ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

MARIANA DE OLIVEIRA LAGE

**HIERARQUIZAÇÃO DAS ÁREAS DE CONCENTRAÇÃO DE
EMIÇÃO DE POLUENTES DECORRENTES DO TRANSPORTE DE
CARGA EM SÃO PAULO UTILIZANDO TÉCNICAS DE
GEOPROCESSAMENTO**

São Paulo

2016

MARIANA DE OLIVEIRA LAGE

**HIERARQUIZAÇÃO DAS ÁREAS DE CONCENTRAÇÃO DE
EMIÇÃO DE POLUENTES DECORRENTES DO TRANSPORTE DE
CARGA EM SÃO PAULO UTILIZANDO TÉCNICAS DE
GEOPROCESSAMENTO**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia**

São Paulo

2016

MARIANA DE OLIVEIRA LAGE

**HIERARQUIZAÇÃO DAS ÁREAS DE CONCENTRAÇÃO DE
EMIÇÃO DE POLUENTES DECORRENTES DO TRANSPORTE DE
CARGA EM SÃO PAULO UTILIZANDO TÉCNICAS DE
GEOPROCESSAMENTO**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia**

**Área de concentração: Engenharia de
Transportes – Informações Espaciais**

**Orientador: Prof. Livre-Docente José
Alberto Quintanilha.**

**São Paulo
2016**

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 23 de junho de 2016

Assinatura do autor: Mariana de O. Lage

Assinatura do orientador: [assinatura]

Catálogo-na-publicação

Lage, Mariana de Oliveira

Hierarquização das áreas de concentração de emissão de poluentes decorrentes do transporte de carga em São Paulo utilizando técnicas de geoprocessamento / M. O. Lage -- versão corr. -- São Paulo, 2016.
211 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1. Transporte de carga urbano 2. Emissão de poluentes atmosféricos
3. Sistema de informações geográficas 4. Modelos espaciais 5. Análise
hierárquica de multicritérios I. Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II. t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente:

Ao meu orientador Prof. Dr. José Alberto Quintanilha, que dedicou muito de seu tempo contribuindo para este trabalho. Muito obrigada por sua generosidade e competência científica, que foram determinantes nesta jornada.

Aos professores por investirem sua energia e paciência com preciosas orientações e sugestões, Dra Mariana Abrantes Giannotti, Dr. Jorge Pimentel Cintra, Dr. Nicolau Dionísio Fares Gualda, Dr. Orlando Strambi, Dr. Edvaldo Simões da Fonseca Junior, Dr. Cleyton de Carvalho Carneiro.

Ao Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Aos amigos do Laboratório de Geoprocessamento da EPUSP, Janaína, Cláudia, Luciana, Diego, Roberta, Henrique, Júlio, Waldir agradeço pela ajuda e conselhos. Suas dicas foram valiosas!

Ao Maplink por fornecer os dados presentes na minha dissertação.

Aos amigos da faculdade de Saúde Pública, Professora Dra. Adelaide Cassia Nardocci e o doutorando Adeylson Guimarães Ribeiro, muito obrigada pela ajuda.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo apoio financeiro.

E finalmente, à minha família, minha mãe Maria Aparecida, meu pai Dário, meu namorado Diego, muito obrigada pelo amor irrestrito e apoio incondicional.

RESUMO

O presente estudo agrega os dados geoespaciais livres, cedidos pela prefeitura de São Paulo, IBGE, CNAE, RAIS, entre outros e particulares, cedidos pela empresa Maplink, com os recursos dos Sistemas de Informações Geográficas – SIG, para planejamento de Transportes. A megacidade de São Paulo com mais de dez milhões de habitantes tem milhares de estabelecimentos comerciais para atender a demanda dessa população, que precisa ser abastecidos. Os veículos de carga que abastecem, além de afetarem o trânsito e mobilidade urbana, emitem poluentes. O objetivo é hierarquizar as áreas da megacidade de São Paulo (Brasil) com características potenciais para alta concentração de poluentes decorrentes da circulação dos veículos de carga para abastecer os estabelecimentos comerciais. A metodologia correlaciona espacialmente os dois conjuntos de dados (localização de estabelecimentos comerciais e a circulação de veículos de transporte de cargas) utilizando ferramentas de análises espaciais, baseada em *Kernel Density Estimator* – KDE, a análise de multicritério, como a *Analytic Hierarchy Process* - AHP para avaliar como estas duas variáveis estão relacionadas, e também a lógica *Fuzzy* para calcular esses dados. Os resultados obtidos demonstram que as avenidas e rodovias do município de São Paulo possuem alta concentração de poluentes, sendo utilizadas como rotas para os veículos de carga que tanto fazem do município sua origem e/ou destino, as regiões que possuem alta concentração de poluentes atmosféricos são: Cerqueira César, Parque Dom Pedro II e Ibirapuera, com destaque também na Marginal Tietê e Marginal Pinheiros, além da zona leste (Itaquera e Itaim Paulista).

Palavras-chave: Transporte de carga urbano, Emissão de poluentes atmosféricos, Sistema de informações geográficas, Modelos espaciais, Análise hierárquica de multicritérios.

ABSTRACT

This study adds free geospatial data, granted by the city of São Paulo, IBGE, CNAE, RAIS, among others and individuals assigned by Maplink company with the capabilities of Geographic Information Systems - GIS for Transportation planning. The megacity of São Paulo with more than ten million inhabitants has thousands of shops to meet the needs of this population, which must be supplied. The cargo vehicles that supply, as well as affect the traffic and urban mobility, emit pollutants. The goal is to prioritize areas of the megacity of São Paulo (Brazil) with potential characteristics for high concentration of pollutants resulting from the movement of cargo vehicles to supply shops. The methodology spatially correlate the two sets of data (location of commercial establishments and the movement of cargo transport vehicles) using tools of spatial analysis based on Kernel Density Estimator - KDE, the multi-criteria analysis, as the Analytic Hierarchy Process - AHP to evaluate how these two variables are related, and also fuzzy logic to calculate this data. The results show that the avenues and highways of São Paulo have a high concentration of pollutants, being used as routes for freight vehicles that both make the city their origin and / or destination, the regions with high concentration of air pollutants they are: Cerqueira Cesar, Parque Dom Pedro II and Ibirapuera, highlighting also the Marginal Tiete and Pinheiros, besides the east side (Itaquera and Itaim Paulista).

Keywords: Urban freight transport, Emissions of air pollutants, Geographic information system, spatial models, hierarchical analysis of multi-criteria

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP: Processo Analítico Hierárquico

ANFAVEA: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ASM: Acceleration Simulation Mode

B2C: Business to Consumer

CAA: Clean Air Act

CAD: Computer-Aided Design

CATT-BRAMS: Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System

CD: Centro de Distribuição

CEPTEC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CET: Companhia de Engenharia de Tráfego

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CICPAA: Comissão Intermunicipal de Controle da Poluição das Águas e do Ar

CISLOG: Centro de Inovação em Sistema Logísticos

CMEM: Comprehensive Modal Emission Model

CNT: Confederação Nacional do Transporte

CO: Monóxido de Carbono

CO2: Dióxido de Carbono

COM: Commission of the European Communities

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSEMA: Conselho Estadual do Meio Ambiente

COPERT: Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport

COV: Compostos Orgânicos Voláteis

DBO: Demanda Bioquímica do Oxigênio

DE: Decreto Estadual

DETRAN: Departamento Estadual de Trânsito

DSV: Departamento de Operações do Sistema Viário

EAA: European Environment Agency

EPA: United States Environment Protection Agency

EPUSP: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

ESDA: Exploratory Spatial Data Analysis

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto
EUA: Estados Unidos da América
FHWA: Federal Highway Administration
FMC: Fumaça
FSF: Free Software Foundation
FSP : Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo
GEF: Global Environment Facility
GEIPOT: Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
GEM: Grupo Especial de Mobilidade
GNU: GNU Não é Unix
GPL: General Public Licence
GPS: Global Positioning System (tradução livre, Sistema de Posicionamento Global)
HC: Hidrocarboneto
HOV: High-occupancy vehicle lane
I/M: Vehicle Inspection and Maintenance
IBAMA: Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IBEAS: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC: Índice de Consistência
ICT: Information and Communications Technology
INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA: Institute of Applied Economic Research
ISSRC: International Sustainable Systems Research Center
ITS: Intelligent Transport System
ITSUMO: Intelligent Transportation System for Urban Mobility
IV: Infravermelho
IVE: International Vehicle Emissions
JIT: Just In Time
MI: Metas Intermediárias
MINTER: Ministério do Interior
MMA: Ministério do Meio Ambiente
MMAD: Multicritério de Análise de Decisão
MNT: Modelagem Numérica de Terreno
MOBILE: Mobile Source Emission Factor Model

MP: Material Particulado

MP10: Material Particulado Inalável

MP2,5: Material Particulado Inalável Fino

NCHRP: National Cooperative Highway Research Program

NMHC: Hidrocarbonetos Não-Metânicos

NO: Óxido Nítrico

NO2: Dióxido de Nitrogênio

NOX: Óxido de Nitrogênio

OCDE: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

O3: Ozônio

OD: Oxigênio Dissolvido

OMS: Organização Mundial de Saúde

ONU: Organização das Nações Unidas

PEMS: Portable Emission Monitoring System

PF: Padrões Finais

PIB: Produto Interno Bruto

PNUD: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PQA: Padrão de Qualidade do Ar

