acréscimo de veículos novo à frota e nem a renovação dos existentes (BORGES, 2014).

Na Figura 4.2 é possível observar a caracterização da frota com ano base de 2012 e com ano base de 2013.



Fonte: Dados SETTRA (informação verbal).

Figura 4.2 – Ônibus em circulação na cidade de Juiz de Fora por ano de fabricação.

A frota de ônibus urbanos de Juiz de Fora é dividida em 8 empresas que realizam seus percursos principais em regiões distintas da cidade, porém todas possuem linhas que

cruzam o centro da cidade. Cada empresa possui uma frota veicular própria e têm seu sistema de abastecimento de combustível em suas garagens de ônibus. Todas elas fazem parte da Astransp e prestam serviços semelhantes. A caracterização da frota por empresa e ano de fabricação é apresentada no Apêndice A. Neste também são apresentados também os dados de frota por fase do PROCONVE.

4.3. EMISSÃO TOTAL DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Neste estudo foram calculadas as emissões de poluentes para dois anos base: 2012 e 2013. Apesar do número de veículos em circulação ser o mesmo, houve alterações na frota e na quilometragem percorrida, fatores que impactam na emissão total de poluentes atmosféricos. De posse da caracterização da frota para esses anos e dos demais dados fornecidos pela SETTRA, a saber, autonomia e quilometragem diária percorrida por empresa, é possível utilizar a metodologia de cálculo apresentada no Capítulo 3 e estimar a emissão dos poluentes. Para este cálculo também foram utilizados fatores de conversão de unidades obtidas no Balanço Energético Nacional de 2014 (BEN, 2014), apresentadas no Anexo I.

Os valores de emissões dos poluentes CO₂, N₂O, CH₄, CO, NO_x, NMHC, MP Total, HC Total e SO_x calculados são apresentados na Tabela 4.1 a seguir. Estes são apresentados em toneladas e referem-se às emissões da totalidade da frota de ônibus urbanos de Juiz de Fora durante o respectivo ano base em questão. Para todos os cálculos foi considerado que o combustível utilizado pela frota é o diesel com um percentual de 5% de biodiesel (B5), obrigatório a partir de janeiro de 2012 (BRASIL, 2005). A metodologia apresentada pela *Environmental Protection Agency* (EPA, 2002), que estima as variações nas emissões devido à utilização de biodiesel, especifica valores de alteração apenas para as emissões de HC Total, CO, NO_x e MP. Para o SO_x, conforme apresentado em Dwivedi (2006), é considerado que todo o teor de enxofre nas misturas é proveniente do diesel convencional. Para os demais gases foram considerados as emissões de poluentes com a metodologia de cálculo para diesel puro.

Além disso, os resultados parciais e diários das emissões dos referidos poluentes se encontram disponibilizados no Apêndice E desse trabalho através de uma tabela resumo

das emissões atmosféricas. As estimativas de quilometragem diária e combustível consumido são apresentadas nos Apêndices B e D.

Tabela 4.1 – Emissões anuais de poluentes atmosféricos oriundas dos ônibus urbanos de Juiz de Fora.

	Emissão anual (t) Ano Base: 2012		Emissão anual (t) Ano Base: 2013	
	DIESEL PURO	DIESEL COM 5% DE BIODIESEL (B5)	DIESEL PURO	DIESEL COM 5% DE BIODIESEL (B5)
CO₂	48.516,30	*N.E.	48.964,74	* N.E.
N₂O	1,53	* N.E.	1,54	* N.E.
CH₄	3,05	* N.E.	3,08	* N.E.
NMHC	16,20	* N.E.	16,37	* N.E.
HC Total	19,25	18,21	19,45	18,39
CO	83,51	80,82	84,37	81,64
NO_x	442,52	444,69	447,38	449,58
SO₂	13,68 ^a – 13,82 ^b	13,00 ^a – 13,13 ^b	13,83 ^a – 13,85 ^b	13,14 ^a – 13,16 ^b
MP Total	7,21	6,98	7,29	7,06
SO₄²⁻	1,26 ^a – 2,49 ^b	1,20 ^a – 2,37 ^b	1,26 ^a – 1,51 ^b	1,20 ^a – 1,43 ^b

a: valores mínimos

b: valores máximos

* N.E. (não especificado): A metodologia de cálculo da EPA (2002) não especificou a variação da emissão destes poluentes na utilização do biodiesel.

As emissões dos Gases de Efeito Estufa – GEE são responsáveis pelas principais emissões observadas para a frota em estudo e englobam as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O. As emissões de CO₂ ocorrem devido à combustão completa do combustível consumido e resultam nos maiores valores de emissão, com um total de 48.964,74 toneladas no ano de 2013, enquanto as emissões de CH₄ e N₂O são menos significativas, resultando em 3,08 e 1,54 toneladas, respectivamente, no mesmo ano (Tabela 4.1).

As emissões de CO apresentaram um valor considerável, estando atrás do CO₂ e do NO_x, com uma emissão total de 81,64 toneladas em 2013. É proveniente da combustão incompleta do combustível e assim depende principalmente da tecnologia dos sistemas de controle, que pode aumentar a eficiência da combustão e reduzir a emissão deste.

A metodologia da EPA (2002) não especifica a variação devido a utilização de misturas de biodiesel no diesel para as emissões de NMHC (hidrocarbonetos não metano), no entanto, apresenta a variação percentual de emissão para os hidrocarbonetos totais (HC Total). Para o diesel puro, o cálculo das emissões de HC Total é feito através da soma das emissões de CH₄ e hidrocarbonetos não metano (NMHC), apresentando para o ano base de 2013, uma emissão de NMHC igual a 16,37 toneladas e de HC Total igual a 19,45 toneladas. Estas podem ser analisadas como emissões consideráveis, uma vez que representam as frações de combustíveis não queimados ou parcialmente queimados, contendo compostos tóxicos e cancerígenos. Para o cálculo da emissão de HC Total considerando a mistura de 5% de biodiesel no diesel, obrigatória em 2012 e 2013, encontrou-se uma emissão de 18,39 toneladas anuais de HC Total (ano base: 2013).

Apesar da emissão de CO₂, em resultados absolutos (48.964,74 t), ser a maior dentre os poluentes calculados, destaca-se que o NO_x (449,58 t) tem origem majoritária nos ônibus urbanos, conforme apresentado no inventário de fontes móveis elaborado por Araújo *et al.* (2013) para a cidade de Juiz de Fora. A contribuição desse setor corresponde a 66% da emissão total de NO_x por toda a frota de veículos da cidade, que inclui, além dos ônibus, motocicletas, caminhões, automóveis e comerciais leves. A redução na emissão deste poluente é um dos principais objetivos da fase P7 do PROCONVE, que através de catalisadores a base de uréia (ARLA-32) promove a redução destes compostos a N₂.

Os resultados das emissões de SO_x foram subdividido em duas partes: SO₂, emitido na forma de gás e SO₄²⁻, emitido acoplado ao material particulado. A metodologia de cálculo para ambos os compostos tem como entrada a taxa de conversão de SO₂ para SO₄²⁻, porém esta varia de acordo com o sistema de pós-tratamento de cada veículo e não pode ser estimada. Segundo o MMA (2013), a taxa de conversão é tipicamente 1% e pode chegar a quase 100% para veículos P7 com catalisadores de oxidação como sistema de pós-tratamento. Para fins de cálculo, foi considerado então um intervalo no qual, para os veículos P7, está razão de conversão varia de 1% a 99%, para os veículos enquadrados na fase P5, foi considerado o valor típico de 1%. De posse destes valores, valores mínimos e máximos de emissão dos compostos de enxofre foram estimados. Os valores de emissão obtidos para SO₂, mínimo e máximo, encontram se entre 13,00 e 13,02 toneladas no ano de 2013 (Tabela 4.2). As emissões de SO₄²⁻ são provenientes da

oxidação do SO_2 , o sulfato gerado se aglutina ao carbono do material particulado, e é emitido junto a este, aumentando a sua massa. Quanto mais alto for a taxa de oxidação menor será a emissão de SO_2 e maior a emissão de SO_4^{2-} . Os valores estimados, máximo e mínimo, da emissão de sulfato são 1,43 e 1,20 toneladas, respectivamente, para o ano de 2013. Este valor representa cerca de 20% do total de material particulado emitido, mostrando uma relação aceitável, considerando as relações entre os fatores de emissão para material particulado, total e zero enxofre, apresentados pelo MMA (2013). É importante ressaltar que, para fins de cálculo deste trabalho, foi considerado que todos os veículos enquadrados na fase P7 do PROCONVE utilizaram o diesel de baixo teor de enxofre S50 em 2012 e S10 em 2013, enquanto todos enquadrados na fase P5 utilizam o diesel S500.

Os veículos movidos à base de diesel são responsáveis pela maior parte da emissão de material particulado total oriundo do transporte rodoviário no país, totalizando 96% das emissões (MMA, 2013). Nesta emissão, calculada através do fator de emissão homologado pelo PROCONVE, está incluída também a parcela de SO_4^{2-} aglutinada aos núcleos de material particulado. A emissão de MP total emitido pela frota de ônibus urbanos da cidade de Juiz de Fora, foi estimada em 7,06 toneladas. Se a fração responsável pelo SO_4^{2-} for descontada deste valor, encontrar-se-ia o valor da emissão de material particulado ‘zero enxofre’, que de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, encontra-se no intervalo 5,63 – 5,86 toneladas no ano de 2013.

Apesar do inventário de fontes móveis de Juiz de Fora (ARAÚJO *et al.*, 2013) não ter separado especificamente os ônibus urbanos do transporte coletivo municipal, foco deste estudo, ele pode ser usado com comparativo. No inventário (ARAÚJO *et al.*, 2013), a frota é estimada através da metodologia do MMA (2011 e 2013) e da CETESB (2011), onde a categoria ônibus engloba todos os ônibus emplacados na cidade (urbanos, corporativos, escolares e intermunicipais). A Tabela 4.2 a seguir, apresenta as razões entre as frotas do presente estudo e a frota de ônibus total analisada por Araújo (2013), bem como as razões entre as emissões dos poluentes calculados nos respectivos trabalhos.

Tabela 4.2 – Razão entre dados de Araújo (2013) e do presente trabalho.

	Araújo (2013) FROTA: 1.423	Diesel Puro FROTA: 589		Diesel com 5% de Biodiesel (B5) FROTA: 589	
	Emissão (t)	Emissão (t)	Razão (%)	Emissão (t)	Razão (%)
FROTA	-	-	41,39%	-	41,39%
CO₂	108.235,60	48.964,74	45,24%	*N.E.	-
N₂O	9,70	1,54	15,88%	* N.E.	-
CH₄	18,80	3,08	16,39%	* N.E.	-
CO	494,30	84,37	17,07%	81,64	16,52%
NO_x	5.511,80	447,38	8,12%	449,58	8,16%

* N.E. (não especificado): A metodologia de cálculo da EPA (2002) não especificou a variação da emissão destes poluentes na utilização do biodiesel.

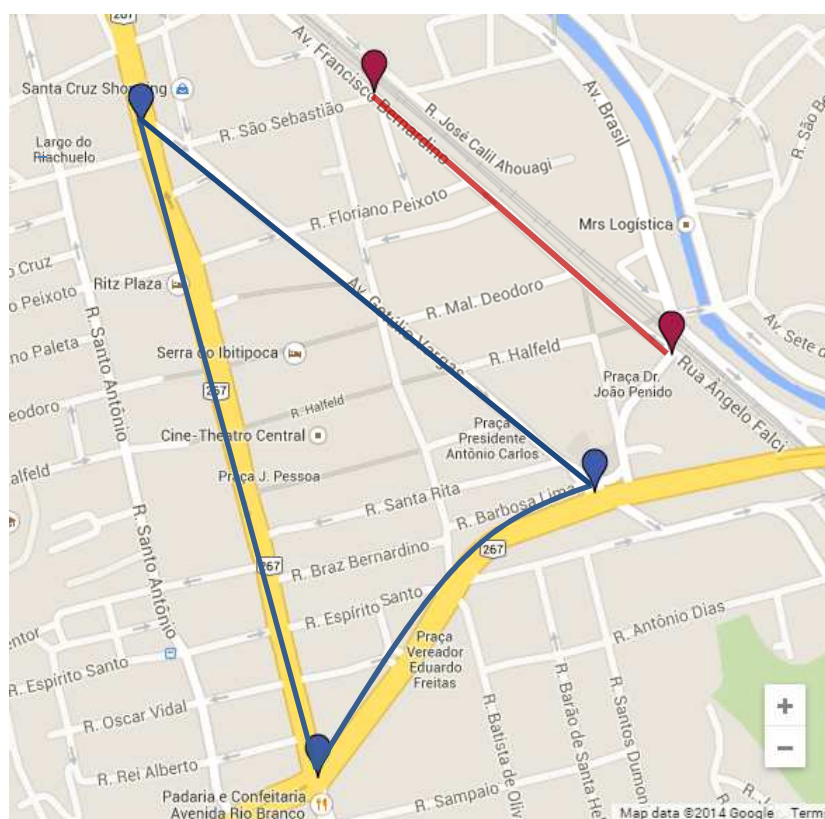
Percebe-se que não há uma relação direta da razão entre as frotas de ônibus urbano e total da cidade (41,39%) e as respectivas razões das emissões de CO₂ (45,24%), CH₄ (16,39%), N₂O (15,88%), CO (16,52%) e NO_x (8,16%). Com exceção do CO₂, nota-se que a frota de ônibus urbano avaliada emite menos poluentes que a total. A equivalência percentual na emissão de CO₂ era esperada, uma vez que não há tecnologia de captura para esse gás nos veículos. A diminuição percentual para os outros gases também era esperada, visto que a frota urbana é mais nova e segue padrões de emissão do PROCONVE mais restritivos. No inventário de Juiz de Fora não foram realizadas estimativas de emissões para NMHC, HC Total, SO_x e material particulado, inviabilizando uma comparação com o presente estudo.

