



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

**IMPACTOS DA RESTRIÇÃO DA CIRCULAÇÃO DE
VEÍCULOS DE CARGA NA EMISSÃO DE POLUENTES:**
um estudo de caso em Belo Horizonte

LEONARDO VICTOR PITA FIGUEIREDO

Belo Horizonte, 15 de abril de 2013.

Leonardo Victor Pita Figueiredo

Leonardo Victor Pita Figueiredo

**IMPACTOS DA RESTRIÇÃO DA CIRCULAÇÃO DE
VEÍCULOS DE CARGA NA EMISSÃO DE POLUENTES:
um estudo de caso em Belo Horizonte**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Transportes

Orientadora: Prof^a Dr^a Leise Kelli de Oliveira

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2013

F475i Figueiredo, Leonardo Victor Pita
Impactos da restrição da circulação de veículos de carga na emissão de poluentes
[manuscrito]: estudo de caso em Belo Horizonte / Leonardo Victor Pita Figueiredo. —
2012.

94 f., enc., il.

Orientador: Leise Kelli de Oliveira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f.91-94.

Bibliografia: f.81-90.

1. Transporte de mercadorias – Belo Horizonte (MG) - Teses. 2. Ar - Qualidade – Teses. I. Oliveira, Leise Kelli de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 656.125(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES



FOLHA DE APROVAÇÃO

**Impactos da restrição da circulação de veículos de carga na
emissão de poluentes: um estudo de caso em Belo Horizonte**

LEONARDO VICTOR PITA FIGUEIREDO

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOTECNIA E TRANSPORTES, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, área de concentração TRANSPORTES.

Aprovada em 15 de abril de 2013, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Leise Kelli de Oliveira - Orientador
UFMG

Prof(a). Leandro Cardoso
UFMG

Prof(a). Vânia Barcellos Gouvea Campos
IME

Prof(a). Elisete Gomides Dutra
FEAM

Prof(a). Edwan Fernandes Fioravante
FEAM

Belo Horizonte, 15 de abril de 2013.

*“Nenhum obstáculo é grande demais quando confiamos em DEUS.”
(Aristóteles).*

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo amor incondicional.

À toda minha família, meus avós, Elizeu, Nilza e Zeny, meus pais, Victor e Virginia, minhas irmãs Carol e Camila pelo amor e grande incentivo.

Ao Junior pelo grande incentivo em todos os momentos, mostrando-me que sempre vale a pena!

À todos os meus amigos que marcam presença na minha vida, vocês são muito especiais.

À FEAM e aos amigos da Gerência de Monitoramento da Qualidade do Ar e Emissões, em especial ao Flávio, Rúbia e Márcia.

Aos amigos Elisete e Edwan, que me incentivaram e participaram dessa conquista.

À UFMG e a todos os professores e colaboradores do Programa de Mestrado em Geotecnia e Transporte.

À minha orientadora Leise, pelas dicas, correções e aprendizado repassado.

À SETCEMG, FETCEMG e às empresas operadoras logísticas da RMBH.

Meus sinceros agradecimentos

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| LISTA DE FIGURAS | ix |
| LISTA DE GRÁFICOS | x |
| LISTA DE TABELAS E QUADROS | xi |
| LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS | xii |
| RESUMO..... | xiv |
| ABSTRACT | xv |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Justificativa | 6 |
| 1.2 Objetivos do trabalho..... | 8 |
| 1.3 Estrutura da dissertação..... | 8 |
| 2 DISTRIBUIÇÃO URBANA DE CARGAS E A SUA INSERÇÃO NA MOBILIDADE DAS CIDADES..... | 10 |
| 2.1 O transporte de cargas nos grandes centros urbanos | 10 |
| 2.2 Sustentabilidade na distribuição urbana de cargas | 13 |
| 2.3 Gerenciamento de tráfego e demanda por viagens | 15 |
| 2.3.1 Medidas de restrição a circulação..... | 18 |
| 2.3.2 A difusão da restrição de circulação de veículos de carga | 20 |
| 2.3.2.1 Restrições na Europa | 20 |
| 2.3.2.2 Restrições na Ásia | 22 |
| 2.3.2.3 Restrições nas Américas..... | 23 |
| 2.4 Consequências da restrição de circulação de veículos pesados..... | 25 |
| 2.4.1 Relação quilometragem rodada por veículo | 27 |
| 2.4.2 Relação de tempo de viagem por veículo | 28 |
| 2.4.3 Emissões | 28 |
| 3 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E QUALIDADE DO AR | 29 |
| 3.1 Principais poluentes | 32 |
| 3.1.1 Materiais particulados..... | 32 |
| 3.1.2 Fumaça..... | 33 |
| 3.1.3 Monóxido de carbono | 33 |
| 3.1.4 Óxidos de nitrogênio | 34 |
| 3.2 Fontes móveis | 34 |
| 3.3 Metodologias de estimativa de emissão | 35 |
| 3.3.1 Metodologia MCT (BRASIL, 2004) | 36 |

| | |
|--|----|
| 3.3.2 Metodologia CETESB (1994) | 36 |
| 3.3.3 Metodologia EPA (2007)..... | 38 |
| 3.3.4 Metodologia MMA (2011) | 39 |
| 4. METODOLOGIA..... | 41 |
| 4.1 Identificação das empresas de transporte de carga da região analisada | 42 |
| 4.2 Pesquisa digital (via internet) | 42 |
| 4.3 Validação da pesquisa com planejamento amostral | 44 |
| 4.4 Tabulação e análise dos dados da pesquisa digital | 47 |
| 4.5 Definição das empresas para análise do impacto ambiental..... | 47 |
| 4.6 Levantamento e análise dos dados das rotas urbanas da empresa..... | 47 |
| 4.7 Avaliação do crescimento da frota da empresa | 48 |
| 4.8 Definição dos cenários com base no ritmo de crescimento da frota da empresa antes e depois da restrição | 50 |
| 4.9 Cálculo da estimativa de emissão para os cenários | 50 |
| 4.9.1 Fator de emissão ciclo Otto | 52 |
| 4.9.2 Fator de emissão diesel..... | 52 |
| 5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO DE CASO..... | 53 |
| 5.1 Caracterização da Área Central | 56 |
| 5.1.2 Caracterização do Hipercentro | 57 |
| 5.3 Política de restrição de circulação de veículos de carga na área central com enfoque no Hipercentro | 60 |
| 5.4 Emissão atmosférica e qualidade do ar em Belo Horizonte | 63 |
| 6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA | 64 |
| 6.1 Empresas de Transporte de Cargas de Minas Gerais | 64 |
| 6.2 Análise dos dados de operação..... | 66 |
| 6.3 Análise dos dados de frota..... | 69 |
| 6.4 Configuração dos cenários..... | 72 |
| 6.5 Estimativas de emissão para os cenários referentes ao ano de 2011 | 74 |
| 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 77 |
| 7.1 Conclusões..... | 77 |
| 7.2 Recomendações | 79 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 81 |
| ANEXO A | 91 |
| ANEXO B..... | 93 |
| ANEXO C..... | 94 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 Definição dos problemas provocados pela movimentação nos grandes centros urbanos..... | 10 |
| FIGURA 2 Fenômenos relacionados com a deterioração da qualidade do ar em determinada região..... | 29 |
| FIGURA 3 Diagrama da metodologia..... | 41 |
| FIGURA 4 Questionário Google Docs aplicado às empresas de transporte de cargas..... | 43 |
| FIGURA 5 Planta original de Belo Horizonte..... | 54 |
| FIGURA 6 Área central de Belo Horizonte..... | 57 |
| FIGURA 7 Imagem de satélite da delimitação do Hipercentro de Belo Horizonte/MG..... | 58 |
| FIGURA 8 Uso e ocupação do solo no Hipercentro de Belo Horizonte..... | 59 |
| FIGURA 9 Desenho esquemático da restrição à circulação de caminhões e operações de carga e descarga..... | 61 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| GRÁFICO 1 Porcentagem das empresas que modificaram a frota..... | 66 |
| GRÁFICO 2 Gráfico da quilometragem anual percorrida de carga da empresa de transporte da Região metropolitana de Belo Horizonte, 2005 a 2011..... | 68 |
| GRÁFICO 3 Tamanho da frota da empresa de transporte da Região Metropolitana de Belo Horizonte por categoria do veículo e cenário definido em função da restrição de circulação no hipercentro de Belo Horizonte, 2009 a 2011..... | 70 |
| GRÁFICO 4 Estimativa de emissão de CO, NOx, NMHC e MP, pela frota de veículos pertencentes à empresa de transporte de carga da Região Metropolitana de Belo Horizonte, supondo que não houve a restrição (cenário 1) com a restrição (cenário 2)..... | 75 |

LISTA DE TABELAS E QUADROS

| | |
|--|----|
| TABELA 1 Quilometragem media anual percorrida por tipo de veículos na Região Metropolitana de São Paulo..... | 37 |
| TABELA 2 Dados sobre a quilometragem percorrida e serviços prestados pela frota de veículos de carga da empresa de transportes da Região Metropolitana de Belo Horizonte, 2005 a 2011..... | 67 |
| TABELA 3 Taxa geométrica de incremento anual por categoria do veículo de carga da empresa de Transporte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, 2005 a 2008..... | 70 |
| TABELA 4 Percentual da distância percorrida pelos veículos por categoria em relação à quilometragem total pertencente à empresa de transporte de carga na Região Metropolitana de Belo Horizonte, supondo que não houve a restrição (cenário 1) com a restrição (cenário 2)..... | 73 |
| TABELA 5 Quilometragem anual percorrida pelos veículos pertencentes à empresa de transporte de carga da Região Metropolitana de Belo Horizonte, supondo que não houve a restrição (cenário 1) com a restrição (cenário 2)..... | 73 |
| TABELA 6 Média do ano de fabricação dos veículos da frota pertencente à empresa de transporte de carga da Região Metropolitana de Belo Horizonte por média do ano de fabricação..... | 74 |
| TABELA 7 Fatores de emissão de escapamento zero km de CO, NO _x , NMHC e MP para automóveis e veículos comerciais leves movidos a gasolina C e a etanol hidratado, em g/km por ano..... | 91 |
| TABELA 8 Fatores de emissão (g _{poluentes} /km.) de CO, NO _x , NMHC e MP para motores a diesel..... | 93 |
| TABELA 9 Estimativa de emissão para os dois cenários no ano de 2011..... | 94 |
| QUADRO 1 Frota do Brasil e dos cinco estados de maior frota no período de 2002 a 2012..... | 2 |
| QUADRO 2 Padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990..... | 31 |
| QUADRO 3 - Índice de qualidade do ar..... | 32 |
| QUADRO 4 Classificação dos veículos por categoria de acordo com o PBT..... | 50 |
| QUADRO 5 - Regulamentação de circulação de veículos de carga em Belo Horizonte/MG..... | 62 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|------------------|---|
| ANTT | Agência Nacional do Transporte Terrestre |
| ASLOG | Associação Brasileira de Logística |
| BHTRANS | Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte |
| CETESB | Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental |
| CHO | Aldeído |
| CO | Monóxido de Carbono |
| CONAMA | Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| DENATRAN | Departamento Nacional de Trânsito |
| DER | Departamento de Estradas e Rodagem |
| DSV | Departamento de Operação do Sistema Viário de São Paulo |
| EPA | <i>Environmental Protection Agency</i> |
| EPTC | Empresa Pública de Transporte e Circulação de Porto Alegre |
| FD | Fator de Deterioração |
| FE | Fator de Emissão |
| FEAM | Fundação Estadual do Meio Ambiente |
| FETCEMG | Federação dos Transportes de Carga do Estado de Minas Gerais |
| FJP | Fundação João Pinheiro |
| GNV | Gás Natural Veicular |
| H ₂ O | Água |
| HC | Hidrocarbonetos |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente Recursos Hídricos |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IPEA | Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada |
| LUOS | Lei de Uso e Ocupação de Solo de Belo Horizonte |
| MCT | Ministério da Ciência e Tecnologia |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| MMUTIS | Metro Manila Urban Transportation Integration Study, |
| MP10 | Material Particulado (partículas menores que 10 µm) |
| MP2,5 | Material Particulado (partículas menores que 2,5 µm) |
| NEDA | <i>Economic and Development Authority</i> |
| NMHC | Hidrocarbonetos não-metânicos |
| NO ₂ | Dióxido de nitrogênio |
| NO _x | Óxidos de nitrogênio |
| O ₂ | Oxigênio |
| O ₃ | Ozônio |
| OECD | <i>Organization for Economic Co-operation and Development</i> |
| PBH | Prefeitura de Belo Horizonte |
| PBT | Peso Bruto Total |
| PI | Partículas Inaláveis |

| | |
|-----------------|---|
| PIB | Produto Interno Bruto |
| PROCONVE | Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores |
| PTS | Partículas Totais em Suspensão |
| RMBH | Região Metropolitana de Belo Horizonte |
| RNTRC | Registro Nacional do Transporte Rodoviário de Carga |
| SETCEMG | Sindicato das Empresas de Transporte de Carga do Estado de Minas Gerais |
| SMT | Secretaria Municipal de Transporte |
| SO ₂ | Dióxido de enxofre |
| SO _x | Óxidos de enxofre |
| TBL | <i>Triple Bottom Line</i> |
| TDM | <i>Travel Demand Management</i> |
| UFMG | Universidade Federal de Minas Gerais |
| URBS | Urbanização de Curitiba |
| VER | Vias Estruturais Restritivas |
| VLC | Veículo Leve de Carga |
| VOC | Compostos Orgânicos Voláteis |
| VTM | <i>Vehicle Miles Traveled</i> |
| VUC | Veículo Urbano de Carga |
| ZCBH | Zona Central de Belo Horizonte |
| ZERC | Zona Especial de Restrição de Circulação |
| ZER's | Zonas Exclusivamente Residenciais |
| ZHIP | Zona Hipercentral |
| ZMRC | Zona Máxima de Restrição |
| ZTC | Zona de Tráfego de Carga |

RESUMO

O aumento da frota de veículos leves nos centros urbanos destacou ainda mais os problemas existentes com relação ao transporte de cargas nessas áreas. Esse aumento da frota culminou em um fator determinante para as mudanças na organização do espaço urbano, já que os problemas acarretados pela circulação desses automóveis influenciam na própria organização da cidade. As políticas de restrição de circulação de veículos de carga foram adotadas em várias localidades, a fim de diminuir os problemas com o trânsito e a emissão de poluentes. A emissão de poluentes por veículos automotores é a principal responsável pela degradação da qualidade do ar nos centros urbanos. Contudo, para atender as demandas, as empresas transportadoras passaram a adquirir veículos de menor porte, não impedidos de circular, o que acarretou no aumento da distância total percorrida, aumento no consumo de combustível e, possivelmente, na emissão de poluentes atmosféricos. Diante desse contexto, torna-se necessário essa política de restrição de circulação de veículos de carga quanto ao impacto ambiental devido à emissão de poluentes atmosféricos. Com esse objetivo foi desenvolvida uma estrutura metodológica, tendo como referência as empresas de transporte de carga que atuam no município de Belo Horizonte. As empresas pesquisadas declararam ter alterado a composição da frota devido à política de restrição, sendo apresentada por apenas uma empresa os registros de alteração. Tendo como referência os dados de frota dessa empresa, o primeiro cenário apresenta a projeção de frota sem a interferência da restrição e o segundo cenário com os dados de frota atuais, ou seja com interferência da restrição. Com base nesses dois cenários, foram estimadas as emissões de CO, NOx, NMHC e MP, na tentativa de identificar a interferência da restrição de circulação de veículos de carga na emissão destes poluentes.

Palavras Chaves: transporte de carga, política de restrição de veículos de carga, emissão de poluentes, qualidade do ar.

ABSTRACT

The increase in light vehicle fleet in urban centers further highlighted the problems with respect to freight transportation in these areas. This increase fleet culminated in a determinant of changes in the organization of urban space, since the problems caused by the movement of such vehicles influence in the organization of the city. Policies restricting movement of cargo vehicles were taken in various locations in order to reduce the problems with traffic and emissions. The emission of pollutants by motor vehicles is primarily responsible for the degradation of air quality in urban centers. However, to meet the demands of the carriers began to purchase smaller vehicles, not prevented from circulating, which resulted in increased total distance traveled, increased fuel consumption and possibly in the emission of air pollutants. Therefore, was developed a methodological framework to identify the environmental impact from the release of pollutants to the implementation of restriction on cargo vehicles. This methodological framework was applied to a transportation company that operates in the city of Belo Horizonte / MG, which implemented the measure of restriction of movement of cargo in the central area in 2009. From the search results elaborate digital, it was identified that there were changes in the composition of the fleet companies operating in the city area restriction. With data from a fleet of these companies were defined two scenarios, the first being with the projected fleet without interference constraint and the second scenario with the current fleet data with interference constraint. From this, was estimated and compared the two scenarios the emission of CO, NO_x, NMHC and MP in an attempt to identify the influence of the restriction of movement of cargo vehicles in the emission of these pollutants.

Key Words: freight, restriction policy cargo vehicles, emissions, air quality

1 INTRODUÇÃO

O crescimento das áreas urbanas no Brasil, observado a partir do processo de industrialização na década de 1930, proporcionou significativas modificações nas tradicionais relações entre o meio rural e urbano. A contínua formação de grandes cidades proporcionou interações mais intensas entre as sociedades. Essas novas relações trouxeram consigo problemas determinados como urbanos, sendo um deles a mobilidade urbana.

A mobilidade urbana é intrínseca à história da urbanização, que provocou a necessidade de deslocamento de pessoas e bens nos aglomerados, repletos de pessoas e edificações, que muitas vezes se desenvolveram sem planejamento. Pode-se entender o espaço urbano como um fenômeno de agrupamento social, no qual as pessoas se encontram distantes das ofertas de alimentos, matéria-prima, trabalho e lazer o que resulta na necessidade de constantes do tráfego de pessoas e cargas (BRASIL,2006a).

No Brasil, tendo em vista essa necessidade de deslocamentos advinda da urbanização, a partir da década de 1950, o automóvel passou a ocupar um papel importante como meio de transporte. Segundo Landman (1994 *apud* CRUZ, 2006), o planejamento e adequação dos níveis de adensamento dos sistemas viários não acompanharam o aumento do uso do automóvel, o que implicou na saturação das redes de transporte e ineficiência dos mesmos.

Vasconcelos (2001), Cruz (2006) e Castro (2006) relatam que os estudos de mobilidade se iniciaram com o trabalho de Buchanan, em 1963. Este apresentou um estudo sobre essa temática envolvendo alguns aspectos fundamentais que ainda não foram solucionados, tais como: o desenvolvimento de planos de transporte que abrange o transporte público, políticas de estacionamento e medidas de controle de acesso de veículos a determinada área (principalmente transporte de cargas em áreas centrais). Essas discussões ainda perduram e, de acordo com Castro (2006), essa questão ainda não foi resolvida, pois implica a implantação de medidas que visam à coexistência pacífica dos transportes em um novo tipo de cidade, permanecendo a sua solução ainda no plano ideal.

O sistema de mobilidade urbana pode ser considerado como um conjunto estruturado de modos, redes e infraestruturas que garante o deslocamento de pessoas e bens na cidade e que mantém fortes interações com as demais políticas urbanas (BERGMAN; RABI, 2005). Contudo, conforme afirma Macário (2001), o espaço urbano é um recurso limitado e quanto maior o número de carros circulando dentro das cidades pior será o índice de mobilidade para toda a população.

É notório o aumento da frota de veículos em todo o Brasil. De acordo com os dados do Denatran ([2012?]) a frota nacional mais que dobrou na última década, na qual os estados do sudeste e sul do Brasil passaram de mais de 34 milhões para mais de 76 milhões, tendo os estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro as maiores frotas respectivamente. A evolução da frota no Brasil e para esses cinco estados pode ser acompanhada na QUADRO 1.

QUADRO 1 – Frota do Brasil e dos cinco estados de maior frota no período de 2002 a 2012

| Ano | Brasil | São Paulo | Minas Gerais | Paraná | Rio Grande do Sul | Rio de Janeiro |
|------|-------------------|------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| 2012 | 76.137.191 | 23.286.890 | 8.295.192 | 5.954.243 | 5.514.581 | 5.212.996 |
| 2011 | 70.543.535 | 21.968.359 | 7.662.556 | 5.558.521 | 5.149.420 | 4.844.198 |
| 2010 | 64.817.974 | 20.537.980 | 7.005.640 | 5.160.354 | 4.808.503 | 4.489.680 |
| 2009 | 59.361.642 | 19.139.118 | 6.382.234 | 4.789.454 | 4.498.431 | 4.158.935 |
| 2008 | 54.506.661 | 17.852.829 | 5.836.035 | 4.451.731 | 4.205.326 | 3.878.557 |
| 2007 | 49.644.025 | 16.464.703 | 5.271.000 | 4.077.232 | 3.912.010 | 3.602.571 |
| 2006 | 45.372.640 | 15.187.281 | 4.796.027 | 3.739.741 | 3.665.308 | 3.360.294 |
| 2005 | 42.071.961 | 14.176.475 | 4.429.807 | 3.488.343 | 3.469.240 | 3.186.100 |
| 2004 | 39.240.875 | 13.367.137 | 4.133.805 | 3.233.503 | 3.281.785 | 3.233.503 |
| 2003 | 36.658.501 | 12.665.366 | 3.883.887 | 2.969.668 | 3.076.512 | 2.894.882 |
| 2002 | 34.284.967 | 12.025.243 | 3.640.081 | 2.750.399 | 2.884.540 | 2.754.376 |

Fonte: Denatran, 2012.

Esse fato é consequência do crescimento populacional, melhorias econômicas e maior desenvolvimento das atividades comerciais. Além disso, é possível constatar a supervalorização do automóvel pelo indivíduo brasileiro, no qual sua posse tornou um indicador de ascensão social. Aliado a isso existem os incentivos fiscais do governo para a obtenção de veículos automotores. Outro ponto importante é a falta de investimento em transporte público que corrobora para o aumento exacerbado da frota de veículos privados (SILVA, 2011).

De acordo Gakenheimer (1999), nos países em desenvolvimento, o aumento dos congestionamentos e o declínio da mobilidade têm acontecido em três fases. A primeira consiste na redução da mobilidade dos usuários de automóveis, devido ao aumento da frota e, conseqüentemente, diminuição da velocidade média com a formação de congestionamentos. A segunda fase é a diminuição da mobilidade dos usuários de transporte público provocado pelo aumento dos congestionamentos, devido à grande circulação de veículos. Por fim, a terceira fase é a migração de usuários do transporte público que estão na segunda fase para o automóvel particular, pela aquisição de veículos. Dessa forma, essas fases podem ser configuradas como um ciclo vicioso e prejudicial à mobilidade.

São vários os impactos negativos provocados pelo aumento da circulação de veículos automotores nos grandes centros urbanos. De acordo com Cruz (2006), esses pontos são:

- congestionamentos;
- acidentes de trânsito;
- poluição sonora;
- poluição atmosférica;
- degradação da paisagem;
- degradação da qualidade de vida;
- desagregação comunitária e rompimento nos relacionamentos sociais;
- utilização de espaços públicos prioritariamente por veículos;
- desconforto geral no uso dos espaços públicos pelo pedestre;
- gastos públicos: financeiro, humano, tecnológico e relativo ao espaço público.

Esse aumento da frota culminou em um fator determinante das mudanças na organização do espaço urbano, já que os problemas acarretados pela circulação desses automóveis influenciam na própria organização da cidade. Um ponto em destaque nesse trabalho é a circulação de mercadorias nas áreas centrais. Devido ao aumento do fluxo de veículos nesses locais essa atividade essencial teve que ser modificada.

O crescimento econômico do Brasil, com a expansão da classe média e, conseqüente aumento do poder de compras, fez com que aumentassem as demandas pelo transporte

de bens de consumos adquiridos. Aliado a esse aumento no consumo, houve um maior acesso da população a computadores e Internet, que culminou em um aumento dessa relação de comércio via web denominado de *e-commerce*. A massificação desse tipo de compras fez com que crescesse os serviços de entregas, que, juntamente com as estratégias de redução de estoques de mercadorias pelas empresas, pressionam o setor de transporte de mercadorias, causando o crescimento do volume de veículos de carga nas redes de tráfego (TANIGUCHI; THOMPSON, 2006 e DUTRA; NOVAES, 2005).

Como o setor público tem interesse direto no desenvolvimento econômico da cidade, ele tem que promover condições para que os bens e serviços circulem dentro da área urbana. Além de implementar medidas para a produção e manutenção das redes urbanas de transporte e tráfego, cabe ao governo utilizar os instrumentos de controle do uso do solo, no sentido de localizar atividades geradoras de cargas (terminais de cargas, indústrias e comércio), definir os acessos urbanos, a provisão de facilidades para o transporte de cargas, os mecanismos necessários para a logística de distribuição e para a segurança, conforme destacado pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2006a).

Existe ainda a regulamentação do setor de transportes relativa à compatibilização desta atividade com as demais atividades nos centros urbanos, tais como tamanho e peso dos veículos, os níveis de segurança, de ruídos, de emissão de poluentes, a frequência do transporte, horários e locais de cargas e descargas. Essas medidas devem ser utilizadas considerando os custos gerados pela aplicação de cada uma delas, para que estas não se tornem contraproducentes ou prejudiciais à economia, uma vez que esses custos serão repassados às mercadorias (BRASIL, 2006a).

Várias são as medidas adotadas pelos órgãos gestores de trânsito visando mitigar os impactos da circulação de veículos de carga nas áreas urbanas brasileiras (DUTRA, 2004). Dentre elas, destacam-se as medidas restritivas, também denominadas de “janelas de tempo”, onde é autorizada a circulação de determinado padrão de veículo em horários de baixos volumes de tráfego até a restrição completa de determinado tipo de veículo.

Considerando o padrão de veículos de carga com permissão de circulação nas áreas urbanas, algumas cidades brasileiras têm estabelecido restrições tomando como

referência o peso dos veículos, sendo utilizada normalmente a tara dos mesmos (o peso do veículo descarregado), como parâmetro limitador para a circulação em áreas congestionadas da cidade. Este é o exemplo da cidade de Belo Horizonte, onde o órgão gestor de trânsito estabeleceu um perímetro na área central da cidade e em alguns corredores de tráfego, em que a circulação de veículos com tara superior a 6,5 toneladas é restrita.