PROCONVE: Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores

PRONAR: Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar

PTS: Partículas Totais em Suspensão

RMSP: Região Metropolitana de São Paulo

ROVER: Real-time On road Vehicle Emission Reporter

RSD: Road-side Pullover Test

SETCESP: Sindicato das Empresas de Transporte de São Paulo

SIG: Sistema de Informação Geográfica

SMA: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo

SMT: Secretaria Municipal de Transportes

SO2: Dióxido de Enxofre

SOX: Enxofre

SPOT: Simple Portable Onboard Test

STAQ: Sustainable Transport and Air Quality

SUSAM: Superintendência de Saneamento Ambiental

TFYP: Governance Tenth Five Year Plan

TIPEC: Tecnologias para Incremento da Performance e Eficiência Corporativa

TRB: Transportation Research Board

UnB: Universidade de Brasília

USP: Universidade de São Paulo

UV: Ultravioleta

VER: Vias Estruturais Restritivas

VLC: Veículo Leve de Carga

VUC: Veículo Urbano de Carga

ZER: Zona Exclusivamente Residencial

ZERC: Zona Especial de Restrição de Circulação

ZMRC: Zona Máxima de Restrição de Circulação

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Tipos de entrega de mercadoria	31
Figura 2: Problemas causados pelo transporte de carga.	37
Figura 3: Zona de Restrição de Circulação de 100 Km ²	63
Figura 4: Mapa detalhado das vias da ZMRC.	65
Figura 5: Concentração de atividades no centro expandido de São Paulo.	66
Figura 6: Estrutura Hierárquica Básica.	81
Figura 7: Explicação da lógica de <i>Fuzzy</i>	87
Figura 8: Área de estudo.	91
Figura 9: Passo a passo da metodologia adota para a Dissertação.	102
Figura 10: Regiões do município de São Paulo adotadas.	105
Figura 11: Estabelecimentos comerciais no município de São Paulo.	107
Figura 12: Quantidade de estabelecimentos comerciais por regiões de São Paulo.	109
Figura 13: Predominância por tipo de estabelecimento comercial por quadra.	110
Figura 14: Esquema produzido pelo software ExpertChoice com os parâmetros e pesos do AHP	113
Figura 15: Densidade número de estabelecimentos comerciais em São Paulo por km ²	115
Figura 16: Quantidade de caminhões por regiões – SP	118
Figura 17: Quantidade de caminhões por regiões por dia - 05/10.	120
Figura 18: Quantidade de caminhões por regiões por dia - 06/10.	121
Figura 19: Quantidade de caminhões por regiões por dia - 07/10.	122
Figura 20: Quantidade de caminhões por regiões por dia - 08/10/2014.	123
Figura 21: Quantidade de caminhões por regiões por dia - 09/10/2014.	124
Figura 22: Quantidade de caminhões por regiões por dia - 10/10/2014.	125
Figura 23: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período madrugada.	129
Figura 24: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período de 03:00 até 06:00 horas	130
Figura 25: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período manhã.	131
Figura 26: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período de 09:00 até 12:00 horas	132
Figura 27: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período tarde.	133
Figura 28: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período de 15:00 até 18:00 horas	134
Figura 29: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período noite	135
Figura 30: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período de 21:00 até 00:00 horas	136
Figura 31: Quantidade de caminhões por regiões - SP.	138
Figura 32: Qualidade do ar no dia 05 de outubro de 2014.	142
Figura 33: Qualidade do ar no dia 06 de outubro de 2014.	143
Figura 34: Qualidade do ar no dia 07 de outubro de 2014.	144

Figura 35: Qualidade do ar no dia 08 de outubro de 2014.	145
Figura 36: Qualidade do ar no dia 09 de outubro de 2014.	146
Figura 37: Qualidade do ar no dia 10 de outubro de 2014.	147
Figura 38: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de São Paulo.	149
Figura 39: Densidade de estabelecimentos comerciais por região de São Paulo.	151
Figura 40: Densidade de caminhões por região de São Paulo	152
Figura 41: Resultado da fuzzificação dos dados.	154
Figura 42: Rotas e pontos selecionados no relatório da CET 2004.	192
Figura 43: Rotas e pontos selecionados no relatório da CET 2013.	193
Figura 44: Área de estudo – região central do Município de São Paulo.....	200
Figura 45: Função <i>Kernel</i> na região central de São Paulo com a contagem de caminhões no período da manhã sentido bairro/centro – 2004.....	201
Figura 46: Função <i>Kernel</i> na região central de São Paulo com a contagem de caminhões no período da manhã sentido bairro/centro – 2013.....	202
Figura 47: Função <i>Kernel</i> na região central de São Paulo com a contagem de caminhões no período da tarde sentido bairro/centro - 2004.	203
Figura 48: Função <i>Kernel</i> na região central de São Paulo com a contagem de caminhões no período da tarde sentido bairro/centro - 2013.	204
Figura 49: Diferença da função de <i>Kernel</i> da contagem de caminhões dos anos de 2004 e 2013 no período da manhã no sentido bairro-centro.....	205
Figura 50: Diferença da função de <i>Kernel</i> da contagem de caminhões dos anos de 2004 e 2013 no período da tarde no sentido bairro-centro.....	206
Figura 51: Dados do IDHM Brasil, IDH Global e IDHM 2003.	208
Figura 52: Cálculo do IDHM	210

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1: Função de Kernel.....	76
Fórmula 2: Forma matricial do AHP.	83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução do tempo do número de artigos publicados	79
Gráfico 2: Contagem de caminhões por rota do Relatório da CET (2004).....	195
Gráfico 3: Contagem de caminhões por rota do Relatório da CET (2013).....	196
Gráfico 4: Comparação da contagem de caminhões por zona do Município de São Paulo, do Relatório da CET 2013 e 2004.....	197

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Poluentes classificados.	44
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: A evolução do transporte de carga no Brasil.	28
Tabela 2: Comparação de modos de transporte entre países	29
Tabela 3: As últimas recomendações de emissão de poluentes decretadas pela OMS	46
Tabela 4: Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Decreto Estadual nº 59113/23/04/2013)	50
Tabela 5: Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar (Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013)	53
Tabela 6: Estrutura do índice de qualidade do ar.	54
Tabela 7: Qualidade do Ar e efeitos à saúde.....	55
Tabela 8: Escala de importância relativa	82
Tabela 9: Configuração da Rede Automática	96
Tabela 10: Configuração da Rede Automática - 2.....	98
Tabela 11: Métodos de Medição dos Parâmetros.	99
Tabela 12: Setores econômicos pela RAIS e CNAE para a pesquisa de OD de Cargas.....	101
Tabela 13: Estabelecimentos comerciais – São Paulo.	106
Tabela 14: Quantidade de estabelecimentos comerciais por região– São Paulo..	108
Tabela 15: Definição de pesos por tipo de estabelecimento.	112
Tabela 16: Pesos X Tipo de Estabelecimento Comercial.	114
Tabela 17: Contagem de caminhões por dia da semana em São Paulo.	117
Tabela 18: Contagem de caminhões por dia da semana nas regiões de São Paulo.	119
Tabela 19: Contagem de caminhões por horário e dia da semana nas regiões de São Paulo, em 2014	126
Tabela 20: Contagem de caminhões por horário e região no dia 07/10/2014.	127
Tabela 21: Qualidade do ar por região na semana de estudo.....	141
Tabela 22: Informações das rotas do Relatório da CET (2004).....	197
Tabela 23: Informações das rotas do Relatório da CET (2013).....	198

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	Caracterização do Problema.....	20
1.2	Objetivo.....	26
1.2.1	Objetivos específicos.....	26
2	TRANSPORTE DE CARGA	27
2.1	Transporte urbano de carga.....	29
2.1.1	Transporte urbano de carga em megacidades.....	33
2.1.2	Externalidades negativas no transporte urbano de carga.....	35
2.2	Sustentabilidade e tecnologias no transporte urbano de carga.....	39
3	POLUIÇÃO DO AR DERIVADO DO TRANSPORTE URBANO DE CARGA.....	42
3.1	Padrões de qualidade do ar.....	45
3.2	Emissão de poluentes no transporte urbano de carga.....	55
3.3	Modelos de estimativa da emissão de poluentes.....	57
3.4	Medidas mitigadoras para a emissão de poluentes.....	60
3.4.1	PROCONVE.....	60
3.4.2	Tipos de motores.....	62
3.4.3	Zona Máxima de Restrição de Circulação.....	62
4	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	67
4.1	Caracterização do SIG.....	69
4.2	Aplicação do SIG no setor de transportes.....	71
4.3	Análise Espacial.....	73
4.4	Método de <i>Kernel</i>	75
5	ANÁLISE DE MULTICRITÉRIOS.....	78
5.1	Analytic Hierarchy Process (AHP).....	80
6	LÓGICA FUZZY.....	86
6.1	Aplicação na área de transporte.....	89

7	METODOLOGIA DA ANÁLISE	91
7.1	Área de estudo	91
7.2	Materiais.....	91
7.3	Informações dos dados utilizados	92
7.4	Metodologia da dissertação	101
8	RESULTADOS	104
8.1	Espacialização dos dados do relatórios da CET	104
8.2	Análises espaciais dos estabelecimentos comerciais	104
8.3	Aplicação da AHP nos estabelecimentos comerciais.....	111
8.4	Análise espacial dos dados do Maplink	116
8.5	Dados CETESB.....	139
8.6	Dados IDHM.....	148
8.7	Cruzamento de dados - <i>Fuzzy</i>	150
9	CONCLUSÃO	156
10	RECOMENDAÇÕES	159
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	160
	APÊNDICE A - Georreferenciamento dos dados da CET	191
	ANEXO A - Informações sobre o IDHM.....	208

1 INTRODUÇÃO

O problema atual no sistema de transporte dos países emergentes não se restringe apenas à carência de infraestrutura que conecte áreas distantes, como a zona periférica rural das grandes cidades, mas se relaciona a problemas como congestionamento, poluição, acidentes, etc.

Há poucas atividades que ocorrem em uma megacidade (cidades com mais de 10 milhões de habitantes segundo a ONU 2012) que não exigem a circulação de mercadorias. Esses deslocamentos competem por espaço e usam o mesmo sistema viário de transporte de pessoas, seja em veículos particulares ou em transporte de massa em geral, além de gerar diversos impactos, como, por exemplo, a poluição do ar urbano.

Esta dissertação tem como objetivo hierarquizar as regiões segundo o seu potencial para a poluição do ar, por meio de análise espacial, como a localização de estabelecimentos comerciais e a circulação de veículos de carga que afetam a qualidade do ar urbano. A área de estudo é o município de São Paulo, no Brasil, que tem uma população de mais de 11 milhões de habitantes (IBGE,2010) e uma das maiores frotas de veículos do mundo. A metodologia correlaciona espacialmente os dois conjuntos de dados (localização de estabelecimentos comerciais e a circulação de veículos de transporte de cargas) utilizando ferramentas de análises espaciais, baseada em *Kernel Density Estimator* – KDE, a análise de multicritério, como a *Analytic Hierarchy Process* - AHP para avaliar como estas duas variáveis estão relacionadas, e também a lógica *Fuzzy* para calcular esses dados.

1.1 Caracterização do Problema

A poluição do ar proveniente dos veículos automotores, abastecidos principalmente por combustíveis fósseis, gera danos à saúde da população que habita os grandes centros urbanos. Desta forma, algumas iniciativas têm sido tomadas para a promoção de meios de transporte mais eficientes, sustentáveis e de tecnologias com baixa emissão de poluentes (HOOFMANN, 2009).

As crescentes taxas de motorização e a deficiência de políticas públicas para o setor de transportes, notadamente no equilíbrio entre uso do solo e transporte, além da utilização de modos não eficientes, tanto no que se refere ao transporte de pessoas, como de carga, apontam para um cenário onde a emissão de poluentes veiculares se torna cada vez mais relevante, constituindo um sério problema ambiental que demanda, a partir de um melhor conhecimento e entendimento do assunto, a adoção de múltiplas medidas de controle (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011).

Pesquisas e indicadores brasileiros sobre desenvolvimento e sustentabilidade, divulgadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), demonstraram que a principal causa da poluição atmosférica no país são as emissões de gases procedentes dos automóveis (IBGE, 2014).

O Estado de São Paulo detém a maior frota veicular brasileira, sendo que a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) concentra 50% desses veículos (CETESB, 2014). Essa concentração excessiva tem como principal consequência a deterioração da qualidade do ar no centro urbano, o que compromete a saúde da população. Segundo o relatório da CETESB (2014), a RMSP sofre de problemas ambientais, entre eles está a má qualidade do ar devido às emissões atmosféricas de uma frota aproximadamente de 8,1 milhões de veículos (CETESB, 2014).