4.3.1. EMISSÕES DE POLUENTES NAS PRINCIPAIS VIAS DO CENTRO DA CIDADE

Para a estimativa de cálculo das emissões de poluentes no centro da cidade de Juiz de Fora, considerou-se quatro trechos das principais vias em que a frota de ônibus urbanos circula. As vias analisadas foram: Avenida Presidente Getúlio Vargas, Avenida Barão do Rio Branco, Avenida Itamar Franco e Avenida Francisco Bernardino.

Os trechos escolhidos foram as interseções das Avenidas Presidente Getúlio Vargas, Barão do Rio Branco e Itamar Franco, e a Avenida Francisco Bernardino entre as ruas São Sebastião e Travessa Doutor Prisco (Figura 4.3).

Essas vias foram escolhidas uma vez que 251 linhas de ônibus passam por pelo menos uma delas em sua rota diária. Este total representa 93,3% do total de linhas da cidade, evidenciando assim que as emissões nestes locais são bastante concentradas e representativas quanto à poluição no centro da cidade.



Fonte: Google Inc. (2014).

Figura 4.3 – Principais vias do centro de Juiz de Fora consideradas para o cálculo de emissão de poluentes nesta região.

Para a aplicação da metodologia de cálculos dos poluentes foi necessário quantificar a quilometragem total percorrida nos trechos em estudo. Para isto, foram utilizados dados fornecidos pela SETTRA, além de um levantamento de circulação dos ônibus nestas vias, realizado através dos dados da Astransp (2014). Com os valores de quilometragem percorrida nesses trechos (Apêndice B) foi possível a estimativa dos poluentes emitidos nessa área central (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Emissões de poluentes oriundos de ônibus urbanos em trechos das quatro principais vias de ônibus do centro de Juiz de Fora.

	Anual (t)	
	DIESEL PURO	DIESEL COM 5% DE BIODIESEL (B5)
CO₂	3.907,45	* N.E.
N₂O	0,12	* N.E.
CH₄	0,25	* N.E.
NMHC	1,31	* N.E.
HC Total	1,55	1,47
CO	6,73	6,52
NO_x	35,87	36,04
SO₂	1,111 ^a – 1,113 ^b	1,056 ^a – 1,058 ^b
MP Total	0,59	0,57
SO₄²⁻	0,102 ^a – 0,120 ^b	0,097 ^a – 0,114 ^b

a: valores mínimos

b: valores máximos

** N.E. (não especificado): A metodologia de cálculo da EPA (2002) não especificou a variação da emissão destes poluentes na utilização do biodiesel.*

Ao compararmos as emissões totais da frota de ônibus na cidade de Juiz de Fora (Tabela 4.1) e as emissões no centro da mesma (Tabela 4.3) chegamos a uma razão de aproximadamente 8% para todos os poluentes. Esta fração de emissão pode ser considerada significativa, uma vez que está concentrada em apenas quatro vias e em um percurso de curta distância, já que os trechos analisados para o centro da cidade juntos totalizam apenas 3,2 quilômetros.

Além disso, segundo o Centro de Pesquisas Sociais da Universidade Federal de Juiz de Fora a região central da cidade encontra-se na depressão do vale do Rio Paraibuna, o que acarreta em maior dificuldade na dispersão dos poluentes atmosféricos (CPS/UFJF, 2012). A conformação de relevo, juntamente com a intensidade e direção preferencial dos ventos na cidade, implica na formação de um ‘corredor’ para o deslocamento das massas de ar, que são direcionadas para o centro urbano da cidade. Este ‘corredor’ pode agir como transportador de poluentes da zona norte, que seriam direcionados também à região central do município. O centro urbano da cidade, além do intenso fluxo de veículos, apresenta também um grande fluxo de pessoas, o que intensifica ainda mais o impacto das emissões geradas nesta região sobre a população. Estas características

evidenciam a preocupação com a concentração de poluentes no centro do município e a necessidade de elaboração de medidas mitigadoras.

4.3.2. CENÁRIO DE RENOVAÇÃO DA FROTA – EMISSÕES DE POLUENTES INDIRETOS

Os poluentes indiretos, como mencionado anteriormente, têm suas emissões máximas controladas pelas diferentes fases do PROCONVE, seja por seu fator de emissão ou através do teor do enxofre no Diesel. A seguir apresenta-se um cenário de renovação completa da frota atual, assumindo-se que todos os ônibus se enquadrariam no menor potencial poluidor (P7), fornecendo informações e buscando analisar as possíveis soluções a serem tomadas para diminuir a poluição atmosférica proveniente da frota de ônibus de Juiz de Fora, especialmente no centro urbano da mesma.

A estimativa neste cenário de renovação de frota apresentou redução de 57,2% nas emissões de NO_x e 75,2% nas emissões de material particulado total. Quanto aos compostos de enxofre, ocorre redução na emissão de SO_2 , para todo o intervalo de emissões, porém a emissão deste é inversamente proporcional à emissão de SO_4^{2-} , em razão do SO_2 ser oxidado a SO_4^{2-} nos sistemas de pós-tratamento. Desta maneira, a variação da emissão de SO_4^{2-} dependerá da tecnologia de pós-tratamento adotada, podendo aumentar devido à oxidação de maiores concentrações de SO_2 ou diminuir, caso não ocorra esta oxidação. Percebe-se coerência nestas alterações, uma vez que entre os principais objetivos da introdução da fase P7 estão a redução de óxidos de nitrogênio, material particulado e óxidos de enxofre. Os resultados obtidos para o CO e NMHC apresentaram um acréscimo nas emissões de 4,35% e 3,24% respectivamente. Estes apresentam um aumento percentual relativamente baixo, considerando as reduções significativas que a substituição da frota poderia acarretar.

Com a utilização deste cenário é possível notar a tendência futura de redução das emissões atmosféricas provenientes de veículos pesados a diesel, como é o caso dos ônibus urbanos. As legislações vêm levando cada vez mais ao desenvolvimento de mecanismos, motores e sistemas de pós-tratamento com maior eficiência, bem como combustíveis com menor potencial poluidor, o que resultará na diminuição da poluição

atmosférica veicular e conseqüentemente na melhoria da qualidade do ar em grandes centros.

Os valores de emissões de poluentes para a frota renovada, assim como os intervalos para os compostos de enxofre, podem ser observados por meio da Tabela 4.4. As variações quantitativas dos poluentes podem ser visualizadas através da Figura 4.4.

Tabela 4.4 – Emissões de poluentes em um cenário de renovação total da frota para o P7.

	Anual (t) (TODA FROTA ENQUADRADA NO P7)	
	DIESEL PURO	DIESEL COM 5% DE BIODIESEL (B5)
NMHC	16,92	*N.E.
HC Total	** 20,00	18,91
CO	88,20	85,35
NO_x	191,51	192,45
SO₂	0,003 ^a – 0,305 ^b	0,003 ^a – 0,290 ^b
MP Total	1,81	1,75
SO₄²⁻	0,027 ^a – 2,657 ^b	0,025 ^a – 2,524 ^b

a: valores mínimos

b: valores máximos

* *N.E. (não especificado): A metodologia de cálculo da EPA (2002) não especificou a variação da emissão destes poluentes na utilização do biodiesel.*

** *Considera-se que a renovação da frota para a fase P7 do PROCONVE não altera as emissões de CH₄.*

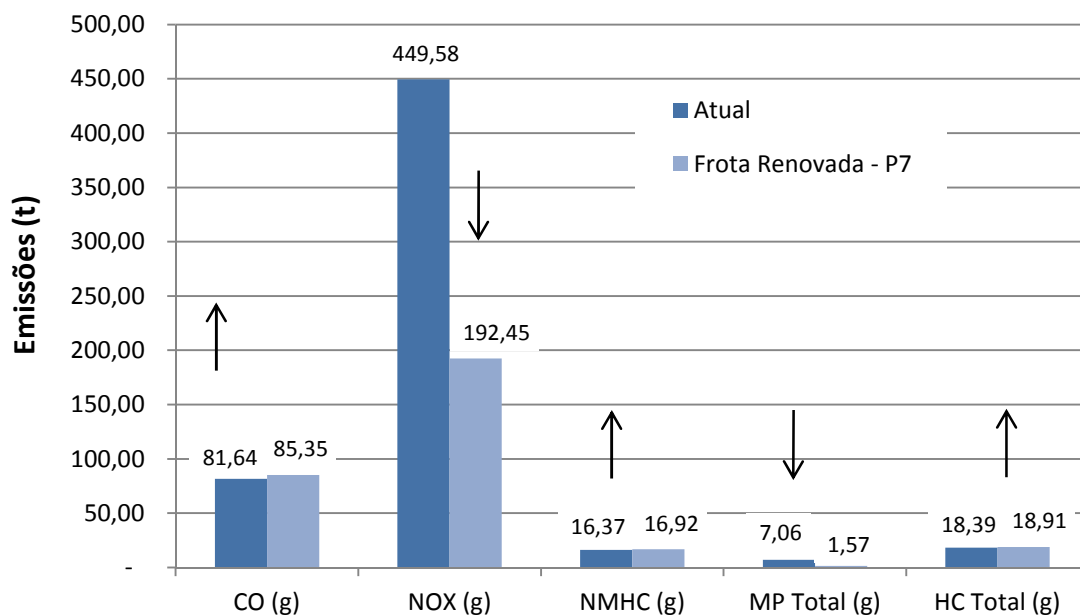


Figura 4.4 – Variações quantitativas das emissões no cenário de renovação total da frota.

Na região central da cidade, nos trechos avaliados no item anterior, a redução de poluentes seria de 20,6 toneladas de NO_x e para o SO_x a emissão seria cerca de 50 vezes menor que a atual (veículos P7 utilizam diesel de baixo teor de enxofre). Este apresenta um cenário futuro possível que resultaria em benefícios ambientais e econômicos para o município, uma vez que os veículos novos apresentam menores emissões e maior eficiência de consumo e combustível.

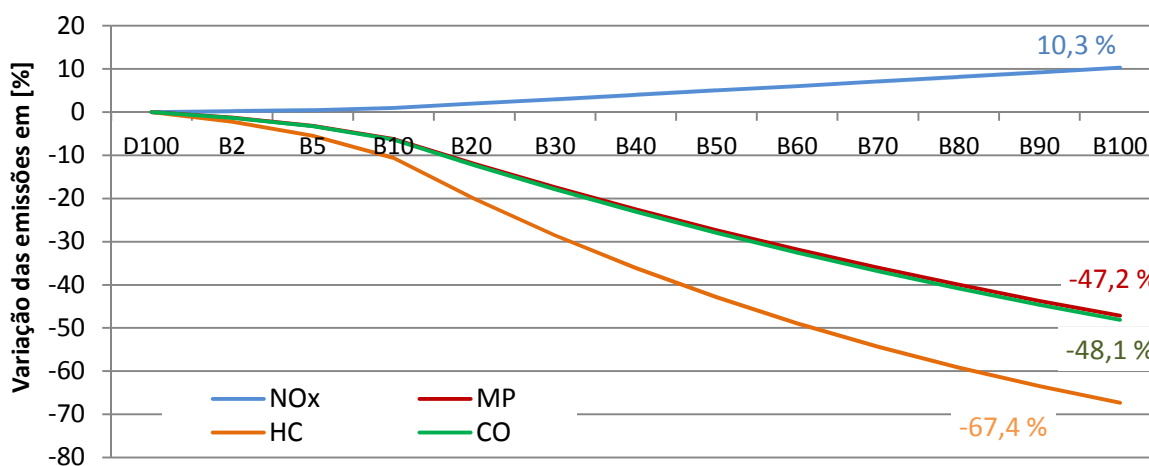
4.3.3. CENÁRIOS DE UTILIZAÇÃO DO BIODIESEL

O biodiesel foi introduzido na matriz energética como alternativa renovável ao diesel e tem como objetivos melhorar a eficiência da combustão e minimizar as emissões de poluentes atmosféricos. A utilização deste é feita através da adição de percentuais do biodiesel pura ao diesel convencional. A metodologia apresentada pela EPA (2002) mostra que a variação das emissões ocorre de maneira proporcional à mistura de combustíveis. Assim, as variações percentuais são maiores, quanto maior for a percentagem de biodiesel adicionada ao diesel. A Figura 4.5 apresenta os resultados dos cenários da frota de ônibus urbana utilizando diversos teores de biodiesel no diesel, onde nota-se uma variação positiva nas emissões de NO_x , enquanto a variação de material particulado, hidrocarbonetos e CO é negativa, ou seja, há redução na emissão

destes. No caso da substituição do diesel pelo biodiesel puro, B100, a redução percentual de matéria particulado seria por volta de 47%, a de CO, 48,1% e a de hidrocarbonetos totais cerca de 67%. Apesar de não apresentado na Figura 4.5, a utilização do biocombustível reduz também as emissões de enxofre, uma vez que o teor deste na mistura será proveniente apenas do diesel convencional (DWIVEDI, 2006). Desta maneira, para o uso do B5 (5% de biodiesel) as emissões de SO_x são reduzidas em 5% enquanto para o uso do B90, a redução seria de 90%.