Além de Belo Horizonte, cidades de pequeno e médio porte também tem implementado esse tipo de medida com a justificativa de promover uma mobilidade mais sustentável, ou seja, proporcionar melhorias na qualidade de vida. Entretanto, a restrição ao trânsito não atende de forma eficiente aos objetivos esperados, já que os problemas de congestionamento, carga e descarga, ruídos e emissão de poluentes persistem nesses centros urbanos.

Segundo Castro e Kuse (2005), na Região Metropolitana de Manila, nas Filipinas, a política de restrição de caminhões obrigou os operadores logísticos a modificar as rotas e os horários de entrega. Nesse trabalho, os autores entrevistaram 61 operadores, sendo que 21 alegaram que modificaram a rota e 43 alegaram que modificaram os horários de entrega, o que gerou perda na produtividade e no lucro. Castro (2004) identificou outras medidas adotadas pelas operadoras, como a mudança da frota para veículos menores. De acordo com MMUTIS (1999 *apud* CASTRO, 2004) foi identificado que Metro Manila teve um crescimento anual de 14% no registro de veículos de menor porte (não restritos pela legislação) destinados à distribuição de mercadorias.

Conforme apresentado por Castro (2004), na tentativa de atender as demandas de transporte, as operadoras tendem trocar a frota por veículos que não sejam restritos pela legislação. Campbell (1995) caracterizou as consequências dessa mudança de frota na emissão de poluentes, por meio de uma metodologia complexa que requer uma quantidade de dados muito precisos, o que dificulta sua aplicação em casos reais. Contudo, ao utilizar alguns dados hipotéticos, os resultados indicaram que a troca da frota provocaria um aumento significativo na emissão de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC), aliado a um pequeno decréscimo na emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x).

Seguindo essa mesma linha de pesquisa, Quak e Koster (2009) analisaram dois cenários, em *Randstand* (área conurbada na Holanda que abrange os municípios de Amsterdam, Rotterdam, Haia e Utrecht), referentes às consequências econômicas e ambientais da política de restrição da circulação de veículos de carga na distribuição de uma rede varejista de roupas e uma loja de departamento. Nessa pesquisa foi observado que os impactos econômicos e ambientais foram similares, sendo negativo para ambos, devido ao aumento da distância percorrida.

No Brasil, Gatti Junior (2011) elaborou uma pesquisa qualitativa em relação à restrição do transporte de carga na cidade de São Paulo. O autor afirma que as medidas de restrição contribuíram inicialmente para a redução dos congestionamentos e poluição atmosférica, mas os resultados não foram satisfatórios ao longo do tempo. A Associação Brasileira de Logística (ASLOG, 2008 *apud* GATTI JUNIOR, 2011) previu um aumento da frota circulante devido a substituição de veículos maiores por veículos menores. A *Savoy*, fabricante de cesta básica, estimou que pode haver um aumento de 36% na emissão de poluentes devido a substituição dos veículos por causa da Zona de Máxima Restrição (ZMRC) de São Paulo. Na Ambev, foi estimado um aumento na emissão de poluentes em 65% devido a substituição dos caminhões por 260 vans (GATTI JUNIOR, 2011).

Trabalhos como os inventários de emissão veicular, a exemplo do Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores elaborado pelo Ministério de Meio Ambiente (BRASIL, 2011), e os estaduais, a exemplo do de São Paulo (CETESB, 2011), identificaram o aumento na emissão de poluentes de origem veicular. Contudo, esses trabalhos não abordaram os impactos provocados pelas políticas de regulamentação de trânsito.

1.1 Justificativa

Ao contrário do que se tem percebido na Europa, os estudos no Brasil sobre o impacto de medidas de restrição ao tráfego na cadeia produtiva são precários. É notória a ausência de órgãos públicos e empresas que possuem dados sistematizados desse tipo de transporte, o que faz jus qualquer tentativa de pesquisa sobre a mobilidade nos grandes centros urbanos.

No município de Belo Horizonte, a legislação sobre a restrição de circulação de veículos de carga no hipercentro é datada de 13 de outubro de 2009 definida pela Portaria Bhtrans 138 de 2009. Apesar de ser um importante elemento na economia das cidades, existem poucos estudos destinados a essa temática.

A eficiência do transporte de carga depende de um esforço tanto do setor público quanto do setor privado. É de responsabilidade do setor público, criar infraestrutura e regulamentar as atividades para atender ao máximo de eficiência sem prejudicar a qualidade de vida. O setor privado necessita utilizar as melhores soluções para o empenho de suas funções visando uma mobilidade cada vez mais sustentável, atendendo os três pilares: econômico, social e ambiental.

É possível constatar que a maioria das decisões que possuem um custo eficiente para os transportadores também são positivas sobre a questão ambiental. A diminuição da quilometragem percorrida é um bom exemplo, já que ao reduzir a distância percorrida, o serviço de transporte se torna mais rentável para os distribuidores e consumidores e para o meio ambiente significa a diminuição da emissão de poluentes.

Dessa forma, pode-se determinar os impactos pelo tamanho do distribuidor, pela média de serviços prestados e pelo fator de carga média de cada veículo a partir de um centro de distribuição. O fator de carga depende da restrição que limita o comprimento de um veículo, tempo ou capacidade.

Os resultados de pesquisas indicam que tanto as restrições denominadas de janelas de tempo, quanto às restrições de veículos de carga resultaram em um aumento de custos para os distribuidores. De acordo com Quak e Koster (2009), os resultados dos estudos realizados em Amsterdam, na Holanda, demonstraram que as janelas de tempo e as restrições de veículos aumentaram as emissões de poluentes tanto local – material particulado (MP10) e óxidos de nitrogênio (NO_x) quanto global – dióxido de carbono (CO₂).

1.2 Objetivos do trabalho

O objetivo geral é desenvolver uma estrutura metodológica para identificar o impacto ambiental proveniente da emissão de poluentes com a implantação da restrição de circulação dos veículos de carga.

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- identificar as políticas de restrição de circulação de veículos em diferentes contextos e suas respectivas consequências;
- identificar as empresas que modificaram a frota com a restrição de circulação aos veículos de carga no município de Belo Horizonte;
- adequar as metodologias de estimativa de emissão para análise da emissão de poluentes;
- aplicar a estrutura metodológica proposta para a estimativa do impacto ambiental proveniente das emissões de poluentes numa empresa do transporte de carga.

1.3 Estrutura da dissertação

O presente trabalho foi estruturado em sete capítulos.

- Capítulo 1: Introdução

No presente capítulo são apresentados os aspectos gerais do trabalho, iniciado pela visão global do tema proposto com as delimitações do assunto, relevância da pesquisa realizada por meio da justificativa e definição dos objetivos.

- Capítulo 2: Distribuição Urbana de Cargas e a sua Inserção na Mobilidade das Cidades

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica sobre a distribuição urbana do transporte de cargas e suas consequências nos grandes centros urbanos com destaque para as políticas de circulação e seus impactos na qualidade do ar nas principais cidades do mundo.

- Capítulo 3: Poluição Atmosférica e Qualidade do Ar

Este capítulo é referente à revisão bibliográfica sobre emissão de poluentes e a qualidade do ar, tendo foco na emissão de poluentes de origem veicular. Além disso,

são apresentados os padrões nacionais estabelecidos para a qualidade do ar e referência de trabalhos de estimativa de emissão de poluentes atmosféricos por fontes móveis.

- Capítulo 4: Metodologia

Este capítulo apresentará a metodologia da pesquisa via internet elaborada e para os cálculos referentes à estimativa de emissão para empresas de transporte de carga, que servirão para analisar a interferência das medidas de restrição de circulação de veículos pesados na emissão de poluentes nos centros urbanos.

- Capítulo 5: Caracterização da Área do Estudo de Caso

Este capítulo apresentará as principais características do município de Belo Horizonte com atenção especial a área do Hipercentro do município assim como a política de circulação dessa área.

- Capítulo 6: Aplicação da Metodologia

Este capítulo apresentará os principais resultados obtidos e análises realizadas nesse trabalho, tendo em vista o impacto da política de restrição de circulação do Hipercentro de Belo Horizonte registrado por uma operadora logística do município, quanto à alteração da composição da frota.

- Capítulo 7: Conclusões e Recomendações

Este capítulo encerra o trabalho e apresentará as conclusões e recomendações a respeito da metodologia utilizada e de sua aplicação na área de estudo abordada além de sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

2 DISTRIBUIÇÃO URBANA DE CARGAS E A SUA INSERÇÃO NA MOBILIDADE DAS CIDADES

Neste capítulo será apresentado um panorama dos principais problemas relacionados à movimentação de carga nos centros urbanos e as medidas que restringem a circulação de veículos de carga nesses espaços.

2.1 O transporte de cargas nos grandes centros urbanos

Pode-se afirmar, de acordo com Sanches Júnior (2008), que os problemas da mobilidade nos grandes centros urbanos estão relacionados ao incentivo do uso de automóveis como a principal forma de transporte de pessoas, associado à ineficiência do transporte público coletivo, a falta de planejamento urbano e ao aumento de fluxo de cargas nas áreas centrais. Conforme apresentado, o aumento da frota, principalmente de veículos leves nos grandes centros urbanos, destacou ainda mais os problemas do transporte de carga, sendo que os principais problemas estão apresentados na FIG.1.

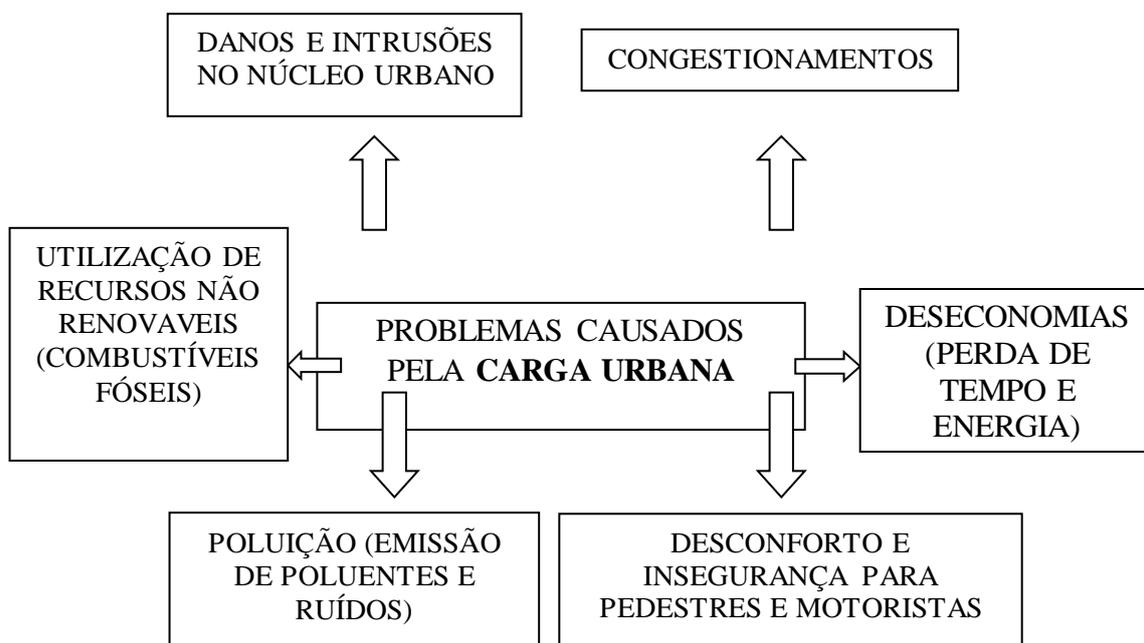


FIGURA 1- Definição dos problemas provocados pela movimentação nos grandes centros urbanos.
Fonte: Adaptado de QUISPEL (2002)

Lima Junior (2003) agrupou os problemas de transporte conforme a origem dos mesmos:

- a) problemas ambientais: estão relacionados a impactos relacionados à geração de gases poluentes, ruídos e desconforto visual. A utilização predominante de veículos automotores para as atividades de entrega de mercadorias em áreas urbanas e, principalmente, de motores a diesel contribui para o aumento na emissão de poluentes atmosféricos e a geração de ruídos, além da poluição visual;
- b) problemas sociais: estão relacionados principalmente a segurança viária, em especial aos conflitos que ocorrem entre a movimentação de carga e as demais atividades do ambiente urbano, causando o risco de acidentes mais graves, envolvendo veículos de menor porte, pedestres e ciclistas;
- c) problemas econômicos: estão relacionados aos impactos negativos como a formação de congestionamentos, que resultam em prejuízos tais como a elevação no consumo de combustível e dos tempos de viagem. Existem estudos com relação a valorização do tempo e as deseconomias provocadas pelos congestionamentos a exemplo de (RESENDE, 2009; MONSERE, 1996). Nesse grupo, também está incorporado a ocorrência dos danos à infraestrutura viária devido à circulação de veículos de grande porte em vias inadequadas, tais como a redução na vida útil dos pavimentos, destruição de meio-fios, canteiros centrais e calçadas, além de outros elementos do mobiliário urbano tais como placas de sinalização e postes, por exemplo.

A movimentação urbana de mercadorias é definida, por Santos e Aguiar (2001), como a movimentação de objetos (não de pessoas) dentro de áreas urbanas e que o entendimento dessa movimentação advém de três pontos: o primeiro é definido como o processo de distribuição física, que enfoca as diversas atividades relacionadas (manuseio, transporte e recebimento) entre fabricantes e clientes; em segundo têm-se os agentes do processo; e por fim, a relação entre a oferta e demanda. Considerando como o primeiro ponto a movimentação urbana de cargas, Taniguchi *et al.* (2001) define os agentes do transporte de cargas nas áreas urbanas em quatro agentes principais: os embarcadores, as transportadoras, os governantes (autoridades públicas) e os consumidores (moradores das cidades).

A OECD (2003) afirma que cada agente do transporte de carga possui um ponto de vista sobre a operação. Dessa forma, é importante determinar esses agentes do transporte de carga para que seja possível definir também os problemas e os interesses inerentes a essa movimentação de objetos nos grandes centros urbanos sob cada ótica.

Por serem responsáveis pela distribuição dos bens de serviços demandados, a percepção dos operadores logísticos remete à eficiência prejudicada pelos congestionamentos e dificuldades de acesso aos locais determinados, o que dificulta ou até mesmo inviabiliza sua função. Dessa forma, de acordo com Facchini (2006), os produtores, embarcadores e transportadores preocupam com as questões de infraestrutura, acessibilidade e produtividade. Para Sinay *et al.* (2004), os produtores buscam uma destacada participação e permanência no mercado por meio de um processo de distribuição eficiente, com ausência de perdas de vendas e/ou de clientes. Estas são motivadas por problemas decorrentes da falta de planejamento ou gerenciamento no canal de produção, estoque e distribuição. As transportadoras, por sua vez, buscam fretes compensadores e a qualidade de atendimento aos seus clientes podendo assim, permanecerem competitivas. A eficiência da transportadora está atrelada a fatores a serem superados, dentre eles, a adequabilidade dos veículos à infraestrutura viária, o processo de carga e descarga, o fluxo de informações, as restrições de horários e restrições relativas ao tamanho e peso dos veículos de carga, os congestionamentos e a localização dos clientes.

Seguindo a OECD (2003) com relação aos consumidores, que são os residentes desses centros urbanos, os problemas estão relacionados à qualidade de vida prejudicada pelo tráfego de veículos de carga em relação aos congestionamentos, à segurança no trânsito devido aos acidentes violentos que envolvem esses tipos de veículos, à acessibilidade aos locais de consumo e locais de estacionar, assim como à poluição atmosférica devido à emissão de poluentes e ruídos.

Por fim, a ótica das autoridades versa em atender e garantir as expectativas de qualidade de vida da população sem prejudicar a economia local. Sendo assim, é função do governo, por meio de aplicação de regras, normas e decretos, regulamentar o sistema de transporte garantindo a continuidade das atividades econômicas dependentes destes fluxos concomitante ao bem estar da população (OECD, 2003).

A economia dos centros urbanos é dependente do comércio existente, que por sua vez depende dessa distribuição de bens. A boa qualidade de vida da população também está atrelada à distribuição eficiente dos objetos de consumo, o que corresponde em um problema dialético que requer intervenções governamentais. Essa é uma questão

complicada, já que na maioria das vezes os atos e decisões provocam discordâncias entre os atores apresentados.

É um conhecimento comum que a movimentação de cargas urbanas é fundamental para a economia global e local. No que corresponde ao ambiente industrial, tem ocorrido um significativo aumento da competitividade e crescimento dos mercados. Assim, os diferenciais logísticos passam a ser importantes com destaque para os movimentos das cargas urbanas (DABLANC, 2007).

O aumento da competitividade nos mercados, por sua vez, leva a uma busca incessante, por parte dos operadores logísticos, da redução do custo total da cadeia de suprimentos. Neste, os custos de distribuição e coleta urbana são parcelas importantes no custo total da produção. O aumento da diversidade de produtos, a redução do tamanho de pedidos, aliados à ampliação dos números de compradores e à maior diversificação dos pontos de coleta e entregas aumentam a complexidade destas operações e contribuem para um impacto maior nos três pontos abordados ambiental, social e econômico (FACHINNI, 2006).

2.2 Sustentabilidade na distribuição urbana de cargas

O termo sustentabilidade tornou-se chave nas discussões de diversas áreas de pesquisa, impulsionando estudos em diferentes setores, que buscam encontrar formas de mitigar os impactos acarretados pelas atividades do ser humano, principalmente nas áreas de maior adensamento populacional. Esta questão, em relação aos transportes, tem como foco a busca pela mobilidade urbana sustentável.

O conceito de sustentabilidade teve início com o “Relatório *Brundtland*” (BRUNDTLAND, 1987) ou, mais propriamente, o relatório intitulado “Nosso Futuro Comum”, produzido pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, liderada pela médica e política *Gro Harlem Brundtland*. Esse relatório deu origem ao princípio mais difundido do desenvolvimento sustentável, que consiste em uma forma de desenvolvimento que vai ao encontro às necessidades da geração atual sem comprometer a possibilidade (ou capacidade) das gerações futuras em satisfazer as suas necessidades.

A três principais frentes de ação da sustentabilidade são: a econômica, a social e a ambiental. Essas frentes compõem os “Pilares da Sustentabilidade” que é a tradução do termo *Triple Bottom Line* (TBL), conceito criado por John Elkington em 1995 (ELKINGTON, 1997). Os termos originais em inglês criados por Elkington (1997) foram *profit* (lucro), *people* (pessoas) e *planet* (planeta), de onde decorre a denominação “3Ps”. Por isso, no jargão técnico, é possível ouvir que a expressão TBL é composta pelos 3Ps.

Na definição de sustentabilidade, a avaliação de impactos é cada vez mais fundamental nos setores de intervenções políticas para as decisões sobre a utilização ótima dos recursos limitados e das atividades realizadas. Dessa forma, é possível aumentar a competitividade econômica, melhorar o ambiente e fomentar as relações sociais urbanas. A integração entre transportes, desenvolvimento econômico, qualidade de vida e meio ambiente é uma tarefa árdua, porém significa o desenvolvimento autosustentável difundido no século XX (FOGLIATTI *et al.*, 2004).

De acordo com Campos (2006), a mobilidade urbana sustentável no contexto socioeconômico pode ser vista através de ações sobre o uso e ocupação do solo e sobre a gestão dos transportes. Estas ações visam proporcionar acesso aos bens e serviços de uma forma eficiente para todos os habitantes, e assim, mantendo ou melhorando a qualidade de vida da população atual sem prejudicar a geração futura. No contexto ambiental, destaca-se as tecnologias de transporte como elemento que tem sua contribuição no impacto ao meio ambiente. Este impacto pode ser associado a fatores como o consumo de energia, a qualidade do ar e a poluição sonora.

É notório que as autoridades públicas não se preocuparam devidamente com as questões do transporte urbano de mercadorias. De acordo com Dutra e Novaes (2005), foi-se o tempo em que os esforços eram destinados exclusivamente para o transporte público ou individual de passageiro.

Assim como toda atividade logística, a distribuição urbana de mercadorias também possui grandes impactos socioambientais. Segundo Maggi (2001 *apud* CARRARA, 2007), alguns custos são provocados pelo uso exclusivo de caminhões que são

considerados os vilões nos grandes centros urbanos, mas também pela ineficiência dessas operações nas cidades. Assim, é possível definir duas características mais relevantes do transporte urbano de cargas, sua contribuição aos fluxos de tráfego e seus impactos ambientais.

O interesse no transporte urbano de mercadorias aumentou nos últimos anos devido, principalmente, ao congestionamento e à poluição. Junto com esta consciência crescente dos impactos não sustentáveis do transporte urbano de carga, a quantidade de estudos focados nessa temática cresceu. Grande parte desses estudos, chamados de iniciativas de logística urbana, concentra-se na obtenção da sustentabilidade, mobilidade e habitabilidade nas áreas urbanas (CRAINIC *et al.* 2004).

O objetivo principal das autoridades públicas e comunidades de pesquisas é fazer o transporte urbano de mercadorias mais sustentável por meio de políticas governamentais, que forcem as empresas a mudar suas operações para se tornarem mais sustentáveis (QUAK; KOSTER 2009). Contudo, segundo Dutra (2004), as medidas adotadas são pontuais e reduzem a acessibilidade e a eficiência logística do sistema de transporte urbano de pessoas e cargas. Isso resulta no aumento de veículos em circulação, aumento dos tempos de viagem o que acarreta a baixa qualidade do serviço.

2.3 Gerenciamento de tráfego e demanda por viagens

Nos grandes centros urbanos brasileiros, é possível constatar a quase saturação da capacidade viária. Apesar das melhorias de infraestrutura como o alargamento das vias, construções de trincheiras, implantações de novos sistemas de transporte público, o trânsito dessas cidades continua a ser um grande problema (VALLEJO, 2007).

O aumento da capacidade viária ainda é insuficiente para promover um trânsito sem congestionamentos. Dessa forma, existe uma constante pressão para que as vias sejam utilizadas da melhor maneira possível, já que a oferta de um sistema viário eficiente (sob os aspectos sociais, econômicos e ambientais) é essencial para a circulação e melhoria da qualidade de vida urbana (VALLEJO, 2007; SANCHES JUNIOR, 2008).

A partir do momento em que se tornam impossíveis ampliações nas malhas viárias, as medidas de gerenciamento de tráfego e de demanda tornam soluções aplicáveis e necessárias às políticas de mobilidade urbana. O conceito de Gerenciamento de Demandas de Viagens (*TDM*, do inglês *Travel Demand Management*) é amplo e existem variedades de definições.

De acordo com Violato e Sanchez (2000 *apud* FERREIRA; BARBOSA, 2011), medidas de gestão da demanda constituem um conjunto de estratégias utilizadas para reduzir o uso do automóvel nas cidades ou transferir esta demanda (de usuários de automóvel) para outros modos de transporte. Esta pode ser configurada em dois pontos. O primeiro ponto é formado pelos incentivos as alternativas ao uso do veículo privado e consistem em quatro medidas: i) viagem compartilhada ou carona programada – agrupar em um único veículo diversas pessoas que viajam sozinhas; ii) horários alternativos de trabalho – estratégia de alterar os horários de deslocamentos, entre a casa e o trabalho das pessoas, visando o espalhamento dos picos; iii) incentivo às viagens por modos não motorizados – incentiva o uso de bicicleta e a caminhada para locomoção; iv) subsídio pela não utilização de automóvel particular – refere-se ao oferecimento de auxílio financeiro ou fornecimento de passes para o transporte coletivo ou a disponibilização de vagas de estacionamento gratuitas para pessoas que participem da viagem compartilhada.

Já o segundo ponto tem como princípio impor alguma forma de restrição ao uso do veículo privado, sendo este considerado mais eficiente para a diminuição do uso de automóveis. Este grupo é composto por três medidas: i) Controle da oferta e cobrança de estacionamentos – a aplicação desta medida nas áreas centrais das cidades busca dificultar o estacionamento para desestimular o uso do automóvel e incentivar o uso de outros meios de transporte; ii) tratamento preferencial para veículos multiusuários – oferecer vantagens pela utilização de pistas exclusivas para o deslocamento de veículos com muitos ocupantes, proporcionando assim uma economia no tempo de viagem; iii) restrição à circulação de automóveis – pode ser dividida em dois tipos: restrição por área - que proíbe o acesso de veículos a uma determinada área de atividade intensa - e restrição por tempo, que pode restringir o uso do automóvel durante alguns períodos do dia ou em alguns dias da semana (VIOLATO; SANCHEZ, 2000 *apud* FERREIRA; BARBOSA, 2011).

Para Matos e Silva (2006), o gerenciamento de demandas de viagens caracteriza-se como um sistema de ações estruturadas para reduzir a dependência e o uso dos veículos pelas empresas de transporte ou ainda alterar o horário da viagem para outros períodos de tempo menos congestionados. O Gerenciamento de Demanda de Viagens, de acordo com Carapito (2002 *apud* MATOS; SILVA; 2006), possui estratégias de curto (custos baixos) e longo prazo (custos elevados), aqueles relacionados a incentivos e restrições e estes mais ligados à infraestrutura.

O mesmo conceito de Gerenciamento de Demanda de Viagens pode ser aplicado para o de Gerenciamento de Tráfego (*Traffic Management* em inglês), que também visa otimizar o espaço viário. Os objetivos centrais das medidas de gerenciamento de tráfego, segundo Carapito (2002 *apud* MATOS; SILVA, 2006), são os seguintes: i) aumento da eficiência e capacidade; ii) fornecer alternativas para investimento em infraestrutura de larga escala; iii) redução do consumo de combustíveis; iv) melhorar a qualidade do ar por meio de uma maior efetividade no uso do espaço viário; v) reforçar as políticas de uso do solo e densidade urbana.

Sendo assim, pode-se definir algumas medidas de Gerenciamento de Tráfego e Demanda de acordo com Matos e Silva (2006):

- sincronização e coordenação semafórica;
- melhoria na capacidade viária;
- sistemas de controle, comunicação e acompanhamento da operação de tráfego (Informações on-line para os motoristas);
- horários pré-determinados para operações de carga/descarga, incluindo restrições nos horários de pico;
- definição de locais fora das vias para operações de carga/descarga;
- regulamentação de estacionamento para veículos de carga;
- definição de rotas alternativas para corredores congestionados;
- ações de cobranças para uso de facilidades tais como pedágio, taxas de circulação para determinadas áreas e horários, dentre outras;
- facilidade para veículos com alta taxa de ocupação;
- gerenciamento de áreas de estacionamento;

- planejamento urbano eficiente, ou seja, análise e definição adequada de uso e ocupação do solo;
- melhoria no gerenciamento, programação e itinerários dos serviços de transporte público urbano;
- ações que visem influenciar na escolha por modos de transportes sustentáveis, reduzindo ao máximo a necessidade por viagens em automóveis;
- melhorias nas condições de circulação de pedestres e ciclistas e estímulo para esses modos de deslocamentos.