Cabe salientar que a quantidade de poluentes emitidos depende de vários fatores, tais como o tipo de motor, sua regulação, manutenção e modo de dirigir. Além disso, os veículos podem poluir mesmo sem estar em funcionamento, pois com o motor desligado ocorre evaporação de combustível pelo suspiro do tanque e no sistema de carburação do motor, sendo grande parte desses vapores lançada para a atmosfera (TEIXEIRA, *et al.*, 2008).

Veículos pesados (ônibus e caminhões) são responsáveis pela maior fração das emissões de óxidos de nitrogênio, de enxofre e de material particulado,

enquanto que os veículos leves (automotores de passeio e de uso misto), movidos à gasolina e a álcool, são os principais emissores de monóxido de carbono e hidrocarbonetos (TEIXEIRA, 2008). O diesel é notadamente o combustível mais poluente e economicamente custoso, por exemplo, demandam menos manutenção e tem vida útil mais longa que motores a combustível convencionais. A utilização de biodiesel no transporte rodoviário pesado oferece grandes vantagens para o meio ambiente, principalmente em grandes centros urbanos, tendo em vista que a emissão de poluentes é menor que a do óleo diesel (CHANG *et.al.*, 1996).

Desde 1950 o transporte urbano sobre rodas é destaque mundial como um meio de transporte de carga. A expansão da indústria automobilística associada aos baixos preços de combustíveis derivados do petróleo é um dos fatores para a adesão do transporte rodoviário (SCHROEDER e CASTRO, 1996).

A partir da década de 1960, na Europa e nos EUA, cresceu a preocupação com os problemas ambientais, isso gerando movimentos que pressionavam os governos para aumentar a rigidez no controle de emissões de poluentes e na utilização dos recursos naturais. Muito se avançou em termos tecnológicos e no desenvolvimento de equipamentos de controle de qualidade de ar. No Brasil, apesar da legislação ambiental existente e dos programas de controle da qualidade do ar, ainda é alta a concentração de poluentes nas grandes cidades (SCHROEDER e CASTRO, 1996).

A partir de 1970, a necessidade do crescimento econômico brasileiro e mundial e, por conseguinte, o aumento do preço do petróleo não foi suficiente para que houvesse uma rejeição da preferência pela a mobilidade rodoviária (SCHROEDER e CASTRO, 1996).

No Brasil, na década de 1980, o investimento público se concentrou no setor econômico, como o combate da inflação, desequilíbrios externos, entre outros, e não obteve uma preocupação no setor de transportes, este sem investimentos públicos e/ou privados. Esse fato não somente postergou os projetos em andamento, mas também atingiu os que estavam planejados (TOLEDO, 2010).

Cada vez mais tem se discutido a redução das emissões de poluentes resultantes de tráfego diário de veículos em grandes cidades. Em 1990, o aumento do controle de emissões industriais e as alterações no uso e ocupação do solo fizeram com que muitas indústrias se transferissem para outras áreas do Estado de São Paulo que não a capital, fazendo com que, atualmente, os poluentes emitidos

pela frota veicular sejam a principal fonte de poluição atmosférica (TOLEDO, 2010).

A preocupação internacional com a redução dos impactos ambientais do transporte levou as autoridades locais em vários países a implementar políticas destinadas a desencorajar o uso de veículos particulares (SANTOS *et.al.*, 2010). Para isso, várias estratégias têm sido implementadas em cidades como Londres (RU), Portland (EUA), Singapura ou Curitiba (Brasil). Essas políticas muitas vezes integram o uso de diferentes modos de transporte, uso da terra, ou metas do governo, considerando as necessidades de diferentes grupos sociais (ÜLENGIN *et.al.*, 2007; SANTOS *et.al.*, 2010). A intervenção política é, portanto, necessária para garantir o bem-estar da sociedade e minimizar as externalidades negativas do transporte, mantendo sua competitividade, acessibilidade e conectividade (HULL, 2008; BROWNE e RYAN, 2011).

Em estudos realizados pelo IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – em 1999, foram quantificadas as deseconomias advindas dos congestionamentos, no que se refere o consumo de combustível, emissão de poluentes, além do impacto no sistema de ônibus, do tempo gasto, e da ocupação do espaço urbano. O estudo foi conduzido em 1997 em 10 cidades brasileiras (Belo Horizonte, Brasília, Campinas, Curitiba, João Pessoa, Juiz de Fora, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro e São Paulo), e revelou que os custos com o congestionamento chegavam a 500 milhões de reais por ano (IPEA, 1999). Já segundo o cálculo oficial da Secretaria de Transportes Metropolitanos do Estado de São Paulo, os custos são de 4,1 bilhões de reais por ano, porém incluindo perdas financeiras em acidentes de trânsito e poluição (SECRETARIA DE TRANSPORTES METROPOLITANOS, 2008).

Como apontado por Qureshi e Lu (2007), "a mitigação das externalidades do transporte requer uma mudança para sistemas de transporte sustentáveis". Com base no conceito de Desenvolvimento Sustentável do Relatório The Brundtland (BRUNDTLAND, 1987), um sistema de transporte sustentável é uma:

"política de infraestrutura de transporte e viagens sustentáveis que servem vários objetivos de desenvolvimento econômico, proteção do meio ambiente e igualdade social, têm o objetivo de otimizar o uso dos sistemas de transporte para atingir metas sociais e ambientais econômicas entre outras, sem sacrificar a capacidade das gerações futuras para alcançar os mesmos objetivos" (SPAETHLING, 1996, p.456)

Outras convenções foram feitas desde o Relatório The Brundtland, em 1987. Como exemplo, em 1992 ocorreu outra convenção, a Rio 92, que foi a conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. Realizada no Rio de Janeiro, reuniu mais de 100 chefes de Estado para debater formas de desenvolvimento sustentável. A intenção nesse encontro era introduzir a ideia do desenvolvimento sustentável, um modelo de crescimento econômico menos consumista e mais adequado ao equilíbrio ecológico. Opções de locomoção para substituir os automóveis também foram discutidas na conferência. Isso levou alguns países a estimular o uso de bicicletas, que beneficiam o trânsito das cidades e diminuem a poluição. Nessa trilha também seguem hoje os veículos movidos a eletricidade e combustíveis renováveis para decidir que medidas tomar para conseguir diminuir a degradação ambiental e garantir a existência de outras gerações (ONU, 2002).

O Protocolo de Kyoto realizado em 1997, com 136 países que compõem a convenção, definiu suas posições em relação às mudanças climáticas. Em aspectos gerais, o Protocolo de Kyoto é um tratado com compromissos mais rígidos para a redução da emissão dos gases que provocam o efeito estufa. O Protocolo de Kyoto é um passo importante, um tema sobre o qual se envolve a importância do ambiente e os efeitos do aquecimento global (ONU, 1997).

Como efeito, o setor de transportes tem um sério impacto sobre o meio ambiente pela sua emissão de diversos gases poluentes, acidentes, ruídos e congestionamentos. Além disso, o consumo de energia no transporte cria um problema de dependência energética, uma vez que depende quase inteiramente do petróleo (TURCK SIN *et al.*, 2011). Estes são os custos gerados por usuários privados e transformados em impostos pagos pela sociedade como um todo (BROWNE e RYAN, 2011).

Allen *et.al.* (2002) explicam a importância das atividades do transporte urbano de carga em relação à sustentação do nível socioeconômico e das atividades comerciais e industriais, por serem vistas como um elemento importante na economia de grandes cidades. O transporte de carga é parte fundamental da vida e da economia de uma grande cidade, pois é através deste que as cidades recebem seus suprimentos (CUNHA e YOSHIZAKI, 2014). Por outro lado, a escolha do transporte sobre rodas interfere em custos ambientais e energéticos. Considerando que o transporte de carga é movido, na maioria das vezes, por diesel e que

boa parte das emissões de derivados de carbono é oriunda desse combustível, isso possibilita estimar os efeitos ambientais (GOLDEMBERG, 1990).

De acordo com Black (1996), a necessidade do transporte rodoviário pode ser efetivamente reduzida através do planejamento e do controle do uso do solo. Esta é uma das soluções que pode fazer a diferença para um transporte mais sustentável não só para a próxima geração, mas também para as gerações futuras.

Dentro deste contexto, programas e estudos surgiram para reduzir a emissão de poluentes que contemplam sobretudo as propostas a seguir: a redução do tamanho de cargas, o uso mais eficiente do combustível, o desenvolvimento e a implantação de combustíveis alternativos, a tributação dos combustíveis, a melhoria do transporte público e a educação dos cidadãos (FULTON, 2001).

Uma dessas iniciativas é o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), criado no Ministério do Meio Ambiente pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que, no Estado de São Paulo, é gerenciado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2008).

Os estudos em andamento pelo poder público, por meio dos programas visam a avaliar os impactos gerados, entender e organizar o ambiente urbano contemporâneo e futuro, por meio de informações espaciais que sirvam como base para avaliar o planejamento e gestão das cidades. Como Bertolini e le Clercq (2003) afirmam, a sustentabilidade em meios de transporte urbanos, acima de tudo, visa a melhorar as oportunidades para os modos não motorizados de viagem, incluindo caminhadas e ciclismo e, ainda, melhorar as oportunidades para o trânsito (por exemplo, viagens com menor distância) e desempenho ambiental dos modos de transporte, como o caminhão (motores mais eficientes).

No município de São Paulo, a Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET) realiza um levantamento, com o objetivo de conhecer como as cargas se deslocam no município de São Paulo, a pesquisa de origem e destino de carga (CET, 2014).

Além destes, outros estudos de diferentes partes do mundo tem pesquisado sobre o transporte de carga em grandes centros urbanos (CET, 2015). No Reino Unido e na Alemanha, o planejamento do uso do solo com o enfoque para melhorar o transporte e por consequência, a emissão de poluentes, tem sido visto como uma estratégia para a regeneração urbana. Centros comerciais ultimamente têm sido

desenvolvidos com mais integração entre o centro de compras e o ambiente urbano, deixando-os mais próximos.

Problemas relacionados à localização e ao planejamento do uso da terra são amplamente abordados. Vários modelos clássicos, tais como os de Von Thünen e Weber (1826) e Huff (1909), buscam resolver o problema da localização mais eficiente relacionada às diferentes atividades econômicas e sua relação com a demanda e custos do transporte. No entanto, na Geografia contemporânea, os problemas de localização são tipicamente trabalhados com a utilização de SIG (Sistema de Informação Geográfica), considerado cada vez mais uma ferramenta importante para auxiliar nos processos de tomada de decisão (CLARKE e ROWLEY, 1995; CHURCH e MURRAY, 2009).

No SIG, algumas análises espaciais são baseadas em um modelo de rede, no qual se representa uma rede de transporte associadas a outras informações, tais como localização dos estabelecimentos comerciais, declividade do terreno, uso do solo urbano, entre outros.