O aumento de emissão para o NO_x com a utilização do biodiesel, pode ser explicado devido à melhoria das condições de combustão. O alto teor de oxigênio aliado ao aumento esperado da temperatura e pressão na câmara de combustão conduz a uma maior formação dos óxidos de nitrogênio, através da reação do O₂ com o N₂ presente no ar (CORONADO *et al.*, 2009). No entanto, o biodiesel apresenta teores mais baixos de enxofre, o que possibilita a utilização de tecnologias de pós-tratamento mais efetivas para a otimização do motor e para controle das emissões de NO_x.

Vale ressaltar, contudo, que a utilização do biodiesel irá diminuir a emissão de CO₂, considerando-se o CO₂ absorvido pelas plantas pela fotossíntese durante seu crescimento.



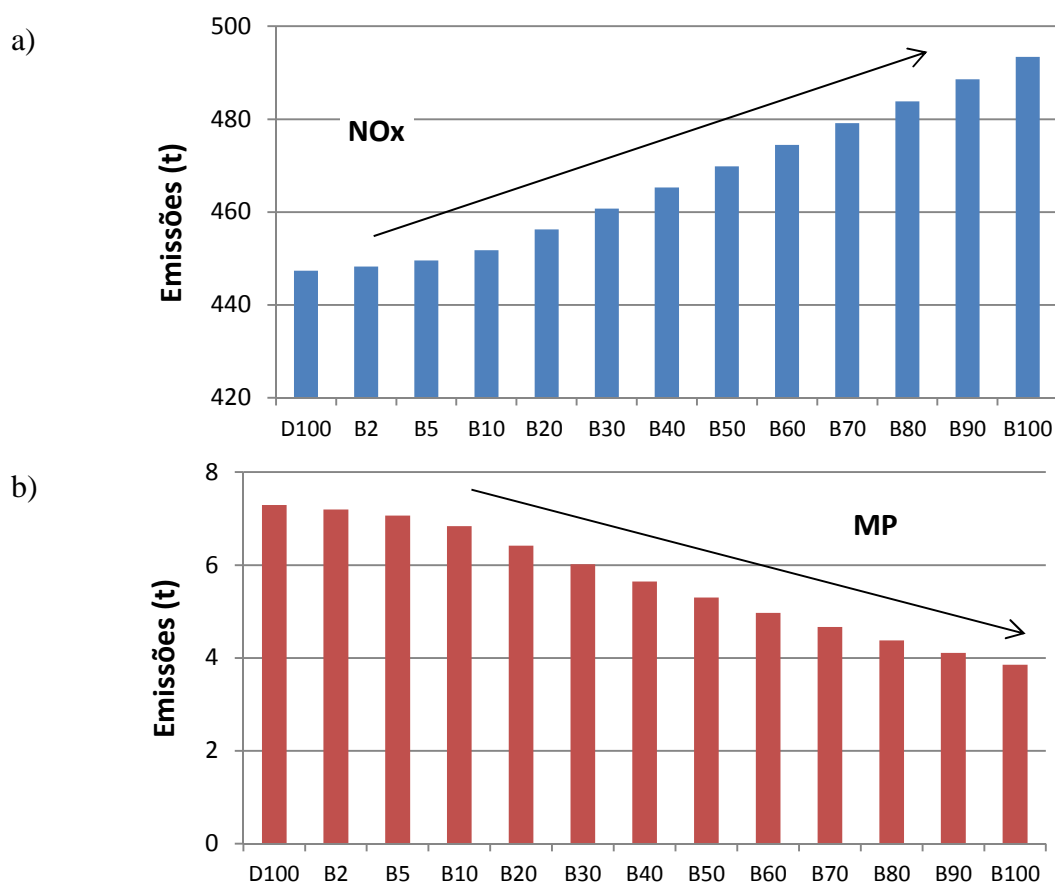
Fonte: EPA, 2002 (adaptado).

Figura 4.5 – Variação percentual de emissões para a utilização das diferentes misturas de biodiesel.

De acordo com a *Environmental Protection Agency* (EPA, 2002), as emissões de biodiesel podem variar de acordo com a matéria prima deste (animal ou vegetal como soja, mamona ou palma) e também com as características do diesel ao qual este é

adicionado. No entanto não aparentam diferir com o ano dos motores dos veículos (EPA, 2002).

Utilizando as emissões calculadas para o ano base de 2013, a substituição do combustível atual, diesel com 5% de biodiesel, pelo biodiesel puro acarretaria em um aumento quantitativo de 43,84 toneladas de NO_x , valor que representa uma quantia maior que a emissão total de alguns outros poluentes. No entanto, esta substituição acarretaria na redução de 3,21 toneladas de MP Total, 12,04 toneladas de HC Total e 37,87 toneladas de CO. A variação quantitativa das emissões para as diferentes misturas de diesel-biodiesel pode ser visualizada na Figura 4.6. As variações percentuais para cada mistura e suas respectivas emissões quantitativas são apresentadas nas tabelas do Apêndice F.



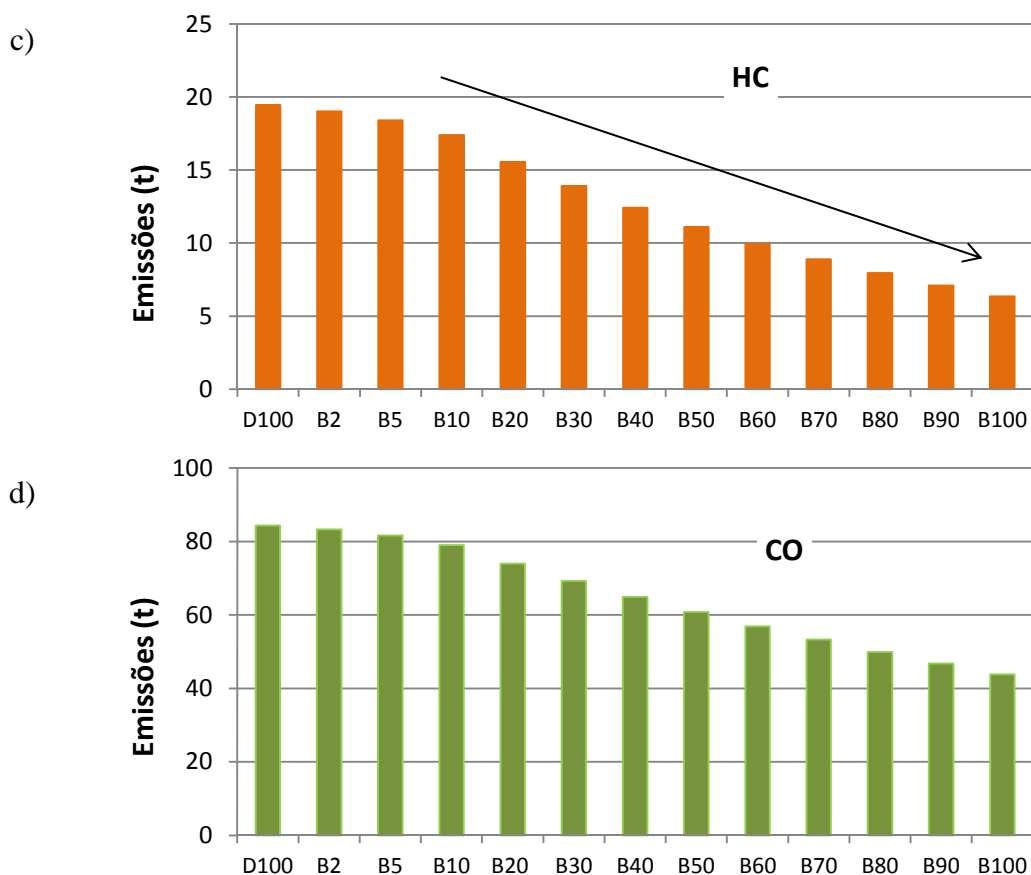


Figura 4.6 – Variação quantitativa de emissões de (a) NO_x , (b) MP, (c) HC e (d) CO, para a utilização de biodiesel.

Se considerarmos os anos bases em estudo, 2012 e 2013, o percentual de biodiesel adicionado obrigatoriamente à frota é o B5. Porém o cenário atual de utilização deste estabeleceu a utilização de 6% de biodiesel no diesel a partir de 1º de julho de 2014 e 7% de biodiesel no diesel a partir de 1º de novembro de 2014. Considerando esta diferença no percentual de biocombustível, calculou-se a variação das emissões em cenários de utilização destes no combustível convencional (B6 e B7) em toda a frota estudada. Conforme mostrado através da Figura 4.6, a utilização da mistura diesel - biodiesel aumenta as emissões de NO_x da frota. Este aumento ocorre na ordem de 0,44 t para o B6 e 0,88 t para o B7, quando o comparamos com o B5 já utilizado. Se a comparação é feita com o diesel convencional, estes aumentam são de 2,64 t e 3,08 t respectivamente. Para os demais poluentes há redução da emissão atmosférica, sendo estas de 0,27 e 0,32 toneladas para o material particulado nas respectivas adições de B6 e B7 em comparação ao diesel convencional. Para os hidrocarbonetos totais (HC) a redução de emissão é de 1,27 t para o B6 e 1,47 t para o B7, em relação ao diesel puro e

0,20 t e 0,41, respectivamente, em relação ao B5. O CO apresenta junto com o NO_x os maiores valores quantitativos de redução quando comparadas ao B5 já utilizado desde 2012, sendo estes de 0,53 t e 1,06 t, para as misturas de B6 e B7, respectivamente (Figura 4.7).

Apesar dos valores de variação de NO_x serem numericamente maiores que os de MP e HC em termos de toneladas, é importante ressaltar que estes são calculados em forma percentual. As variações de NO_x são menores que 1% nas duas misturas de biodiesel analisadas, enquanto as variações dos demais poluentes começam em cerca de 3% e chegam a até 7,5% de redução nestas mesmas misturas. Para o SO_x, a redução das emissões nesses cenários ocorre de maneira diretamente proporcional ao percentual de biodiesel adicionado, sendo reduzida em 6% e 7% para as respectivas misturas B6 e B7.

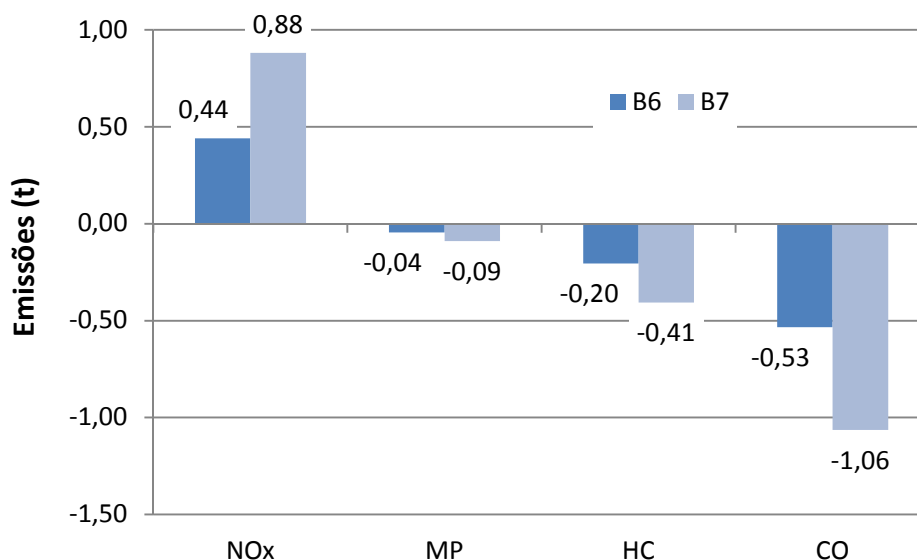


Figura 4.7 – Variação das emissões para a utilização de misturas de biodiesel B6 e B7 em relação ao B5.