É de responsabilidade das empresas de trânsito, criadas e vinculadas pelos municípios, elaborar e aplicar essas medidas de gerenciamento de tráfego e demanda. De acordo com o DENATRAN (2003), a criação dessas companhias municipais é uma forma de garantir uma maior participação do conhecimento técnico sem alterações políticas constantes, percebidas a cada mudança de governo.

2.3.1 Medidas de restrição a circulação

Segundo Cruz 2006, as medidas de restrição de circulação podem ser definidas em três modalidades: a) restrição física: é a limitação do espaço ou tempo disponível para movimento veicular em uma ligação ou na malha viária; b) restrição fiscal: trata-se da cobrança pelo uso do espaço viário; c) restrição regulamentar: é o controle sobre a utilização do espaço viário, limitando o acesso a certos veículos em uma determinada ligação ou área, por meio de regulamentações.

O controle regulamentar é muito utilizado para restringir a circulação de veículos de carga em áreas consideradas de tráfego intenso. Para combater os impactos negativos do transporte urbano de mercadorias, as medidas mais utilizadas são as janelas de tempo e restrições de veículos (DABLANC, 2007).

O objetivo principal dessas políticas é reduzir a inconveniência para os cidadãos. Assim, convencionou-se restringir o transporte para horários em que poucos moradores sentirão o impacto (janelas de tempo) ou substituir os veículos, causando menos

inconveniências (restrições de veículos por tamanho). O uso dessas medidas de restrição podem contribuir para:

- aumento da eficiência dos sistemas de transporte, pois, em relação a capacidade de saturação, a adição ou subtração de um veículo pode interferir significativamente na velocidade média, ou seja, no tempo de percurso e, conseqüentemente, nos custos da viagem. As medidas de restrição podem garantir a redução dos conflitos surgidos da disputa pelo espaço viário (LANDMANN, 1994 *apud* CRUZ, 2006);
- redução da necessidade de novos investimentos em infraestrutura de transportes, como alargamento de vias, construção de viadutos, trincheiras dentre outras (LANDMANN, 1994 *apud* CRUZ 2006);
- melhoria da qualidade do uso do solo, pois a restrição pode ser utilizada como um modo de revitalizar o centro das cidades. Ao impedir a circulação de veículos pode ocorrer o fomento do comércio e a melhoria da segurança nas áreas centrais. Por outro lado, a ineficiência do transporte público coletivo pode dar a impressão que o centro é menos acessível, causando efeito inverso ao desejado (MAY, 1986 *apud* CRUZ 2006).

A melhoria da qualidade ambiental prevista nas restrições pode ser questionável tanto para os veículos de passeio quanto para os veículos de carga. As restrições de veículos de passeio, por exemplo, pelo rodízio (restrição por placa de licenciamento) podem provocar o aumento de uma frota mais velha com a aquisição de um segundo carro pelos motoristas. Com relação aos veículos de carga, é possível a utilização de veículos menores, o que provocaria o aumento na quantidade de veículos nas ruas para atender a demanda de transporte de mercadorias ou serviços.

Sendo assim, essas medidas devem ser pensadas de forma contextualizada, adequando-se aos locais de sua aplicação. Violato e Sanches (2000 *apud* FERREIRA *et al.*, 2011) apontam que medidas que restringem ou geram custos adicionais ligados à utilização dos automóveis são unanimemente rejeitadas, ou seja, sempre que possível é melhor que sejam aplicadas medidas de incentivo e bonificação. O estudo de aceitabilidade da implantação de uma medida é extremamente importante, pois o sucesso da mesma correlaciona-se diretamente ao apoio e compreensão dos usuários que serão diretamente afetados.

2.3.2 A difusão da restrição de circulação de veículos de carga

Muitas cidades têm restringido as rotas para o transporte de mercadorias em áreas específicas. Essa restrição de grandes caminhões nas cidades tem sido uma das medidas mais populares devido às limitações de capacidade das vias. Os veículos de carga, principalmente os caminhões, são percebidos como lentos, impedindo o fluxo especialmente nos horários de pico. Essas medidas são específicas em cada município e em sua maior parte abrangem áreas das cidades consideradas críticas em termo de concentração de populacional e de veículos.

2.3.2.1 Restrições na Europa

A referência desse tópico é baseada no estudo da *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD, 2003).

Na Bélgica, foi implantada a restrição de circulação sendo proibido o tráfego de veículos de carga de grande porte no centro da cidade. Em alguns centros urbanos desse país, entregas de produtos são autorizadas apenas por algumas horas durante a manhã, fora do horário comercial.

Na República Checa, as autoridades locais estão autorizadas a estabelecer as condições para o acesso de veículos de carga no centro da cidade. O objetivo desta medida é proteger o centro da cidade do tráfego pesado e regulamentar a circulação de veículos de carga no centro, durante o horário de pico. Por exemplo, em Praga, existem duas zonas de acesso restrito - centro interior e centro. No centro interior, restringe-se o acesso aos veículos com peso total superior a 3,5 toneladas, de segunda a sexta (8 às 18 horas), exceto para os veículos com licenças emitidas pela prefeitura. No Centro, a restrição se aplica aos veículos com peso igual ou superior a seis toneladas, exceto para veículos com licenças emitidas pela prefeitura. Outras cidades do país, com população entre aproximadamente 20.000 e 400.000 habitantes, também estabeleceram esquemas de acesso ao centro da cidade.

Na França, as autoridades locais estabelecem medidas de restrição em cidades com população superior a 30.000 habitantes. Na capital Paris, foi introduzido um regime de

acesso em 1991. Os veículos que ocupam até 24 m² são autorizados a entregar as mercadorias a qualquer hora. Já os veículos que ocupam mais de 24 m² estão autorizados a transitar pela cidade no período noturno, de 19 horas e 30 minutos até às 7 horas e 30 minutos. Uma proposta está sendo elaborada para dedicar pistas especiais ou pistas compartilhadas entre o transporte público e o transporte de mercadorias em determinadas rotas em Paris.

Na Alemanha, as restrições de circulação de veículos possuem um caráter ambiental significativo, já que a legislação ambiental no país é forte. Essa legislação ambiental permite que as cidades proibam ou reduzam o tráfego devido a taxas de emissões de poluentes dos veículos em circulação. Quando as emissões exceder um certo nível, várias medidas são tomadas de acordo com as circunstâncias. Estas incluem redução temporária nos limites de velocidade e novas rotas de caminhões, fechamento de rotas específicas para o tráfego e limitação de acesso da cidade para caminhões entre 10 e 16 horas.

Na Itália, foram implementadas as zonas de tráfego, de forma que cada zona existe uma restrição do tamanho dos veículos e os horários de proibição da circulação dos mesmos. A cidade de Roma possui um sistema de controle de acesso em operação desde outubro de 2001. Esse sistema restringe tanto a circulação de veículos leves quanto de veículos pesados destinados a carga e tem como finalidade reduzir a intensidade do tráfego em algumas áreas, principalmente de locais cuja as obras arquitetônicas antigas são diretamente impactadas pelo fluxo de veículos.

Em Barcelona, na Espanha, veículos de entrega são proibidos de circular na cidade durante determinados horários. Este sistema possui uma fiscalização digital por câmeras. A aceitação pública dessas zonas tem sido positiva e almeja-se estender estas zonas de controle.

Na Suécia, as cidades de Estocolmo, Gotemburgo, Malmö e Lund implementaram zonas ambientais. As mesmas regras são aplicadas em todas as cidades e são relevantes apenas para veículos de carga. A regra principal é que todos os veículos com peso superior a 3,5 toneladas e com idade superior a oito anos estão proibidos de circular na zona de meio ambiente. Contudo, os conselhos municipais têm o direito de controlar a

idade dos veículos que entram na zona, e para este fim, os veículos devem apresentar adesivos de aprovação em seu pára-brisas. Para além das zonas ambientais, cada cidade tem sua legislação quanto ao tempo de entrada e tamanho de veículos que podem ter acessos a determinadas áreas. Em Estocolmo, após a regulamentação da zona ambiental, as reduções de emissão de NO_x e material particulado foram estimadas em 10% e 40%, respectivamente.

Na Holanda, a restrição para caminhões foram implementadas em muitas cidades e em alguns casos são acompanhadas de medidas técnicas. Algumas propostas como licenças, pistas especiais dedicadas para caminhões ou partilhadas apenas com transportes públicos foram implementadas na capital e cidades vizinhas.

No Reino Unido, o tráfego de mercadorias em áreas urbanas é regulamentado em muitas maneiras diferentes. Em Londres, o Esquema de Controle de Caminhões de Londre (*London Lorry Control Scheme*) entrou em vigor em 1985. Este proíbe a circulação de caminhões com mais de 18 toneladas no fim de semana e inclui quase toda as estradas londrinas, exceto para veículos com licenças especiais

2.3.2.2 Restrições na Ásia

No Japão, existe uma restrição geral para veículos superiores a 20 toneladas. Para os veículos que excedem o peso máximo e os limites de dimensão, é necessário obter a permissão de viagem do administrador da estrada. Em Tóquio, a fim de proteger o meio ambiente e os moradores, veículos de grande porte, maiores que oito toneladas são restritos a circular de sábado a domingo de 22 horas até 7 horas, nas áreas próximas ao centro da cidade. Os regulamentos existentes também restringem o acesso de veículos de carga de grande porte, maiores que três toneladas de carga que não possuam destinos de viagem para a área central (OECD, 2003).

Em Seul, na Coréia do Sul, desde 1979, todos os caminhões com mais de 2,5 toneladas foram proibidos de circular dentro da área central. Contudo, há regras complexas que permitem alguns acessos em rotas específicas, mas o objetivo geral é a de concentrar as chegadas e partidas de caminhões durante o período noturno, quando o volume de tráfego é relativamente menor (OECD, 2003).

A política de restrição de caminhões em Metro Manila, região metropolitana da capital das Filipinas, é um dos mais conhecidos casos de restrições de caminhões em vigor (OGDEN, 1992; CAMPBELL, 1995). A política entrou em vigor em 1978 e proíbe o tráfego de caminhões com peso bruto superior a 4,5 toneladas ao longo de onze principais vias arteriais, de 6 às 9 horas e de 17 às 21 horas durante a semana, exceto feriados. Contudo, algumas rotas alternativas, de e para o porto de Manila estão previstas para serem utilizadas pelos veículos pesados a qualquer momento, denominados Rotas de Caminhão (*Truck Routes*).

2.3.2.3 Restrições nas Américas

Nos Estados Unidos, o caso mais conhecido é o de Los Angeles. Nesta cidade, uma portaria sobre restrições de caminhões em períodos de pico foi elaborada em 1991. Esta tem a função de reduzir as emissões de poluentes atmosféricos gerados por caminhões pesados e auxiliar na melhoria da qualidade do ar, tendo em vista as normas da Lei Federal do Ar Limpo (*Clean Air Act*), que protege e preserva a saúde pública e bem-estar (CAMPBELL, 1995).

No México, mais especificamente na Área Metropolitana da Cidade do México, os principais problemas de transporte urbano são os congestionamentos e emissão de poluentes, somadas a precariedade do transporte público de passageiros. As principais medidas de políticas públicas utilizados nessa área estão relacionadas às restrições de veículos de transporte de mercadorias em determinadas rodovias do distrito federal e em áreas definidas pelos programas de controle de emissões de poluentes e gases de efeito estufa, como exemplo o centro histórico da Cidade do México, restringindo a circulação de veículos comerciais acima de 3,5 toneladas, entre as 7 às 22 horas.

No Brasil, o principal exemplo de restrição de circulação de veículo de carga é o da cidade de São Paulo. O Departamento de Operações do Sistema Viário (DSV), ligado a Secretaria Municipal de Transportes (SMT), criou a ZMRC (Decreto nº 33.272, de 11 de junho de 1993). Atualmente, após alguns estudos e modificações, a área de restrição passou de 25 para 100 quilômetros quadrados. O período de proibição ao trânsito de caminhões também foi ampliado, passando das 10 às 20 horas para o período de 5 às 21

horas, nos dias úteis da semana, mantendo a proibição das 10 às 14 horas aos sábados, sendo que nos outros dias, não há restrições (QUAK; KOSTER, 2009).

Além da ZMRC, a circulação de caminhões em São Paulo deve respeitar a Zona Especial de Restrição de Circulação (ZERC), as Zonas Exclusivamente Residenciais (ZER's) e as Vias Estruturais Restritas (VER), a fim de promover condições de segurança e/ou qualidade ambiental. Para garantir a logística de distribuição, na área definida pela ZMRC, a prefeitura de São Paulo permitiu a circulação dos chamados: Veículo Urbano de Carga (VUC) e Veículos Leve de Carga (VLC), por meio do Decreto nº 37.185 de 20 de novembro de 1997. O primeiro com capacidade de carga útil superior a 1.500kg, largura máxima de 2,20m e comprimento máximo de 5,50m e o segundo com comprimento acima de 5,50m e no máximo de 6,30m. (GATTI JUNIOR, 2011).

Outras importantes cidades do Brasil também implantaram a referida política restritiva, tais como, as capitais dos estados brasileiros que possuem a maior frota de veículos sendo essas Rio de Janeiro, Curitiba, Porto Alegre e Belo Horizonte (esta detalhada no capítulo 5).

Na cidade do Rio de Janeiro, qualquer tipo de veículo com características de transporte de carga são proibidos de circular ou executarem operação de carga e descarga das 6 às 10 horas e das 17 às 20 horas, dos dias úteis, no interior da área delimitada pela orla marítima e em diversas ruas definidas pela Secretaria Municipal de Transportes do Rio de Janeiro (SMTR, [2000?]).

Em Curitiba, no Paraná, a Portaria 111 de 2010 cria a Zona de Tráfego de Cargas ZTC/Linha Verde. Os horários de tráfego de caminhões nesta área foram definidos pela Portaria 073 de 2011 na qual os caminhões com carga acima de sete toneladas não poderão circular das 7 às 10 horas e das 17 às 20 horas nos dias úteis. Nos finais de semana, os veículos podem circular normalmente. A ZTC/Linha Verde foi criada com o intuito de permitir ao município melhor controle e fiscalização do transporte de cargas, buscando compatibilizar o fluxo de pedestres, transporte coletivo, cargas, serviços, informações e transporte individual. A medida também visa melhorar a qualidade

de vida da população em função da fluidez e segurança do trânsito, segundo o setor de urbanização e trânsito de Curitiba (URBS, [2010?]).

Em Porto Alegre no Rio Grande do Sul, o trânsito de caminhões com Peso Bruto Total (PBT) acima de 10 toneladas, ou comprimento superior a sete metros, está proibido no centro histórico, de segunda a sexta-feira, das 7 às 19 horas, e aos sábados, das 7 às 14 horas (EPTC, [2000?]).

2.4 Consequências da restrição de circulação de veículos pesados

O congestionamento do tráfego, os acidentes graves e a má qualidade do ar tornaram-se prementes problemas em regiões urbanas em todo o mundo (CETESB, 2011; DUTRA, 2007; CAMPBELL, 1995; BRASIL, 2011; OECD, 2003). Os caminhões são considerados os principais contribuintes para ambos os problemas, por isso tornou-se necessário a restrição da circulação. Os defensores alegam que tais restrições podem reduzir o congestionamento, os índices de acidentes e a poluição do ar pela transferência de grandes operações para os períodos fora do horário de pico, quando as velocidades operacionais são mais elevadas e uma maior eficiência pode ser alcançada (DABLANC, 2008).

No entanto, algumas empresas têm indicado que ao invés de transferir as operações de caminhões grandes para períodos fora de pico, eles contornam as restrições utilizando veículos menores, que não estão sujeitos às restrições, para manter seu nível de serviço, atendendo as exigências e horários das demandas. Assim, se grandes caminhões são substituídos por um maior número de pequenos caminhões, haverá um aumento nos congestionamentos e na distância total percorrida e, conseqüentemente, aumento nas emissões de poluentes (CAMPBELL, 1995).

Essa possibilidade de empresas modificarem a composição de sua frota, substituindo caminhões de maior porte por caminhões de menor porte, tem sido reconhecida como um problema para restrições a caminhões grandes (CAMBRIDGE SYSTEMATICS, 1988; COOPER, 1983; HALL; PARTYKA, 1991; KIRBY *et al.* 1986 *apud* CAMPBELL 1995), mas tem sido pouco estudado. Esse tipo de estudo deve ser elaborado de forma pontual, com análise dos dados de frota e com o desempenho

referente a emissão de poluentes como: hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x), bem como a distância de viagem dos caminhões, o consumo de combustível e o tipo de caminhão utilizado.

Os caminhões pesados são normalmente movidos à diesel, contribuindo mais para as emissões regionais de NO_x do que as emissões de HC ou CO. O motor do ciclo diesel possui um perfil diferente de emissão em relação ao motor do ciclo otto (álcool, gasolina e GNV). Sendo assim, a substituição do tipo de motor interfere consideravelmente na emissão referentes ao tipo e quantidade de poluentes (FIORAVANTE, 2009).

Existe um grupo contrário a esse tipo de medida que afirmam que tais restrições são economicamente e ambientalmente prejudiciais. De acordo com Gatti Junior (2011), a Associação Brasileira de Logística (ASLOG), em conjunto com diversas outras entidades, entre elas a Associação Comercial de São Paulo, apresentou uma análise crítica das propostas apresentadas pela prefeitura de São Paulo, alegando a dificuldade de viabilizar as entregas noturnas, principalmente por motivos de segurança e o aumento de custos operacionais em torno de 13 %. Os resultados também indicaram aumento na frota circulante devido às restrições com relação ao tamanho dos caminhões, pois veículos maiores seriam substituídos por vários veículos de menor porte.

A Economic and Development Authority (NEDA, 1981 apud CASTRO; KUSE 2005), procurou avaliar os impactos da medida de restrição de circulação de veículos de carga e concluiu que as perdas econômicas são significativas. Foi constatado que o setor de transporte rodoviário de Metro Manila registou prejuízos, já que a produtividade de cada caminhão diminuiu em até 50%. A frequência de viagens de caminhões por dia diminuiu de uma média de três viagens para duas viagens. Isso afetou a renda dos operadores logísticos e motoristas.

Assim, para manter o mesmo nível de serviço em termos de número e volume de entregas, as empresas de distribuição foram obrigadas a usar mais veículos de entregas para lidar com as ordens de demanda em um dia de trabalho reduzido. Além da mudança de caminhões maiores para caminhões menores, não abrangidos pela restrição,

empresas tiveram que realizar entregas e coletas após o expediente (CASTRO; KUSE, 2005).

O problema das empresas de distribuição em mudar a frota para pequenos caminhões tem sido reconhecido como uma consequência das restrições de caminhões de grandes dimensões. Estudos sobre as restrições veiculares em Los Angeles desenvolvidos por Hall e Partyka (1991) relataram que as empresas que procuram manter um alto nível de serviço ao cliente são mais propensas a adquirir veículos menores, para manter operações no período de pico. Em Seul, pequenos caminhões tornaram-se populares como consequência da restrição implementada em 1979. Esses caminhões, a maioria com capacidade de 2,5 toneladas, constituem mais da metade de todos os caminhões na Coreia, enquanto no Reino Unido eles são um pouco mais de um quarto de toda a frota. Proprietários coreanos e os clientes preferem caminhões menores por causa da restrição combinada com preferência para pequenas remessas. Em Metro Manila, nas Filipinas, Kirby *et al.* (1986) observaram que as restrições de caminhões grandes, que começou em 1978, desencadeou um aumento na utilização de caminhões de pequeno porte não abrangidos pelas restrições.

A questão da mudança para pequenos caminhões, com a finalidade de contornar as restrições, é importante para avaliar as mudanças na qualidade do ar devido ao congestionamento. Porém, os efeitos dessa substituição também não são tão bem compreendidos. Contudo, sabe-se que pode afetar a quantidade de quilômetros rodados por veículo, a quantidade de hora por veículo e as emissões (CAMPBELL. 1995).

2.4.1 Relação quilometragem rodada por veículo

Um fator que pode aumentar é a relação veículos por quilômetros. O regime de restrição significa tempo de entrega reduzido para o caminhão em operação. Esta redução no tempo de operação implica que os caminhões não serão capazes de realizar multi-paradas e entregas consolidadas. Assim, para aliviar este efeito, as empresas de distribuição passam a utilizar vários caminhões, conduzindo paradas únicas e diretas. Além disso, rotas alternativas são criadas para o atendimento da demanda, geralmente esses trajetos alternativos são mais longos o que também aumentaria essa relação de quilometragem rodada por veículo (CASTRO;KUSE, 2005).

2.4.2 Relação de tempo de viagem por veículo

O principal benefício da restrição de caminhão para a hora de pico é o aumento da velocidade média, provocado pelo volume reduzido, ausência de grandes caminhões e/ou eliminação de obstáculos provocados pelas quebras e incidentes recorrentes na categoria. Por outro lado, a redução do volume de caminhões poderia resultar em maior volume de passageiros de carros durante as horas de pico nas rotas restritas, ou seja, o espaço disponível devido à eliminação de caminhões seria simplesmente utilizado por veículos particulares em si. Em adição, as empresas de transporte de carga para manter os níveis de serviço iguais ou superiores seriam forçadas a usar caminhões menores que são isentos da restrição. Sendo assim, não ocorreria a diminuição do volume, mas sim o aumento de volume de pequenos caminhões que utilizam as rotas proibidas durante os horários de pico. Assim, esse aumento no volume de carros de passageiros e caminhões pequenos resultaria em maior tempo nas viagens nesse período, já que as velocidades médias seriam menores, aumentando assim a relação de tempo de viagem por veículo (CASTRO;KUSE, 2005).

2.4.3 Emissões

As emissões são fortemente dependentes da quantidade de quilômetros percorridos e velocidade de deslocamento. Assim, qualquer mudança na relação veículos-quilômetros e veículos-horas resultaria em mudanças na quantidade de emissão. Fatores que afetam a distância total incluem aumento do uso de rotas alternativas por grandes caminhões e maior uso de caminhões com fatores de baixa carga, devido ao tempo reduzido para as entregas. Por outro lado, a velocidade de viagem é afetada positivamente pela redução do volume de caminhões em vias proibidas, e negativamente pelo aumento do volume dos automóveis de passageiros e caminhões pequenos isentos da restrição (CASTRO; KUSE, 2005).

Segundo Castro *et al.* (2003) os estudos realizados em Metro Manila, nas Filipinas, relataram que restrições adicionais aumentaram significativamente a relação da quantidade de quilômetros rodados por veículo e a quantidade de horas por veículo. Dessa forma, foi constatado que houve aumento no consumo de combustível e consequentemente na emissão de poluentes atmosféricos.

3 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E QUALIDADE DO AR

A concentração dos poluentes na atmosfera em determinado local é geralmente utilizada para caracterizar a qualidade do ar. Entretanto, a concentração dos poluentes nunca é constante ao longo do tempo, sendo o resultado da conjugação de uma série de condições ou influências como ilustrado na FIG.2, que demonstra a caracterização da qualidade do ar.

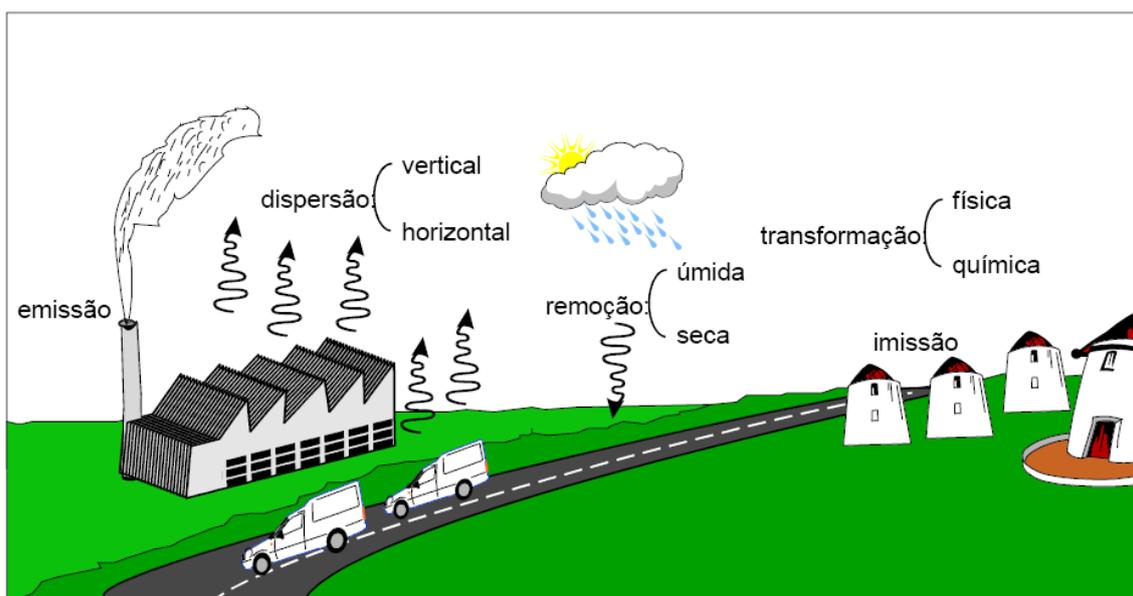


FIGURA 2 - Fenômenos relacionados com a deterioração da qualidade do ar em determinada região.
Fonte: Melo (1998)

A emissão de poluentes, isto é, a natureza e a quantidade das substâncias lançadas na atmosfera pelas fontes de poluição situadas na região determinada, é o primeiro fator a ser considerado. A emissão pode ser de origem natural ou antropogênica e, comumente, são divididas em fonte fixa e fonte móvel, esta o foco deste trabalho.

De acordo com Melo (1998), após a emissão, os poluentes dispersam-se, isto é, diluem na atmosfera por meio de processos difusivos. Os poluentes sofrem, ainda, processos de transformação física ou química que determinarão o desaparecimento (consumo) dos mesmos que poderão acarretar a formação de novas substâncias. Portanto, os poluentes também podem ser classificados como primários (diretamente emitidos) ou secundários (formados na atmosfera).