Para a concepção do planejamento de sistemas de transporte, a tomada de decisão é tipicamente uma tarefa complexa, pois as decisões têm de levar em conta uma ampla gama de impactos. Modelos de otimização clássica com base em métricas econômicas são uma abordagem metodológica geralmente mais usada e com um ótimo reconhecimento de soluções. Infelizmente, uma solução ideal neste modelo só existe se um único critério é considerado, no entanto, na maioria das situações reais, basear a decisão apenas em um critério é insuficiente. Por exemplo, nos sistemas de transporte urbano de cargas, uma avaliação apenas com base em impactos econômicos pode ser muito estreita, sendo que outros impactos além da monetária podem ter influência na decisão final (SALLING *et.al.*, 2007; AMBRASITE *et.al.*, 2011; CAMARGO-PÉREZ *et.al.*, 2013). O melhor modelo seria uma decisão final baseada em múltiplos critérios, relacionados aos aspectos econômicos, ambientais e sócio-políticos. Neste contexto, esta técnica de multicritérios pode ser vista como uma metodologia aplicável para avaliar tais problemas que surgem na análise de sistemas de transporte de carga (TSAMBOULAS, 2007).

O resultado do trabalho é um mapa síntese, onde é possível localizar as áreas onde o transporte de carga se relaciona com os índices de concentração de poluentes. O projeto poderá servir como base para a elaboração, por governantes e

tomadores de decisão, de iniciativas e ações que permitam que o transporte urbano de cargas em megacidades seja feito de maneira mais econômica, sustentável e ambientalmente melhor do que as práticas atuais.

A estrutura do corpo do trabalho está organizada nos seguintes capítulos: o capítulo um, é a introdução e a caracterização do problema, o capítulo dois tratará da revisão bibliográfica do transporte de carga, seguindo com o capítulo três com o enfoque da poluição do ar decorrente do transporte de carga urbano, no capítulo quatro é a parte da revisão bibliográfica dos métodos adotados a pesquisa, como o Sistema de Informações Geográficas, seguindo pelo capítulo cinco análise de multicritério e o capítulo seis explicitando a lógica *fuzzy*. O capítulo sete aborda a metodologia com os subcapítulos sobre a característica da área de estudo, os materiais, os métodos e as técnicas que serão utilizadas. O capítulo seguinte apresenta os resultados e, por fim, a revisão bibliográfica.

1.2 Objetivo

O objetivo geral dessa pesquisa consiste em hierarquizar as áreas do município de São Paulo (Brasil) que apresentam altas concentrações de emissão de poluentes decorrentes do transporte de carga para o abastecimento da cidade utilizando técnicas do geoprocessamento, de forma a subsidiar a elaboração de medidas mitigatórias por parte do poder público através de sua análise geográfica.

1.2.1 Objetivos específicos

- Analisar espacial exploratória dos dados da CET, Maplink, CETESB;
- Aplicar o método de multicritério, no caso a AHP na variável Tipo dos estabelecimentos comerciais, e utilizar uma ferramenta de densidade, como *Kernel*, com esse novo dado;
- Aplicar técnicas de análises espaciais sobre os dados do Maplink para quantificar a circulação de caminhões nas regiões do Município de São Paulo
- Comparar dados da CET, CETESB utilizando análises espaciais
- Aplicar a lógica *Fuzzy* para quantificar os dados

2 TRANSPORTE DE CARGA

Para definir o transporte de cargas é necessário, primeiramente, definir o termo transporte. Manheim (1979) afirma que o transporte refere-se ao movimento de pessoas e bens de um lugar para outro. Definições similares são expostas por outros autores, que se referem ao transporte como uma ação de movimentar ou deslocar pessoas e produtos, (FERRAZ e TORRES, 2004; RODRIGUES, 2003). O conceito do termo “transporte” evoluiu, para conceitos que consideram um deslocamento propositado, não sendo, portanto, considerado transporte o deslocamento casual de pessoas, produtos ou quaisquer objetos (GALINDO, 2009).

O valor da atividade de transporte é importante para qualquer economia, uma vez que a maioria das atividades econômicas está sujeita ao deslocamento de bens e pessoas. Através do transporte que a força de trabalho e os materiais chegam aos seus destinos, possibilitando produzir e distribuir serviços, bens e tecnologia, e contribuindo com o desenvolvimento. O transporte tem uma característica intrínseca: seu valor é determinado pela capacidade de transposição no espaço e no tempo. Terminado o processo, o transporte não tem mais utilidade e seu valor se extingue (POLACK e HEERTJE, 2001).

No transporte de cargas, diferentemente do transporte de passageiros, não são encontrados com a mesma frequência estudos que analisam a opção feita pelas empresas entre utilizar o transporte terceirizado de suas mercadorias ou adotar o transporte de carga próprio, ou que procurem explicar por que uma empresa ou um cliente escolhe um determinado transportador em detrimento de outro. Cada alternativa apresenta diferentes características como: tempo de viagem, tempo de espera, custos, conveniência, avarias etc. Cada transportador oferece seu produto a um determinado preço e é este valor que o posiciona em relação ao mercado. Considerando-se, portanto, a importância do transporte de mercadorias para a economia, ressalta-se a necessidade de estudos que auxiliem na caracterização e análise dos mercados de Transporte rodoviário de carga como forma de embasar estudos complementares e aprofundados acerca das dinâmicas que ocorrem entre clientes e transportadores (RODRIGUES, 2007).

A escolha pelas rodovias como principal meio para distribuição de cargas é um fenômeno que tem sido observado mundialmente desde a década de 1950, tendo

ocorrido também no Brasil (MACOHIN, 2001; SILVA, 2006).

Entre os anos de 1970 e 2000, o setor de transportes cresceu cerca de 400%, enquanto o crescimento do PIB foi de 250%. Este crescimento foi intensamente influenciado pela desconcentração geográfica da economia brasileira nas últimas décadas, na direção das regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste (FLEURY, 2003). No Brasil, o setor de transporte tem aumentado sua participação no Produto Interno Bruto (PIB). Entre os anos de 1985 e 1999 sua representatividade passou de 3,7% para 4,3% do PIB.

Em 2011, o Transporte Rodoviário de Cargas era responsável pela movimentação de mais de 60% das cargas que trafegam no território nacional (CNT, 2011). A evolução do transporte de cargas no Brasil expõe que esse percentual sofreu poucas modificações desde a década de 1970, mostrando que a economia brasileira ainda é dependente do transporte rodoviário, conforme mostrado na Tabela 1:

Tabela 1: A evolução do transporte de carga no Brasil.

Modo	1970	1972	1985	1999	2006	2011
Rodoviário	70%	72%	53,60%	61,80%	58%	61,10%
Ferrovário	16,20%	15,85%	23,60%	19,50%	25%	20,70%
Hidroviário	12,10%	10,30%	18,30%	13,80%	13%	13,60%
Outros	1,70%	1,90%	4,50%	4,90%	4%	4,20%

Fonte: adaptado de GEIPOT, 2010

No Brasil, o transporte de carga é uma atividade realizada por empresas, cooperativas e transportadores autônomos. Em alguns casos, as próprias indústrias e produtores de bens realizam o transporte de seus produtos. Até 2006 havia pouco mais de 770 mil transportadores cadastrados e, em 2008, o Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas (RNTRC) já calculava com aproximadamente 800 mil transportadores rodoviários registrados. No ano de 2010, a quantidade de transportadores cadastrados ultrapassou 1,2 milhão de registros (ANTT, 2009a; CIBULSKA *et.al.*, 2012).

Até a década de 1990, o modo rodoviário movimentava aproximadamente 30% do total de cargas transportadas em países desenvolvidos. Nos países em desenvolvimento o modo rodoviário representava aproximadamente 42,3%. No Brasil esse percentual era ainda maior, representando quase 60% do total (Tabela

2).

Tabela 2: Comparação de modos de transporte entre países

Modo	% nos Países desenvolvidos	% nos países em desenvolvimento	% no Brasil
Rodoviário	30	42,3	58,7
Ferroviário	40	38,5	20,6
Hidroviário	16	10,9	17,2
Outros	14	8,3	3,4

Fonte: Adaptado de Schroeder e Castro (1996).

Em países com grandes dimensões, percebe-se que o modo de transporte ferroviário é predominante no transporte de mercadorias. Nesses países o modo ferroviário é utilizado para transpor grandes distâncias, enquanto o modo rodoviário é utilizado principalmente para a distribuição de mercadorias em curtas distâncias. Nesse aspecto, o Brasil constitui exceção, pois a participação do modo rodoviário é predominante tanto em grandes quanto em pequenas distâncias (CNT e COPPEAD, 2002).

A diferença na distribuição percentual entre os modos de transporte na circulação de cargas foi decorrência de múltiplos fatores, dentre os quais a carência de investimentos em infraestrutura de transporte ferroviário e hidroviário no Brasil. Assim, o Brasil possui uma oferta geral de infraestrutura de transporte escassa para suas necessidades, e bem inferior a de outros países com dimensões territoriais similares (WANKE e FLEURY, 2006; PADULA, 2008).

2.1 Transporte urbano de carga

A economia de uma cidade está fortemente ligada ao movimento de mercadorias que é capaz de gerar e/ou induzir. O transporte de carga eficiente tem papel significativo na competitividade de uma área urbana, sendo um elemento importante na economia da região, tanto em termos econômicos e sociais. Suporta um estilo de vida, servindo à indústria e às atividades de comércio, que são essenciais à geração de riqueza (LASTRES e ABAGLI, 1999).

O termo transporte urbano de carga (ou mercadorias), também chamado *urban goods movement* nos países de língua inglesa e *transport des marchandises enville*

nos de língua francesa, pode ser definido como “a organização do deslocamento de produtos dentro do território urbano” (DABLANC, 1997). A movimentação de carga não é um fim em si mesmo, mas o reflexo físico de um processo econômico global, nacional e local (CZERNIAK *et.al*, 2000).

Segundo Ogden (1997), está subentendido que o sistema urbano de carga é apenas uma parte do processo administrativo no que diz respeito ao transporte, ao armazenamento e à manipulação de bens. Na indústria, o transporte é visto como um item variável, com custos e características, sujeito à administração e ao controle. Assim, o emprego do transporte de carga está em disponibilizar o produto transportado a outros setores da economia para que o mesmo seja usado, processado, reparado, modificado, armazenado ou consumido.

Ogden (1997) explica a relação dos tipos de entregas de mercadoria, onde existe uma oferta e uma demanda (Figura 1), o objetivo do transporte urbano de mercadorias é minimizar os custos sociais totais, assim, segundo o autor, a solução viável do transporte de carga urbano está no balanceamento desse objetivo por parte dos planejadores.

A Figura 1 apresenta dois tipos principais de entrega de mercadoria, o primeiro é o sistema simples de parada ou direto onde existe um ponto de abastecimento de mercadorias e outro de recepção. Já o outro sistema é mais complexo, chamado de multiparadas, que por sua vez, pode ser combinado, onde sai de um ponto de distribuição e vai até o receptor final, ou saindo do pontos de distribuição e passando por um ponto intermediário, geralmente para a desconsolidação e consolidação das mercadorias.

Figura 1: Tipos de entrega de mercadoria

Fonte: Portal, 2003

São vários os elementos que compõem a movimentação da carga, como os receptores (comerciantes e lojistas), veículos de entrega (pequenos, médios ou grandes caminhões), sistema viário (ruas, vias expressas, rodovias), percurso, estacionamento, carga, motorista, carregadores, entre outros elementos.