Em um cenário de utilização de uma mistura com maior percentual de biodiesel as variações das emissões serão ainda maiores. Desta maneira, para estimar as emissões no cenário de uso de 10% de biodiesel adicionado ao diesel convencional, foram calculadas as emissões em percentuais de 25%, 50% e 100% da frota. Caso a totalidade da frota atual substituísse o diesel pelo B10 haveria uma redução de 27,33% para o MP, 42,86% para o HC e 27,97% para o CO, para o NO_x, no entanto, haveria um aumento de 5,02%. Se este fosse substituído apenas por uma parcela de 25% da frota as variações na emissão já seriam superiores às obtidas com a totalidade da frota utilizando o B7. Estas

resultam em um aumento de 5,06 t de NO_x, contraposto pela diminuição de 0,44 t de material particulado, 1,82 t de hidrocarbonetos totais e 5,22 de CO, em relação ao emitido em 2012 e 2013. Os valores das variações são apresentados graficamente na Figura 4.8.

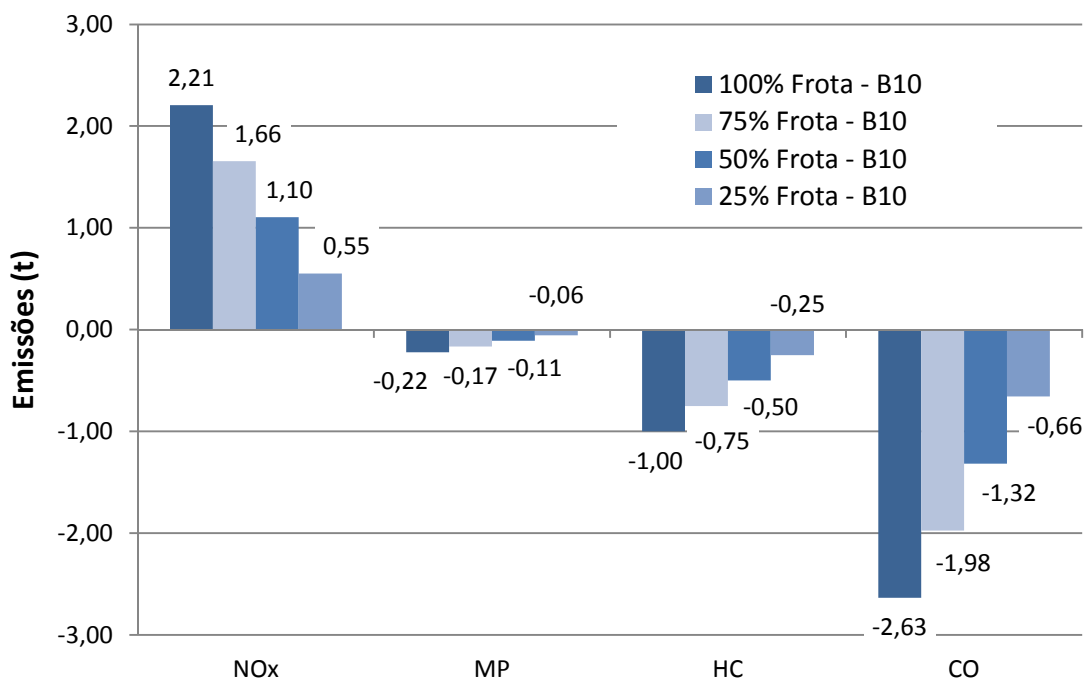


Figura 4.8 – Variação das emissões para a utilização do B10 em percentuais da frota em relação ao B5.

Como avaliado em Araújo *et al.* (2013), os ônibus são responsáveis por 66% das emissões de NO_x em toda a cidade, assim o aumento considerável nestas emissões, percebido em ambas as Figuras 7 e 8, pode ser ainda mais significativo para a poluição atmosférica na cidade. A utilização do biodiesel apresenta inúmeras vantagens e já é uma realidade no combustível brasileiro, porém para que seu uso na frota de ônibus de Juiz de Fora atinja resultados ainda mais positivos uma opção seria aliar sua utilização a medidas de controle de emissão de óxidos de nitrogênio. Estas poderiam ser controle pós-combustão ou a própria renovação da frota. A união do cenário de renovação da frota e do cenário de utilização do biodiesel B10 implicaria em uma emissão adicional de 8,67 toneladas de NO_x ao invés de 20,26 toneladas, redução considerável que totalizaria uma emissão 57% menor que a atual.

Estudos feitos por Teixeira (2012) também apontam diminuição das emissões com a utilização de biodiesel e acréscimo nas emissões de NO_x . No entanto, análises de concentração de poluentes indicaram pouca diferença, nas emissões e, diferente do esperado, um decréscimo da emissão dos óxidos de nitrogênio (TEIXEIRA, 2012). Em Kozerski (2006), comparou-se a utilização de diesel convencional, biodiesel puro (B100) e mistura de 20% de biodiesel ao diesel (B20) para um mesmo motor, obtendo resultados mais satisfatórios para o B100. Ao considerar as emissões de um motor específico com filtro de partículas utilizando o diesel convencional, foram encontrados valores ainda menores para as emissões de CO, HC, MP e NO_x , porém não foi possível a comparação deste motor com a utilização de biodiesel (KOZERSKI, 2006). Diante destas informações, percebe-se a necessidade da realização de estudos adicionais, que verifiquem a tendência de acréscimo de emissão de NO_x com a utilização de biodiesel, considerando os avanços tecnológicos já empregados para reduzir as emissões veiculares.

5. CONCLUSÕES

A realização deste trabalho mostrou que quanto menores forem as estimativas nos dados de entrada, maior é a acurácia do trabalho. Assim, com a utilização de dados de frota, autonomia e intensidade de uso reais da frota de ônibus urbanos de Juiz de Fora foi possível estimar as emissões de CO₂, CO, CH₄, NMHC, HC total (hidrocarbonetos totais), N₂O, NO_x, SO_x e MP (material particulado) para os anos base de 2012 e 2013. Através das estimativas de emissões foram encontrados valores significativos de emissão para os poluentes indiretos NO_x, SO₂, CO, MP e NMHC e HC Total. A maior emissão dentre todos os poluentes foi a de CO₂, gás de efeito estufa (GEE). As emissões de CH₄ e N₂O, no entanto, apresentaram valores bem menores, sendo os gases menos emitidos pela frota estudada.

Foram percebidas também, concentrações altas de emissão de poluentes nas vias avaliadas do centro urbano da cidade, representando um percentual considerável do total de emissões do município (8% do total). Este resultado evidencia uma possível degradação da qualidade do ar nesta região, que possui alto fluxo de veículos e pessoas. Os resultados deste trabalho servem de embasamento para a criação de um sistema de monitoramento da qualidade do ar, bem como para estudos de rotas de trânsito alternativas que visem à diminuição do número de veículos trafegando neste percurso.

A avaliação do cenário de renovação da frota apresentou valores de redução bastante altos para os poluentes SO₂, NO_x e MP. Para os poluentes NMHC e CO pôde-se perceber um acréscimo nas emissões, contudo bem baixo se comparado às reduções dos outros poluentes. Os veículos novos apresentam potencial poluidor menor que os antigos principalmente devido às tecnologias de pós-combustão, que têm como objetivos principais a diminuição de emissões de SO_x, NO_x e MP, o que explica o resultado encontrado.

A utilização do biodiesel na frota estudada mostrou redução da emissão dos poluentes HC Total, MP e CO, porém apresentou acréscimos nas emissões de NO_x. As variações ocorrem de maneira percentual às emissões do diesel puro, sendo proporcionais à mistura utilizada, aumentando quanto maior for a porcentagem de biodiesel adicionada ao diesel. Ao avaliar estas variações, as reduções percentuais são muito maiores que o aumento percentual na emissão dos óxidos de nitrogênio. Por sua vez,

quantitativamente, a emissão destes gases é muito superior aos outros, o que acarreta em um aumento considerável devido ao uso do biocombustível. Se a utilização das misturas de biodiesel forem feitas aliadas à renovação da frota ou a outras medidas de controle de NO_x , este acréscimo se reduz significativamente. Estudos adicionais devem ser feitos para avaliar a tendência do aumento de NO_x com a utilização do biodiesel.

Neste trabalho conclui-se que as emissões da frota de ônibus urbanos são parcela significativa nas emissões totais da cidade e seus efeitos, principalmente na região do centro urbano, podem agravar a qualidade do ar e gerar impactos à saúde da população. Desta maneira, a renovação constante da frota aliada à utilização do biocombustível, ambos previstos por legislação, apresentam alternativas para a redução destes poluentes. Cabe ressaltar a importância da constante elaboração de inventários para diferentes fontes, fornecendo assim dados para uma melhor caracterização da qualidade do ar e assim embasando propostas e ações que minimizem os impactos causados ao meio ambiente e a população provenientes da poluição atmosférica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 50 de 23 de dezembro de 2013.** Regulamenta as especificações do óleo diesel de uso rodoviário, contidas no Regulamento Técnico ANP nº 4/2013, e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Brasília. 2013.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 65 de 09 de dezembro de 2011.** Regulamenta as especificações dos óleos diesel de uso rodoviário, consoante as disposições contidas no Regulamento Técnico ANP nº 08/2011 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional - Revogada pela Resolução ANP nº 50/2013. Brasília. 2011.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 7 de 19 de março de 2008.** Estabelece a especificação de biodiesel - Revogada pela Resolução ANP nº 14/2012. Brasília. 2008.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 42 de 24 de novembro de 2004.** Estabelece a especificação de biodiesel - Revogada pela Resolução ANP nº 7/2008. Brasília. 2004.

ARAÚJO, C.S., NOGUEIRA, I.A., PROCOPIO, A.S. Inventário de Fontes Móveis Emissoras de Poluentes Atmosféricos na Cidade de Juiz de Fora - MG. **Revista Principia.** Juiz de Fora, v. 17, p. 81-89, jan./dez. 2013.

ASTRANSP – Associação Profissional das Empresas de Transporte de Passageiros de Juiz De Fora. **Mapas e horários das linhas de ônibus.** 2014. Disponível em: <<http://www.astransp.com.br/buscaLinhas.aspx?IDLinha>>. Acesso em: 10/10/2014.

BEN – Balanço Energético Nacional. **Balanço Energético Nacional 2014: Ano Base 2013.** Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro. 2014. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf>. Acesso em: 20/11/2014.

BORGES, R. Preço da passagem de ônibus em Juiz de Fora é reajustado para R\$ 2,25. **G1 – Globo Zona da Mata – Minas Gerais.** Publicado em 08/10/2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2014/10/preco-da-passagem-de-onibus-em-juiz-de-fora-e-reajustado-para-r-225.html>>. Acesso em: 13/11/2014.

BRASIL. Lei nº 13.033 de 24 setembro de 2014. Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 8.723, de 28 de outubro de 1993; revoga dispositivos da Lei nº 11.097, de 13 de

janeiro de 2005; e dá outras providências. **Publicado no Diário Oficial da União - DOU de 25/09/2014.** Brasília. 2014.

BRASIL. Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. **Publicado no Diário Oficial da União - DOU de 14/01/2005.** Brasília. 2005.

BRASIL. Decreto nº 5.296 de 2 de dezembro de 2004. Regulamenta as Leis nºs 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. **Publicado no Diário Oficial da União - DOU de 03/12/2004.** Brasília. 2004.

BRASIL. Lei nº 8.723 de 28 de outubro de 1993. Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências. **Publicado no Diário Oficial da União - DOU de 01/11/1993.** Brasília. 1993.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 418 de 25 de Novembro de 2009.** Dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso. Brasília. 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 403 de 11 de novembro de 2008.** Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE para veículos pesados novos (Fase P-7) e dá outras providências. Brasília. 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 315 de 29 de outubro de 2002.** Dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle de Emissões veiculares – PROCONVE. Brasília. 2002.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 8 de 31 de agosto de 1993.** Complementa a Resolução nº 18/86, que institui, em caráter nacional, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados. Brasília. 1993.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 3 de 28 de junho de 1990.** Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Brasília. 1990.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 18 de 6 de maio de 1986**. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. Brasília. 1986.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2013**. São Paulo. 2014a. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em: 20/09/2014.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Emissões veiculares no estado de São Paulo – 2013**. São Paulo. 2014b. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/ar/emissoes/relatorio-emissoes-veiculares-2013.pdf>>. Acesso em: 20/09/2014.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário de emissão dos gases de efeito estufa associada ao transporte rodoviário no estado de São Paulo, 1990 a 2008**. São Paulo. 2011. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/geesp/file/docs/consulta/relatorios/rodoviario_09-02.pdf>. Acesso em: 20/09/2014.

COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. **Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores do Estado do Rio de Janeiro 2011**. Rio de Janeiro. 2011. Disponível em: <http://download.rj.gov.br/documentos/10112/975111/DLFE-51272.pdf/Inventario_2011.pdf>. Acesso em: 25/09/2014.