Finalmente, a atmosfera apresenta ainda mecanismos de autodepuração, que é a remoção dos poluentes. Esses mecanismos incluem a deposição úmida, por meio da chuva, que arrasta consigo material dissolvido e disperso na atmosfera (gases e partículas), ou a deposição seca. A deposição seca atua principalmente sobre as partículas, já que elas apresentam a tendência de precipitação em direção ao solo sob a ação da gravidade. Esta também ocorre com os poluentes gasosos que são absorvidos na superfície terrestre pelos corpos d'água, pelo solo e pelos seres vivos. A assimilação, ou seja, a retirada desses poluentes pela população ou pelos recursos ambientais é considerada como imissão (MELO, 1998).

O grau de contaminação da atmosfera em determinada região depende da conjugação de todos esses fatores apresentados (emissão, dispersão, transformação física ou química, remoção, deposição úmida ou seca e imissão), os quais estão relacionados com as condições atmosféricas, que são consideradas instáveis. Como consequência, a concentração de poluentes em qualquer local sofrerá flutuação considerável ao longo do tempo. As flutuações refletirão as condições de lançamento de poluentes e as condições atmosféricas que determinam a dispersão, transformação e remoção dos mesmos (MELO, 1998).

No Brasil, a Resolução que define os padrões de qualidade do ar é a CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. Os parâmetros regulamentados são os seguintes: partículas totais em suspensão, partículas inaláveis (PM-10), fumaça, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio (QUADRO 2).

QUADRO 2 - Padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990

| POLUENTE | TEMPO DE AMOSTRAGEM | PADRÃO PRIMÁRIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PADRÃO SECUNDÁRIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|-----------------------|----------------------------|--|--|
| PTS | 24 horas* | 240 | 150 |
| | MGA** | 80 | 60 |
| MP10 | 24 horas * | 150 | 150 |
| | MAA*** | 50 | 50 |
| Fumaça | 24horas | 150 | 100 |
| | MAA | 60 | 40 |
| SO₂ | 24horas | 365 | 100 |
| | MAA | 80 | 40 |
| NO_x | 1 hora | 320 | 190 |
| | MAA | 100 | 100 |
| CO | 1 horas | 35 ppm | 35 ppm |
| | 8 horas | 9 ppm | 9 ppm |
| O₃ | 1 hora | 160 | 160 |

*Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano

**MGA- Média Geométrica Anual

***MAA- Média Aritmética Anual

Fonte: Brasil (1990)

Com o objetivo de permitir uma informação precisa e rápida, facilmente compreendida sobre os níveis diários de qualidade do ar de uma região, foi estabelecido pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) por meio do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) o Índice de Qualidade do Ar (IQAr). Este possui a seguinte escala: boa, regular, inadequada, má, péssima ou crítica. Ele é uma ferramenta para alertar a população e para determinar a adoção de medidas de emergência, caso os níveis de poluição atinjam valores perigosos para a saúde humana (BRASIL, 1990).

De acordo com Tavares (2009), esse índice é utilizado desde 1981 e foi criado usando como base a experiência desenvolvida no Canadá e nos Estados Unidos. Ele é obtido utilizando uma função linear segmentada, onde os pontos de inflexão são os padrões de qualidade do ar. Desta função, que relaciona a concentração do poluente com o valor do índice, resulta um número adimensional referido a uma escala com base nos padrões de qualidade do ar. Para cada poluente medido é calculado um índice e definido pelas cores conforme o QUADRO 3.

QUADRO 3 - Índice de qualidade do ar

| Classificação | Índice | Níveis de Cautela sobre a Saúde | PM-10 Média 24h($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | SO₂ Média 24h($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | CO Média 8h(ppm) | O₃ Média 1h($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | NO₂ Média 1h($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|----------------------|---------------------|--|---|--|-------------------------|--|---|
| BOA | 0-50 | | 50 | 80 | 4,5 | 80 | 100 |
| REGULAR | 51-100 | | 150 | 365 | 9 | 160 | 320 |
| INADEQUADA | 101-199 | Atenção | 250 | 800 | 15 | 400 | 1130 |
| MÁ | 200-299 | Alerta | 420 | 1600 | 30 | 800 | 2260 |
| PÉSSIMA | 300-399 | Emergência | 500 | 2100 | 40 | 1000 | 3000 |
| CRÍTICA | Acima de 400 | Crítica | 600 | 2620 | 50 | 1200 | 3750 |

Fonte: FEAM (2001)

3.1 Principais poluentes

Nos próximos tópicos serão caracterizados os principais poluentes emitidos por veículos automotores.

3.1.1 Materiais particulados

Os poluentes atmosféricos conhecidos como materiais particulados ou fuligem não constituem uma espécie química definida. Estes são um conjunto de partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensos no ar na forma de poeira, neblina, fumaça, aerossol e fuligem com diâmetro aerodinâmico menor que 100 micrometros. Os materiais particulados são emitidos por indústrias, veículos, construção civil, pelo arraste natural de poeiras dentre outros. Podem ser classificados como Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Partículas Inaláveis (PI) em função do diâmetro das partículas. Até 1989, a legislação brasileira preocupava-se apenas com as partículas totais em suspensão, ou seja, qualquer tipo de partícula que se mantém suspensa no ar (partículas menores que 100 micrometros, geralmente). No entanto, são as partículas mais finas, menores que 10 micrometros e consideradas partículas inaláveis (PI), que apresentam mais riscos à saúde. Assim, a partir de 1990, a legislação brasileira passou a se preocupar, também, com as partículas inaláveis (FEAM, 2001).

As PTS são partículas com diâmetro menor que 100 micrometros. Lançados na atmosfera podem provocar alguns efeitos sobre a saúde. Dessa forma, sabe-se que quanto menor o tamanho da partícula maior o efeito, intensificando assim problemas pulmonares como asma e bronquite. Com relação ao meio ambiente as PTS provocam danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo (FEAM, 2001).

As PI podem ser definidas como MP10 (material particulado com diâmetro igual ou menor que 10 micrometros) ou MP2,5 (material particulado com diâmetro igual ou menor que 2,5 micrometros). As partículas derivadas do processo de combustão em fontes móveis e fixas, em geral, são de menor tamanho, apresentando diâmetro menor que 2,5µm e têm maior acidez, podendo atingir as porções mais inferiores do trato respiratório, prejudicando as trocas gasosas. Entre seus principais componentes temos carbono, chumbo, vanádio, bromo e os óxidos de enxofre e nitrogênio, que na forma de aerossóis, uma estável mistura de partículas suspensas em um gás, são a maior fração das partículas finas (FEAM, 2001).

3.1.2 Fumaça

A fumaça está associada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão. O método de determinação da fumaça é baseado na medida de refletância da luz que incide na poeira (coletada em um filtro), o que confere a este parâmetro a característica de estar diretamente relacionado ao teor de fuligem na atmosfera (FEAM, 2001).

3.1.3 Monóxido de carbono

O monóxido de carbono (CO) é um dos mais perigosos tóxicos respiratórios para os homens e animais. Este não é percebido pelos sentidos, já que não possui cheiro, não tem cor e não causa irritação. O CO é encontrado em altos níveis nas áreas de intensa circulação de veículos dos grandes centros urbanos. Consequentemente, os veículos são considerados os maiores vilões deste tipo de poluição. Eles emitem mais (CO) do que as indústrias e lançam este gás ao nível da rua, atingindo diretamente o sistema respiratório das pessoas (FEAM, 2001).

3.1.4 Óxidos de nitrogênio

As principais fontes de óxidos de nitrogênio (NO_x) são os motores dos automóveis. As usinas termoelétricas e indústrias que utilizam combustíveis fósseis contribuem em menor escala. Durante a combustão sob elevadas temperaturas, o oxigênio reage com o nitrogênio formando óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2) e outros óxidos de nitrogênio (NO_x). Estes compostos são extremamente reativos e na presença de oxigênio (O_2), ozônio (O_3) e hidrocarbonetos (HC), o NO se transforma em NO_2 . Por sua vez, NO_2 na presença de luz (no caso o sol) reage com hidrocarbonetos e oxigênio formando ozônio (O_3) considerado um poluente secundário cujo NO_x são os seus principais precursores (FEAM, 2001).

O óxido de nitrogênio é composto por 90% de monóxido de nitrogênio (NO) e 10% de dióxido de nitrogênio (NO_2). O NO é uma substância incolor, inodora e insípida. Ainda não se comprovou que o NO constitua perigo à saúde nas concentrações em que é encontrado nas cidades. Porém, em dias de radiação intensa, o NO é oxidado, transformando-se em NO_2 (FEAM, 2001).

O NO_2 apresenta alta toxicidade, sua cor é marrom-avermelhada, possui cheiro e gosto desagradáveis e é muito irritante aos olhos e a pele. O NO_2 reage com a água presente no ar e forma um dos principais componentes da chuva ácida: o ácido nítrico (HNO_3). Nas reações atmosféricas secundárias, o NO_2 associado ao HC, é também responsável pelo surgimento do *smog* fotoquímico (FEAM, 2001).

3.2 Fontes móveis

A poluição do ar causada pelos meios de transporte tem sido foco de estudos e pesquisas no Brasil, onde apontam a importância de sua parcela para a degradação da qualidade do ar nos grandes centros urbanos, segundo o ministério do meio ambiente (Brasil, 2006b).

Conforme mencionado anteriormente, a modalidade de transporte que possui maior importância nos grandes centros urbanos do Brasil é o rodoviário. Esta modalidade tornou-se a primeira opção de transporte adotada em nível mundial desde a década de

1950. Devido a sua magnitude, esse modo de transporte tornou-se uma das principais fontes de poluição do ar, principalmente nas regiões urbanas.

De acordo com o ministério do meio ambiente, as emissões de poluentes originadas pelo uso de veículos automotores podem ser divididas em cinco formas: I) emissões de gases e partículas pelo escapamento do veículo- que são subprodutos da combustão lançados à atmosfera pelo tubo de escapamento; II) emissões evaporativas de combustível- que são lançadas na atmosfera através de evaporação de hidrocarbonetos do combustível; III) emissões do cárter do motor- que são subprodutos da combustão que passam pelos anéis de segmento do motor e por vapores do óleo lubrificante; IV) emissões de partículas provenientes do desgaste de pneus, freios e embreagem e V) ressuspensão de partículas de poeira do solo (BRASIL, 2006). Nessas emissões, os principais poluentes emitidos são: monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP), partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis e partículas inaláveis finas (BRASIL, 2006).

Cada um destes poluentes é emitido em maior ou menor quantidade, dependendo do combustível utilizado, do tipo de motor, da sua regulagem, do estado de manutenção do veículo e do modo como é corrigido. No caso de um veículo à diesel, pelo fato de ocorrer a formação de fuligem (fumaça), quanto mais preta for a tonalidade da fumaça emitida, maior também será a emissão destes poluentes (DUTRA, 2007).

Os poluentes de origem veicular representam parte importante das emissões totais em grandes centros urbanos, sendo muitas vezes os maiores responsáveis pela poluição atmosférica. Alguns estudos indicam que nos centros metropolitanos a emissão de poluentes é majoritariamente de origem veicular (TEIXEIRA *et al.* 2008; FEAM 2010; CARVALHO 2011; BRAGA *et al.* 1994).

3.3 Metodologias de estimativa de emissão

A maior dificuldade de estimar a emissão de poluentes é a obtenção de dados sendo eles: ano/modelo de fabricação dos veículos, tipo e consumo do combustível, quilometragem rodada, fatores de emissão dentre outras informações. Dessa forma, foram elaboradas várias formas de estimar essas emissões. Como esse trabalho visa o

transporte de cargas, serão apresentadas três principais metodologias para estimar a emissão de poluentes por veículos pesados movidos a diesel, que foram determinadas pelo Ministério Ciência e Tecnologia (MCT), pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) e pela EPA (*Environmental Protection Agency*).

3.3.1 Metodologia MCT (BRASIL, 2004)

O levantamento dos dados de caracterização da frota de veículos no Brasil não é muito preciso. Isso se deve ao fato das informações provenientes dos cadastros estaduais conterem imprecisões acarretadas pela existência de registros múltiplos e pela falta de controle dos veículos que saem de circulação. Sendo assim, o Ministério da Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2004) optou por estimá-la a partir dos dados disponíveis de vendas e importações de veículos. A partir desses dados foi possível chegar ao total de veículos vendidos no Brasil. Além disso, foi utilizada uma curva de sucateamento disponibilizada pela Petrobrás. A partir das vendas de veículos no mercado nacional e da curva de sucateamento pode-se estimar o tamanho da frota por ano de fabricação.

Foi necessário ainda, para o cálculo das taxas de emissão, estimar o consumo total de diesel no transporte rodoviário, para o período em estudo. No caso do relatório do Ministério da Ciência e Tecnologia Brasil (2004), foi utilizado o período de 1990 a 1994. O Balanço Energético Nacional apresenta esses dados mas não informa a sua distribuição pelas diferentes categorias de transporte pesado. Sendo assim, o total do diesel deve ser distribuído pelas categorias de transporte rodoviário (caminhão, ônibus e comerciais leves) para cada ano, segundo um fator de rateio. Por fim, as emissões totais da frota a diesel foram calculadas multiplicando-se o consumo total de diesel pelos fatores de emissão. No cálculo das emissões de CO, HC e NO foram usados fatores de emissão construídos a partir dos limites estabelecidos pelo CONAMA para as emissões de veículos novos.

3.3.2 Metodologia CETESB (1994)

A metodologia de cálculo adotada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 1994) é semelhante à utilizada pela *Environmental Protection*

Agency (EPA), que será explicada adiante com maior detalhe. A CETESB (1994) considera que a emissão total de um determinado poluente atmosférico por veículos automotores, de um período estipulado, é a soma das emissões desse poluente pelos veículos que compõem a frota circulante no referido período. Por questões de avanços tecnológicos e introdução de novos modelos foi necessário, de acordo com a CETESB, agrupar os veículos considerando o ano/modelo de fabricação. Dessa forma, na configuração do cálculo, são considerados a quilometragem média anual da frota de cada ano/modelo, a emissão média ou típica do poluente em questão, o número de veículos da frota circulante, assim como a taxa de variação da emissão em função do uso do veículo ao longo do tempo. Esta taxa é comumente denominada de fator de deterioração. O uso do fator de deterioração é importante, pois confere aos valores calculados uma melhor representatividade.

A emissão de cada poluente num determinado ano é calculada multiplicando-se a frota deste ano pela quilometragem anual média dos veículos em circulação (TAB. 1) e pelo fator de emissão (g/Km) por ano de fabricação e pelo fator de deterioração. O resultado é expresso em toneladas de poluentes emitidos por ano (t/ano). O fator de emissão deve ser expresso em (g/km), sempre que possível, para associar este valor à quilometragem rodada, o que permite calcular a emissão em massa do poluente.

TABELA 1 - Quilometragem média anual percorrida por tipo de veículos na Região Metropolitana de São Paulo

| TIPO DE VEÍCULO | Km por ano |
|--------------------------|------------|
| Gasolina | 11.858 |
| Álcool | 14.002 |
| Diesel | 80.000 |
| Táxi | 60.000 |
| Motocicletas e similares | 5.200 |

Fonte: CETESB (1994).

A CETESB (1994) não possui Fatores de emissão para veículos a diesel. Dessa forma, para o cálculo dos fatores de emissão destes veículos foram utilizados os fatores do EPA (2007).

3.3.3 Metodologia EPA (2007)

A EPA (2007) desenvolveu várias ferramentas e modelos para estimar as taxas de emissão produzidas por veículos automotores. Para determinar essas taxas são necessários os fatores de emissão, as características da frota de veículos e do combustível, além das características da região (altitude, temperatura, por exemplo). Nenhum desses fatores é considerado estático: a tecnologia evolui a todo instante mudando a forma de comportamento das emissões.

As mudanças no combustível são constantes. Por exemplo, no Brasil, existiu na década de 1980, um grande incentivo federal para a utilização de veículos a álcool, o denominado Proálcool. Entretanto fatores econômicos diminuiu a produção desse biocombustível oriundo da cana-de-açúcar o que acarretou na sua escassez e consequente aumento do preço. Essa mudança de comportamento pode ser vista também no Gás Natural Veicular (GNV), cujo Governo Federal incentivou o seu consumo promovendo campanhas de conversão dos veículos e utilização desse combustível. Entretanto, problemas de política internacional fizeram com que a importação do GNV fosse dificultada. Na atualidade, o desenvolvimento dos modelos de motor que utilizam três tipos de combustível - álcool, gasolina e álcool/gasolina – fez com que o álcool voltasse a ser utilizado, principalmente devido ao aumento do preço do petróleo (FEAM, 2001).

Com relação ao diesel também é possível observar fatores que podem interferir nos estudos sobre a emissão de poluentes. No Brasil, o teor de enxofre do diesel comercializado nas regiões metropolitanas é diferente das demais regiões do país, como já mencionado anteriormente. Além disso, o biocombustível em foco, o biodiesel, vem sendo implementado nas frotas do país, o que também implica em modificações nas taxas de emissão de poluentes (FEAM, 2005).

Sendo assim, é necessário um grande empenho para definir, de forma mais correta possível, os fatores de emissão e fazer com que estes sejam atualizados, já que deve-se considerar a influência de todos os fatores não estáticos para estimar os níveis de emissão veicular. Para estimar os fatores de emissão, são feitas medições em veículos novos com diferentes quilometragens e ano de fabricação. Isso permite que se obtenha

um fator de emissão baseado nos anos de fabricação dos veículos, obtendo assim os fatores de deterioração das emissões dos mesmos em relação as emissões dos veículos quando novos com quilometragem percorrida igual a zero, ou seja, número de milhas igual a zero (BRASIL, 2006b).

No programa desenvolvido pelo EPA (2007), o Mobile 4.1, que define as taxas de emissão de poluentes por veículos nos centro urbanos, devem ser fornecidos dados para dois tipos de região *Low-altitude* (baixa altitude) ou *High-altitude* (alta altitude). A baixa altitude é definida por áreas que estejam em torno de 500 pés com relação ao nível do mar. Utilizando a conversão de que 100 pés equivale a 30,48 metros, pode-se inferir que corresponde a região que esteja até 1500 metros de altitude em relação ao nível do mar. Já a definição de alta altitude corresponde a áreas localizadas acima de 150 metros de altitude com relação ao nível do mar.

A altitude interfere diretamente na pressão e densidade do ar, que por sua vez têm efeito na eficiência da razão ar/combustível. Como a densidades do ar diminui à medida que a altitude aumenta, o ar que está sendo admitido pelo motor é reduzido de 4% a 5%, por acréscimo de 100 metros na altitude. A potência do motor diminui proporcionalmente a redução da densidade do ar. Como resultado da diminuição da densidade do ar, a razão ar/combustível torna-se mais rica, levando a um maior consumo de combustível e, conseqüentemente, aumentando as emissões de CO e HC (FILIZOLA, 2005).

As emissões dos veículos variam de acordo com a quilometragem rodada, o que a EPA (2007) denomina de *vehicle miles traveled* (VTM). Sendo assim, é necessário calcular a quilometragem média para cada tipo de veículo. A metodologia mais simples para estimar a quilometragem por dia é multiplicar a distância média percorrida por viagem pela quantidade de viagens por dia.

3.3.4 Metodologia MMA (2011)

No Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, foi utilizado a metodologia bottom-up. Essa metodologia tem por característica quantificar e identificar a emissão de poluentes de forma desagregada, permitindo assim a gestão individualizada de cada fonte.

Nessa metodologia, para o cálculo das emissões faz-se necessário a identificação de três principais conjuntos de dados: frota circulante (Fr), intensidade de uso (Iu), e fator de emissão (Fe). Devido à grande diversidade de tipos, idades e condições operacionais dos veículos, elementos importantes na metodologia do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2011), como fatores de emissão, intensidade de uso de veículos, composição e tamanho da frota, podem apresentar um grau de incerteza significativo, e que se refletem nos cálculos das emissões.

Contudo, O 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários representa, em sua escala de aplicação, um avanço importante na oferta de dados oficiais voltados ao suporte de políticas e programas de melhoria tecnológica de veículos, combustíveis e da qualidade ambiental (BRASIL, 2011).

4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo apresenta uma abordagem quantitativa, com o intuito de analisar o impacto da restrição de circulação de veículos de carga na emissão de poluentes atmosféricos. Essa política de restrição é comumente adotada em centros urbanos com fluxo intenso de veículos, a fim de melhorar a mobilidade urbana e qualidade de vida da população.

Considerando os trabalhos de Campbell (1995), Castro (2004; 2005) e Quak e Koster (2009), um dos impactos diretos da restrição veicular para as empresas transportadoras é a necessidade de aquisição de novos veículos que atendam as exigências impostas para a circulação no meio urbano. Neste contexto, a metodologia contempla, em função das políticas de circulação para veículos de carga, identificar as operações logísticas adotadas pelas empresas para atender a nova regulamentação e, determinar o impacto ambiental que esta nova regulamentação impôs ao meio urbano.

A metodologia possui as nove etapas conforme a FIG. 3, que são detalhadas a seguir.

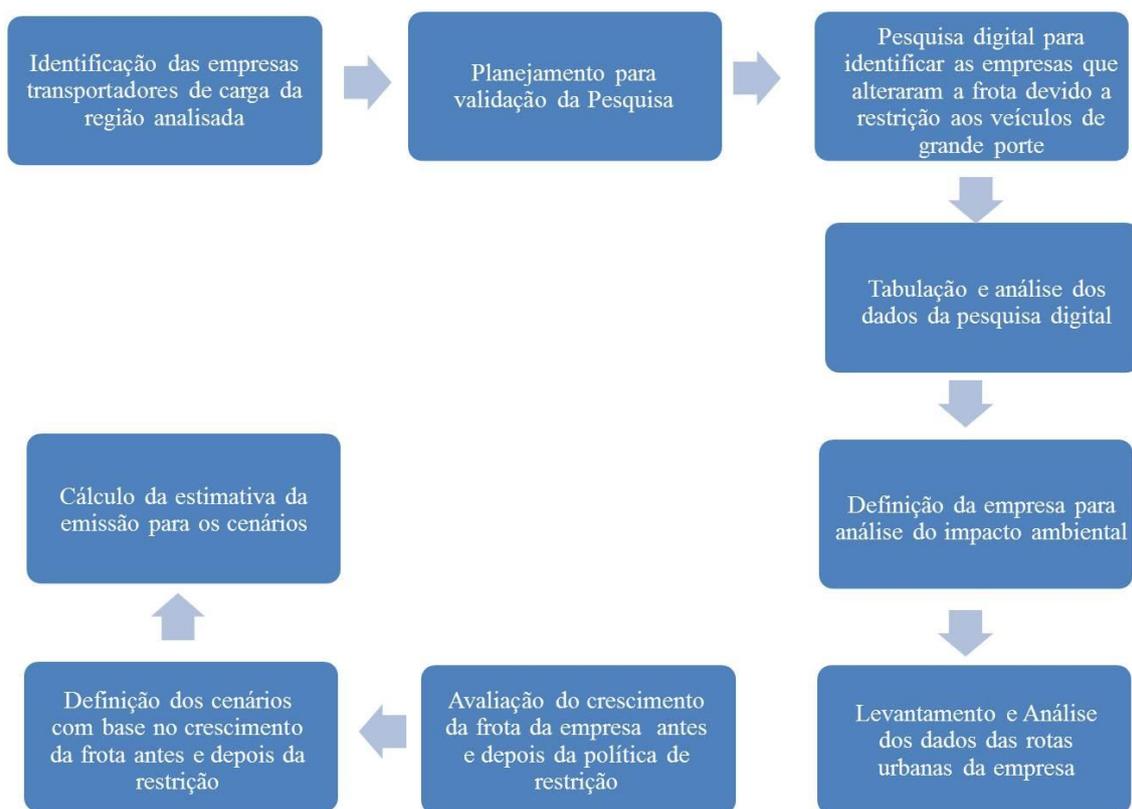


FIGURA 3 – Diagrama da metodologia

4.1 Identificação das empresas de transporte de carga da região analisada

Para identificar as empresas que operam na região utilizou-se dos contatos das federações, sindicatos, fundações e organizações governamentais que possuem cadastros das empresas operadoras logística. Esse cadastro deve conter informações de caracterização das empresas como: tamanho, área de abrangência e tipo de serviços prestados, além de contatos (e-mail e telefone) necessários para as próximas etapas da metodologia.

4.2 Pesquisa digital (via internet)

A pesquisa digital (via internet) elaborada tem finalidade de identificar se houve aquisição de veículos de menor porte pelas empresas transportadoras para atender a política de restrição de circulação de veículos pesados na área analisada. Para tal, foi necessário a elaboração de um questionário enviado por correio eletrônico para os contatos adquiridos na primeira etapa dessa metodologia.

Na elaboração do questionário, conforme Moreira (2012), é preciso identificar o real interesse da pesquisa e adequá-los ao menor número de perguntas possível. Nesse ponto, é fundamental ser objetivo e não realizar perguntas desnecessárias para que não se prolongue o questionário e provoque resistência das empresas em respondê-lo. Perguntas referentes a fatores econômicos devem ser evitadas, já que dificilmente serão informados. Apesar de configurarem certa importância para essa pesquisa, já que, quanto melhor o desempenho econômico melhor o desempenho ambiental, a obtenção desse tipo de informação acarreta empecilhos para a participação da empresa.

Tendo em vista o trabalho de Castro e Kuse (2005), foram realizadas oito perguntas para o questionário elaborado na plataforma Google docs¹ e apresentado na FIG 4.

¹ O google docs é uma ferramenta on-line desenvolvido pelo Google, podendo ser utilizado por qualquer navegador de internet (*Browser*). Essa ferramenta é constituída por um editor de texto, editor de apresentações, editor de folhas de cálculo e editor de formulários.



Pesquisa de Transporte de Carga

Estudo desenvolvido para identificar e analisar as modificações nas características (tamanho) dos veículos que compõe a frota devido à política de restrição de circulação de veículos pesados no hipercentro de Belo Horizonte.

***Obrigatório**

Nome da empresa *

Localização da empresa (endereço completo)

Quantos anos a empresa está no mercado? *

- Menos que 3 anos
- Mais que 3 anos

Realiza entregas/ coletas no hipercentro de Belo Horizonte? *

- SIM
- NÃO

Após a legislação de restrição de circulação de veículos pesados (carga) no hipercentro de Belo Horizonte , datada de 13 de outubro de 2009, a empresa alterou a composição da frota para atender as demandas, ou seja, adquiriu veículos de menor porte? *

- SIM
- NÃO

Qual o tamanho da frota atual (2012)?

Qual a quantidade de funcionários registrados (2012)?

Quais os principais produtos de entrega/coleta?

Enviar

Tecnologia [Google Docs](#)

FIGURA 4 – Questionário *Google Docs* aplicado às empresas de transporte de cargas.