Os primeiros estudos voltados para a questão da movimentação de mercadorias em grandes centros datam da metade do século passado, para as cidades de Chicago e Nova Iorque (CZERNIAK *et.al*, 2000). As transformações urbanas ocasionadas pela movimentação de cargas aconteceram após o processo de desregulamentação dos modos de transporte. Segundo o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2001) nos últimos anos, observou-se a transferência do transporte de cargas do modo ferroviário para o rodoviário.

A caracterização do fluxo de veículos de caminhões (quantidade, tipo, número de eixos, dimensões e pesos etc.) se torna importante para o planejamento viário (dimensionamento de pavimentos e vias, dimensões de caixas, de vagas de

estacionamento etc.). Segundo Young (2001), as proporções de tamanhos entre veículos padrão e caminhões, enfatizam a importância no planejamento e dimensionamento das interseções viárias.

Segundo Quispel (2002), os agentes influenciadores e responsáveis por mudanças no comportamento da movimentação de cargas nas últimas décadas são a globalização do mercado, a filosofia JIT (*Just in Time*), o aumento com a preocupação ambiental e o surgimento de novas tecnologias, como a B2C (*Business to Consumer*) e o comércio eletrônico. Essas mudanças têm alterado o tamanho das entregas, passando a ser menores e mais frequentes.

Como a mudança dos padrões do consumidor e as transformações na área de tecnologia determinam mudanças intensas em vários setores, também cresce a pressão de grupos ligados ao meio ambiente, no escopo de minimizar os impactos negativos das atividades de carga, cada vez maiores. Assim, um dos desafios reside na superação do paradoxo “carga” versus “sustentabilidade”, com a oferta de meios de transporte que tenham abrangências cada vez maiores e, ao mesmo tempo, reduzam seus impactos ao meio ambiente, dentro de um contexto em que a provisão de capacidade adicional de carga se tornará ainda mais cara e difícil. Ou seja, como afirmam Holguín-Veras e Thorson (2007), o transporte de cargas terá que fazer mais com menos (TRB, 2002).

A legislação europeia tem progredido na redução dos impactos ambientais, dando atenção especial aos veículos e os tipos de combustíveis. Maiores esforços têm sido feitos para melhorar método de trabalho nos diferentes modos de transporte, de forma a melhorar o trabalho conjunto. Assim, os efeitos negativos sobre o ambiente poderão ser amenizados ao mesmo tempo em que a eficiência econômica é maximizada (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Atualmente, o abastecimento de bens e produtos para os estabelecimentos comerciais é um grande desafio para a logística em grandes cidades. A entrega de produtos e mercadorias dentro de um limite de uma área urbana constitui uma operação de grande importância, fundamental para a realização da maioria das atividades econômicas e sociais e, ao mesmo tempo, uma demanda que gera um desafio para a logística, especialmente em megacidades (BIANCHI *et.al.*, 2013).

Segundo a CET (Companhia de Engenharia de Tráfego do Município de São Paulo), cerca de 70 mil caminhões chegam a São Paulo diariamente e, somados aos caminhões que circulam na cidade, totalizam 210 mil caminhões por dia. Os

caminhões representam 20% dos veículos totais que utilizam o sistema viário da metrópole diariamente. A CET estima que os caminhões ocupam cerca de 42% do espaço viário, sendo um dos principais motivos para a adoção de medidas de restrição e circulação de veículos de carga (CET, 2014).

O conhecimento da demanda de transporte de carga para uma determinada região é uma questão importante quando se buscam medidas para melhorar essa circulação de caminhões na área urbana. Estimar com base nos fluxos de produtos e mercadorias destinados aos estabelecimentos envolvidos pode ser uma medida importante para solucionar o problema (BIANCHI *et.al.*, 2013).

Muitos trabalhos são encontrados na literatura científica sobre modelos de demanda de transporte de carga com a estimativa e previsão de fluxos de longa distância, entre localidades ou mesmo regiões distintas, entre eles Harker e Friesz, 1986; Fernandés L. *et.al.* 2003; Rich, Holmblad e Hansen, 2009, entre outros. Esses estudos são bem conhecidos e dominados no caso de transporte de passageiros dentro de zonas urbanas e tem sido aplicados no transporte de carga em nível regional (CRAINIC, 2009). Esse tipo de abordagem não é tão adequada quando se trata de estudos que visam estimar a demanda de transporte de carga em uma escala maior, ou seja, em regiões metropolitanas ou em áreas dentro delas. Existe uma necessidade de analisar esse fluxo do transporte de carga de maneira mais detalhada, como a distribuição, o número de entregas, o tempo gasto, o tamanho da carga e outros fatores.

2.1.1 Transporte urbano de carga em megacidades

O planejamento é uma ferramenta que o ambiente urbano requer, de modo a evitar a expansão urbana acelerada e desordenada das cidades, que causa uma degradação socioespacial contínua, com consequências negativas, afetando a qualidade de vida.

No planejamento de transporte, a infraestrutura permite o deslocamento de pessoas e bens, viabilizando a oferta de serviços. O transporte é vital tanto para a economia quanto para o bem estar social, mas também é essencial para a produção e distribuição de bens de serviço, e para o abastecimento do comércio e desenvolvimento regional (COM, 1992).

Segundo Crainic *et.al.* (2004), o transporte urbano de carga constitui tanto uma

atividade extremamente importante como perturbadora para o tráfego urbano. Para a população, assegura que haja quantidades adequadas de suprimentos nas lojas, e também a entrega de mercadorias em domicílio; para as empresas estabelecidas dentro dos limites da cidade, fornece a ligação entre fornecedores e consumidores. Há poucas atividades em curso em uma cidade que não necessitam da movimentação de produtos. O transporte de carga é uma fonte de geração de empregos, no entanto, é também uma atividade preocupante nos centros urbanos, de maneira que se envolve no espaço e se desloca nas mesmas vias utilizadas por veículos particulares e pelo transporte público.

A maior concentração dos estabelecimentos comerciais muda a dinâmica da distribuição de carga, podendo gerar maiores externalidades negativas, como por exemplo, congestionamento, poluição atmosférica e sonora etc. (CRAINIC *et.al.*, 2004; BEHRENDTS *et.al.*, 2008; RUSSO e COMI, 2011).

Uma maneira de reduzir os efeitos das externalidades e melhorar a dinâmica da distribuição urbana do transporte de carga é o conceito *city logistics*, que tem como objetivo reduzir as perturbações associadas ao transporte de carga em áreas urbanas enquanto ampara o desenvolvimento econômico e social através da otimização global dos sistemas urbanos, considerando os custos e benefícios para os setores público e privado (CRAINIC *et.al.*, 2009; TANIGUCHI e THOMPSON, 2002).

Para planejar o transporte de carga dentro das megacidades é utilizado o *city logistic*, que consiste em mapeamentos constantes da construção e manutenção das bases de dados, inclusive de dados espaciais. Segundo Ibeas *et.al.* (2012), a base de dados, os modelos e as metodologias para o estudo da demanda do transporte de carga urbano, apresentam dificuldades relativas ao custo da aquisição, manutenção e disponibilização dos dados.

O levantamento de uma base de dados para estudo do transporte urbano de carga, pode: proporcionar um entendimento das operações de carga, ser utilizada em modelos de previsão e estimativa, identificar as áreas urbanas com maiores níveis de poluição atmosférica derivado do transporte de carga, etc. Assim, é possível tomar decisões no setor de transporte urbano de carga de modo mais eficiente e mais planejado (RIOS *et al.*, 2002).

A falta de conhecimento dos fatores determinantes da demanda do transporte de carga é um obstáculo para estudá-lo, os processos logísticos não complexos e a

maioria dos dados é originária do transporte de pessoas, e não de mercadorias.

Não é difícil achar um modelo simplificado adaptado do transporte de passageiros para o transporte de cargas, sendo que os problemas causados por esta adaptação simplificada, não têm grande importância quando utilizada em cidades pequenas, porém, nos estudos em cidades grandes, como as regiões metropolitanas, estas adaptações tornam-se inadequadas, pois o tráfego de veículos de carga tem uma considerável importância para o meio urbano (HOLGUÍN-VERAS e PATIL, 2007).

Ferguson *et.al.* (2012) destaca que os estudos recentes comprovam que a falta de contagem dos veículos comerciais nos modelos de planejamento podem comprometer a capacidade de previsão do modelo, uma vez que cerca de 10 a 15% das viagens urbanas motorizadas são realizadas com propósitos comerciais.

O modelo clássico de estimativa e previsão da demanda do transporte de passageiro é o modelo 4 (quatro) etapas, sendo utilizado nas pesquisas de origem e destino, dimensionadas para captar as informações relevantes ao transporte de pessoas. Assim, esse modelo não pode ser usado no desenvolvimento de modelos do transporte de carga (FERGUSON *et.al.*, 2012).

Pesquisadores como Southworth (2002), Hensher e Figiozzi (2007) e Ferguson *et.al.* (2012) afirmam que o modelo 4 etapas não pode capturar a complexidade dos deslocamentos locais e regionais dos veículos de carga, principalmente os veículos chamados VUC – Veículo Urbano de Carga, que apresentam especial relevância no meio urbano.

O transporte urbano de carga tem muitas dificuldades de ser analisado, por exemplo, por conta do peso da mercadoria, o seu volume, número de viagens por veículos, valor de carga, tomadores de decisões, empresas transportadoras, consumidor, produto a ser transportado, regras de circulações e aspectos econômicos (HOLGUÍN-VERAS e PATIL, 2007).

Assim, o desenvolvimento de uma metodologia para o modelo de análise do transporte de carga é um desafio. Além disso, com uma coleta de dados mais eficiente, será possível realizar análises com melhores resultados, tomada de decisão de infraestrutura e os serviços desse sistema.

2.1.2 Externalidades negativas no transporte urbano de carga

Uma das premissas básicas para as análises do sistema de transporte é a indissociabilidade deste com os sistemas socioeconômicos e políticos de uma região, pois há uma forte inter-relação entre eles. Manheim (1979) afirma que o sistema de transporte afeta o sistema socioeconômico que, por sua vez, cresce e altera suas características.

Os custos de transporte e o preço do solo urbano são funções decrescentes da separação espacial entre os locais de origem e de destino através de uma rede viária, que dá acesso aos centros consumidores (MORLOK, 1978).

O serviço de transporte não é homogêneo e nem onipresente, pois além da demanda, a oferta também é primordial para esse sistema. Sendo o sistema de transportes representado por uma rede, as instalações fixas do sistema, como terminais, vias e intersecções têm que ser levadas em conta em todas as análises. (MORLOK, 1978).

As áreas mais densamente povoadas geram maior número de viagem, e a necessidade de simultaneidade espacial e temporal na produção e no consumo provoca um duplo nível de concentração, de demanda, espacial e temporal.

Portanto, pode-se afirmar que as propriedades do sistema de transporte afetam os sistemas urbanos e as características da população, gerando algumas consequências no próprio sistema de transporte, como exemplo, o aumento dos custos de transporte devido aos congestionamentos e à utilização de modos não econômicos (OLIVEIRA e TUROLLA, 2013).

Mesmo sendo necessário, o transporte de cargas dentro das cidades causa muitos transtornos à população, como ilustra a Figura 2, como congestionamentos, poluição, ruído, vibração, acidentes, entre outros.