CORONADO, C.R. *et al.* Biodiesel CO₂ emissions: A comparison with the main fuels in the Brazilian market. **Fuel Process Technol.** v. 90, p. 204-211. 2009.

CPS – Centro de Pesquisas Sociais da Universidade Federal de Juiz de Fora. **Anuário Estatístico de Juiz de Fora – 2012**. Juiz de Fora. 2012. Disponível em: <<http://www.cps.ufjf.br/anuarios/Anuario2012/index.html>>. Acesso em: 12/11/2014.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. **Frota de Minas Gerais: 2004 a 2014**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 15/11/2014.

DWIVEDI, D., AGARWAL, A.K., SHARMA, M. Particulate emission characterization of a biodiesel vs. diesel-fuelled compression ignition transport engine: A comparative study. **Atmospheric Environment.** v. 40. 2006.

EEA – European Environment Agency. **EEA Technical report, nº 12/2013: EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2013**, Part A, Chapter 3. Setembro, 2014. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013/part-b>>

sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-road-transport>. Acesso em: 26/09/2014.

EEA – European Environment Agency. **EEA Technical report, n° 09/2009: EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2009**, Part A, Chapter 3. Maio, 2009. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1.a.3.b-road-transport-gb2009-update.pdf>>. Acesso em: 26/09/2014.

EPA – U.S. Environmental Protection Agency. **Air Quality Index: A Guide to Air Quality and Your Health**. EPA-456/F-14-002. Fevereiro, 2014. Disponível em: <http://www.epa.gov/airnow/aqi_brochure_02_14.pdf>. Acesso em: 25/11/2014.

EPA – U.S. Environmental Protection Agency. **AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors**. Volume I. Fifth Edition. Chapter 1. Section 1.3: Fuel Oil Combustion. Maio, 2010. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/final/c01s03.pdf>>. Acesso em: 20/10/2014.

EPA – U.S. Environmental Protection Agency. **A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions: Draft Technical Report**. EPA420-02-001. Outubro, 2002. Disponível em: <<http://www.epa.gov/otaq/models/analysis/biodsl/p02001.pdf>>. Acesso em: 20/10/2014.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Monitoramento da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Belo Horizonte no Ano Base de 2011 – Relatório Técnico**. Belo Horizonte. 2013. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/arquivos/mudnacaclimatica/2013/relatorio_de_qualidade_do-ar_2011_final.pdf>. Acesso em: 25/11/2014.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores**. Coleção Meio Ambiente, Série Diretrizes, n. 3. Brasília. 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Juiz de Fora – Minas Gerais**. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/234B9>>. Acesso em: 27/11/2014.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório da Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro – Ano Base 2010 e 2011**. Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter_dimfis_gear/documents/document/bmvh/mdy/~edisp/inea012571.pdf>. Acesso em: 25/11/2014.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório Anual da Qualidade do Ar no Estado do Rio de Janeiro – 2009**. Rio de Janeiro. 2009. Disponível em: <

http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter_dimfis_gear/documents/document/zwff/mde3/~edisp/inea_017061.pdf>. Acesso em: 20/11/2014.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Volume I e II. 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: 20/09/2014.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Good Practice Guidance and Uncertainty Management in Natural Greenhouse Gas Inventories**. Chapters 2 and 7. 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>>. Acesso em: 20/09/2014.

JOSEPH JR., H. PROCONVE: As Fases Passadas e Futuras. In: **Seminário sobre Emissões de Veículos a Diesel**, 2009, São Paulo: ANFAVEA. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/documentos/SeminarioItem1.pdf>>. Acesso em: 10/10/2014.

JUIZ DE FORA. **Decreto nº 8798 de 26 de janeiro de 2006**. Reajuste da Tarifa do Serviço de Transporte Coletivo Urbano de Passageiros. Juiz de Fora. 2006. Disponível em: <http://www.pjf.mg.gov.br/atos_gov/060126.html>. Acesso em: 20/10/2014.

KOZERSKI, G. R.; HESS, S. C. Estimativa dos Poluentes Emitidos pelos Ônibus e Microônibus de Campo Grande/MS, Empregando como Combustível Diesel, Biodiesel ou Gás Natural. **Revista Eng. Sanitária Ambiental**. v. 11, n. 2, p. 113-117, abr./jun. 2006.

LEAL, G. Ações para atendimento aos novos limites de emissões – PROCONVE, Fase P7: O uso do ARLA 32. In: **Seminário sobre Emissões de Veículos a Diesel**, 2009, São Paulo: ANFAVEA. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/documentos/SeminarioItem4.pdf>>. Acesso em: 10/10/2014.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013: Ano Base 2012 – Relatório Final**. Brasília. 2013. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/inventario/inventario_Ar/2014-05-27%20inventario%202013.pdf>. Acesso em: 22/09/2014.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários – Relatório Final**. Brasília. 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf>. Acesso em: 22/09/2014.

MORRIS, R. E. *et al.* **Impact of Biodiesel Fuels on Air Quality and Human Health: Summary Report**. National Renewable Energy Laboratory. California, Estados Unidos. Maio, 2003. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy03osti/33793.pdf>>. Acesso em: 17/11/2014.

PETROBRAS. **Óleo Diesel.** Disponível em:
<<http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/automotivos/oleodiesel>>. Acesso em: 15/11/2014.

PETROBRAS. **Biodiesel.** Disponível em:
<http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/automotivos/oleodiesel/biodiesel_dividas#7>. Acesso em: 15/11/2014.

TEIXEIRA, E. C. *et al.* Estimated atmospheric emissions from biodiesel and characterization of pollutants in the metropolitan area of Porto Alegre-RS. **Anais da Academia Brasileira de Ciências.** v. 84, p. 655-667. 2012.

WFCC – Worldwide Fuel Charter Committee. **Worldwide Fuel Charter.** Fifth Edition. Setembro, 2013. Disponível em:
<http://www.acea.be/uploads/publications/Worldwide_Fuel_Charter_5ed_2013.pdf >. Acesso em: 13/10/2014.

ANEXOS

ANEXO I

FATORES DE CONVERSÃO – BEN 2014

Tabela I. 1 – Relações entre Unidades.

Tabela de Conversões de Unidades	
1 barril	0,158987 m ³
1 m³	0,884 t

Fonte: BEN, 2014.

Tabela I. 2 – Fatores de Conversão para Energia.

	Joule	Caloria	kWh	tep	Bep
Joule (J)	1	0,239	277,80 x10 ⁻⁹	2,39x10 ⁻¹¹	1,68x10 ⁻¹⁰
Caloria (cal)	41.868	1	1,16x10 ⁻⁶	10 ⁻¹⁰	7,04x10 ⁻¹⁰
kWh (quilowatt-hora)	3,60x10 ⁶	860x10 ³	1	8,60x10 ⁻⁵	6,06x10 ⁻⁴
tep (tonelada equivalentes de petróleo)	41,87x10 ⁹	10 ¹⁰	11,63x10 ³	1	7,037
bep (barril equivalente de petróleo)	5,95x10 ⁹	1,42x10 ⁹	1,65x10 ³	0,142	1

Fonte: BEN, 2014.

Tabela I. 3 – Coeficientes de Equivalência Médios para Combustíveis.

	Giga cal	tep (10⁴ kcal/kg)	bep	Giga J	MWh
Petróleo	8,90	0,890	6,26	37,26	10,35
Óleo Diesel	8,48	0,848	5,97	35,50	9,86

Fonte: BEN, 2014.

Tabela I. 4 – Densidades e Poderes Caloríficos.

Densidade		
Óleo Diesel		840 kg/m ³
Poderes Caloríficos		
Óleo Diesel	Inferior	10.100 kcal/kg
Óleo Diesel	Superior	10.750 kcal/kg

Fonte: BEN, 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A

TABELAS DE CARACTERIZAÇÃO DA FROTA

Tabela A. 1 – Caracterização da Frota por Ano e por Empresa: Ano Base 2013.

CARACTERIZAÇÃO DA FROTA POR ANO E POR EMPRESA – 2013									
Ano	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
2004	0	0	0	0	1	0	13	0	14
2005	0	4	0	5	0	0	5	1	15
2006	19	8	2	14	23	7	28	35	136
2007	10	6	5	7	12	3	14	18	75
2008	0	10	6	0	0	3	0	10	29
2009	15	1	0	0	18	3	12	15	64
2010	10	10	7	15	14	11	15	25	107
2011	9	2	7	7	30	8	23	9	95
2012	6	0	0	11	7	1	15	14	54
Total	69	41	27	59	105	36	125	127	589
589									

Tabela A. 2 – Caracterização da Frota por Ano e por Empresa: Ano Base 2012.

CARACTERIZAÇÃO DA FROTA POR ANO E POR EMPRESA – 2012									
Ano	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
2004	0	0	0	0	1	0	0	13	14
2005	0	4	0	5	0	3	1	5	18
2006	19	8	2	14	23	4	35	28	133
2007	10	6	5	7	11	3	18	14	74
2008	0	10	6	0	0	3	10	0	29
2009	15	1	0	0	19	7	15	12	69
2010	10	10	7	15	14	11	25	15	107
2011	9	2	7	7	30	4	9	23	91
2012	6	0	0	11	7	1	14	15	54
Total	69	41	27	59	105	36	127	125	589
589									

Tabela A. 3 – Frota por PROCONVE: Ano Base 2013.

Ano	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
P5	29	28	13	26	36	13	60	64	269
* P6	34	13	14	22	62	22	50	49	266
P7	6	0	0	11	7	1	15	14	54
Total	69	41	27	59	105	36	125	127	589

*A fase P6 do PROCONVE foi revogada.

Tabela A. 4 – Frota por PROCONVE: Ano Base 2012.

Ano	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
P5	29	28	13	26	35	13	64	60	268
* P6	34	13	14	22	63	22	49	50	267
P7	6	0	0	11	7	1	14	15	54
Total	69	41	27	59	105	36	127	125	589

*A fase P6 do PROCONVE foi revogada.

APÊNDICE B

TABELAS DE INTENSIDADE DE USO

Tabela B. 1 – Intensidade de Uso Diária: Ano Base 2013.

Dia Úteis 2013									
	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Produtiva	14.921,14	6.916,54	5.412,79	12.203,57	23.325,56	10.453,58	29.071,90	37.490,86	139.795,94
KM Improdutiva	703,98	277,56	115,89	379,02	4.436,33	871,44	1.365,50	3.313,99	11.463,71
KM Total/dia	15.625,12	7.194,10	5.528,68	12.582,59	27.761,89	11.325,03	30.437,40	40.804,84	151.259,65
Frota	69,00	41,00	27,00	59,00	105,00	36,00	125,00	127,00	589,00
KM Total/Ônibus *	266,41	206,43	240,90	250,90	311,06	370,10	286,47	378,00	302,13
Sábados 2013									
	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Produtiva	13.706,13	4.872,93	5.216,08	10.809,66	17.267,64	8.535,11	25.535,09	30.153,43	116.096,05
KM Improdutiva	633,91	147,89	103,01	320,67	4.029,44	598,97	855,14	2.194,90	8.883,93
KM Total/dia	14.340,04	5.020,83	5.319,09	11.130,32	21.297,08	9.134,08	26.390,23	32.348,32	124.979,98
Frota	69,00	41,00	27,00	59,00	105,00	36,00	125,00	127,00	589,00
KM Total/Ônibus *	244,50	144,07	231,77	221,94	238,62	298,50	248,38	299,66	249,64
Domingos e Feriados 2013									
	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Produtiva	11.761,61	3.530,09	4.636,52	9.005,27	15.898,58	7.262,43	21.662,47	27.169,28	100.926,25
KM Improdutiva	543,86	92,96	79,43	227,13	3.864,60	412,39	645,14	1.886,17	7.751,67
KM Total/dia	12.305,47	3.623,05	4.715,95	9.232,40	17.309,16	7.674,82	22.307,62	29.055,45	106.223,91
Frota	69,00	41,00	27,00	59,00	105,00	36,00	125,00	127,00	589,00
KM Total/Ônibus *	209,81	103,96	205,49	184,10	193,94	250,81	209,95	269,16	212,17

Tabela B. 2 – Intensidade de Uso Diária: Ano Base 2012.