A primeira e segunda informação solicitada consiste na identificação e confirmação dos dados da empresa. A terceira informação relaciona-se ao tempo da empresa no mercado, já que é necessário identificar se esta operava anteriormente à data da implantação da legislação de restrição de circulação de cargas da área analisada. Dessa forma, como a política de restrição da área abordada nesse trabalho é de 2009, foi questionado se a empresa tem, aproximadamente, três anos de existência. A quarta informação solicitada caracteriza se a empresa realiza entrega ou coleta na área da restrição de circulação de veículos pesados. A quinta informação é de maior importância, determina se a empresa alterou a frota devido à referida política de restrição. Por fim, as três últimas informações solicitadas têm a finalidade de caracterizar a empresa, definindo o porte da empresa e os tipos de produtos entregues e coletados.

Inicialmente, planejou-se que a pesquisa fosse aplicada apenas por meio digital. A utilização da rede internacional de computadores (Internet) possui algumas vantagens como: o baixo custo em comparação com as pesquisas presenciais, menor tempo gasto para aplicação dos questionários e o fato de não existir a presença do entrevistador que poderia inibir o entrevistado a responder certas perguntas. Em contrapartida, as desvantagens são: o índice de não resposta é muito alto, a ausência do entrevistador prejudica a qualidade das respostas, pessoas com baixa escolaridade podem ter dificuldades de seguir as instruções e ainda não é possível garantir que o respondente do correio eletrônico é a pessoa previamente escolhida (MCCABE *et al.*, 2008 *apud* MOREIRA 2012). Devido a esses pontos foi determinado, também, a necessidade de possíveis contatos via telefone.

4.3 Validação da pesquisa com planejamento amostral

O objetivo da estatística é fazer inferências sobre uma população com base nas informações obtidas em uma amostra. Em muitos casos, a inferência será na forma de uma estimativa de um parâmetro da população, tais como média, total ou proporção, com um limite no erro de estimação.

Nessa pesquisa, a inferência será sobre a proporção de empresas que alteraram a composição da frota de veículos de carga, após a legislação de restrição de circulação de

veículos pesados no hipercentro de Belo Horizonte, datada de 13 de outubro de 2009. Portanto, a variável da pesquisa é categórica e do tipo dicotômica, considerando que devido à legislação de restrição de circulação a empresa alterou ou não a composição da frota.

Para realizar a inferência para a proporção de empresas que alteraram a composição da frota com um erro de estimação de 0,10, foi utilizado o planejamento amostral básico denominado amostragem aleatória simples sem reposição. Neste planejamento, cada empresa identificada na primeira etapa da metodologia tem a mesma probabilidade de ser selecionada para compor uma amostra de tamanho n .

Contudo, deve se analisar alguns pontos para o cálculo amostral, tais como:

- tamanho da população;
- erro amostral definido a priori;
- quanto menor o erro amostral desejado, maior será o tamanho da amostra;
- quanto maior o nível de confiança definido, maior será o tamanho da amostra;
- quanto maior a homogeneidade da população, ou seja, quanto menor a variância da variável analisada, menor será o tamanho da amostra;
- tempo, verbas e pessoal disponíveis, dificuldade na obtenção dos dados e complexidade do experimento.

Conforme apresentado por Scheaffer, Mendenhall e Otti (1990), o cálculo do tamanho da amostra para a amostragem aleatória simples foi efetuado pela EQ. (1).

$$n = \frac{NE^2}{(N - 1) * \left(\frac{d}{z_{\frac{\alpha}{2}}}\right)^2 + \delta^2} \quad (1)$$

onde:

$z_{\frac{\alpha}{2}}$ = o valor da abscissa da distribuição da probabilidade normal para o nível de confiança do $(1 - \alpha)\%$.

N = tamanho da população

δ^2 = Variância da variável analisada, considerando todas as unidades populacionais. Para uma variável dicotômica, $\delta^2 = P(1-P)$, onde p é a proporção de unidades da população para as quais a variável analisada assume um determinado valor. Quando não se tem ideia dessa proporção, utiliza-se o valor de $p=0,50$, o que faz com que a variância seja a máxima possível e cujo tamanho amostral seja maior que o necessário.

d = erro amostral

A definição do tamanho da amostra e o erro amostral é importante para determinar a representatividade da pesquisa tendo em vista a quantidade de empresa atuante na região analisada.

As informações fornecidas pelas n empresas que compõem a amostra permitem calcular a proporção amostral (\hat{p}) de empresas que modificaram a composição da frota de veículos pesados (carga) devido à restrição de circulação no hipercentro de Belo Horizonte.

A proporção amostral (\hat{p}) permite inferir sobre a proporção populacional (P), por meio do intervalo de 90% de confiança, cujo limite inferior foi calculado conforme apresentado na EQ. 2:

$$LI = \hat{p} - 1,65 \sqrt{\hat{v}(\hat{p})} \quad (2)$$

e o limite superior conforme apresentado na Eq. 3:

$$LS = \hat{p} + 1,65 \sqrt{\hat{v}(\hat{p})} \quad (3)$$

sendo que:

$$\hat{v}(\hat{p}) = \frac{\hat{p}\hat{q}}{n-1} * \left(1 - \frac{M}{N}\right).$$

A EQ. 2 e a EQ. 3 permitem inferir, com 90% de confiança, que dentre as empresas que operam na região e que foram identificadas na primeira etapa da metodologia, a proporção delas que modificaram a composição da frota de veículos pesados (carga) devido à restrição de circulação no hipercentro de Belo Horizonte seja maior que LI e menor que LS.

4.4 Tabulação e análise dos dados da pesquisa digital

A partir dos dados da pesquisa digital elaborada, foi realizada uma análise do comportamento das empresas perante a regulamentação de restrição do trânsito de veículos de carga. Foi definido o percentual das empresas que adquiriram veículos de menor porte como consequência dessa regulamentação.

4.5 Definição das empresas para análise do impacto ambiental

Conforme as implicações dos estudos de logística e transporte de carga no país, existem poucas informações sobre o transporte de carga. Além disso, conforme Moreira (2012), pesquisas podem não ser de interesses dos transportadores, que em alguns momentos não disponibilizam os dados necessários para os desenvolvimentos dos estudos. Dessa forma, deve-se solicitar aos sindicatos, federações e órgãos governamentais que sugiram empresas que já participaram de programas e pesquisas para facilitar a obtenção dos dados.

O estudo de caso propõe analisar as empresas da região de forma mais detalhada, ou seja, uma análise das quilometragens anuais percorridas e das características de composição da frota antes e depois da política de restrição. O intuito original era solicitar os dados de todas as empresas a fim de conseguir representatividade estatística e definir um percentual de mudança na emissão dos poluentes pelas empresas. Contudo, há uma grande dificuldade na obtenção desse tipo de dado. Dessa forma, foi necessário a definição de uma empresa que possua e disponibilize os dados de frota anteriores e posteriores à política de restrição de circulação da área analisada. Esses dados necessitam ter o ano, modelo de fabricação dos veículos, quilometragem percorrida e tipo de combustível.

4.6 Levantamento e análise dos dados das rotas urbanas da empresa

Com os dados obtidos, foi possível relacionar a quilometragem anual percorrida com a quantidade de viagens, definindo a distância média percorrida por viagem, nos anos anteriores e posteriores à política de restrição, neste caso do ano de 2005 até 2011, utilizada a EQ. (4).

$$D = \frac{K(\text{anual})}{S(\text{anual})} \quad (4)$$

onde

D= distância média percorrida por serviço,

K= quilometragem total percorrida (anual),

S=número de coletas e entregas realizadas no período (anual).

De acordo com Castro (2005), tem-se a hipótese de que a utilização de um veículo de menor porte poderá resultar em um aumento da distância média por serviço, devido a menor capacidade do veículo, o que aumentará a distância percorrida para atender a mesma demanda anterior. Para determinar a variação da distância percorrida nos anos anteriores e posteriores à política de restrição utilizou-se a EQ. (5).

$$\Delta D = \frac{\mu D_p - \mu D_a}{\mu D_a} \quad (5)$$

Onde

ΔD = percentual de modificação da distancia média percorrida por serviço,

μD_p = média das distâncias percorridas por serviços nos anos posteriores à restrição,

μD_a = média das distâncias percorridas por serviços nos anos anteriores a restrição.

4.7 Avaliação do crescimento da frota da empresa

A caracterização da composição da frota é importante para identificar as suas modificações após as imposições de circulação definidas pela política de restrição. Sendo assim, é fundamental a disponibilidade de dados históricos da composição dessa frota para a projeção de uma frota em um cenário que não exista as interferências da política de restrição. Dessa forma, para esse estudo é necessário que haja dados anteriores a data da política de restrição de circulação. Com essas informações foi possível identificar a tendência de crescimento da frota no período sem a política de restrição por meio do cálculo de uma taxa geométrica de incremento anual da frota de veículos, a qual define o ritmo de crescimento anual em um determinado período, seguindo os procedimentos apresentados pelo DETRAN (2010). Assim, obteve-se em

percentual o quanto a frota cresceria entre os anos m e n , para m menor que n , considerando que não houve interferência da restrição, utilizando-se a EQ. (6).

$$T = \left(\sqrt[m-n]{\frac{F_m}{F_n}} - 1 \right) * 100 \quad (6)$$

onde

T é a taxa de crescimento anual do período,

F_m é a frota observada no final do período considerado, ou seja, no ano m ,

F_n é a frota observada no início do período considerado, ou seja, no ano n .

Após definir a taxa de crescimento da frota, o próximo passo foi projetar a frota sem a interferência dessa regulamentação de circulação. Assim, com base no quanto a frota evoluiu em percentual, calculou-se a projeção do crescimento para o período posterior (DETRAN, 2010) conforme EQ. (7).

$$F_f = (1 + T) * F_i \quad (7)$$

onde:

T é a taxa de crescimento da frota,

F_i é a frota em um ano i qualquer,

F_f é a frota projetada para o ano f , sendo $f = i + 1$.

Para identificar as modificações da frota em relação ao tamanho dos veículos, utilizou-se as categorias de peso do veículo definidas pelo Primeiro Inventário Nacional de Emissão Veicular conforme QUADRO 4.. Dessa forma, o cálculo da taxa geométrica (T) e da frota (F) a ser projetada foi executado para as categorias: comerciais leves a diesel, caminhões leves, caminhões médios, caminhões pesados e comerciais leves a gasolina.

QUADRO 4 - Classificação dos veículos por categoria de acordo com o PBT.

| Categoria | PBT |
|------------------------------------|-------------------|
| 1 Comerciais Leves a Diesel | PBT < 3,5 |
| 2 Caminhões Leves | 3,5 t < PBT < 10t |
| 3 Caminhões Médios | 10 t < PBT < 15 t |
| 4 Caminhões Pesados | PBT > 15 t |
| 5 Comerciais Leves Gasolina | PBT < 3,5 |

Fonte: BRASIL, 2011 (adaptado).

4.8 Definição dos cenários com base no ritmo de crescimento da frota da empresa antes e depois da restrição

Com base na projeção da frota determinada na etapa anterior foram elaborados dois cenários:

- I) no primeiro cenário, a composição da frota foi determinada devido ao ritmo de crescimento observado para cada categoria no período anterior a política de restrição de veículos de carga (neste caso de 2005 a 2008) e a média de quilometragem rodada, para cada categoria, também do período anterior a política de restrição.
- II) no segundo cenário, foi utilizada a composição da frota real, ou seja, com a interferência da política de restrição de veículos de carga e a quilometragem real rodada no período, para cada categoria

4.9 Cálculo da estimativa de emissão para os cenários

O cálculo da estimativa de emissão utilizado neste trabalho é uma adaptação da metodologia de cálculo utilizada no Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (BRASIL, 2011), que também é a mesma metodologia utilizada no Relatório Técnico de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo (CETESB, 2011).

Para o cálculo das emissões da maioria dos poluentes, foi utilizado à abordagem *bottom-up*, em que a distância anual percorrida por cada tipo de veículo é considerada, por meio de dados como: frota, fator de emissão e quilometragem percorrida. Contudo, a escolha do grau de rigor depende da disponibilidade e qualidade dos dados (BRASIL,

2011). Dessa forma, as emissões de escapamento da frota circulante num determinado ano calendário, para cada poluente e ano modelo de veículo, são estimadas a partir da seguinte Equação. (8):

$$E=Fr \times Iu \times Fe \quad (8)$$

onde

E= é a taxa anual de emissão do poluente considerado (g/ano),

Fr= é a frota circulante de veículos do ano-modelo considerado (número de veículos),

Iu= é a intensidade de uso do veículo do ano-modelo considerado, expressa em termos de quilometragem anual percorrida (km/ano),

Fe= é o fator de emissão do poluente considerado, expresso em termo da massa de poluentes emitida por quilômetro percorrido ($g_{\text{poluente}}/\text{km}$). É específico para o ano-modelo de veículo considerado e depende do tipo de combustível utilizado.

Os fatores de emissão para cada poluente são determinados, previamente, por meio de informações oriundas do PROCONVE para veículos novos que são corrigidas por curvas de deterioração que incrementam os fatores de emissão, conforme avança a idade do veículo (CETESB, 2011; DUTRA, 2007).

A intensidade do uso de veículo é importante para os inventários cujo objetivo principal é estimar a emissão total dos poluentes. Neste caso, o que se pretende identificar é a variação na emissão dos poluentes dos dois cenários. Sendo assim, optou-se por desprezá-la. Assim, para a estimativa de emissão dos cenários utilizou-se a EQ. (9) a seguir.

$$E=Fr \times Fe \quad (9)$$

onde

E= é a taxa anual de emissão do poluente considerado (g/ano),

Fr= é a frota circulante de veículos do ano modelo considerado (número de veículos).

Fe= é o fator de emissão do poluente considerado, expresso em termo da massa de poluentes emitida por quilômetro percorrido ($g_{\text{poluente}}/\text{km}$). É específico para o ano-modelo de veículo considerado e depende do tipo de combustível utilizado.

4.9.1 Fator de emissão ciclo Otto

Os fatores médios de emissão dos poluentes regulamentados pelo PROCONVE - CO, NO_x e hidrocarbonetos não-metano (NMH) - para automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto novos (zero km) são disponibilizados anualmente pela CETESB em seus Relatórios de qualidade do ar. Trata-se de fatores de emissão médios por ano de fabricação.

As emissões de material particulado (MP) por veículo do ciclo Otto não são regulamentadas pelo PROCONVE e, portanto, não são medidas nos ensaios de homologação. Assim, foram adotados os fatores de emissão propostos no Guia Europeu para Inventário de Emissões (*Emission Inventory Guidebook*), EMEP/EEA (2009 *apud* BRASIL 2011), para veículos utilizando gasolina, observando-se a correspondência tecnológica entre veículos europeus e brasileiros.

Os fatores de emissão dos gases e MP encontram-se no ANEXO A. Para informações mais detalhadas da metodologia que define os fatores de emissão conferir Brasil (2011) e Cetesb (2010).

4.9.2 Fator de emissão diesel

Para os veículos do ciclo diesel, foram definidos pelo ministério do meio ambiente Brasil (2011) os mesmos fatores de emissão do Relatório de qualidade do ar do estado de São Paulo - CETESB (2010) conforme tabela no ANEXO B.

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO DE CASO

A pesquisa desenvolvida possui como área de estudo a região central do município de Belo Horizonte situado no estado de Minas Gerais, com um enfoque maior na Zona do Hipercentro (ZHIP) definida pela Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo Urbano nº 7165 de 27 de agosto de 1996.

O município de Belo Horizonte foi criado para ser a sede administrativa do estado de Minas Gerais, inaugurado em 12 de dezembro de 1897. Sua formação inicial não foi fruto de uma aglomeração espontânea, mas de um projeto que objetivava ser contemporânea com ideário positivista, desvinculando-se das características tortuosas e acidentadas das cidades coloniais minerárias. Além disso, a nova sede do governo foi concebida com a função de unificar as distintas regiões do estado e ser um exemplo de força política e econômica (VILELA, 2006).

Concluída em 23 de março de 1895, a planta geral da nova capital (FIG. 5) era organizada em três zonas concêntricas: zonas urbana, suburbana e de sítios. A primeira, localizada na parte central, local do antigo arraial, era dividida em quarteirões regulares (120 X 120 metros) pela malha viária ortogonal (ruas de 20m de largura) com a sobreposição de avenidas (35m) que as cortavam em ângulos de 45°. A zona suburbana, circundando toda a primeira zona e separada por uma avenida de contorno, apresentava quarteirões irregulares e ruas mais estreitas (14m) traçadas conforme a topografia permitia. A terceira zona, por conseguinte, circundava toda a zona suburbana e era destinada aos sítios de pequena lavoura (BARRETO, 1996).

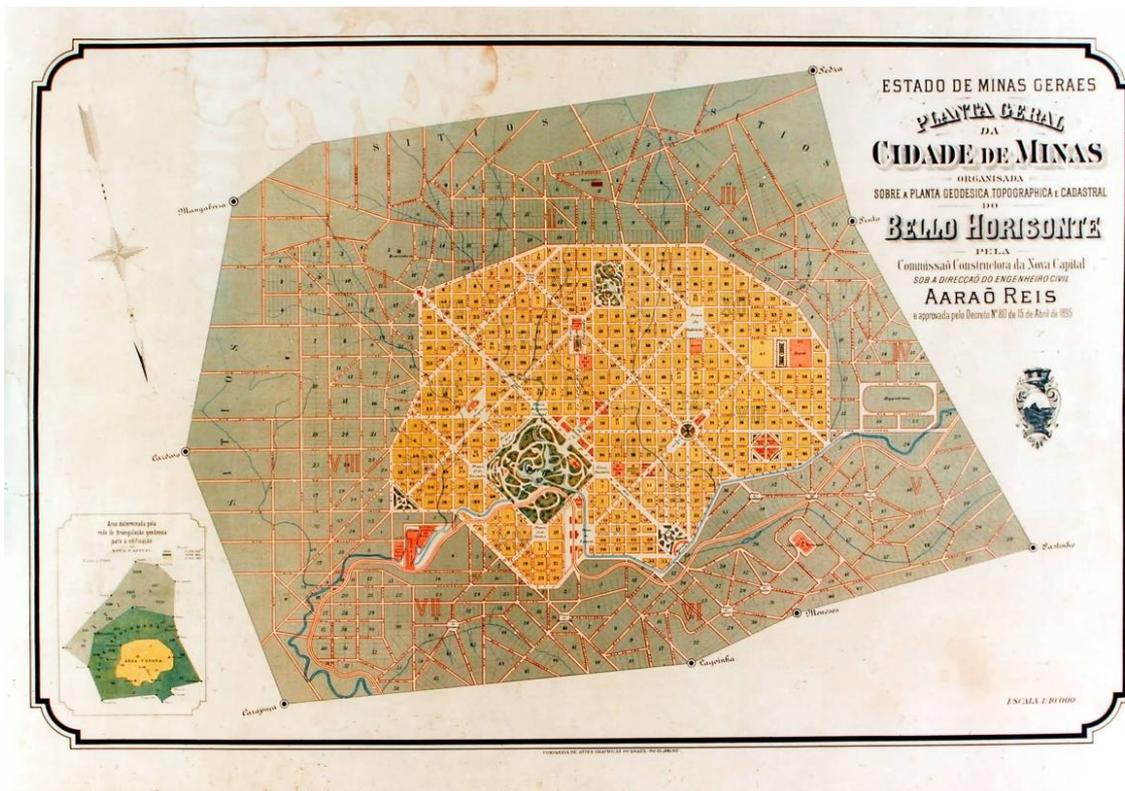


FIGURA 5 – Planta original de Belo Horizonte
 Fonte: FJP (1997 apud BAPTISTA NETO 2012)

A antiga zona urbana é hoje uma pequena parte da área do município de Belo Horizonte, sendo denominada Área Central. Envoltas pela Avenida do Contorno, mantém a mesma estrutura viária concebida no século XIX. Estas estruturas foram projetadas por engenheiros que acreditavam que após cem anos a capital não ultrapassaria 200 mil habitantes (BAPTISTA NETO, 2012).

A cidade, a partir de 1920, já possuía características definidas que ainda podem ser percebidas passados mais de um século de sua existência. Conforme Vilela (2006), nessa época já existia certa bipolarização do centro, no qual na parte mais ao norte, próximo à Estação Ferroviária e à Praça do Mercado, já se configurava o centro popular da cidade, valendo-se das vantagens proporcionadas pela acessibilidade. Já na parte mais ao sul, localizava-se o centro administrativo, próximo ao bairro dos funcionários, área considerada nobre. Atualmente, essa área não agrega mais a função de centro administrativo, pois foi modificada para lazer e cultura, após a construção da Cidade Administrativa Presidente Tancredo Neves.

Nas décadas de 1930 e 1940, houve um processo de industrialização e, conseqüentemente, um desenvolvimento econômico que culminou na valorização da área central. Esse processo fez com que a cidade ultrapassasse os limites da região da Avenida do Contorno e promovesse uma ocupação considerada desordenada. Nesse momento, a população já atingia a faixa de 700 mil habitantes, conforme Correia (2011).

Nas duas décadas que se seguem, 1950 a 1970, é percebido o desenvolvimento significativo do processo de conurbação. O dinamismo no parcelamento do solo impulsiona o crescimento das grandes cidades para além de seus limites administrativos, abre fronteiras em torno de eixos viários e adensa centros urbanos através da verticalização, conformando um novo padrão de estruturação urbana (CORREIA, 2011).

Nas décadas 1980 e 1990 os problemas urbanos, também observados em várias metrópoles mundiais, já eram destacados na capital mineira. Dessa forma, novos projetos surgiram com intuito de amenizar esses pontos negativos oriundos da urbanização (CORREIA, 2011).

De acordo com o último censo IBGE ([2010?]) a capital de Belo Horizonte possui uma população superior a 2,375 milhões de habitantes e ocupa uma área de 331 km² (IBGE, [2010?]). Esta possui uma grande influência político econômica no estado e da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) que é constituída por 34 municípios.

A frota do estado de Minas Gerais é a segunda maior do país de acordo com dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, [2012?]). Segundo informações extraídas da Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte (BHTRANS, [2012?]), a capital mineira possui uma frota total de 1.429.865 veículos automotores. As estatísticas inferem que de 1999 até 2011 houve uma variação da frota de 198% e a relação de população por veículo é de 1,67 (habitantes/veículo).

5.1 Caracterização da Área Central

A área central de Belo Horizonte, que recebeu tratamento especial pelo Plano Original, logo no início, distingue-se do restante da cidade pela concentração dos benefícios urbanos, pela melhor acessibilidade e mesmo pela topografia configurando-se como uma área de extrema importância para o município.

Em 1973, surgiu a primeira Lei de Uso e Ocupação do Solo de Belo Horizonte (LUOS), a Lei 2.662 em 1976, elaborada segundo as diretrizes estabelecidas pela Superintendência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PLAMBEL). A LUOS estabelece um zoneamento funcional, enquanto apresentava um ordenamento da ocupação do solo baseado em modelos de assentamento que garantiam certa flexibilidade e heterogeneidade. Os principais efeitos dessa lei, na área central de Belo Horizonte, foram a verticalização, o adensamento e a concentração do uso não residencial (VILELA, 2006).

Nos anos 90, um novo momento no planejamento urbano surge com a aprovação do Plano Diretor (Lei 7.165 de 1996) e da Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo (LPOUS – Lei 7.166 de 1996), que estabeleceram uma nova disciplina urbanística, caracterizada basicamente pela descentralização, pelo zoneamento de densidades e pela flexibilidade de usos. Essa lei, além de diminuir drasticamente o potencial construtivo, criou instrumentos de gestão participativa e de controle de adensamento, áreas a serem preservadas e áreas de interesse público (VILELA, 2006.)

Em contraponto com as leis anteriores, a área central revela-se uma preocupação com a renovação dessa área por meio de propostas de preservação do patrimônio edificado, do incentivo ao retorno do uso residencial e priorização da circulação de pedestres, a fim de reafirmar o seu papel como espaço de sociabilidade. Nela predominam dois zoneamentos – a Zona Hipercentral (ZHIP), que coincide com o “centro tradicional” de Belo Horizonte, e a Zona Central de Belo Horizonte (ZCBH), que engloba a área interna à Avenida do Contorno, incluindo o Bairro de Lourdes, a Região da Savassi, a área Hospitalar e Assembléia/Barro Preto, conforme FIG 6.



FIGURA 6 - Área central de Belo Horizonte
 Fonte: BHTRANS, [2012?]

5.1.2 Caracterização do Hipercentro

Na área central de Belo Horizonte está inserida o Hipercentro, na qual localiza-se vias importantes do centro do município. O Hipercentro está delimitado pela avenida do Contorno e Bias Fortes, incluindo a Praça Raul Soares, Avenida Álvares Cabral, Rua dos Timbiras, Avenida Afonso Pena, Rua da Bahia, Avenida Assis Chateaubriand e Rua Sapucaí, apresentado pela imagem da FIG 7. Esta área é considerada o principal ponto nodal da região metropolitana, já que é passagem obrigatória para pessoas que cruzam a cidade de uma periferia à outra, além de fazer a conexão entre cidades vizinhas (SANT'ANNA, 2008).