Figura 2: Problemas causados pelo transporte de carga.
Fonte: Adaptado de QUISPEL (2002).

Segundo Blum (1998), os impactos das externalidades positivas no setor do transporte geram ganhos de eficiência para a economia de forma geral e também ganhos sociais decorrentes da conexão de regiões e segmentos das atividades econômicas. Por outro lado, as externalidades negativas são as que afetam o desempenho e a segurança do tráfego urbano, provocando congestionamentos, diversos tipos de poluição e acidentes de trânsito e contribuindo para as mudanças climáticas. Oliveira e Turolla (2013) afirmam que os impactos das externalidades negativas dos transportes compõem o custo final dos produtos nas mais diversas cadeias produtivas, e a redução de seus impactos corresponde a benefícios reais para a sociedade.

Torres (2007), ao exemplificar as externalidades negativas do transporte, cita que o congestionamento provoca custos privados e sociais adicionais, na medida em que prejudicam a sociedade e acarreta na ineficiência do sistema. Além de gerar custos sociais econômicos, têm como consequência desperdício

de combustíveis, emissão de poluentes prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente, desperdício de tempo, aumento dos custos, aumento da tarifa da carga, redução da qualidade e conforto do nível de serviço do sistema e a redução da disponibilidade de espaços públicos para vivência social.

Os conceitos de sustentabilidade e de desenvolvimento sustentável focam as preocupações ambientais em longo prazo, tais como o esgotamento de recursos naturais e a degradação ecológica (incluindo as alterações climáticas), mas essas preocupações têm em muito se expandido para incluir outras questões (TRB, 2008). De acordo com Litman (2011), dado que as atividades econômicas, sociais e ambientais interagem entre si de diversas maneiras, a maioria dos especialistas concorda que a sustentabilidade requer equilíbrio entre esses setores. Um princípio básico do bom planejamento é que decisões individuais de curto prazo devam refletir objetivos estratégicos de longo prazo. O planejamento sustentável fornece as orientações necessárias para assegurar que as decisões individuais estejam em equilíbrio com os objetivos econômicos, sociais e ambientais, tendo em conta os impactos indiretos e de longo prazo.

As ações tecnológicas buscam novos combustíveis, motores, veículos e novas estratégias logísticas. As ações associadas à oferta de transporte buscam a melhoria do sistema viário, da capacidade do sistema e oferta de transporte mais eficiente. E, por fim, as ações associadas à demanda de transporte passam pela taxação de combustível, uso seletivo das vias, limitação da circulação de veículos, cobrança pelo uso da infraestrutura, entre outras intervenções.

Os resultados de um trânsito desordenado abrangem diversos campos do meio socioambiental. No campo do meio ambiente podemos citar o efeito estufa; a formação de ilhas de calor; a redução do abastecimento de água (EWING, 2014). No campo relacionado ao sistema de saúde da população, entre as consequências dos congestionamentos estão o estresse emocional, doenças cardiovasculares, incluindo o câncer de pulmão, mortalidade precoce e sedentarismo (SALDIVA, 2014). Além desses problemas, o congestionamento ainda torna ineficiente o sistema logístico de muitos estabelecimentos comerciais que se localizam no meio urbano. Essa exposição de fatores é satisfatória para ressaltar uma mudança de paradigma no planejamento de políticas voltadas para a melhoria do tráfego.

2.2 Sustentabilidade e tecnologias no transporte urbano de carga

Segundo Diziain *et.al.* (2012), a procura por uma cidade sustentável e consequentemente pela alta qualidade de vida passa pela necessidade de tornar a distribuição de mercadorias mais eficiente. A eficácia na distribuição de mercadorias pode ser atingida através de várias ações e políticas públicas, vindas do poder privado ou do poder público. Os fatores que devem ser estimulados pelo poder público são: inovação em tecnologia, inovação em organização da política de fretes, planejamento espacial e sistemas de tomada de decisão, capacitação dos usuários nas vias, capacitação dos pedestres.

Quando o centro urbano é altamente povoado, o transporte de carga é complexo seus problemas e suas soluções também são, pois precisam de um planejamento multidisciplinar. Algumas entregas urbanas são feitas exclusivamente pelo meio rodoviário. Esse problema é antigo, a escolha do transporte rodoviário para fazer entregas na porta dos estabelecimentos comerciais, a busca por um roteiro ideal, que seja eficiente e respeite as janelas de restrição dos recebedores não é uma tarefa fácil. O meio urbano é um fator complicador na busca por uma rota lucrativa e que não atrapalhe a vida urbana, em vários segmentos (TEDESCO, 2012).

O planejamento do transporte coletivo sempre se destaca mais do que o transporte de carga, e estudá-lo e planejá-lo é algo novo, que as autoridades começaram a dar mais atenção no final da década de 1990. O transporte de carga é um dos componentes do trânsito, principalmente o urbano, onde é o seu destino principal, interrelacionando-se com o transporte coletivo e o transporte individual

O plano diretor de 2014 do município de São Paulo promulgou uma Lei que aborda os aspectos sobre o transporte de carga, sendo a primeira Lei de um plano diretor sobre transporte de carga nas cidades brasileiras. Alguns pontos dessa lei legitimam as ações que devem ser feitas pelo poder público em relação ao transporte de carga, como por exemplo, a importância da sustentabilidade no sistema de transportes (SOUZA, 2008).

Nesta lei consta que o sistema de mobilidade urbana é definido pelos modos de transportes, serviços, equipamentos e infraestrutura para uma ampla mobilidade de pessoas e de cargas no território municipal, visando garantir qualidade dos serviços, segurança, e proteção à saúde de todos, além de contribuir para a mitigação das

mudanças climáticas (CARVALHO, 2001).

Assim, existe a configuração de uma nova política para o desenvolvimento urbano, para aumentar a eficiência do transporte de carga, mitigar os impactos dessa circulação destes veículos e para melhorar o desenvolvimento sustentável.

Na metade do século passado, com a utilização dos computadores, a automatização na coleta e o tratamento dos dados pode se dar de forma mais eficiente e rápida (principalmente mapas e informações espaciais, como a ajuda dos satélites).

Sistemas, como os de Informações Geográficas (SIG), de Posicionamento Global (do inglês, GPS), Sistemas Inteligentes de Transporte (do inglês, ITS), sistemas computacionais com rotinas de roteamento, e a telemática, de forma geral, podem e vêm sendo bastante empregados em dados de carga, auxiliando na otimização dos processos de coleta e entrega de mercadorias.

Para o caso da movimentação urbana de mercadorias, pode-se citar o uso da telemática e de microcomputadores reservas na operação carga/descarga, identificando a existência de vagas de estacionamento, minimizando, desta forma, transtornos ao tráfego e o tempo gasto na operação.

Segundo Binsbergen e Visser (1999), as áreas mais importantes no desenvolvimento dos transportes de carga são: tecnologia de informação e comunicação (do inglês, ICT), que geram oportunidades de avanços na localização de veículos e produtos, contribuindo para o aumento da segurança; mecanização e automação; e tecnologia em motores, gerando menor consumo de combustível e, por conseguinte, a redução na emissão de ruídos e gases. Nessa vertente, Nemoto *et.al* (1999), em um estudo sobre os impactos da informação e das tecnologias de comunicação sobre o sistema urbano logístico, apresentam as relações e inter-relações existentes entre as várias atividades de carga, envolvendo essas tecnologias.

Para o setor de transportes, a última milha está muito relacionada ao número de viagens necessárias para que se consiga atingir o objetivo maior: a entrega do produto ao destino final, necessitando, muitas vezes, de mais de uma tentativa para se chegar ao objetivo. Laseter *et.al* (2003) afirmam que de 20 a 30% das entregas requerem múltiplas tentativas de entrega. Isso pode causar confusão entre as partes, até porque o produto estará sendo exposto a danos e furtos.

3 POLUIÇÃO DO AR DERIVADO DO TRANSPORTE URBANO DE CARGA

Em áreas urbanas, grandes quantidades de compostos químicos são emitidas para a atmosfera pelas indústrias, veículos e decorrentes de outras atividades humanas. Cerca de 3.000 diferentes compostos derivados da ação humana já foram identificados na atmosfera, sendo a maior parte deles orgânicos. Essa mistura de poluentes causa inquietação devido ao impacto que pode causar à saúde e ao ambiente. Dessa forma, a determinação sistemática da qualidade do ar deve ser, por questões de ordem prática, limitada a um restrito número de poluentes, definidos em função de sua importância e dos recursos materiais e humanos disponíveis para determiná-los (OLIVEIRA e SHINOHARA, 2014).

O nível de poluição do ar é medido pela qualificação das substâncias poluentes nele presentes. Considera-se poluente qualquer substância que, pela sua concentração, possa tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e ao gozo da propriedade, bem como às atividades normais da comunidade (CETESB, 2014).

É importante destacar que mesmo mantidas as emissões, a qualidade do ar pode mudar em função das condições meteorológicas que determinam uma maior ou menor concentração e difusão dos poluentes. É por isso que a qualidade do ar piora durante os meses de inverno, quando as condições meteorológicas são desfavoráveis à dispersão dos poluentes.

Alguns dos parâmetros que favorecem altos índices de poluição são: alta porcentagem de calmaria (ventos com velocidade menor do que 0,5m/s), ventos fracos e inversões térmicas a baixa altitude. Este fenômeno é particularmente comum no inverno na cidade paulista, quando as noites são frias e a temperatura tende a se elevar rapidamente durante o dia, provocando alteração no resfriamento natural do ar. A inversão térmica se caracteriza por uma camada de ar quente que se forma sobre a cidade, “aprisionando” o ar e impedindo a dispersão dos poluentes (CETESB, 2014).

De uma forma geral, a alternativa incide sempre sobre um grupo de poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, que são regulamentados e de uso

universal: dióxido de enxofre (SO₂), material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e óxidos de nitrogênio (NO_x). A razão dessa escolha está relacionada à frequência de ocorrência e aos efeitos adversos sobre o ambiente (BIZJAK *et.al.*, 1999).

Assim, as implicações da poluição do ar podem ser caracterizadas pela alteração de condições consideradas normais, que podem se manifestar na saúde, no bem estar da população, na vegetação. Apesar disso, a atenção das autoridades e dos pesquisadores não deve se voltar apenas aos padrões de qualidade do ar, porque existem compostos que apesar de não serem regulamentados merecem atenção devido aos danos que causam ao ambiente.

A qualidade do ar urbano é determinada por um complexo sistema de fontes fixas (indústrias, queima de lixo, fornos, caldeiras, etc.) e móveis (veículos automotores). Os ônibus e caminhões são responsáveis pela emissão de óxidos de nitrogênio e de enxofre, enquanto que os veículos leves (automotores de passeio e de uso misto) movidos a gasolina e a álcool são os principais emissores de monóxido de carbono e hidrocarbonetos (TEIXEIRA *et.al.*, 2008).

Por isso, muita atenção tem sido dada às emissões veiculares de compostos orgânicos voláteis (COV) e ao material particulado. Em áreas urbanas, os COV emitidos pelos veículos são importantes porque muitos deles são altamente reativos e interferem na química da atmosfera.