Dia Úteis 2012									
	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Produtiva	15.022,68	6.921,14	5.743,95	12.565,84	24.058,37	10.154,29	29.222,68	37.664,28	141.353,23
KM Improdutiva	697,21	288,75	115,89	379,02	1.579,35	636,96	1.365,50	3.007,31	8.069,98
KM Total/dia	15.719,89	7.209,89	5.859,83	12.944,86	25.637,72	10.791,24	30.588,18	40.671,60	149.423,21
Frota	69,00	41,00	27,00	59,00	105,00	36,00	125,00	127,00	589,00
KM Total/Ônibus *	268,03	206,88	255,33	258,12	287,26	352,65	287,89	376,76	298,46
Sábados 2012									
	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Produtiva	13.842,23	5.084,03	5.567,23	11.099,05	18.041,18	8.443,58	25.685,66	31.505,22	119.268,18
KM Improdutiva	627,14	153,49	103,01	320,67	993,04	406,84	255,14	1.841,50	4.700,82
KM Total/dia	14.469,38	5.237,52	5.670,25	11.419,71	19.034,22	8.850,41	25.940,80	33.346,72	123.969,00
Frota	69,00	41,00	27,00	59,00	105,00	36,00	125,00	127,00	589,00
KM Total/Ônibus *	246,71	150,29	247,07	227,71	213,27	289,23	244,15	308,91	247,62
Domingos e Feriados 2012									
	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Produtiva	11.938,29	3.755,02	5.031,73	9.098,97	16.298,70	6.732,18	21.724,71	28.651,79	103.231,40
KM Improdutiva	537,09	98,55	79,43	227,13	813,72	230,90	645,14	1.509,59	4.141,55
KM Total/dia	12.475,38	3.853,57	5.111,16	9.326,09	17.112,42	6.963,09	22.369,86	30.161,38	107.372,95
Frota	69,00	41,00	27,00	59,00	105,00	36,00	125,00	127,00	589,00
KM Total/Ônibus *	212,71	110,58	222,71	185,96	191,74	227,55	210,54	279,40	214,47

Tabela B. 3 – Intensidade de Uso Diária para o Centro de Juiz de Fora.

Dia Úteis – Centro								
	Empresa A	Empresa B e C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Total/dia	71,30	28,00	96,00	44,00	21,70	17,05	14,30	292,35
Frota	69,00	68,00	59,00	105,00	36,00	125,00	127,00	589,00
KM Total/Ônibus *	1,22	0,48	1,91	0,49	0,71	0,16	0,13	0,58

Sábados - Centro								
	Empresa A	Empresa B e C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Total/dia	71,30	28,00	108,00	103,00	0,00	18,60	14,30	343,20
Frota	69,00	68,00	59,00	105,00	36,00	125,00	127,00	589,00
KM Total/Ônibus *	1,22	0,48	2,15	1,15	0,00	0,18	0,13	0,69

Domingos e Feriados - Centro								
	Empresa A	Empresa B e C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Total/dia	37,20	28,00	108,00	77,00	0,00	20,15	14,30	284,65
Frota	69,00	68,00	59,00	105,00	36,00	125,00	127,00	589,00
KM Total/Ônibus *	0,63	0,48	2,15	0,86	0,00	0,19	0,13	0,57

* Somente 85% da frota total é considerada no cálculo de KM Total/Ônibus (Informações SETTRA).

APÊNDICE C

TABELAS DE LEVANTAMENTO DA QUILOMETRAGEM
CENTRO DA CIDADE

Tabela C. 1 – Levantamento da Quilometragem no Centro da Cidade – Empresa A.

	Distâncias por Trecho (km)				Dias Úteis		Sábados		Domingo	
	1	0,95	0,6	0,65	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia
	Rio Branco	Getúlio Vargas	Francisco Bernadino	Independência						
400	0	1	1	0	17	26,35	18	27,9	16	24,8
401	1	1	0	1	19	49,4	20	52	20	52
402	1	1	0	1	37	96,2	37	96,2	18	46,8
403	1	1	0	1	58	150,8	42	109,2	42	109,2
404	1	1	0	1	29	75,4	30	78	17	44,2
405	1	1	0	1	48	124,8	35	91	19	49,4
406	1	1	0	1	16	41,6	17	44,2	17	44,2
407	1	1	0	1	16	41,6	16	41,6	16	41,6
411	0	1	1	0	22	34,1	22	34,1	22	34,1
412	0	1	1	0	47	72,85	47	72,85	27	41,85
413	0	1	1	0	33	51,15	33	51,15	33	51,15
415	0	1	1	0	9	13,95	7	10,85	7	10,85
416	0	1	1	0	1	1,55	7	10,85	7	10,85
420	0	1	1	0	20	31	20	31	24	37,2
422	0	1	1	0	44	68,2	33	51,15	22	34,1
423	0	1	1	0	17	26,35	17	26,35	17	26,35
424	0	1	1	0	31	48,05	31	48,05	31	48,05
425	0	1	1	0	19	29,45	20	31	17	26,35
426	0	1	1	0	46	71,3	39	60,45	32	49,6
427	0	1	1	0	14	21,7	14	21,7	14	21,7
428	0	1	1	0	14	21,7	14	21,7	14	21,7
429	0	1	1	0	20	31	20	31	20	31

430	0	1	1	0	34	52,7	34	52,7	18	27,9
431	0	1	1	0	19	29,45	19	29,45	24	37,2
432	0	1	1	0	59	91,45	52	80,6	45	69,75
433	0	1	1	0	19	29,45	19	29,45	19	29,45
434	0	1	1	0	19	29,45	19	29,45	19	29,45
435	0	1	1	0	19	29,45	20	31	20	31
436	0	1	1	0	64	99,2	39	60,45	32	49,6
437	0	1	1	0	23	35,65	23	35,65	23	35,65
438	0	1	1	0	22	34,1	21	32,55	21	32,55
439	0	1	1	0	35	54,25	42	65,1	42	65,1
440	0	1	1	0	47	72,85	36	55,8	25	38,75
441	0	1	1	0	51	79,05	39	60,45	39	60,45
442	0	1	1	0	29	44,95	24	37,2	19	29,45
443	0	1	1	0	23	35,65	23	35,65	23	35,65
444	0	1	1	0	22	34,1	22	34,1	22	34,1
445	0	1	1	0	23	35,65	23	35,65	22	34,1
447	0	1	1	0	46	71,3	46	71,3	24	37,2
499	0	1	1	0	7	10,85	7	10,85	0	0
TOTAL	7	40		7		1998,05		1829,7		1534,4

Tabela C. 2 – Levantamento da Quilometragem no Centro da Cidade – Empresa B e C.

	Distâncias por Trecho (km)				Dias Úteis		Sábados		Domingo	
	1	0,95	0,6	0,65	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia
	Rio Branco	Getúlio Vargas	Francisco Bernadino	Independência						
201	0	1	0	0	33	31,35	30	28,5	19	18,05
	1	0	0	1	31	51,15	23	37,95	18	29,7
202	0	1	0	0	35	33,25	31	29,45	16	15,2
	1	0	0	1	34	56,1	31	51,15	16	26,4
203	0	1	0	0	15	14,25	18	17,1	19	18,05
	1	0	0	1	15	24,75	17	28,05	18	29,7
204	0	1	0	0	38	36,1	46	43,7	44	41,8
	1	0	0	1	37	61,05	44	72,6	43	70,95
205	0	1	0	0	19	18,05	20	19	20	19
	1	0	0	1	18	29,7	20	33	20	33
206	0	1	0	0	20	19	20	19	19	18,05
	1	0	0	1	19	31,35	19	31,35	19	31,35
207	0	1	0	0	55	52,25	19	18,05	22	20,9
	1	0	0	1	53	87,45	19	31,35	21	34,65
208	0	1	0	0	33	31,35	28	26,6	17	16,15
	1	0	0	1	32	52,8	27	44,55	18	29,7
209	0	1	0	0	33	31,35	38	36,1	20	19
	1	0	0	1	34	56,1	38	62,7	20	33
210	0	1	0	0	17	16,15	21	19,95	22	20,9
	1	0	0	1	17	28,05	21	34,65	22	36,3
211	1	0	0	0	246	246	174	174	108	108
212	1	0	0	0	20	20	26	26	0	0

213	1	0	0	0	108	108	93	93	90	90
214	1	0	0	0	95	95	31	31	0	0
215	1	0	0	0	140	140	117	117	84	84
216	1	0	0	0	48	48	34	34	34	34
218	1	0	0	0	36	36	30	30	30	30
220	1	0	0	0	62	62	34	34	34	34
221	1	0	0	0	134	134	66	66	74	74
222	1	0	0	0	52	52	58	58	32	32
226	1	0	0	0	76	76	54	54	36	36
230	0	1	1	0	18	27,9	21	32,55	21	32,55
231	0	1	1	0	15	23,25	15	23,25	16	24,8
232	0	1	1	0	18	27,9	20	31	21	32,55
233	0	1	0	1	14	22,4	14	22,4	14	22,4
	1	0	0	0	14	14	14	14	14	14
239	1	0	0	0	26	26	26	26	26	26
249	1	0	0	0	26	26	26	26	26	26
259	1	0	0	0	28	28	28	28	28	28
299	1	0	0	0	28	28	28	28	28	28
TOTAL	26	14	3	11		2002,05		1633		1318,15

Tabela C. 3 – Levantamento da Quilometragem no Centro da Cidade – Empresa D.

	Distâncias por Trecho (km)				Dias Úteis		Sábados		Domingo	
	1	0,95	0,6	0,65	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia
	Rio Branco	Getúlio Vargas	Francisco Bernadino	Independência						
600	0	1	0	1	14	22,4	13	20,8	17	27,2
	1	0	0	0	14	14	13	13	17	17
601	0	1	0	1	46	73,6	42	67,2	42	67,2
	1	0	0	0	46	46	42	42	42	42
602	0	1	0	1	65	104	42	67,2	18	28,8
	1	0	0	0	65	65	42	42	18	18
603	0	1	1	0	44	68,2	43	66,65	32	49,6
604	0	1	1	0	35	54,25	41	63,55	17	26,35
605	0	1	1	0	32	49,6	22	34,1	29	44,95
606	0	1	1	0	46	71,3	46	71,3	16	24,8
607	0	1	1	0	31	48,05	20	31	20	31
608	0	1	1	0	55	85,25	38	58,9	30	46,5
609	0	1	1	0	26	40,3	27	41,85	13	20,15
610	0	1	1	0	41	63,55	30	46,5	30	46,5
611	1	0	0	1	23	37,95	23	37,95	14	23,1
	1	0	0	0	24	24	22	22	14	14
612	1	0	0	1	39	64,35	28	46,2	30	49,5
	1	0	0	0	37	37	27	27	30	30
613	0	1	1	0	11	17,05	10	15,5	11	17,05
614	0	1	1	0	15	23,25	16	24,8	16	24,8
615	0	1	1	0	24	37,2	22	34,1	14	21,7
616	0	1	1	0	12	18,6	12	18,6	14	21,7

620	0	1	0	1	13	20,8	13	20,8	14	22,4
	1	0	0	0	13	13	13	13	14	14
621	0	1	1	0	36	55,8	29	44,95	24	37,2
626	1	0	0	0	23	23	24	24	26	26
630	0	1	0	1	44	70,4	51	81,6	51	81,6
	1	0	0	0	44	44	51	51	51	51
636	1	0	0	0	24	24	24	24	26	26
640	1	0	0	0	96	96	108	108	108	108
646	1	0	0	0	21	21	21	21	24	24
TOTAL	13	18	13	7		1432,9		1280,55		1082,1

Tabela C. 4 – Levantamento da Quilometragem no Centro da Cidade – Empresa E.

	Distâncias por Trecho (km)				Dias Úteis		Sábados		Domingo	
	1	0,95	0,6	0,65	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia
	Rio Branco	Getúlio Vargas	Francisco Bernadino	Independência						
501	1	0	0	0	115	115	104	104	104	104
503	1	0	0	0	28	28	34	34	0	0
508	1	0	0	0	22	22	20	20	18	18
510	1	0	0	0	51	51	25	25	25	25
511	1	0	0	0	68	68	44	44	43	43
512	1	0	0	0	76	76	74	74	51	51
514	1	0	0	0	18	18	20	20	20	20
515	1	0	0	0	38	38	36	36	24	24
516	0	1	1	0	24	37,2	24	37,2	16	24,8
518	1	0	0	0	19	19	16	16	16	16
519	0	0	1	1	41	51,25	26	32,5	25	31,25
	0	1	0	1	17	27,2	9	14,4	7	11,2
520	1	0	0	0	52	52	46	46	47	47
521	1	0	0	0	87	87	76	76	74	74
522	1	0	0	0	85	85	66	66	64	64
523	0	0	1	1	55	68,75	37	46,25	27	33,75
	0	1	0	1	13	20,8	12	19,2	11	17,6
524	1	0	0	0	137	137	98	98	88	88
525	0	1	0	1	74	118,4	10	16	0	0
526	1	0	0	0	59	59	48	48	32	32
527	1	0	0	0	96	96	80	80	74	74
528	1	0	0	0	55	55	26	26	26	26

529	0	0	1	1	17	21,25	16	20	19	23,75
	0	1	0	1	3	4,8	4	6,4	5	8
530	0	1	1	0	28	43,4	17	26,35	14	21,7
532	0	0	1	1	46	57,5	41	51,25	41	51,25
533	0	1	0	0	9	8,55	9	8,55	9	8,55
534	0	0	1	1	51	63,75	31	38,75	25	31,25
535	0	0	1	1	54	67,5	9	11,25	0	0
537	1	0	0	0	19	19	17	17	17	17
538	0	1	1	0	16	24,8	16	24,8	16	24,8
539		1	0	1	13	20,8	13	20,8	13	20,8
540	0	1	1	0	18	27,9	10	15,5	10	15,5
541	0	0	1	1	19	23,75	19	23,75	21	26,25
543	0	0	1	1	3	3,75	3	3,75	2	2,5
	0	1	0	1	3	4,8	3	4,8	2	3,2
544	0	1	0	1	10	16	10	16	10	16
545	0	0	1	1	20	25	0	0	0	0
	0	1	0	1	20	32	0	0	0	0
546	0	0	1	1	10	12,5	10	12,5	10	12,5
	0	1	0	1	10	16	10	16	11	17,6
547	0	0	1	1	17	21,25	18	22,5	17	21,25
548	0	1	0	1	15	24	15	24	15	24
549	0	0	1	1	31	38,75	30	37,5	24	30
	0	1	0	1	30	48	30	48	24	38,4
555	0	1	1	0	14	21,7	0	0	0	0
560	1	0	0	0	44	44	103	103	77	77
599	1	0	0	0	20	20	24	24	16	16
TOTAL	19	18		23		2040,35		1555		1331,9

Tabela C. 5 – Levantamento da Quilometragem no Centro da Cidade – Empresa F.