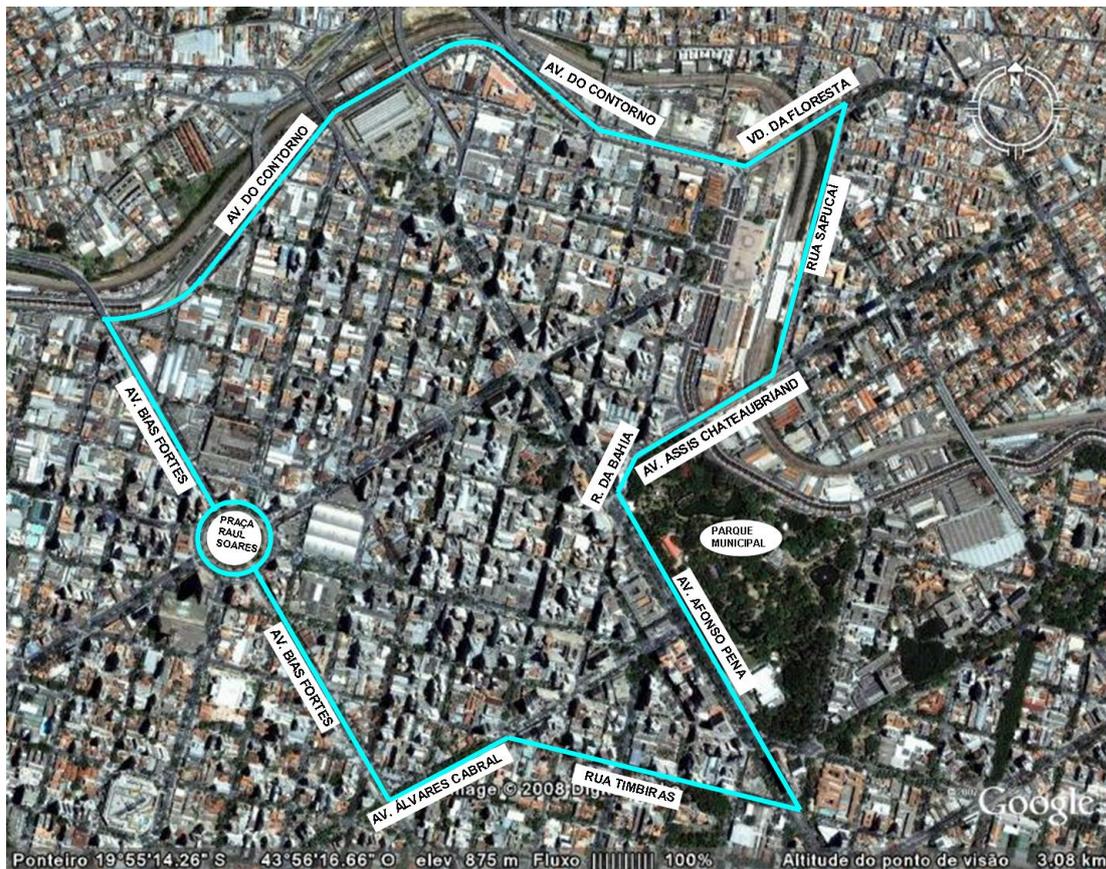


FIGURA 7 - Imagem de satélite da delimitação do Hipercentro de Belo Horizonte, Minas Gerais

Além da característica de núcleo concentrador de fluxos, o Hipercentro agrega outras funções de destaque conforme a espacialização do uso e ocupação do solo observados na FIG 8. Dessa forma, pode-se dizer que essa área possui uma multiplicidade de usos que, de acordo com Baptista Neto (2012), podem ser definidos em oito tipos principais: residencial, comercial, serviços, bares e restaurantes, cinemas e teatros, hotéis, equipamentos públicos e escolas.

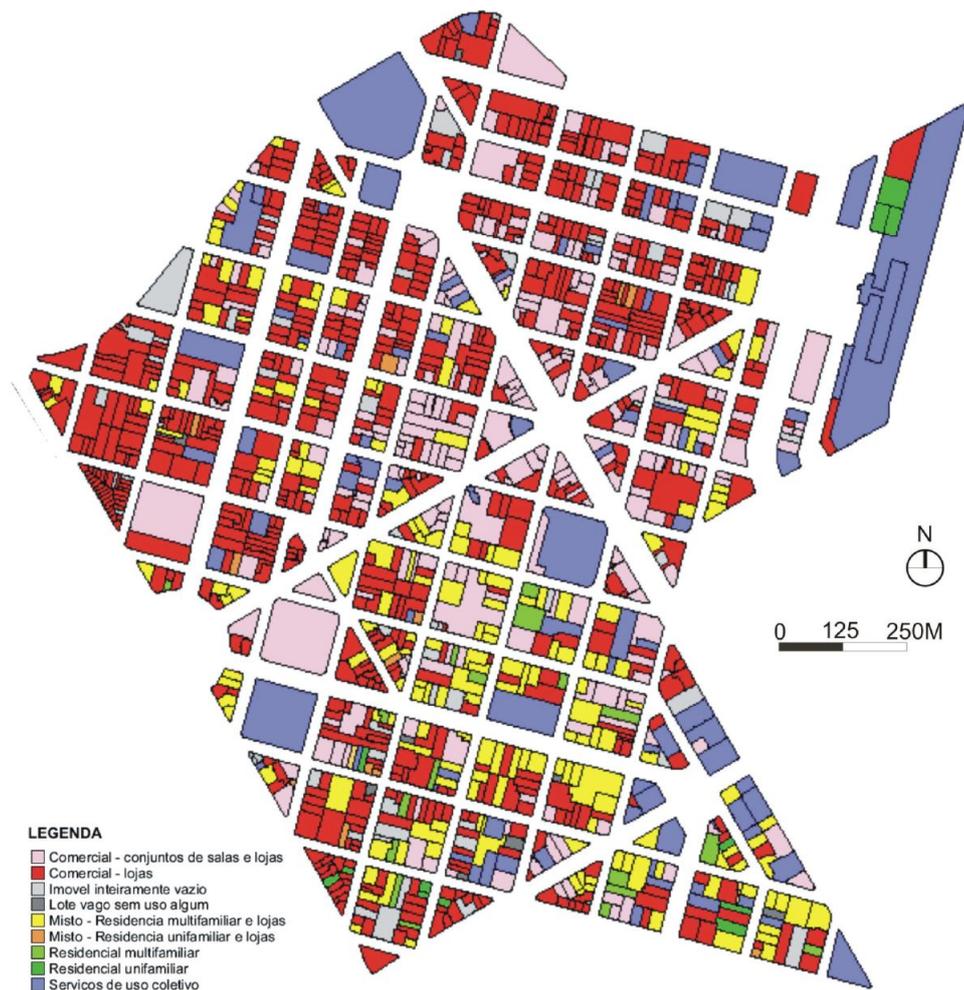


FIGURA 8 – Uso e ocupação do solo no Hipercentro de Belo Horizonte
 Fonte: PRAXIS (2003).

Considerando sua localização no contexto metropolitano e sua relação com a configuração viária, fica clara a importância que o hipercentro assume no contexto da mancha urbana. Se estabelecermos uma hierarquia dos acessos à área, pode-se observar sua preeminência enquanto centralidade no sistema circulatório. É no Hipercentro que se situa os equipamentos públicos essenciais à circulação, como a Estação Rodoviária e a antiga Estação Ferroviária Central, hoje transformada na Estação Central de Metrô (VILELA, 2006).

Sendo assim, os interesses dessa espacialidade são múltiplos e devido às características de uso e ocupação do solo é uma área de grande atratividade de fluxo de veículos e

pessoas. Dessa forma, é comum considerar o Hipercentro como desordenado, caótico e alvo de constantes discussões entre especialistas e governantes (VILELA, 2006).

5.3 Política de restrição de circulação de veículos de carga na área central com enfoque no Hipercentro

Para garantir as demandas de distribuição de carga de Belo Horizonte uma frota de aproximadamente 196 mil veículos de carga circula entre as principais vias do município. Apesar de um número consideravelmente inferior à frota total, houve um crescimento de cerca de 70% na última década dos veículos de carga na capital mineira (DENATRAN, [2012?]).

Apesar de corresponder a 15% da frota total de Belo Horizonte, os veículos de carga são considerados vilões por frequentadores e residentes dos centros urbanos devido aos problemas já mencionados como: piora no trânsito, problemas na carga e descarga, ruído e emissão de poluentes atmosféricos. Dessa forma, optou-se por criar medidas para amenizar os impactos provocados por esse tipo de transporte.

A restrição de circulação de veículos de carga se insere nos propósitos apresentados pelo Plano de Circulação da Área Central de Belo Horizonte (BHTRANS,1998), Manual de Medidas Moderadoras do Tráfego - *Traffic Calming* (BARBOSA, 1998), Plano de Reabilitação do Hipercentro (PRAXIS, 2003) e pelo Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte (BHTRANS, 2008) no que diz respeito à mobilidade. Estes possuem objetivos principais de reduzir o tráfego de passagem no centro, priorizar a circulação de pedestres e racionalizar a circulação do tráfego geral, de forma a melhorar a qualidade de vida nessa área.

A Prefeitura de Belo Horizonte (PBH), em conjunto com a Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte (BHTRANS), desde 2007, vem modificando as regras para a circulação e operação de carga e descarga na capital mineira. Conforme FIG. 9, as áreas de restrição de circulação foram estabelecidas no Hipercentro em 2009 e, posteriormente, em outras áreas: Savassi, Lourdes, Assembléia/Barro Preto; e Área Hospitalar a partir de 2010.

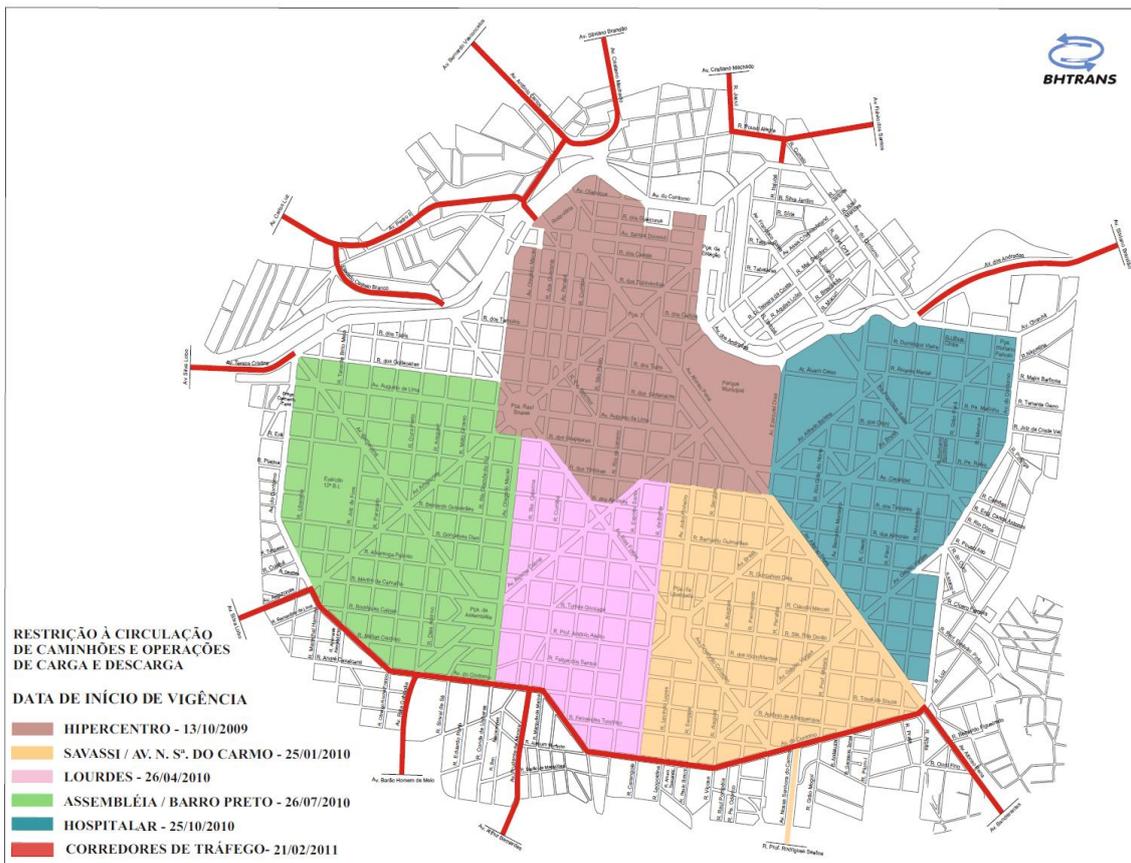


FIGURA 9 – Desenho esquemático da restrição à circulação de caminhões e operações de carga e descarga
 Fonte: BHTRANS ([2012?]).

Nesse estudo, o Hipercentro teve maior foco por ser a primeira área com a restrição de circulação de veículos de carga, tendo sua última alteração em 2009 de acordo com a Portaria 138 de 2009. Além disso, conforme QUADRO 4, a área do Hipercentro e da Av. Nossa Senhora do Carmo são as áreas que, durante a semana, ficam restritas a alguns veículos por maior parte do tempo.

QUADRO 5 - Regulamentação de circulação de veículos de carga em Belo Horizonte, Minas Gerais

| Capacidade do Veículo | Região/Horários Proibidos |
|--|--|
| Até 5 toneladas e comprimento até 6,5 metros | Livre em qualquer horário/região |
| Acima de 5 toneladas e comprimento acima de 6,5 metros | <p>Hipercentro e Av. Senhora do Carmo: Proibido de segunda a sexta das 7h às 20 horas. Sábados das 7 às 15 horas. Domingo: Livre</p> <p>Savassi e Lourdes: Proibido de segunda a sexta das 7 às 9 horas e de 17 às 20 horas. Sábados das 7 às 9 horas. Domingo: Livre</p> <p>Assembléia e Barro Preto: Proibido de segunda a sexta das 7 às 9 horas e de 17 às 20 horas. Sábados das 7 às 9 horas. Domingo: Livre</p> <p>Área Hospitalar: Proibido de segunda a sexta das 7 às 9 horas e de 17 às 20 horas. Sábados das 7 às 9 horas. Domingo: Livre</p> <p>Corredor de Tráfego: Proibido de segunda a sexta das 7 às 9 horas e de 17 às 20 horas. Sábados das 7 às 9 horas. Domingo: Livre</p> |
| Carretas e Cavalos Mecânicos | Expressamente proibidos em qualquer horário |

Fonte: BHTRANS, [2012?].

Esse tipo de impedimento de circulação provoca consequências consideráveis na dinâmica da área. Os resultados do estudo de Oliveira (2014) indicam que, em média, 70 veículos ingressam na região por intervalo de 15 minutos e 64 veículos saem, pelo mesmo intervalo de tempo. No mesmo estudo, foi observado que a idade média da frota abordada é de 5,76 anos, sendo que 69% dos veículos tem idade média inferior a 10 anos e 12% dos veículos tem idade superior a 20 anos de fabricação. Esse resultado indica que, possivelmente, existe uma renovação da frota devido a restrição de veículos de grande porte (OLIVEIRA, 2014).

5.4 Emissão atmosférica e qualidade do ar em Belo Horizonte

O monitoramento da qualidade do ar no estado de Minas Gerais é gerenciado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). A Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar da Região Metropolitana de Belo Horizonte consiste de nove cabines de monitoramento, sendo que três delas localizam-se na capital mineira.

Uma das estações de Belo Horizonte está localizada na praça Rui Barbosa, em terreno da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, onde funciona o Centro de Referência Cultural da Criança e do Adolescente, localizada no Hipercentro ao lado da confluência entre o viaduto da Floresta e a avenida dos Andradas. O monitoramento da qualidade do ar nessa região se fez necessário devido ao fluxo intenso veículos no local, sendo este a principal fonte de emissão de poluentes na região.

Foi elaborado em 2003 o inventário de emissões atmosféricas para os municípios de Belo Horizonte, Contagem e Betim (ECOSOFT, 2003). Os valores totais obtidos, somando-se as taxas de emissão das fontes móveis (veículos) e fixas (empreendimentos), foram determinados para cada um dos poluentes: partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (PI), dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (VOC).

Os dados apresentados pelo estudo da ECOSOFT (2003) mostraram que a frota veicular de Belo Horizonte é responsável por mais de 98,0% dos poluentes emitidos no município, exceto para PM_{10} e NO_x que correspondem a 95,0% e 95,2%, respectivamente (FEAM, 2010). Esses dados corroboram para a importância das medidas efetuadas que visem a diminuição na emissão de poluentes atmosféricos no município.

6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Neste capítulo, serão apresentados os resultados e as análises referentes à pesquisa digital realizada e a comparação das estimativas de emissão dos cenários definidos em função da alteração da composição da frota de transporte de carga de uma empresa do município de Belo Horizonte.

6.1 Empresas de Transporte de Cargas de Minas Gerais

A listagem das empresas de transporte de cargas do estado de Minas Gerais foi fornecida pelo Sindicato das Empresas de Transportes de Carga do Estado de Minas Gerais (SETCEMG) juntamente com a Federação das Transportadoras de Carga do Estado de Minas Gerais (FETCEMG), que contém os nomes e contatos das empresas associadas até outubro de 2012, mas sem informação sobre a frota das mesmas.

Uma vez que a região de estudo é o município de Belo Horizonte, a população de interesse é constituída pelas empresas especializadas em transporte de cargas associadas ao SETCEMG e localizadas na RMBH. Cabe mencionar que existem empresas desse ramo que não são filiadas ao sindicato mencionado. O Registro Nacional do Transporte Rodoviário de Carga (RNTRC), fornecido pela Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT), a RMBH possuía 1.691 empresas de transporte em fevereiro de 2011 (MOREIRA, 2012). Contudo, o total de registros suspensos, ou seja, empresas que não renovaram a documentação é superior a 70%.

As empresas de transporte de cargas associadas a SETCEMG totalizam 141 em todo o estado de Minas Gerais. A RMBH concentra 115 (81,6%) dessas empresas associadas em 11 dos seus 34 municípios integrantes: Belo Horizonte (41); Betim (19); Brumadinho (1); Contagem (42); Mario Campos (1); Matozinhos (1); Nova Lima (1); Pedro Leopoldo (2); Sabará (3); Santa Luzia (2); e Vespasiano (2).

Conforme pode ser observado existe uma concentração dessas empresas em Contagem e no próprio município de Belo Horizonte. De acordo com Oliveira (2014), o fluxo de carga no Hipercentro é proveniente desses dois municípios. Sendo assim, pode-se inferir que são as empresas situadas nesses municípios que possuem maiores atuações no

Hipercentro e, conseqüentemente, sofrem os impactos das medidas de restrição de veículos de carga nessa área.

Foram enviados para as empresas da RMBH os questionários para avaliar as informações se as empresas que atuam no fluxo de carga no Hipercentro de Belo Horizonte modificaram suas frotas, ou seja, adquiriram novos veículos que atendessem às ressalvas impostas para a circulação no meio urbano. Contudo, a quantidade de respostas por e-mail foi mínima. Assim, foi realizado o contato telefônico para reforçar a importância da pesquisa ou, até mesmo, obter as respostas do questionário. Apesar do esforço empregado poucos questionários foram respondidos sendo obtida uma amostra de 32 empresas (23% do universo).

As empresas participantes da pesquisa eram provenientes dos municípios de Belo Horizonte (56%); Contagem (25%); Betim (16%); e Santa Luzia (3%). Nos municípios de Belo Horizonte e Contagem, municípios com maior representatividade da amostra analisada, foi possível identificar que as empresas cadastradas se concentram nos bairros São Francisco e Riacho das Pedras, respectivamente. Esses bairros possuem vias de ligação importantes como a Avenida Antônio Carlos, a Br-381 e a Avenida Amazonas.

Do total dos respondentes, 87,5% operam no Hipercentro (28 empresas). Das empresas que não atuam no Hipercentro, foi identificado que as mesmas realizam trabalhos referentes a transporte de cargas industriais. Estas definiram sua atuação como transportes de carga seca, cargas complexas e indivisíveis. Ainda, das empresas pesquisadas, 75% afirmaram que devido à legislação de circulação tiveram que adquirir veículos de menor porte, conforme GRAF. 1.



GRÁFICO 1– Porcentagem das empresas que modificaram a frota.

Apesar da proporção das empresas que não responderem ser elevadas (25%), os resultados possibilitam observar que a atitude de substituição da frota foi significativa na área analisada. Os resultados obtidos na pesquisa digital permitem inferir com 90% de confiança, que pelo menos 64% e, no máximo, 86% das empresas que atuam na área de transporte de cargas no município de Belo Horizonte alteraram a composição da frota, em resposta a política de restrição. De acordo com Campbell (1995) e Castro (2005) essa consequência da restrição é indesejada, porém tornou-se comum nos locais onde a política foi implementada, sendo Belo Horizonte um exemplo disso.

6.2 Análise dos dados de operação

Após a pesquisa digital foi definida, em conjunto com o SETCEMG, uma empresa de transportes de carga que realizava entregas/coletas na área central de Belo Horizonte, para análise da frota de veículos e a emissão de poluentes. O critério de seleção foi a existência e acesso aos dados.

A empresa selecionada tem experiência de mais de cinco décadas no mercado e oferece um sistema de prestação de serviços em transportes de carga industrial e comercial. É uma transportadora que possui uma frota ampla e diversificada. Esta localizada na Região da Pampulha há, aproximadamente, 10 km do centro de Belo Horizonte. Para a não exposição da empresa o seu nome será mantido em sigilo.

A empresa forneceu dados de operação e frota de 2005 a 2011. As informações sobre a quilometragem percorrida e serviços prestados foram fornecidas mensalmente o que permitiu a análise anual. Dessa forma, a TAB. 2 apresenta o total de quilometragem

percorrida e serviços prestados anualmente, no período de 2005 a 2011 pela transportadora.

TABELA 2 - Dados sobre a quilometragem percorrida e serviços prestados pela frota de veículos de carga da empresa de transportes da Região Metropolitana de Belo Horizonte, 2005 a 2011

| Ano | Quilometragem percorridos | Número de entregas/coletas |
|------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 2005 | 693.350 | 89.843 |
| 2006 | 483.467 | 60.091 |
| 2007 | 661.422 | 71.407 |
| 2008 | 713.270 | 71.361 |
| 2009 | 748.388 | 73.070 |
| 2010 | 1.068.783 | 85.027 |
| 2011 | 842.221 | 69.077 |

Nesse momento, cabe a ressalva de que não foi realizada nenhuma comparação com dados de outras empresas da mesma área para definir se essas informações repassadas condizem com a realidade. Contudo, é possível observar na TAB. 2 que a quilometragem percorrida é proporcional aos serviços prestados, ou seja, quando a distância total percorrida aumentou o número de serviços prestados também aumentou e o contrário também se aplica.

O produto interno bruto (PIB) do Brasil e principalmente do município de Belo Horizonte de 2005 a 2012 apresentaram uma evolução semelhante ao da quilometragem percorrida pela frota veicular da empresa de transporte de carga no mesmo período. Conforme pode ser observado na TAB. 3, o produto interno bruto bem como o volume médio de transporte apresentaram alta variação em 2010, sendo que a variação do volume médio de transporte em relação 2009 corresponder a praticamente 10%, segundo dados do IBGE, ([2013?]).

Assim, a partir desses dados foi definido a quilometragem média por número de serviço prestado (quantidade de entregas e coletas realizadas) demonstrada pelo GRAF 2. É possível observar que há um aumento dessa relação entre quilometragem percorrida e serviço prestado ao longo dos anos 2005 e 2011, no qual em 2005 a relação era de 7,72 km/serviço e em 2010 teve seu maior valor 12,57 km/serviço, uma diferença das médias anuais dos anos de 2005 e 2010 de 4,85km/serviço.

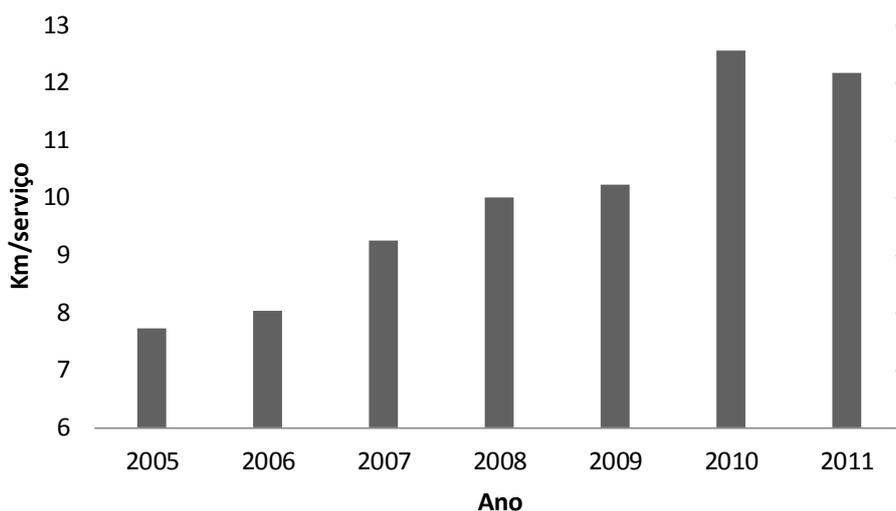


GRÁFICO 2 – Gráfico da quilometragem anual percorrida de carga da empresa de transporte da Região metropolitana de Belo Horizonte, 2005 a 2011

Os resultados apresentados seguem o mesmo padrão de Campbell (1995), Quak; Koster (2009) e Castro (2005), no qual houve o aumento da quilometragem média em relação ao número de serviços (entregas e coletas) após as restrições. Esses autores afirmam que as políticas de restrição de veículos de carga de maior porte provocam um aumento na quilometragem percorrida devido à possível aquisição de veículos menores. Estes transportam pouca carga o que implica em quantidades maiores de veículos, ou até mesmo várias viagens de um mesmo veículo para transportar a carga total demandada.

Foi calculada também a variação da média da quilometragem por serviço no período de 2005 a 2008 e de 2009 até 2011. Essa variação resultou em um aumento de 27,6% na quilometragem por serviço. Não se pode menosprezar a queda existente no ano de 2010 para 2011, contudo nada pode ser inferido sem os dados dos próximos anos.

Os volumes médios de transporte no Brasil em 2011 e 2010 apresentaram uma variação positiva em relação aos anos anteriores, 2010 e 2009, respectivamente. Entretanto, a variação observada entre 2010 e 2011 (2,8%) é bem inferior ao observado entre 2010 e 2009 (9,2%) o que pode estar indicando uma estabilização na área de transporte após a variação negativa observada entre 2009 e 2008 (-3,6%).

Na opinião de Antônio Corrêa de Lacerda, economista e professor da PUC-SP, as medidas adotadas no fim do ano de 2010 para frear o crédito e esfriar o consumo já dava indícios de que a taxa de crescimento em 2011 diminuiria (BBC Brasil, 2011). Realmente, a série histórica do PIB brasileiro de 2000 a 2012 (IBGE, [2013?]) mostrou que a variação em 2011 correspondeu a 99%, ao passo que, em 2010, essa variação foi de 16,4%.

Apesar dos resultados serem os esperados é impossível de afirmar que esse aumento na relação entre distância total percorrida seja provocado diretamente pela política de restrição. Contudo, pode ser considerado um indicativo das consequências desses impedimentos de circulação na área central de Belo Horizonte.

6.3 Análise dos dados de frota

Com as características da composição da frota da empresa foi possível determinar o Peso Bruto Total (PBT) de cada veículo, conforme a tabela de peso oficial do Departamento de Estradas de Rodagem (DER), e classificá-los de acordo com sua categoria de PBT.