Em ambientes urbanos, o sistema de exaustão dos motores a diesel é uma importante fonte de partículas de diferentes magnitudes de tamanho (classificados como grossas, finas e ultrafinas). No caso específico das partículas grossas, elas podem ser provenientes do desgaste mecânico (GUARIEIRO e VASCONCELOS, 2011).

Em geral, a queima de diesel pode emitir partículas com conteúdo composto de material parcialmente queimado, matéria orgânica do combustível e do óleo lubrificante, carbono elementar, sulfatos, mercaptanas, óxidos metálicos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, compostos reduzidos de enxofre, entre outros componentes (CORRÊA e ARBILLA, 2008).

Os principais poluentes lançados na atmosfera pelos veículos são provenientes do processo de combustão incompleta, quando o combustível injetado no cilindro não encontra a quantidade necessária de ar para sua queima. Estes poluentes são chamados de primários, ou seja, são emitidos diretamente pelo escapamento

automotivo, como os óxidos de carbono, óxidos de nitrogênio (NO_x) e enxofre (SO_x), alcoóis, aldeídos, hidrocarbonetos (HC), ácidos orgânicos e material particulado. Os poluentes primários podem interagir entre si ou sofrer fotólise e formar os poluentes chamados secundários, como ozônio, nitratos de peroxiacetila, entre outros. Estes últimos podem ser tão nocivos ao meio ambiente quanto os primários (GUARIEIRO e VASCONCELOS, 2011).

O nível de poluição atmosférica é medido pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar. A variedade das substâncias que podem ser encontradas na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. As substâncias poluentes podem ser classificadas da seguinte forma (Quadro 1):

Compostos de Enxofre	Compostos de Nitrogênio	Compostos Orgânicos	Monóxido de Carbono	Compostos Halogenados	Metais Pesados	Material Particulado	Oxidantes Fotoquímicos
SO ₂	NO	hidrocarbonetos álcoois	CO	HCl	Pb	mistura de compostos no estado sólido ou líquido	O ₃
SO ₃	NO ₂	aldeídos		HF	Cd		formaldeído
Compostos de Enxofre Reduzido:	NH ₃	cetonas		cloretos	As		acroleína
(H ₂ S, Mercaptanas, Dissulfeto de carbono, etc)	HNO ₃	ácidos orgânicos		fluoretos	Ni		PAN
sulfatos	nitratos				etc.		etc.

Quadro 1: Poluentes classificados.

Fonte: CETESB (2015).

A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera vai definir o nível de qualidade do ar, que determina, por sua vez, o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores, que podem ser o homem, os animais, as plantas e os materiais.

A medição sistemática da qualidade do ar é restrita a um número de poluentes, definidos em função de sua importância e dos recursos disponíveis para seu acompanhamento.

O grupo de poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, adotados universalmente e que foram escolhidos em razão da frequência de

ocorrência e de seus efeitos adversos, são: Material Particulado (MP), Dióxido de Enxofre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Oxidantes Fotoquímicos, como Ozônio (O₃), Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) e Óxidos de Nitrogênio (NO_x). Além destes poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, a CETESB monitora outros parâmetros, como por exemplo, o chumbo, regulamentado conforme o Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013 (CETESB, 2014).

Em termos de emissões de gases de efeito estufa, os veículos são responsáveis por 10% das emissões globais de CO₂. Os Estados Unidos são responsáveis por 45% deste total e, desde 1970 eles diminuíram em 60% as emissões dos poluentes regulamentados, devido à obrigatoriedade do uso de catalisadores nos sistemas de descargas dos veículos. No entanto, no mesmo intervalo de tempo as emissões de CO₂ pelos automóveis aumentaram em 70% (FHWA, 2006).

Os veículos a diesel podem emitir centenas de espécies de poluentes para a atmosfera, sendo o NO_x um dos compostos emitidos em maiores concentrações. Estudos em túneis mostram que os motores a diesel produzem cinco vezes mais NO_x que os veículos a gasolina e que os caminhões são responsáveis pela maior parte da emissão de material particulado (GAFFNEY e MARLEY, 2009).

3.1 Padrões de qualidade do ar

O conceito de Padrões de Qualidade do Ar (PQA) segundo Álvares *et al.* (2002), é um nível determinado de concentração para um dado poluente na atmosfera, definido legalmente, e adotado pelos órgãos responsáveis pelo controle da poluição do ar para uma região específica.

Na definição dos PQA, deve-se também considerar o indicador, usado para informação pública sobre a situação da qualidade do ar como: os níveis de atenção a partir dos quais medidas emergenciais mais rígidas devem ser adotadas, cronograma de atendimento aos padrões, metodologias e características do monitoramento (o tempo médio de amostragem; metodologia e limites de detecção aplicáveis; número de ultrapassagens ou violações aceitáveis; procedimentos de manuseio dos dados; estatísticas usadas para obtenção dos valores a serem comparados aos padrões; metodologia de medição) e a identificação clara e objetiva das autoridades responsáveis pelo monitoramento da qualidade do ar e pela garantia de observância dos padrões (SANTANA *et.al.*, 2012) .

A definição e revisão dos PQA podem ser abordadas de diversas maneiras, as mais utilizadas são (MMA, 2013):

- Gestão de risco: baseada em evidências científicas, análises de custo-benefício, fatores socioeconômicos, éticos, legais e a capacidade de concretização.
- Baseado na ciência: fundamentado unicamente em evidências científicas.
- Referencial: considera padrões mais restritos estabelecidos em outros locais com estruturas relevantes de gestão da qualidade do ar.
- Redução da exposição: baseia-se no princípio da melhoria contínua da qualidade do ar, onde qualquer redução da concentração de exposição a um contaminante, em determinada região, já é benéfica. Isso vale especialmente nos casos em que a ciência não conseguiu identificar concentrações máximas seguras de um dado poluente (limiar de efeito), exemplo do MP 2,5.

Os padrões de qualidade do ar devem ser definidos a partir do levantamento de dados técnico-científicos, levando-se em conta a realidade social, política e econômica de cada país ou região, sendo uma etapa técnico-científica e outra etapa política.

Na primeira etapa, devem ser levantados e avaliados alguns critérios como a severidade e a frequência dos efeitos adversos de cada poluente sobre a saúde e o meio ambiente, a localização e concentração do contaminante no ambiente, sua persistência, a modificação do poluente no meio e as alterações metabólicas, o tamanho da população exposta, os grupos sensíveis a serem protegidos (crianças, idosos, doentes, grávidas). Na segunda etapa, sugere-se a ponderação das consequências técnicas, legais, financeiras, sociais e institucionais que decorrem da adoção dos padrões recomendados (MMA, 2013).

A OMS, em 1987, publicou o primeiro *guideline* sobre o assunto de qualidade do ar, o objetivo é servir como orientação geral para os países desenvolverem a revisão dos padrões nacionais, assim, em geral é apresentado um valor de referência, expresso em valores numéricos de concentração ambiental relacionados a um tempo médio de exposição. As últimas recomendações da OMS são apresentadas na tabela 3 (OMS, 2005) :

Tabela 3: As últimas recomendações de emissão de poluentes decretadas pela OMS

Tempo de amostragem	CO (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	MP10 (µg/m ³)	MP2,5 (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
15 min.	100					
30 min.	60					
1 hora	30	200				
8 horas	10				240	
24 horas			150	75		125
Anual		40	70	35		

Fonte: ORGANIZATION, 2006

Os procedimentos de PQA dos Estados Unidos da América devem refletir os conhecimentos científicos mais recentes revistos pela *United States Environment Protection Agency* (EPA) a cada cinco anos (nem sempre acontece), em um processo que contempla: planejamento, avaliações científicas quanto ao de risco à exposição avaliação de políticas, e, por fim, regulamentação. (EPA, 2012).

Já na União Europeia, a regulamentação da qualidade do ar define valores-limite que são de atendimento obrigatório a partir da data em que entram em vigor com os valores-alvo, estes que devem ser atendidos na medida do possível até a data estipulada para atendimento, não tendo o mesmo grau de obrigatoriedade dos valores-limite e as margens de tolerância que são as percentagens que podem serem excedidos do valor-limite em condições excepcionais (EPA, 2012).

No Estado de São Paulo, o monitoramento da qualidade do ar é realizado pela CETESB. A CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental é a agência do Governo do Estado de São Paulo responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo. Criada em 24 de julho de 1968, pelo Decreto nº 50.079.

A avaliação das concentrações de poluentes no Estado de São Paulo, foi iniciado na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), em 1972, com a instalação de 14 estações para medição diária dos níveis de dióxido de enxofre (SO₂) e fumaça preta. Nessa época, a qualidade do ar passou a ser divulgada diariamente à população por meio de boletins encaminhados à imprensa. Parte das estações, denominadas manuais, continuam sendo utilizadas pela CETESB no monitoramento da qualidade do ar (CETESB, 2014).

Em 1981, foi dado um salto qualitativo, com o início do monitoramento automático e a instalação de novas estações, para a avaliação de SO₂, MP10, O₃,

NO, NO₂, NO_x, CO e NMHC, além dos parâmetros meteorológicos como direção e velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar.

Os resultados dos monitoramentos passaram a ser acompanhados de hora em hora, em uma central, que recebia as informações de todas as estações. Em 2000, o monitoramento automático foi ampliado para algumas cidades do interior do Estado e a partir de 2008 tem sido expandido significativamente.

Além da medição diária desses poluentes, atualmente, a CETESB realiza estudos sobre outros poluentes, dentre os quais se destacam o chumbo, aldeídos e compostos reduzidos de enxofre, além de estudos específicos, alguns dos quais, em parceria com a Universidade de São Paulo – USP (CETESB, 2014).

No Estado de São Paulo, a Secretaria do Meio Ambiente (SMA), por meio da CETESB, gerencia os padrões de qualidade do ar aprovados pela resolução CONAMA 03/90 e que foram constituídos pelo IBAMA através de estudos toxicológicos e estatísticos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e que fixam os níveis de segurança necessários que garantam ao mesmo tempo a proteção da saúde e do meio ambiente, mas nessa época em 1990 estes padrões deveriam estar acima do recomendado pela OMS (CETESB, 2014).

Os padrões de qualidade do ar foram estabelecidos através da Portaria MINTER nº 235 de 27/04/76. Quatro poluentes são considerados: dióxido de enxofre, monóxido de carbono, oxidantes fotoquímicos e poeira total em suspensão. Novos padrões de qualidade do ar foram estabelecidos pela Resolução CONAMA 03 de 28/06/90.

As Resoluções CONAMA nº 18 de 06/05/86 e nº 1 de 23/10/87 instituíram, respectivamente, o Programa Nacional de Controle da Poluição por Veículos Automotores e o Programa Nacional de Certificação de Conformidade de Veículos Automotores.

Considerações sobre o acelerado crescimento da frota nacional de veículos automotores, o crescimento industrial e urbano, os seus reflexos negativos para a sociedade, meio ambiente e economia levaram ao estabelecimento do Programa Nacional de Controle do Ar (PRONAR), um instrumento de gestão, instituído pela Resolução CONAMA nº 5 de 15/06/89 conforme previsto na Lei 6938/81.