	Distâncias por Trecho (km)				Dias Úteis		Sábados		Domingo	
	1	0,95	0,6	0,65						
	Rio Branco	Getúlio Vargas	Francisco Bernadino	Independência	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia
301	0	1	1	0	15	23,25	17	26,35	17	26,35
302	0	1	1	0	44	68,2	43	66,65	31	48,05
303	0	1	1	0	14	21,7	21	32,55	14	21,7
304	0	1	1	0	16	24,8	9	13,95	9	13,95
305	0	1	1	0	33	51,15	16	24,8	13	20,15
306	0	1	1	0	39	60,45	38	58,9	23	35,65
308	0	1	1	0	16	24,8	16	24,8	14	21,7
311	1	0	0	1	32	52,8	18	29,7	18	29,7
	0	1	0	0	32	30,4	18	17,1	18	17,1
313	0	1	1	0	5	7,75	4	6,2	4	6,2
315	0	1	1	0	21	32,55	15	23,25	15	23,25
321	0	1	1	0	31	48,05	31	48,05	31	48,05
322	0	1	1	0	35	54,25	34	52,7	25	38,75
325	0	1	1	0	38	58,9	34	52,7	23	35,65
331	0	1	1	0	22	34,1	23	35,65	22	34,1
332	0	1	1	0	38	58,9	32	49,6	22	34,1
333	0	1	1	0	9	13,95	3	4,65	3	4,65
335	0	1	1	0	14	21,7	0	0	0	0
399	0	1	1	0	18	27,9	18	27,9	17	26,35
TOTAL	1	18		1		715,6		595,5		485,45

Tabela C. 6 – Levantamento da Quilometragem no Centro da Cidade – Empresa G.

	Distâncias por Trecho (km)				Dias Úteis		Sábados		Domingo	
	1	0,95	0,6	0,65	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia
	Rio Branco	Getúlio Vargas	Francisco Bernadino	Independência						
100	1	0	0	0	19	19	19	19	19	19
101	0	1	1	0	27	41,85	21	32,55	14	21,7
102	0	1	1	0	23	35,65	21	32,55	14	21,7
103	0	1	1	0	36	55,8	33	51,15	31	48,05
104	1	0	0	0	42	42	38	38	22	22
105	0	1	1	0	39	60,45	25	38,75	23	35,65
106	1	0	0	0	67	67	52	52	20	20
107	0	1	1	0	35	54,25	23	35,65	26	40,3
108	1	0	0	0	40	40	40	40	36	36
109	0	1	1	0	12	18,6	11	17,05	11	17,05
110	0	1	1	0	16	24,8	13	20,15	13	20,15
111	1	0	0	0	80	80	74	74	60	60
112	1	0	0	0	54	54	30	30	30	30
113	1	0	0	0	22	22	15	15	18	18
114	1	0	0	0	13	13	0	0	0	0
115	1	0	0	0	28	28	30	30	30	30
116	0	1	1	0	18	27,9	13	20,15	13	20,15
117	1	0	0	0	44	44	30	30	30	30
118	1	0	0	0	32	32	25	25	26	26
119	1	0	0	0	42	42	36	36	26	26
120	1	0	0	0	74	74	66	66	58	58
121	1	0	0	0	70	70	76	76	82	82

122	1	0	0	0	47	47	54	54	52	52
123	1	0	0	0	82	82	74	74	58	58
124	1	0	0	0	54	54	48	48	54	54
125	1	0	0	0	94	94	94	94	88	88
126	1	0	0	0	20	20	0	0	0	0
129	1	0	0	0	69	69	56	56	32	32
130	1	0	0	0	50	50	46	46	46	46
131	1	0	0	0	40	40	44	44	48	48
132	1	0	0	0	76	76	78	78	48	48
133	1	0	0	0	80	80	80	80	44	44
134	1	0	0	0	44	44	48	48	32	32
135	1	0	0	0	94	94	88	88	70	70
136	1	0	0	0	36	36	30	30	22	22
137	1	0	0	0	68	68	64	64	54	54
140	1	0	0	0	72	72	72	72	36	36
141	1	0	0	0	56	56	56	56	44	44
142	1	0	0	0	50	50	56	56	46	46
143	1	0	0	0	30	30	32	32	32	32
145	1	0	0	0	77	77	48	48	50	50
150	0	1	1	0	6	9,3	4	6,2	4	6,2
155	0	1	1	0	11	17,05	12	18,6	13	20,15
199	1	0	0	0	14	14	14	14	10	10
TOTAL	34	10	10	0		2125,65		1885,8		1574,1

Tabela C. 7 – Levantamento da Quilometragem no Centro da Cidade – Empresa H.

	Distâncias por Trecho (km)				Dias Úteis		Sábados		Domingo	
	1	0,95	0,6	0,65	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia	Nº de Viagens/ Dia	Km/Dia	Nº de Viagens/ Dia	Km/dia
	Rio Branco	Getúlio Vargas	Francisco Bernadino	Independência						
700	0	1	1	0	26	40,3	22	34,1	14	21,7
701	0	1	1	0	40	62	22	34,1	16	24,8
702	0	1	1	0	15	23,25	15	23,25	15	23,25
703	0	1	1	0	28	43,4	26	40,3	25	38,75
704	0	1	1	0	7	10,85	7	10,85	13	20,15
705	0	1	1	0	7	10,85	7	10,85	1	1,55
706	0	1	1	0	25	38,75	14	21,7	14	21,7
707	0	1	1	0	26	40,3	23	35,65	16	24,8
708	0	1	1	0	10	15,5	9	13,95	9	13,95
709	0	1	1	0	17	26,35	16	24,8	17	26,35
710	0	1	1	0	9	13,95	8	12,4	8	12,4
711	0	1	1	0	23	35,65	24	37,2	22	34,1
712	0	1	1	0	35	54,25	31	48,05	28	43,4
713	0	1	1	0	9	13,95	8	12,4	9	13,95
714	0	1	1	0	31	48,05	25	38,75	19	29,45
715	0	1	1	0	22	34,1	18	27,9	12	18,6
716	0	1	1	0	44	68,2	39	60,45	37	57,35
717	0	1	1	0	67	103,85	35	54,25	32	49,6
718	0	1	1	0	32	49,6	25	38,75	26	40,3
719	0	1	1	0	35	54,25	30	46,5	23	35,65
720	0	1	1	0	14	21,7	14	21,7	14	21,7
721	0	1	1	0	18	27,9	12	18,6	12	18,6
722	0	1	1	0	68	105,4	58	89,9	54	83,7
723	0	1	1	0	10	15,5	11	17,05	11	17,05

725	0	1	1	0	22	34,1	18	27,9	12	18,6
726	0	1	1	0	48	74,4	31	48,05	26	40,3
727	0	1	1	0	13	20,15	13	20,15	13	20,15
728	0	1	1	0	32	49,6	23	35,65	23	35,65
729	0	1	1	0	9	13,95	13	20,15	10	15,5
730	0	1	1	0	13	20,15	13	20,15	13	20,15
731	0	1	1	0	10	15,5	4	6,2	3	4,65
732	0	1	1	0	23	35,65	11	17,05	11	17,05
733	0	1	1	0	24	37,2	13	20,15	13	20,15
734	0	1	1	0	27	41,85	14	21,7	14	21,7
735	0	1	1	0	25	38,75	21	32,55	11	17,05
736	0	1	1	0	11	17,05	11	17,05	11	17,05
737	0	1	1	0	12	18,6	15	23,25	13	20,15
738	0	1	1	0	2	3,1	2	3,1	2	3,1
739	0	1	1	0	17	26,35	13	20,15	13	20,15
740	0	1	1	0	19	29,45	21	32,55	16	24,8
741	0	1	1	0	16	24,8	10	15,5	8	12,4
742	0	1	1	0	9	13,95	7	10,85	6	9,3
743	0	1	1	0	11	17,05	10	15,5	10	15,5
744	0	1	1	0	3	4,65	4	6,2	3	4,65
745	0	1	1	0	22	34,1	17	26,35	17	26,35
746	0	1	1	0	7	10,85	8	12,4	8	12,4
747	0	1	1	0	21	32,55	23	35,65	23	35,65
748	0	1	1	0	14	21,7	14	21,7	14	21,7
749	0	1	1	0	11	17,05	12	18,6	12	18,6
751	0	1	1	0	12	18,6	13	20,15	12	18,6
752	0	1	1	0	8	12,4	0	0	0	0
757	0	1	1	0	12	18,6	14	21,7	15	23,25
760	0	1	1	0	4	6,2	4	6,2	4	6,2
766	0	0	0	1	22	14,3	22	14,3	22	14,3
767	0	1	1	0	12	18,6	12	18,6	12	18,6
TOTAL	0	54	54	1		1699,15		1382,95		1246,55

APÊNDICE D

TABELAS DE COMBUSTÍVEL CONSUMIDO

Tabela D. 1 – Combustível Consumido: Ano Base 2013.

Dia Úteis 2013									
	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Total/dia	15.625,12	7.194,10	5.528,68	12.582,59	27.761,89	11.325,03	30.437,40	40.804,84	151.259,65
Consumo de Combustível Total (L)	5.578,17	2.568,29	1.973,74	4.491,98	9.911,00	4.043,03	10.866,15	14.567,33	53.999,70

Sábados 2013									
	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Total/dia	14.340,04	5.020,83	5.319,09	11.130,32	21.297,08	9.134,08	26.390,23	32.348,32	124.979,98
Consumo de Combustível Total (L)	5.119,39	1.792,43	1.898,92	3.973,53	7.603,06	3.260,87	9.421,31	11.548,35	44.617,85

Domingos e Feriados 2013									
	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Total/dia	12.305,47	3.623,05	4.715,95	9.232,40	17.309,16	7.674,82	22.307,62	29.055,45	106.223,91
Consumo de Combustível Total (L)	4.393,05	1.293,43	1.683,59	3.295,97	6.179,37	2.739,91	7.963,82	10.372,79	37.921,94

Tabela D. 2 – Combustível Consumido: Ano Base 2012.

Dia Úteis 2012									
	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Total/dia	15.719,89	7.209,89	5.859,83	12.944,86	25.637,72	10.791,24	30.588,18	40.671,60	149.423,21
Consumo de Combustível Total (L)	5.612,00	2.573,93	2.091,96	4.621,31	9.152,67	3.852,47	10.919,98	14.519,76	53.344,09

Sábados 2012									
	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Total/dia	14.469,38	5.237,52	5.670,25	11.419,71	19.034,22	8.850,41	25.940,80	33.346,72	123.969,00
Consumo de Combustível Total (L)	5.165,57	1.869,79	2.024,28	4.076,84	6.795,22	3.159,60	9.260,86	11.904,78	44.256,93

Domingos e Feriados 2012									
	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Total/dia	12.475,38	3.853,57	5.111,16	9.326,09	17.112,42	6.963,09	22.369,86	30.161,38	107.372,95
Consumo de Combustível Total (L)	4.453,71	1.375,72	1.824,68	3.329,41	6.109,13	2.485,82	7.986,04	10.767,61	38.332,14

Tabela D. 3 – Combustível Consumido: Centro da Cidade de Juiz de Fora.