Após classificar os veículos dessa frota pelo PBT, foi definido o comportamento de crescimento de cada categoria no período de 2005 a 2008, anterior a data considerada da política de restrição de veículos carga no Hipercentro de Belo Horizonte, por meio do cálculo da taxa de incremento anual da frota de veículos (T) definida na metodologia, apresentados na TAB. 3

TABELA 3 - Taxa geométrica de incremento anual por categoria do veículo de carga da empresa de Transporte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, 2005 a 2008

| Categoria | Taxa Geométrica de incremento* (%) |
|------------------------------------|---|
| 1 Comerciais Leves a Diesel | 6,48 |
| 2 Caminhões Leves | 2,82 |
| 3 Caminhões Médios | 2,87 |
| 4 Caminhões Pesados | 7,15 |
| 5 Comerciais Leves Gasolina | 10,67 |

* taxa geométrica de incremento anual da frota de veículos calculada do período de 2005 a 2008

A taxa de incremento (T) foi utilizada para a projeção da frota para os anos de 2009 até 2011. Essa projeção, teoricamente, não possui a interferência da medida de restrição de circulação e foi utilizada na composição do cenário 1. Já o cenário 2 é composto pelos dados reais informados pela empresa de transporte. A relação da frota de 2009 até 2011, de ambos os cenários, pode ser observada na GRAF 3.

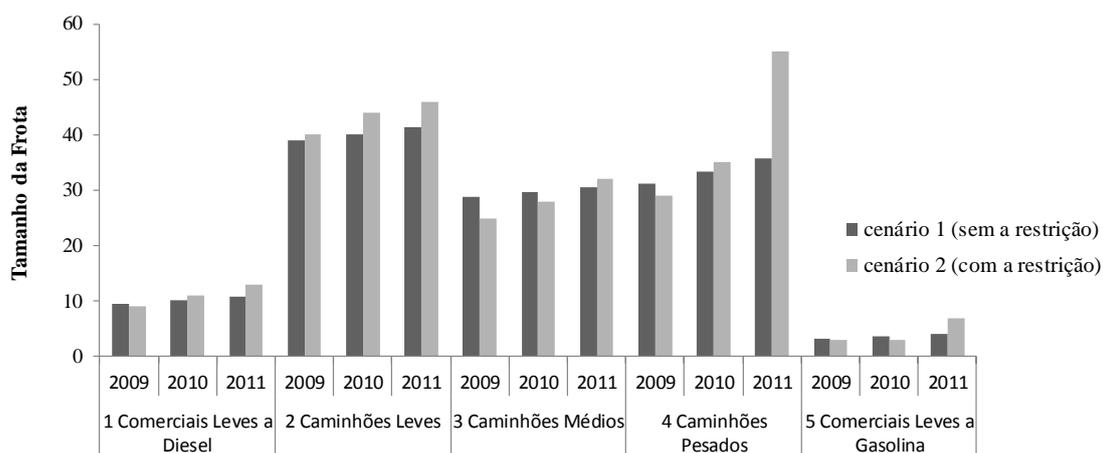


GRÁFICO 3 – Tamanho da frota da empresa de transporte da Região Metropolitana de Belo Horizonte por categoria do veículo e cenário definido em função da restrição de circulação no hipercentro de Belo Horizonte, 2009 a 2011

No GRAF. 3, observa-se maior quantidade de veículos no cenário 1, em relação ao cenário 2, na categoria comerciais leves a diesel e a gasolina para o ano de 2009. Essa relação foi invertida na categoria comerciais leves a diesel e em 2011 na categoria comerciais leves a gasolina. Esse resultado pode ser justificado pela aquisição de

veículos de menor porte para atender a área de restrição de circulação, já que nessa categoria não existem impedimentos para o acesso ao centro de Belo Horizonte.

Em relação aos caminhões leves observa-se que para todo o período analisado o cenário 2 possui maiores quantidades de veículos. Além disso, existe para ambos os cenários um fator de crescimento quase constante. Nessa categoria existem veículos com PBT entre 3,5t e 5t que não são impedidos de circular e outra parte de PBT entre 5t e 10t com limitações em sua circulação, sendo permitidas em dias e horários determinados.

A terceira categoria, caminhões médios, é de veículos que possuem a restrição de circulação. Em 2009 e 2010 o cenário 1 possui maior quantidade de veículos classificados como caminhões médios. Porém, ao contrário do esperado, em 2011 o cenário 2 passou a ter mais veículos dessa categoria. Essa contradição também foi observada com os caminhões pesados, já que no cenário 2 em 2010 e 2011 teve um aumento considerável desses veículos que são impedidos de transitar livremente pela restrição.

Em 2011, a transportadora adquiriu 20 veículos com PBT superior a 15 toneladas. Desses veículos sete são considerados cavalos mecânicos, ou seja, são expressamente proibidos de circular na área central de Belo Horizonte em qualquer horário ou dia. Conforme mencionado, a empresa atua no segmento de transporte industrial, sendo assim, uma possível justificativa seria o aumento dessa demanda que necessita de veículos de maior porte.

Outra hipótese a ser considerada é que a Resolução CONAMA 403 de 2008 estabelece novos limites máximos de emissão de poluentes a serem cumpridos a partir de janeiro de 2012 para os motores do ciclo diesel de veículos pesados novos, nacionais e importados. Assim, nesse período se inicia a fase P7 que, em termos de emissão, corresponde à fase europeia Euro 5. Essa nova fase exigiu investimentos tanto da indústria automotiva quanto da indústria produtora de combustíveis, uma vez que não é possível atingir padrões tão restritivos de emissão apenas incorporando novas tecnologias aos motores novos. Foi necessária, portanto, a associação desses dois fatores: combustível e motor. Uma das implicações ao transportador foi o

aumento de preço nos veículos novos, provocado pela incorporação dessas novas tecnologias. Algumas empresas de transporte anteciparam as compras de veículos em 2011, adquirindo veículos ainda da fase P5, justificada tanto pelo custo menor do veículo quanto de sua manutenção, já que a época, ainda não se tinha ao certo os valores inerentes aos novos motores (CNT, 2012).

Ao correlacionar as informações de operação com as informações de composição da frota o ano de 2011 merece destaque. De 2005 até 2010 as médias de quilometragens por serviços aumentavam gradativamente, porém de 2010 para 2011 houve uma diminuição. Ao analisar a frota de caminhões médios e caminhões pesados nesse mesmo ano, percebe-se um aumento da quantidade de veículos ao invés de diminuir como o esperado em virtude da política de restrição. Sendo assim, é possível que a maior utilização de veículos de carga de maior porte tenha influenciado na diminuição da média da quilometragem por serviço observada no ano de 2011.

É preciso ressaltar que a metodologia do cálculo da taxa de crescimento geométrica e projeção de frota geralmente são utilizadas em escalas maiores, como municipais e estaduais, ou seja, com grande quantidade de veículos. No caso desse trabalho, ela foi utilizada para uma frota pequena. Dessa forma, os erros podem ser acentuados do que quando utilizados para frotas maiores.

6.4 Configuração dos cenários

O cálculo da estimativa de emissão foi realizado para o ano de 2011, tanto para o cenário 1, baseado nas projeções e médias calculadas do período sem as interferências da política de restrição de circulação de carga no centro de Belo Horizonte, quanto para o cenário 2 que contém as informações reais existentes do ano analisado.

No ano de 2011, a quilometragem total percorrida por todos os veículos foram de 842.221 quilômetros sendo realizados 69.077 serviços o que implica em uma média de 12,19 km/nº de serviços realizados no período. Para que os anos anteriores as política de restrição, ou seja para os anos de 2005 a 2008, a distância total percorrida por todos os veículos foram 2.551.509 quilômetros, sendo realizados 292.702 serviços realizados nesse período de quatro anos.

Para estimar a quilometragem total percorrida pela frota projetada para 2011 supondo que não houve restrição de circulação, cenário 1, foi mantido o número de serviços do ano de 2011 (69.077), porém foi utilizada a média de quilometragem/nº de serviço do período de 2005 a 2008 (8,72km/serviço), que resultou em uma quilometragem total de 602.351,44 quilômetros.

Além da quilometragem total, era preciso identificar a utilização dos veículos. Dessa forma, para o cenário 1 (sem a restrição), foi calculada a proporção da utilização dos veículos por categoria em relação a quilometragem total percorrida no período de 2005 e 2008. Já para o cenário 2 (com a restrição), foi utilizada as informações reais do ano de 2011 conforme TAB 4.

TABELA 4 – Percentual da distância percorrida pelos veículos por categoria em relação à quilometragem total pertencente à empresa de transporte de carga na Região Metropolitana de Belo Horizonte, supondo que não houve a restrição (cenário 1) com a restrição (cenário 2)

| Categoria | cenário 1* | cenário 2** |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------|
| 1 Comerciais Leves a Diesel | 17,5% | 22,57% |
| 2 Caminhões Leves | 47,27% | 49,00% |
| 3 Caminhões Médios | 23% | 16,03% |
| 4 Caminhões Pesados | 9,5% | 8,45% |
| 5 Comerciais Leves a Gasolina | 2,73% | 3,95% |

*Dados referentes à média do período de 2005 a 2008.

**Dados referentes ao ano de 2011.

Tendo em vista o percentual de distância percorrida pelos veículos por categoria, foi definida a quilometragem anual percorrida por categoria em 2011 para o cenário 1 e para o cenário 2 conforme apresentado na TAB 5.

TABELA 5 - Quilometragem anual percorrida pelos veículos pertencentes à empresa de transporte de carga da Região Metropolitana de Belo Horizonte, supondo que não houve a restrição (cenário 1) com a restrição (cenário 2)

| Categoria | cenário 1 | cenário 2 |
|--------------------------------------|------------------|------------------|
| 1 Comerciais Leves a Diesel | 105.411,50 | 190.098,80 |
| 2 Caminhões Leves | 285.898,32 | 412.688,29 |
| 3 Caminhões Médios | 139.108,55 | 135.008,03 |
| 4 Caminhões Pesados | 57.457,88 | 71.167,68 |
| 5 Comerciais Leves a Gasolina | 16.511,58 | 33.267,73 |

6.5 Estimativas de emissão para os cenários referentes ao ano de 2011

Os cálculos e valores apresentados nesse trabalho não objetivam a ser fonte de inventários de emissão, mas sim de comparação entre os dois cenários analisados. Assim, para facilitar o método de estimação, foi definido que, os fatores de emissão, seriam determinados em função da idade média da frota em 2011 para cada categoria e não foram utilizados os fatores de deterioração. Dessa forma, as médias dos anos de fabricação da frota para cada categoria foram definidas conforme TAB. 6, tendo como referência o ano de 2011.

TABELA 6 - Média do ano de fabricação dos veículos da frota pertencente à empresa de transporte de carga da Região Metropolitana de Belo Horizonte por média do ano de fabricação

| Categoria | Ano |
|--------------------------------------|------------|
| 1 Comerciais Leves a Diesel | 2005 |
| 2 Caminhões Leves | 2001 |
| 3 Caminhões Médios | 2001 |
| 4 Caminhões Pesados | 2009 |
| 5 Comerciais Leves a Gasolina | 2009 |

Com base nos dados e estimativas apresentadas, foram estimadas as emissões de CO, NOx, NMHC (hidrocarbonetos não metânicos) e MP que estão apresentados no GRAF. 4 e no ANEXO C, supondo que não houve a restrição (cenário 1) com a restrição (cenário 2).

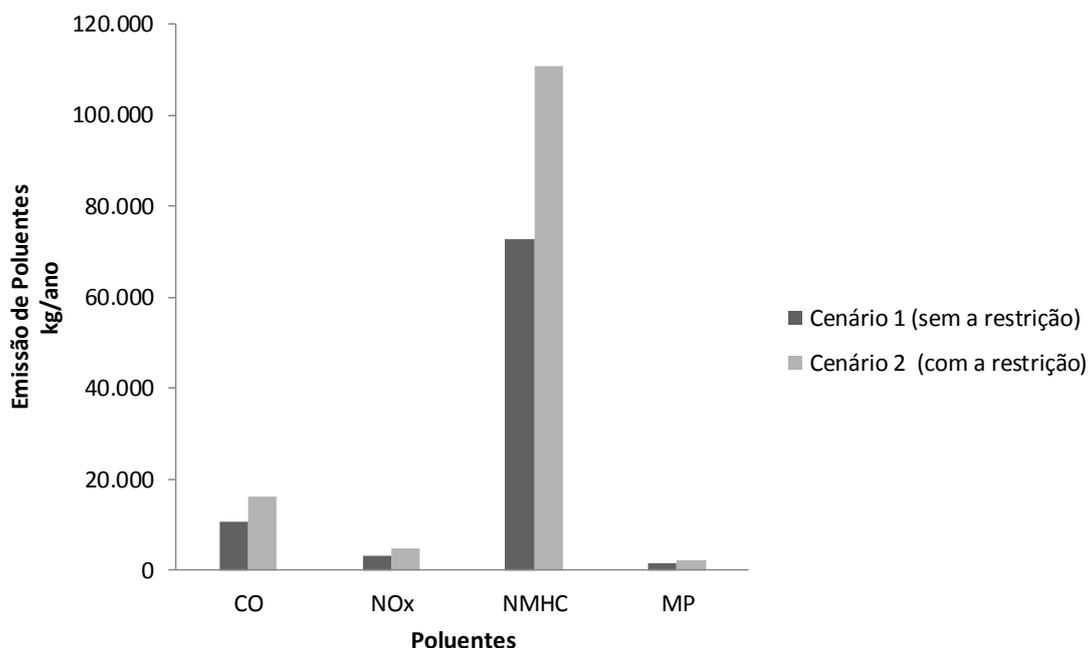


GRÁFICO 4 - Estimativa de emissão de CO, NO_x, NMHC e MP, pela frota de veículos pertencentes à empresa de transporte de carga da Região Metropolitana de Belo Horizonte, supondo que não houve a restrição (cenário 1) com a restrição (cenário 2)

No GRAF. 4, é possível observar que para todos os poluentes analisados há um aumento da emissão no cenário 2 em relação ao cenário 1. No cenário 2, a emissão de CO, NO_x, NMHC e MP é maior que no cenário 1 em 54%, 50%, 52% e 51%, respectivamente.

Era esperado que o cenário 2 tivesse maiores emissões em relação ao cenário 1. Contudo, os resultados apresentaram uma margem de diferença elevada, até mesmo para o NO_x. Para este poluente a expectativa era que permanecesse semelhante nos dois cenários ou até mesmo inferior no cenário 2, que deveria conter menos veículos pesados. Isso porque estes veículos são os maiores responsáveis pela emissão de NO_x enquanto os veículos leves são responsáveis pela emissão de NMHC e CO. Entretanto, de acordo com os dados, pode-se perceber que houve um aumento na utilização de veículos de menor porte à diesel, mas não de veículos do ciclo Otto, ou seja, álcool e gasolina. O que justificaria o aumento também elevado na emissão de NO_x.

Observa-se que apesar da utilização de veículos de menor porte ter aumentado o contrário não foi observado de forma significativa. Dessa forma, é coerente pensar que a

política de restrição aumentou a frota de veículos menores, mas não fez diminuir a frota e nem a utilização dos veículos maiores. Isso pelo fato da restrição permitir em alguns horários a circulação dos mesmos.

Apesar disso, o aumento da emissão foi bastante elevado no cenário 2 em comparação ao cenário 1. Os dados e estimativas para a frota permitiram inferir também que a quilometragem média percorrida por serviço aumentou em 39,8% no cenário 2 (com a restrição) em relação ao cenário 1 (sem a restrição), o que colaborou significativamente no aumento dessa diferença na emissão de poluentes em relação aos dois cenários analisados.

Os dados de operação e frota da empresa analisada não correspondem somente às entregas/coletas realizadas na área da política de restrição. Isso implica em uma fragilidade do estudo, já que existem interferências de outras áreas nos dados de operação e frota. Para melhores resultado, é fundamental analisar os dados somente de demandas das rotas que abrangessem o centro do município. Cabe mencionar também que a emissão calculada não se configura como um inventário sendo, calculadas para análise comparativa dos dois cenário. As porcentagens de aumento da quilometragem média por serviço e as emissões dos poluentes são referentes exclusivamente da empresa analisada.

Apesar das limitações do estudo foi possível identificar que a política de restrição pode ser considerada um fator de influência para a modificação da frota da empresa analisada e, conseqüentemente, corrobora para alterações nas emissões de poluentes atmosféricos. No caso dessa empresa, com a configuração dos dois cenários apresentados, foi possível identificar o aumento na emissão de CO, NO_x, NHMC e MP.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Conclusões

Esse estudo apresentou uma metodologia para diagnosticar os impactos na emissão de poluentes da frota de uma empresa do setor de transporte de carga. Essa transportadora necessitou modificar a frota devido a medida de restrição de circulação de veículos de carga no centro de Belo Horizonte. Tendo em vista estudos realizados fora do país, é definido que um dos comportamentos é a substituição de veículos com impedimentos de circulação por veículos de menor capacidade, que não são controlados de circular pelas ressalvas impostas no meio urbano.

Para diagnosticar o impacto ambiental, foi necessário definir dois cenários, um com interferências da mencionada legislação e o outro sem as implicações originadas pela medida restritiva. Apesar da dificuldade e defasagem na obtenção de dados sobre essa temática, problema constantemente enfrentados e já conhecido por especialistas na área, foi possível identificar certo padrão já apresentado por outros países. Os resultados coincidem com os estudos referenciados, os quais refletem o aumento da quilometragem total percorrida e, conseqüentemente, o aumento na emissão dos poluentes analisados, neste caso o monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos não metanos e material particulado.

Ao analisar os resultados obtidos nesse estudo é preciso cautela e ressalvas para inferir que a política de restrição promove um aumento na emissão de poluentes nos centros urbanos. A ideia metodológica aplicada no trabalho simplifica o problema para viabilizar o estudo. Contudo, cabe mencionar que as questões referentes a mobilidade e qualidade do ar nos centros urbanos são complexas e requer um pensamento holístico quando abordado.

Na pesquisa digital (via internet) foi possível identificar no município de Belo Horizonte essa consequência da política restritiva de circulação, também presente em países como Estados Unidos, Filipinas e outros pertencentes à Europa. Sendo assim, esse indicativo de modificação da frota corrobora para a importância de estudos que analisam os impactos provocados pelas medidas de restrição de veículos de carga.

Com relação à metodologia de projeção de frota, o método direto utilizado se estabelece uma função (equação) do número de veículos anual da empresa e então se projeta esta função para que sejam obtidos valores para anos à frente. Nos métodos indiretos faz-se uso de parâmetros que possuam relação com o número e características dos veículos. Esses parâmetros podem ser mais gerais como dados socioeconômicos da área analisada (Produto Interno Bruto - PIB do município e população) como dados mais específicos como lucro da empresa, capacidade de investimento, número de contratos dentre outros que podem interferir na frota e operações das empresas.

No cálculo da estimativa de emissão, alguns fatores também não são considerados pela proposta metodológica apresentada. Alguns elementos como: os congestionamentos, que poderia ser observado pelo tempo médio dos serviços realizados; o desenvolvimento tecnológico no controle de emissão dos veículos; o consumo de combustível; dentre outros fatores que interferem diretamente na emissão de poluentes não foram considerados pelos cálculos.

Apesar disso, as projeções de frota e a estimativa de emissão de poluentes decorrentes da análise alertam para a necessidade de se pensar no tráfego de cargas sob o enfoque pontual para posteriormente um enfoque sistêmico, isto é, um conjunto de elementos que inclui veículos, vias públicas e seus usuários, o entorno físico, social, econômico e ambiental, este muitas vezes deixado para último plano. Analisar cada ponto separadamente e, posteriormente, em conjunto possibilita a identificação de problemas e as intervenções necessárias com vistas à garantia e manutenção de um cenário mais sustentável.

Cabe mencionar que a referida política de restrição é agregada de um discurso de promover uma mobilidade mais sustentável. Contudo, o que pode ser observado é que para a empresa em questão isso não se aplicou para a emissão de poluentes.

Partindo da constatação que os veículos automotores constituem os principais agentes da poluição atmosférica no ambiente urbano qualquer indicativo de aumento nas concentrações de emissão é um fator preocupante e faz jus discussões e tentativas de redução dos mesmos. A qualidade do ar nos centros urbanos também é considerado um

problema sério, já que provoca prejuízos na saúde da população e, conseqüentemente, econômico com dispêndio de verbas destinados a saúde pública.

A questão da emissão de poluentes é apenas um aspecto de uma situação complexa. Mesmo que o desempenho dos caminhões piorem, uma possível melhoria na organização no trânsito e diminuição de congestionamentos pode diminuir as emissões de outros veículos (principalmente automóveis de passeio), o que pode resultar em uma melhoria líquida da qualidade do ar.

No entanto, existem também controvérsias a respeito dessa diminuição dos congestionamentos. Existe a hipótese que a substituição por veículos menores aumenta a frota em circulação, assim como o aumento da demanda latente anula as eventuais reduções engarrafamentos. Sendo assim, é preciso uma melhor compreensão de todo esse sistema para determinar em escalas maiores se houve realmente um aumento líquido da emissão de poluentes.

7.2 Recomendações

A precariedade dos dados e a dificuldade governamental em gerir o problema, que de fato possui uma grande complexidade, implicam em diversas oportunidades de estudos sobre o tema em busca de melhor entendimento para a questão.

As pesquisas digitais (via internet) que necessitam de colaboração dos operadores logísticos se mostram ineficientes e um dispêndio alto de tempo e recursos. A maioria das empresas não demonstra interesse sobre o assunto. Contudo, faz-se necessário aumentar o tamanho da amostra, diminuindo o erro amostral, o que ampliará as discussões e configurará um cenário mais real do que apresentado.

A obtenção de dados torna-se um ponto complicado pela não existência dos mesmos ou pela impossibilidade de disponibilizá-los devido a confidencialidade da informação. A utilização de outras fontes e a realização de parcerias com órgãos governamentais podem auxiliar nesse ponto.

Os resultados apresentados por esse trabalho podem ser melhorados, tendo em vista a otimização da metodologia proposta no que corresponde ao cálculo da projeção de frota e estimativa de emissão. Além disso, o trabalho pode ser aplicado para um número maior de empresas o que implicaria em maior confiabilidade do estudo e ampliaria as discussões e conclusões sobre a emissão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, S.; J. ALLEN; M. BROWNE. Urban logistics - how can it meet policy makers' sustainability objectives?, in: *Journal of Transport Geography*, v.13, n. 1, p.71-81, 2005.

ANTP. Associação Nacional de Transportes Públicos- IPEA, Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas. *Redução das Deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público*: Relatório Síntese. ANTP. São Paulo, 1998

ASLOG. Associação Brasileira de Logística. Logística e Abastecimento. *Impactos da proibição ao tráfego de caminhões em São Paulo*. São Paulo, 30/04/2008. Disponível em:<<http://www.aslog.org.br>>. Acesso em: 02 maio 2008 *apud* JUNIOR, W. G. A ZMRC e o transporte de cargas na cidade de São Paulo, 2011, *Revista Eletronica Gestão e Serviços*. V.2, n.1, p. 205-227, jan./jun. 2011.

BAPTISTA NETO, O. Impactos da moderação de tráfego na vitalidade urbana. Dissertação (MESTRADO). Engenharia de Transportes – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2012. 212f.

BARBOSA, H. M., GOUVÊA, R. G. *Manual de Medidas Moderadoras do Tráfego – Traffic Calming*. Belo Horizonte: UFMG, 1998.

BARRETO, A. *Belo Horizonte: memória histórica e descritiva – história antiga e história média*. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, Centro de Estudos Históricos e Culturais, 1996, p. 250-253.

BBC BRASIL. PIB expressivo de 2010 limita crescimento em 2011, dizem analistas (2011). Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2011/03/110303_pib_analise_rp.shtml?print=1>. Acesso em: 5 abril 2013.

BERGMAN, L.; RABI, N. I. *Mobilidade e política urbana: subsídios para uma gestão integrada*. Rio de Janeiro: IBAM; Ministério das Cidades, 2005.

BHTRANS. EMPRESA DE TRANSPORTE E TRÂNSITO DE BELO HORIZONTE. Dados frota e circulação de veículos [2012?]. Disponível em: <<http://www.bhtrans.pbh.gov.br>>. Acesso em: 5 dez. 2012.

BHTRANS. EMPRESA DE TRANSPORTES E TRÂNSITO DE BELO HORIZONTE. Plano de Circulação da Área Central de Belo Horizonte. Belo Horizonte: BHTRANS, 1998.

BHTRANS. EMPRESA DE TRANSPORTES E TRÂNSITO DE BELO HORIZONTE. Plano de Mobilidade Urbana - PlanMob. Belo Horizonte: BHTRANS, 2008.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A; SALDIVA, P. H. N. Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana. Faculdade de Medicina da USP. São Paulo. 1994. 20 p.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. *Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa*. 2004. Disponível em <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17341.html>>. Acesso em: 01 set. 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. *Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana*. 2006a. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Avaliação do programa de controle da poluição do ar por veículos automotores*. Brasília: MMA, 2006b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Publicada no DOU, de 22 de agosto de 1990, Seção 1, páginas 15937-15939. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>> . Acesso em: 10 jun. 2012

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários*, 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf>. Acesso em: 15 de outubro 2012.

BRUNDTLAND, C. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987.

CAMBRIDGE SYSTEMATICS Inc. Urban Freeway Gridlock Study: Technical Report. Prepared for California Department of Transportation contract 556488. Cambridge, MA, 1988 *apud* CAMPBELL, J. F. *Using small trucks to circumvent large truck restrictions: Impacts on truck emissions and performance measures*, 1995. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 29, No. 6, 445-458, 1995.

CAMPBELL, J. F. *Using small trucks to circumvent large truck restrictions: Impacts on truck emissions and performance measures*, 1995. Transportation Research Part A: Policy and Practice, v. 29, n. 6, p. 445-458, 1995.

CAMPOS, V. B. G. Uma Visão da mobilidade urbana sustentável. Revista dos Transportes Públicos – ANTP. Ano 28, 2º trimestre, 2006.

CARAPITO, P. P. C. Estudo Comparativo das Medidas de Curto e Médio Prazo para Redução do Fluxo de Tráfego em Áreas Urbanas. Dissertação de Mestrado em Transportes. Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, UnB *apud* MATOS, de K.G; SILVA, da C.P.M. Sobre a aplicabilidade e aceitabilidade das medidas de gerenciamento de tráfego e demanda de viagens pelos órgãos de trânsito municipais do Brasil. ANPET, 2006. Disponível em: <http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/submissao/2006/2006_arr_rpjfmwkrzyodimrtrt.pdf>. Acesso em 15 out. 2012.