Dia Úteis - Centro								
	Empresa A	Empresa B e C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Total/dia	1.998,05	2.002,05	1.432,90	2.040,35	715,60	2.125,65	1.699,15	12.013,75
Consumo de Combustível Total (L)	713,30	714,73	511,55	728,40	255,47	758,86	606,60	4.288,91

Sábados - Centro								
	Empresa A	Empresa B e C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Total/dia	1.829,70	1.633,00	1.280,55	1.555,00	595,50	1.885,80	1.382,95	10.162,50
Consumo de Combustível Total (L)	653,20	582,98	457,16	555,14	212,59	673,23	493,71	3.628,01

Domingos e Feriados - Centro								
	Empresa A	Empresa B e C	Empresa D	Empresa E	Empresa F	Empresa G	Empresa H	Total
KM Total/dia	1.534,40	1.318,15	1.082,10	1.331,90	485,45	1.574,10	1.246,55	8.572,65
Consumo de Combustível Total (L)	547,78	470,58	386,31	475,49	173,31	561,95	445,02	3.060,44

APÊNDICE E

TABELA RESUMO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Tabela E. 1 – Resumo das Emissões Atmosféricas: Ano Base 2013.

RESUMO DAS EMISSÕES 2013								
DIESEL								B5
	Dias Úteis (g)	Sábados (g)	Domingos (g)	Semanal (g)	Mensal (g)	Anual (g)	Anual (t)	Anual (t)
CO ₂	144.233.186,43	119.174.283,08	101.289.492,62	941.629.707,86	3.766.518.831,43	48.964.744.808,63	48.964,74	* N/E
N ₂ O	4.537,79	3.749,40	3.186,72	29.625,06	118.500,26	1.540.503,35	1,54	* N/E
CH ₄	9.075,58	7.498,80	6.373,43	59.250,13	237.000,51	3.081.006,69	3,08	* N/E
CO	248.508,66	205.344,89	174.534,03	1.622.422,21	6.489.688,86	84.365.955,14	84,37	81,64
NO _x	1.318.116,75	1.088.319,19	924.607,52	8.603.510,44	34.414.041,77	447.382.543,02	447,38	449,58
NMHC	48.212,13	39.837,50	33.859,81	314.757,98	1.259.031,90	16.367.414,73	16,37	*N/E
MP Total	21.484,34	17.734,77	15.065,03	140.221,50	560.886,01	7.291.518,18	7,29	7,06
HC Total	57.287,71	47.336,30	40.233,25	374.008,10	1.496.032,42	19.448.421,42	19,45	18,39
SO ₂ MIN	40.744,52	33.622,96	28.556,29	265.901,85	1.063.607,41	13.826.896,38	13,83	13,14
SO ₂ MAX	40.826,93	33.691,90	28.615,29	266.441,83	1.065.767,33	13.854.975,31	13,85	13,16
SO ₄ ⁻² MIN	3.727,00	3.075,66	2.612,22	24.322,89	97.291,56	1.264.790,22	1,26	1,20
SO ₄ ⁻² MAX	4.445,24	3.676,47	3.126,46	29.029,10	116.116,40	1.509.513,20	1,51	1,43

Tabela E. 2 – Resumo das Emissões Atmosféricas: Ano Base 2012.

RESUMO DAS EMISSÕES 2012								
DIESEL								B5
	Dias Úteis (g)	Sábados (g)	Domingos (g)	Semanal (g)	Mensal (g)	Anual (g)	Anual (t)	Anual (t)
CO₂	142.482.060,00	118.210.270,00	102.385.150,00	933.005.700,00	3.732.022.820,00	48.516.296.600,00	48.516,30	*N/E
N₂O	4.482,70	3.719,07	3.221,19	29.353,74	117.414,96	1.526.394,50	1,53	*N/E
CH₄	8.965,39	7.438,14	6.442,38	58.707,48	234.829,92	3.052.789,00	3,05	*N/E
CO	245.258,33	203.513,07	176.237,02	1.606.041,75	6.424.166,99	83.514.170,88	83,51	80,82
NO_x	1.299.794,13	1.077.882,10	933.097,02	8.509.949,78	34.039.799,14	442.517.388,77	442,52	444,69
NMHC	47.580,78	39.481,61	34.189,82	311.575,33	1.246.301,31	16.201.917,02	16,2	*N/E
MP Total	21.180,57	17.561,24	15.200,83	138.664,90	554.659,61	7.210.574,91	7,21	6,98
HC Total	56.546,17	46.919,75	40.632,19	370.282,81	1.481.131,23	19.254.706,02	19,25	18,21
SO₂ MIN	40.196,39	33.315,29	28.839,08	263.136,33	1.052.545,30	13.683.088,93	13,68	13,00
SO₂ MAX	40.609,06	33.660,99	29.140,11	265.846,38	1.063.385,54	13.824.011,96	13,82	13,13
SO₄⁻² MIN	3.705,73	3.071,67	2.659,12	24.259,43	97.037,72	1.261.490,32	1,26	1,20
SO₄⁻² MAX	7.302,33	6.084,66	5.282,75	47.879,04	191.516,15	2.489.709,93	2,49	2,37

Tabela E. 3 – Resumo das Emissões Atmosféricas: Principais Vias Centro de Juiz de Fora.

RESUMO DAS EMISSÕES NO CENTRO DE JUIZ DE FORA								
DIESEL								B5
	Dias Úteis (g)	Sábados (g)	Domingos (g)	Semanal (g)	Mensal (g)	Anual (g)	Anual (t)	Anual (t)
CO ₂	11.455.675,27	9.690.421,39	8.174.424,69	75.143.222,43	300.572.889,73	3.907.447.566,53	3.907,45	*N/E
N ₂ O	360,41	304,88	257,18	2.364,12	9.456,47	122.934,08	0,12	*N/E
CH ₄	720,83	609,75	514,36	4.728,23	18.912,94	245.868,17	0,25	*N/E
CO	19.743,16	16.705,91	14.090,56	129.512,24	518.048,98	6.734.636,73	6,73	6,52
NO _x	105.186,60	88.907,44	74.940,41	689.780,87	2.759.123,47	35.868.605,06	35,87	36,04
NMHC	3.830,62	3.241,26	2.733,79	25.128,15	100.512,58	1.306.663,54	1,31	*N/E
MP Total	1.716,68	1.450,54	1.222,43	11.256,35	45.025,40	585.330,20	0,59	0,57
HC Total	4.551,44	3.851,01	3.248,15	29.856,38	119.425,52	1.552.531,71	1,55	1,47
SO ₂ MIN	3.259,44	2.752,32	2.319,31	21.368,84	85.475,35	1.111.179,52	1,113	1,056
SO ₂ MAX	3.265,52	2.757,56	2.323,78	21.408,97	85.635,87	1.113.266,27	1,115	1,058
SO ₄ ⁻² MIN	298,10	251,73	212,13	1.954,39	7.817,56	101.628,34	0,102	0,097
SO ₄ ⁻² MAX	351,13	297,42	251,09	2.304,14	9.216,58	119.815,52	0,120	0,114

Tabela E. 4 – Resumo das Emissões Atmosféricas: Renovação da Frota.

CENÁRIO DA FROTA RENOVADA								
DIESEL								B5
	Dias Úteis (g)	Sábados (g)	Domingos (g)	Semanal (g)	Mensal (g)	Anual (g)	Anual (t)	Anual (t)
CO	259.810,69	214.671,49	182.455,19	1.696.180,15	6.784.720,62	88.201.368,06	88,20	85,35
NO _x	564.109,52	466.101,80	396.152,71	3.682.802,12	14.731.208,47	191.505.710,10	191,51	192,45
NMHC	49.826,71	41.169,88	34.991,41	325.294,82	1.301.179,30	16.915.330,86	16,92	*N/E
MP Total	5.338,58	4.411,06	3.749,08	34.853,02	139.412,07	1.812.356,88	1,81	1,75
SO ₂ MIN	9,07	7,50	6,37	59,23	236,91	3.079,77	0,003	0,003
SO ₂ MAX	898,12	742,08	630,72	5.863,42	23.453,67	304.897,65	0,307	0,290
SO ₄ ⁻² MIN	78,27	64,67	54,96	510,98	2.043,90	26.570,75	0,027	0,025
SO ₄ ⁻² MAX	7.826,82	6.467,00	5.496,48	51.097,60	204.390,41	2.657.075,27	2,657	2,524

* A metodologia de cálculo da Environmental Protection Agency (2002) não apresentou a variação da emissão destes poluentes na utilização do biodiesel.

APÊNDICE F

TABELAS DAS VARIAÇÕES DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS COM A
UTILIZAÇÃO DO BIODIESEL

Tabela F. 1 – Variação Percentual das Emissões Atmosféricas com a Utilização do Biodiesel.

% emissão	NO _x	MP	HC	CO
D100	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
B2	0,20%	-1,27%	-2,21%	-1,30%
B5	0,49%	-3,14%	-5,44%	-3,23%
B6	0,59%	-3,76%	-6,50%	-3,86%
B7	0,69%	-4,37%	-7,54%	-4,49%
B10	0,98%	-6,18%	-10,59%	-6,35%
B20	1,98%	-11,99%	-20,06%	-12,30%
B30	2,98%	-17,43%	-28,53%	-17,87%
B40	4,00%	-22,54%	-36,10%	-23,08%
B50	5,02%	-27,33%	-42,86%	-27,97%
B60	6,05%	-31,82%	-48,92%	-32,54%
B70	7,10%	-36,04%	-54,33%	-36,83%
B80	8,15%	-39,99%	-59,16%	-40,84%
B90	9,21%	-43,70%	-63,49%	-44,59%
B100	10,29%	-47,19%	-67,36%	-48,11%

Tabela F. 2 – Emissões Atmosféricas com a Utilização do Biodiesel de Diferentes Misturas de Biodiesel: Ano Base 2013.

Cenários de Emissões (t)	NOx	MP	HC	CO
D100	447,38	7,29	19,45	84,37
B2	448,26	7,20	19,02	83,27
B5	449,58	7,06	18,39	81,64
B6	450,02	7,02	18,18	81,11
B7	450,46	6,97	17,98	80,58
B10	451,79	6,84	17,39	79,01
B20	456,23	6,42	15,55	73,99
B30	460,72	6,02	13,90	69,29
B40	465,26	5,65	12,43	64,89
B50	469,84	5,30	11,11	60,77
B60	474,46	4,97	9,94	56,91
B70	479,13	4,66	8,88	53,30
B80	483,85	4,38	7,94	49,91
B90	488,61	4,10	7,10	46,74
B100	493,42	3,85	6,35	43,78

Tabela F. 3 – Emissões Atmosféricas com a Utilização do Biodiesel de Diferentes Misturas de Biodiesel: Ano Base 2012.

Cenários de Emissões (t)	NOx	MP	HC	CO
D100	442,52	7,21	19,25	83,51
B2	443,39	7,12	18,83	82,43
B5	444,69	6,98	18,21	80,82
B6	445,13	6,94	18,00	80,29
B7	445,56	6,90	17,80	79,77
B10	446,87	6,76	17,22	78,21
B20	451,27	6,35	15,39	73,24
B30	455,71	5,95	13,76	68,59
B40	460,20	5,59	12,30	64,24
B50	464,73	5,24	11,00	60,16
B60	469,30	4,92	9,84	56,34
B70	473,92	4,61	8,79	52,76
B80	478,58	4,33	7,86	49,41
B90	483,29	4,06	7,03	46,27
B100	488,05	3,81	6,29	43,33

Tabela F. 4 – Emissões Atmosféricas no Centro da Cidade de Juiz de Fora com a Utilização do Biodiesel.

Cenários de Emissões (t)	NO _x	MP	HC	CO
D100	35,87	0,59	1,55	6,73
B2	35,94	0,58	1,52	6,65
B5	36,04	0,57	1,47	6,52
B6	36,08	0,56	1,45	6,47
B7	36,12	0,56	1,44	6,43
B10	36,22	0,55	1,39	6,31
B20	36,58	0,52	1,24	5,91
B30	36,94	0,48	1,11	5,53
B40	37,30	0,45	0,99	5,18
B50	37,67	0,43	0,89	4,85
B60	38,04	0,40	0,79	4,54
B70	38,41	0,37	0,71	4,25
B80	38,79	0,35	0,63	3,98
B90	39,17	0,33	0,57	3,73
B100	39,56	0,31	0,51	3,49

Tabela F. 5 – Emissões Atmosféricas com a Utilização do Biodiesel na Frota Renovada.

Cenários de Emissões (t)	NO _x	MP	HC	CO
D100	191,51	1,62	20,00	88,20
B2	191,88	1,60	19,55	87,05
B5	192,45	1,57	18,91	85,35
B6	192,63	1,56	18,70	84,80
B7	192,82	1,55	18,49	84,24
B10	193,39	1,52	17,88	82,60
B20	195,29	1,42	15,98	77,35
B30	197,22	1,34	14,29	72,44
B40	199,16	1,25	12,78	67,84
B50	201,12	1,18	11,42	63,53
B60	203,10	1,10	10,21	59,50
B70	205,10	1,03	9,13	55,72
B80	207,11	0,97	8,17	52,18
B90	209,15	0,91	7,30	48,87
B100	211,21	0,85	6,53	45,77