CARRARA, C. M. *Uma aplicação do SIG para a localização e alocação de terminais logísticos em áreas urbanas congestionadas*. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Transportes – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007.

CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, abril de 2011.

CASTRO, J. T. *Impacts of large truck restrictions on a developing country*. *Journal Proceeding of Infrastructure Plannin*, 2004. . Vol.29, 2004. Disponível em: <http://www.jsce.or.jp/library/open/proc/maglist2/00039/200406_no29/pdf/169.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2012.

CASTRO, J. T.; KUSE, H. *Impacts of large truck restrictions in freight carrier operations in Metro Manila*, 2005. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, v.6, p. 2947-2962, 2005.

CASTRO, J.T., KUSE, H.; HYODO, T. *A study on the impact and effectiveness of the truck ban scheme in Metro Manila*, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, v. 5, p. 2177-2192, 2003.

CASTRO, M. A. G. *Gerenciamento da Mobilidade: Uma Contribuição Metodológica para a Definição de uma Política Integrada dos Transportes no Brasil*, 2006. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.pet.coppe.ufrj.br/index.php/producao/dissertacoes-de-msc/doc_download/82-gerenciamento-da-mobilidade-uma-contribuicao-metodologica-para-a-definicao-de-uma-politica-integrad>. Acesso em: 13 de setembro 2012.

CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. *Inventário de emissão veicular – 1992: metodologia de cálculo*. São Paulo: CETESB, 1994.

CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo, 2011. São Paulo: CETESB, 2011. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/documentos/Relatorio_de_Emissoes_Veiculares_no_Estado_de_Sao_Paulo_2011.pdf>. Acesso em: 15 out. 2012.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. A fase P7 do Proconve e o impacto no setor de transporte. – 2.ed. – Brasília: CNT : Sest/Senat, 2012

COOPER J. C. Complying with area lorry bans: An evaluation of some operating alternatives. *Transpn Plann.* V. 8, p. 117-126, 1983 apud CAMPBELL, J. F. *Using small trucks to circumvent large truck restrictions: Impacts on truck emissions and performance measures*, 1995. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, V.29, N. 6, 445-458, 1995.

CORREIA, V. de A. *Análise econômica e ambiental da implantação de um esquema de centro de distribuição urbano para Belo Horizonte*. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Transportes – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2011. 137f.

CRAINIC, T. G.; RICCIARDI, N.; STORCHI, G. Advanced freight transportation systems for congested urban areas. *Transportation Res. Part C* v.12, p. 119–137, 2004.

CRUZ, M. M. L. *Avaliação dos impactos de restrições ao trânsito de veículos*, 2006. São Paulo, S.P. – Brasil, 2006. 146p. Dissertação de M. Sc. , FEC/UNICAMP.

DABLANC, L. Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. *Transportation Res. Part A* ,v.41, p. 280–285, 2007.

DABLANC, L. Urban Goods Movement and Air Quality Policy and Regulation Issues in European Cities. *J Environ Law* v.20, n.2, p. 245–266, 2008.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. *Roteiro de Municipalização*. 2003. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/orgaosmunicipais.htm>> Acesso em 28 set. 2012.

DENATRAN. Departamento Nacional de Trânsito. *Estatística da Frota Nacional*, 2011, [2012?] Brasília. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 12 set. 2012.

DER. DEPARTAMENTO DE ESTRADA E RODAGEM. Tabela de peso oficial de veículo de carga. Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/website/Documentos/tabela_pesocarga.aspx> . Acesso em: 20. Dez. 2012.

DETRAN. Departamento de Trânsito. *Projeção de Frotas para os Municípios*, 2010. Disponível em: <[HTTP://www.detran.pa.gov.br](http://www.detran.pa.gov.br)>. Acesso em: 30 ser. 2012.

DUTRA, E. G. *Metodologia Teórico-Experimental para Determinação dos Parâmetros Básicos para Elaboração de Inventários de Emissão de Veículos Leves do Ciclo Otto*. 2007. 166f. Tese (Doutorado em Calor e Fluidos) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

DUTRA, N. G. S. *O enfoque de “city logistics” na distribuição urbana de encomendas*, 2004. Tese PPGEP. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

DUTRA, N.G. S.; NOVAES, A. G. N. *Distribuição de encomendas em centros urbanos baseada no enfoque de “City Logistics”*, 2005. In: XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2005, Recife, Pernambuco, v. 2. p. 1724-1735.

ECOSOFT CONSULTORIA E SOFTWARES AMBIENTAIS LTDA. *Inventário de fontes de poluentes atmosféricos, estudo de dispersão atmosférico e projeto de rede otimizada de monitoramento atmosférico para a região metropolitana de Belo Horizonte – Contagem – Betim*. Belo Horizonte, 2003.

ELKINGTON, J. *Cannibals with forks: the Triple Bottom Line of 21st century business*. Oxford: Capstone, 1997.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. AP-42: *compilation of air pollutant emission factors* 2007. Disponível em <<http://www.epa.gov/oms/ap42.htm>>. Acesso em: 01 set. 2012.

EPTC. Empresa Pública de Transporte e Circulação de Porto Alegre, [200?]. Disponível em: <www.portoalegre.rs.gov.br/eptc> Acesso em: 12 fev. 2013

FACCHINI, D. *Análise dos gaps de percepção dos atores envolvidos no transporte urbano de carga em Porto Alegre*. Porto Alegre, 2006. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. *Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso em Minas Gerais*. Belo Horizonte: FEAM, 2001.

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. *Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado de Minas Gerai*. Belo Horizonte: FEAM, 2010.

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. *Projeto Inspeção veicular: capacitação e avaliação inicial*. Belo Horizonte: FEAM, 2005.

FERREIRA, A. F.; RIBEIRO, R. G.; BARBOSA, H. M. *Aceitabilidade da carona programada como forma de gerenciamento da demanda por estacionamento em uma instituição de ensino*. XXV ANPET, Belo Horizonte, 2011.

FILIZOLA, I. M. *Identificação de valores referenciais do nível de emissão de gases de veículos automotores leves do ciclo Otto*. 2005. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.transportes.unb.br/producao_cientificanew/Teses_2005/IT ALO%20MARQUES%20FILIZOLA.pdf>. Acesso em: 02 set. 2012.

FIORAVANTE, E. F.; DUTRA, E. G.; FIGUEIREDO, L. V. P. Estimativa da emissão de poluentes por veículos pesados a diesel, Minas Gerais, Brasil - 2007. In: IX Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, 2009, Las Palmas de Gran Canaria. IX Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Madri (Espanha): Federación Iberoamericana de Ingeniería Mecánica, 2009

FJP, FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Omnibus: uma história dos transportes coletivos de Belo Horizonte. Belo Horizonte: Centro de Estudos Históricos e Culturais/Fundação João Pinheiro, 1997, 380p *apud* NETO, O.B. Impactos da moderação de tráfego na vitalidade urbana. Dissertação (MESTRADO). Engenharia de Transportes – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2012. 212f.

FOGLIATTI, M. C.; FILIPPO, S.; GOUDARD, B. *Avaliação de Impactos Ambientais*. Aplicação aos sistemas de Transporte. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004.

GAKENHEIMER, R. *Urban mobility in the developing world*, 1999. Transportation Research, Part A, n. 33, p. 671-689, 1999.

GATTI JUNIOR, W. . *A ZMRC e o transporte de cargas na cidade de São Paulo*, 2011. Revista Eletronica Gestão e Serviços. V.2, n.1, p. 205-227., Janeiro/Junho 2011.

HALL R. W.; PARTYKA J. G. Peak Period Truck Restrictions: Impacts on the Los Angeles Economy. Logisolve, Walnut Creek, CA, 1991 *apud* CAMPBELL, J. F. *Using small trucks to circumvent large truck restrictions: Impacts on truck emissions and performance measures*, 1995. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 29, No. 6, 445-458, 1995.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resultados do censo 2010[2010?]. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo2010/>>. Acesso em: 22 nov. 2012.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, [2013?] Contas Trimestrais. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=2072&z=t&o=3&i=p>>. Acesso em: 5 abril 2013.

KIRBY R. F.; TAGELL M. T.; ODEN K. W. Traffic management in metro Manila: Formulating traffic policies. *Traffic Engng Control* v.27, p. 262-269 1986 apud CAMPBELL, J. F. *Using small trucks to circumvent large truck restrictions: Impacts on truck emissions and performance measures*, 1995. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, V. 29, N. 6, p. 445-458, 1995.

LANDMANN, M. C. *Restrição de Tráfego: conceitos e procedimentos para estudo em áreas centrais*, 1994. Rio de Janeiro, R.J. – Brasil, 1994. 161p. Dissertação de M. Sc. , PETROPPE/UFRJ apud CRUZ, M. M. L. *Avaliação dos impactos de restrições ao trânsito de veículos*, 2006. São Paulo, S.P. – Brasil, 2006. 146p. Dissertação de M. Sc. , FEC/UNICAMP.

LIMA JUNIOR, O. F. *A carga na cidade: hoje e amanhã*. *Revista dos Transportes Públicos (ANTP)*, ano 25, p. 219-230, 3º trimestre, 2003.

MACARIO, R.. *Upgrading quality in urban mobility systems*. *Managing Service Quality*, v.11, n. 2, 2001.

MAGGLE. *La Logística Merci Urbana: Criticita'E Proposte di Soluzione*. Artigo publicado su Alti XXII Conferenza Italiana di Scienze Regionali (AISRe) "Scienze Regionali e strategie per La città e Il território", Venezia, 10-12 ottobre 2001 apud CARRARA, C. M. *Uma aplicação do SIG para a localização e alocação de terminais logísticos em áreas urbanas congestionadas*. Dissertação (Mestrado). Engenharia de Transportes – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, USP, 2007.

MATOS, de K.G; SILVA, da C.P.M. Sobre a aplicabilidade e aceitabilidade das medidas de gerenciamento de tráfego e demanda de viagens pelos órgãos de trânsito municipais do Brasil. ANPET, 2006. Disponível em: <http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/submissao/2006/2006_arr_rpjfmwkrzyodinrtrt.pdf>. Acesso em 15 out. 2012.

MAY, A. D. Traffic restraint: a review of the alternatives. *Transportation Research Part A*, v. 20A n. 2, p. 109-121, 1986 apud CRUZ, M. M. L. *Avaliação dos impactos de restrições ao trânsito de veículos*, 2006. São Paulo, S.P. – Brasil, 2006. 146p. Dissertação de M. Sc. , FEC/UNICAMP.

MCCABE, S.; ROORDA, M.; KWAN, H. *Comparing GPS and non-GPS survey methods for collecting urban goods and service movements*. International Conference on Survey Methods in Transport. França: 19 p. 2008 apud MOREIRA, C. M. *Metodologia para obtenção de dados e informações em logística urbana estudo de caso da Região Metropolitana de Belo Horizonte*, UFMG, 2012.

MELO, G. C. Efluentes atmosféricos e qualidade do ar. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: UFMG, 1998.

MMUTIS. Metro Manila Urban Transportation Integration Study, 1999. Department of Transportation and Communications, Metro Manila, 1999 apud Castro, J.T. *Impacts of large truck restrictions on a developing country*, 2004. Journal Proceeding of Infrastructure Planning. Vol.29, 2004. Disponível em: <http://www.jsce.or.jp/library/open/proc/maglist2/00039/200406_no29/pdf/169.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2012.

MONSERE, C. M. Estimating the Value of Commercial Vehicle Time: An Assessment of Methods. Mid-America Transportation Center. Department of Civil and Environmental, 1996.

MOREIRA, C. M. *Metodologia para obtenção de dados e informações em logística urbana estudo de caso da Região Metropolitana de Belo Horizonte*, UFMG, 2012.

NEDA. NATIONAL ECONOMIC AND DEVELOPMENT AUTHORITY (NEDA). *The truck ban in Metro Manila's major thoroughfares: A policy analysis*, Metro Manila, 1981 apud CASTRO, J.T., KUSE, H. *Impacts of large truck restrictions in freight carrier operations in Metro Manila*, 2005. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, 2947-2962, 2005.

ODGEN, K. W. *Urban goods movements: a guide to policy and planning*. Cambridge, Ashgate, 1992

OECD. *Delivering the goods - 21st century challenges to urban goods transport*. OECD working group on urban freight logistics, Paris, 2003.

OLIVEIRA, L.K.; *Diagnóstico das vagas de carga e descarga para a distribuição urbana de mercadorias: um estudo de caso em Belo Horizonte*, Journal of Transport Literature vol.8, n.1, PP 178-209, jan 2014.

PRAXIS, Projetos e Consultoria Ltda. *Hipercentro: pesquisa de uso e ocupação dos imóveis*. Belo Horizonte, 2003.

QUAK, H. J.; de KOSTER, M. B. M. *Delivering goods in urban areas: how to deal with urban policy restrictions and the environment*, 2009. *Transportation Science*, p. 1-17, 2009.

QUISPEL, M. *Active partnerships: the key to sustainable urban freight transport*. In: *European Conference on Mobility Management . ECOMM 6, Gent, Bélgica, 2002*.

RESENDE, P. T. V. *Mobilidade Urbana nas Grandes Cidades Brasileiras: Um Estudo sobre os Impactos do Congestionamento*. In *Anais SIMPOI, 2009*

SANCHES JUNIOR, P. F. *Logística de carga urbana: uma análise da realidade brasileira*. Tese Doutorado. Campinas, SP: [s.n.], 2008.

SANT'ANNA, M. V. *Entre o projeto urbano e o lugar: práticas, representações e usos do espaço público no processo contemporâneo de renovação do hipercentro de Belo Horizonte*. Dissertação (MESTRADO). Geografia – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SANTOS, E. C. dos e AGUIAR, E.M. *Transporte de Cargas em Áreas Urbanas*, In: Caixeta – Filho, J. V. et al (eds) *Gestão Logística do Transporte de Cargas*. São Paulo, 2001.

SCHEAFFER, R. L.; MENDENHALL, W.; OTTI, L. *Elementary survey sampling*. 4th ed. Boston: PWS-Kent, 1990.

SILVA, E. R. da. *Análise do Crescimento da Motorização no Brasil e seus Impactos na Mobilidade Urbana*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

SINAY, M. C. F.; NOVAES, A.G.; CAMPOS, V.B.G.; DEXHEIMER, L. *Distribuição de Carga Urbana: Componentes, Restrições e Tendências*. In: *Rio de Transportes*, 2., 2004, Rio de Janeiro. *Rio de Transportes II*, v.1, 2004

SMTR. Secretaria Municipal de Transporte do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/smtr/>>. Acesso em: 11 fev. 2013.

TANIGUCHI, E., THOMPSON, R.G . *Recent Advances in City Logistics*. Elsevier, Amsterdam, 2006.

TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R. G; YAMADA, T.; DUIN, R. *City Logistics: Network Modelling and Intelligent Transport Systems*, 2001. Oxford: Pergamon, 2001.

TAVARES; F.V.F. Estudo do processo de dispersão de emissões veiculares em uma microrregião de belo horizonte utilizando simulação numérica. Belo Horizonte, 2009. 153p.

TEIXEIRA, E. C.; FELTES, S; SANTANA, E. R. R. *Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul*. Química Nova, v. 31, n. 2, São Paulo, 2008.

URBS. Urbanização de Curitiba, [200?] Disponível em: <<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/>> Acesso em: 12 fev. 2013..

VALLEJO, M.H. O direito à mobilidade e a adaptação do espaço público. In: textos para discussão, Métopoles – América Latina & Caribe, Belo Horizonte, 2007.

VASCONCELLOS, E. A. *Transporte urbano, espaço e equidade: Análise de Políticas Públicas*, 2001. 2a. ed . Annablume, São Paulo 218p. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=fp7HJrZZ_qMC&oi=fnd&pg=PA11&dq=mobilidade+urbana+teve+in%C3%ADcio+com+%22buchanan+1963%22&ots=k60PM0IBC3&sig=siq8z8H7VCitulb_bj8SZyBVKEU#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 13 set. 2012

VILELA, N. M. *Hipercentro de Belo Horizonte: movimentos e transformações espaciais recentes*. Dissertação (MESTRADO). Geografia – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2006.

VIOLATO, R. R.; SANCHES, S. da P. *Aceitabilidade de medidas de gerenciamento da demanda de transportes*. In: Panorama nacional da pesquisa em transportes 2000, Gramado, Rio Grande do Sul, Trabalhos apresentados no XIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Rio de Janeiro: ANPET, 2000 *apud* FERREIRA, A.F; RIBEIRO, R.G; BARBOSA, H.M. *Aceitabilidade da carona programada como forma de gerenciamento da demanda por estacionamento em uma instituição de ensino*. XXV ANPET, Belo Horizonte, 2011.

ANEXO A

TABELA 7 - Fatores de emissão de escapamento zero km de CO, NO_x, NMHC e MP para automóveis e veículos comerciais leves movidos a gasolina C e a etanol hidratado, em g/km por ano

| Ano | Combustível | CO | NO _x | NMHC _{escap} | MP |
|-----------|------------------|------|-----------------|-----------------------|--------|
| Até 1983 | Gasolina | 33,0 | 1,4 | 2,55 | 0,0024 |
| | Etanol hidratado | 18,0 | 1 | 1,36 | - |
| 1984-1985 | Gasolina | 28,0 | 1,6 | 2,04 | 0,0024 |
| | Etanol hidratado | 16,9 | 1,2 | 1,36 | - |
| 1986-1987 | Gasolina | 22,0 | 1,9 | 1,7 | 0,0024 |
| | Etanol hidratado | 16,0 | 1,8 | 1,36 | - |
| 1988 | Gasolina | 18,5 | 1,8 | 1,445 | 0,0024 |
| | Etanol hidratado | 13,3 | 1,4 | 1,445 | - |
| 1989 | Gasolina | 15,2 | 1,6 | 1,36 | 0,0024 |
| | Etanol hidratado | 12,8 | 1,1 | 1,36 | - |
| 1990 | Gasolina | 13,3 | 1,4 | 1,19 | 0,0024 |
| | Etanol hidratado | 10,8 | 1,2 | 1,105 | - |
| 1991 | Gasolina | 11,5 | 1,3 | 1,105 | 0,0024 |
| | Etanol hidratado | 8,4 | 1 | 0,935 | - |
| 1992 | Gasolina | 6,2 | 0,6 | 0,51 | 0,0024 |
| | Etanol hidratado | 3,6 | 0,5 | 0,51 | - |
| 1993 | Gasolina | 6,3 | 0,8 | 0,51 | 0,0024 |
| | Etanol hidratado | 4,2 | 0,6 | 0,595 | - |
| 1994 | Gasolina | 6,0 | 0,7 | 0,451 | 0,0024 |
| | Etanol hidratado | 4,6 | 0,7 | 0,514 | - |
| 1995 | Gasolina | 4,7 | 0,6 | 0,451 | 0,0024 |
| | Etanol hidratado | 4,6 | 0,7 | 0,514 | - |
| 1996 | Gasolina | 3,8 | 0,5 | 0,3 | 0,0024 |
| | Etanol hidratado | 3,9 | 0,7 | 0,44 | - |
| 1997 | Gasolina | 1,2 | 0,3 | 0,15 | 0,0011 |
| | Etanol hidratado | 0,9 | 0,3 | 0,22 | - |
| 1998 | Gasolina | 0,8 | 0,23 | 0,105 | 0,0011 |
| | Etanol hidratado | 0,7 | 0,24 | 0,139 | - |
| 1999 | Gasolina | 0,74 | 0,23 | 0,105 | 0,0011 |
| | Etanol hidratado | 0,60 | 0,22 | 0,125 | - |
| 2000 | Gasolina | 0,7 | 0,21 | 0,098 | 0,0011 |
| | Etanol hidratado | 0,6 | 0,21 | 0,132 | - |
| 2001 | Gasolina | 0,48 | 0,14 | 0,083 | 0,0011 |
| | Etanol hidratado | 0,66 | 0,08 | 0,11 | - |
| 2002 | Gasolina | 0,4 | 0,12 | 0,083 | 0,0011 |
| | Etanol hidratado | 0,7 | 0,08 | 0,117 | - |
| 2003 | Gasolina | 0,40 | 0,12 | 0,083 | 0,0011 |
| | Etanol hidratado | 0,77 | 0,09 | 0,117 | - |
| | Flex - Gasolina | 0,50 | 0,04 | 0,038 | 0,0011 |

| | | | | | |
|-------------|------------------------|------|-------|-------|--------|
| | Flex-Etanol Hidratado | 0,51 | 0,14 | 0,11 | - |
| 2004 | Gasolina | 0,4 | 0,09 | 0,083 | 0,0011 |
| | Etanol hidratado | 0,8 | 0,08 | 0,125 | - |
| | Flex - Gasolina | 0,4 | 0,05 | 0,06 | 0,0011 |
| | Flex- Etanol Hidratado | 0,5 | 0,14 | 0,103 | - |
| 2005 | Gasolina | 0,34 | 0,09 | 0,075 | 0,0011 |
| | Etanol hidratado | 0,82 | 0,08 | 0,125 | - |
| | Flex - Gasolina | 0,45 | 0,05 | 0,083 | 0,0011 |
| | Flex- Etanol Hidratado | 0,39 | 0,1 | 0,103 | - |
| 2006 e 2007 | Gasolina | 0,3 | 0,08 | 0,06 | 0,0011 |
| | Etanol hidratado | 0,7 | 0,05 | 0,088 | - |
| | Flex - Gasolina | 0,5 | 0,05 | 0,075 | 0,0011 |
| | Flex- Etanol Hidratado | 0,5 | 0,07 | 0,081 | - |
| 2008 | Gasolina | 0,37 | 0,039 | 0,042 | 0,0011 |
| | Etanol hidratado | 0,67 | 0,05 | 0,088 | - |
| | Flex - Gasolina | 0,50 | 0,041 | 0,069 | 0,0011 |
| | Flex- Etanol Hidratado | 0,71 | 0,048 | 0,052 | - |
| 2009 | Gasolina | 0,3 | 0,02 | 0,034 | 0,0011 |
| | Flex - Gasolina | 0,3 | 0,03 | 0,032 | 0,0011 |
| | Flex- Etanol Hidratado | 0,6 | 0,032 | 0,03 | - |

Fonte: BRASIL, 2011. (reduzida)

ANEXO B

TABELA 8 - Fatores de emissão ($g_{\text{poluentes}}/\text{km.}$) de CO, NO_x, NMHC e MP para motores a diesel

| Categoria | Fase do Proconve/ ano | CO | NO _x | NMHC _{escap} | MP ¹ |
|--------------------------------|---------------------------------------|------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| Comerciais leves ¹ | Pré-Proconve, P1 e P2 (antes de 1995) | 0,77 | 0,28 | 4,45 | 0,274 |
| | P3 (1996 a 1999) | 0,69 | 0,23 | 2,81 | 0,136 |
| | P4 (2000 a 2005) | 0,38 | 0,13 | 2,74 | 0,053 |
| | P5 (2006 a 2011) | 0,35 | 0,07 | 1,98 | 0,033 |
| | P7(a partir de 2012) | 0,37 | 0,07 | 0,8 | 0,008 |
| Caminhões leves ² | Pré-Proconve, P1 e P2 (antes de 1995) | 0,92 | 0,34 | 5,31 | 0,328 |
| | P3 (1996 a 1999) | 0,83 | 0,28 | 3,36 | 0,163 |
| | P4 (2000 a 2005) | 0,45 | 0,15 | 3,28 | 0,064 |
| | P5 (2006 a 2011) | 0,42 | 0,08 | 2,37 | 0,04 |
| | P7(a partir de 2012) | 0,44 | 0,09 | 0,96 | 0,01 |
| Caminhões médios ³ | Pré-Proconve, P1 e P2 (antes de 1995) | 1,26 | 0,46 | 7,28 | 0,049 |
| | P3 (1996 a 1999) | 1,14 | 0,38 | 4,6 | 0,223 |
| | P4 (2000 a 2005) | 0,62 | 0,21 | 4,49 | 0,087 |
| | P5 (2006 a 2011) | 0,58 | 0,11 | 3,25 | 0,054 |
| | P7(a partir de 2012) | 0,6 | 0,12 | 1,31 | 0,013 |
| Caminhões pesados ⁴ | Pré-Proconve, P1 e P2 (antes de 1995) | 2,21 | 0,81 | 12,73 | 0,785 |
| | P3 (1996 a 1999) | 1,99 | 0,66 | 8,04 | 0,391 |
| | P4 (2000 a 2005) | 1,08 | 0,37 | 7,85 | 0,153 |
| | P5 (2006 a 2011) | 1,01 | 0,19 | 5,68 | 0,095 |
| | P7(partir de 2012) | 1,06 | 0,2 | 2,3 | 0,023 |

¹ Valor válido para o teor de enxofre do diesel nos testes de homologação

² Caminhões Leves (3,5 t < PBT < 10t)

³ Caminhões Médios (10 t < PBT < 15 t)

⁴ Caminhões Pesados (PBT > 15 t)

Fonte: BRASIL, 2011 (adaptado).

ANEXO C

TABELA 9 - Estimativa de emissão para os dois cenários no ano de 2011

| CATEGORIA | POLUENTES* | CENÁRIO 1 | CENÁRIO 2 |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| 1 Comerciais Leves a Diesel | CO | 437.067,51 | 939.088,07 |
| | NOx | 149.523,10 | 321.266,97 |
| | NMHC | 3.151.486,81 | 6.771.319,26 |
| | MP | 60.959,42 | 130.978,07 |
| 2 Caminhões Leves | CO | 5.314.179,55 | 8.542.537,48 |
| | NOx | 1.771.393,18 | 2.847.512,49 |
| | NMHC | 38.734.464,24 | 62.265.606,51 |
| | MP | 755.794,42 | 1.214.938,66 |
| 3 Caminhões Médios | CO | 2.629.160,27 | 2.678.871,99 |
| | NOx | 890.522,03 | 907.359,87 |
| | NMHC | 19.040.209,08 | 19.400.218,15 |
| | MP | 368.930,55 | 375.906,23 |
| 4 Caminhões Pesados | CO | 2.070.381,88 | 3.953.607,38 |
| | NOx | 389.477,78 | 743.747,92 |
| | NMHC | 11.643.335,70 | 22.234.148,42 |
| | MP | 194.738,89 | 371.873,96 |
| 5 Comerciais Leves a Gasolina | CO | 40.283,72 | 139.622,24 |
| | NOx | 2.148,47 | 7.446,52 |
| | NMHC | 2.014,19 | 6.981,11 |

* Valores em (g/ano).