Os objetivos do PRONAR são: a melhoria da qualidade do ar; o atendimento dos padrões estabelecidos, o não comprometimento da qualidade de ar em áreas consideradas como sendo não degradadas. A estratégia básica do PRONAR era

limitar, em nível nacional, as emissões por tipos de fontes e poluentes prioritários. Os padrões de qualidade do ar são utilizados como ação complementar de controle.

O Artigo 1º da Resolução CONAMA 03/90 define: são padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

A definição de poluente é dada pelo Parágrafo Único do Artigo 1º : “Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV - prejudicial à segurança. ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

A Resolução 03/90 estabelece que “poderão ser adotados métodos equivalentes aos métodos de referência, desde que aprovados pelo IBAMA”. As condições de referência são definidas como: a temperatura de 25°C e a pressão de 760 milímetros de coluna de mercúrio (1.013,2 milibares).

O artigo 4º estabelece que o monitoramento da qualidade do ar como sendo atribuição dos Estados. O Artigo 5º estabelece os níveis de qualidade do ar para elaboração do Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar, visando providências dos governos de Estado e dos Municípios, assim como de entidades privadas e comunidade geral, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde à saúde da população.

O PQA para um determinado poluente é definido como sendo a concentração média no período de um dia, e tal valor de concentração não deve ser excedido em 99% do tempo amostrado, significa que o PQA não pode ser ultrapassado mais do que três vezes ao ano (CETESB, 2014).

Em 2008, o Estado de São Paulo iniciou um processo de revisão dos padrões de qualidade do ar, baseando-se nas diretrizes estabelecidas pela OMS, com participação de representantes de diversos setores da sociedade. Este processo

culminou na publicação do Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013, estabelecendo novos padrões de qualidade do ar por intermédio de um conjunto de metas gradativas e progressivas para que a poluição atmosférica seja reduzida a níveis desejáveis ao longo do tempo, porém mantêm padrões acima do recomendado pela OMS, a média anual para o MP10 segundo o Decreto Estadual é de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e para OMS é de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (CETESB, 2014).

A CETESB define os poluentes por metas, sendo a primeira meta intermediária e a segunda de padrões finais. As metas intermediárias (MI) são estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar, baseada na busca de redução de emissões de fontes fixas e móveis. Já os padrões finais são determinados pelo melhor conhecimento científico para que a saúde da população seja preservada.

O Decreto Estadual nº 59113/2013 estabelece que a administração da qualidade do ar no território do Estado de São Paulo será efetuada através de Padrões de Qualidade do Ar, observados a tabela 4.

Tabela 4: Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Decreto Estadual nº 59113/23/04/2013)

Poluente	Tempo de Amostragem	MI1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas inaláveis (MP₁₀)	24 horas	120	100	75	50
	MAA ₁	40	35	30	20
Partículas inaláveis Finas (MP_{2,5})	24 horas	60	50	37	25
	MAA ₁	20	17	15	10
Dióxido de enxofre (SO₂)	24 horas	60	40	30	20
	MAA ₁	40	30	20	–
Dióxido de nitrogênio (NO₂)	1 hora	260	240	220	200
	MAA ₁	60	50	45	40
Ozônio (O₃)	8 horas	140	130	120	100
Monóxido de carbono (CO)	8 horas	–	–	–	9 ppm
Fumaça* (FMC)	24 horas	120	100	75	50
	MAA ₁	40	35	30	20

Partículas totais em suspensão* (PTS)	24 horas	–	–	–	240
	MGA ₂	–	–	–	80
Chumbo** (Pb)	MAA ₁	–	–	–	0,5

1- Média aritmética anual

2- Média geométrica anual

* Fumaça e partículas totais em suspensão - parâmetros auxiliares a serem utilizados apenas em situações específicas, a critério da CETESB

** Chumbo - a ser monitorado apenas em áreas específicas, a critério da CETESB

Fonte: CETESB (2013)

As Metas Intermediárias devem ser obedecidas em 3 (três) etapas, assim determinadas: Meta Intermediária Etapa 1 – (MI1) – Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados a partir de 24/04/2013; Meta Intermediária Etapa 2 – (MI2) – Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados subsequentemente à MI1, que entrará em vigor após avaliações realizadas na Etapa 1, reveladas por estudos técnicos apresentados pelo órgão ambiental estadual, convalidados pelo CONSEMA; Meta Intermediária Etapa 3 – (MI3) – Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados nos anos subsequentes à MI2, sendo que seu prazo de duração será definido pelo CONSEMA, a partir do início da sua vigência, com base nas avaliações realizadas na Etapa 2 (CETESB, 2014).

Os padrões finais (PF) são aplicados sem etapas intermediárias quando não forem estabelecidas metas intermediárias, como no caso do monóxido de carbono, partículas totais em suspensão e chumbo. Para os demais poluentes, os padrões finais passam a valer a partir do final do prazo de duração do MI3.

A Legislação Estadual (DE nº 59113/2013) estabelece também critérios para episódios agudos de poluição do ar. A declaração dos estados de Atenção, Alerta e Emergência, além dos níveis de concentração ultrapassados, requer a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes.

A Legislação Estadual é mais rigorosa, comparado com a Legislação Federal, em relação ao nível de atenção aos critérios de episódio do Ozônio que não deve ultrapassar 200 µg/m³. Para os demais parâmetros os critérios são os mesmos.

Na Tabela 5 são apresentados os critérios para episódios agudos de poluição

do ar que trata da declaração dos estados de Atenção, Alerta e Emergência requeridos. Além dos níveis de concentração atingidos, a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes também estão contidos na mesma resolução.

Tabela 5: Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar (Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013)

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas inaláveis finas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24h	125	210	250
Partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24h	250	420	500
Dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24h	800	1.600	2.100
Dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 1h	1.130	2.260	3.000
Monóxido de carbono (ppm) – 8h	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 8h	200	400	600

Fonte: CETESB, 2014

Segundo a resolução CONAMA nº 03/90 episódio crítico de poluição do ar ocorre na presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes: dióxido de enxofre (SO_2), partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP_{10}), partículas inaláveis finas ($\text{MP}_{2,5}$), fumaça (FMC), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3) e dióxido de nitrogênio (NO_2). Para cada poluente medido é calculado um índice, que é um valor adimensional. Dependendo do índice obtido, o ar recebe uma qualificação, que é uma nota para a qualidade do ar, além de uma cor, conforme apresentado na tabela 6 abaixo:

Tabela 6: Estrutura do índice de qualidade do ar.

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³) 24h	MP _{2,5} (µg/m ³) 24h	O ₃ (µg/m ³) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ (µg/m ³) 1h	SO ₂ (µg/m ³) 24h
N1 – Boa	0 – 40	0 – 50	0 – 25	0 – 100	0 – 9	0 – 200	0 – 20
N2 – Moderada	41 – 80	>50 – 100	>25 – 50	>100 – 130	>9 – 11	>200 – 240	>20 – 40
N3 – Ruim	81 – 120	>100 – 150	>50 – 75	>130 – 160	>11 – 13	>240 – 320	>40 – 365
N4 – Muito Ruim	121 – 200	>150 – 250	>75 – 125	>160 – 200	>13 – 15	>320 – 1130	>365 – 800
N5 – Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: CETESB, 2014

Quando a qualidade do ar é classificada como Boa, os valores-guia para exposição de curto prazo estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde, que são os respectivos Padrões Finais (PF) estabelecidos no DE nº 59113/2013, estão sendo atendidos.

Para efeito de divulgação, utiliza-se o índice mais elevado, isto é, embora a qualidade do ar de uma estação seja avaliada para todos os poluentes monitorados, a sua classificação é determinada pelo maior índice (pior caso). Esta qualificação do ar está associada a efeitos à saúde, portanto independe do padrão de qualidade/meta intermediária em vigor, e será sempre realizada conforme a tabela 7 a seguir:

Tabela 7: Qualidade do Ar e efeitos à saúde.

Qualidade	Índice	Significado
N1 – Boa	0 – 40	
N2 – Moderada	41 – 80	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
N3 – Ruim	81 – 120	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
N4 – Muito Ruim	121 – 200	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N5 – Péssima	>200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB, 2014

3.2 Emissão de poluentes no transporte urbano de carga

As emissões veiculares são exemplos de externalidades negativas presentes no sistema de transporte, que geram altos custos sociais e ambientais. Inventários que visem mensurar as emissões de poluentes na atmosfera representam subsídios para a atuação do poder público e da própria sociedade no que refere ao planejamento, à implantação e ao monitoramento de políticas voltadas à melhoria da

qualidade ambiental da saúde pública e à mitigação das mudanças climáticas, em especial ao aquecimento global (MMA, 2011).

Muitas são as variáveis que influem na composição das emissões veiculares, dentre elas: tecnologia do motor, tipo e qualidade do combustível, estado de conservação e condições de manutenção do veículo, idade do veículo, ciclos de condução (operação do veículo propriamente dita com os procedimentos de aceleração/desaceleração que evidenciam a variação da velocidade ao longo do tempo em determinado percurso, bem como as características do condutor do veículo, que pode adotar uma postura agressiva ou defensiva no tráfego urbano), porte e tipo de do veículo, projeto e materiais do sistema de alimentação de combustível, características da rede viária (relevo), características climáticas e meteorológicas (altitude, umidade, temperatura, pressão etc.) (CASTRO, 2008; MMA, 2011).

De acordo com o relatório de qualidade do ar referente ao ano de 2014, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), os veículos automotores são responsáveis por 97% das emissões de monóxido de carbono (CO), 82% de óxidos de nitrogênio (NOx), 78% de hidrocarbonetos (HC), 43% de óxidos de enxofre (SOx) e 40% de material particulado (MP) (CETESB, 2014).

O setor de transportes é atualmente responsável por 13,1% das emissões globais de CO₂ e as medidas mitigatórias para redução e controle do CO₂ emitido vão desde medidas de cunho tecnológico, como o aprimoramento e a intensificação de uso de veículos ecologicamente mais eficientes, como os híbridos, a utilização de biocombustíveis em substituição aos combustíveis fósseis, melhoria da eficiência energética e uso de materiais leves; até medidas estratégicas relacionadas ao planejamento de transportes, como a priorização do transporte público coletivo (IPCC, 2007; RIBEIRO, 2008; CASTRO, 2008).

O município de São Paulo possui uma frota cadastrada de 8.154.014 veículos em geral, sendo que 158.626 são caminhões, 983.007 caminhonete (DETRAN, 2015). Segundo a CET (2014), no ano de 2012 a frota de caminhões representava cerca de 2% da frota total circulante no Município de São Paulo, enquanto que a participação dos automóveis individuais era de 79% do total, com média de 1,4 usuários por automóvel. Da frota total circulante de caminhões, 44% chegam de rodovias, 40% circulam no centro expandido e apenas 10% estão de passagem.

A poluição atmosférica por fontes estacionárias é ocasionada pelo aumento

da produção industrial e também através da geração de energia – acontecimentos intrínsecos ao processo de urbanização (ARAÚJO, 2004). Atualmente, as atividades industriais da RMSP se encontram dispersas por toda a região. Essa distribuição pode ser explicada pelo deslocamento da produção industrial, antes localizada somente na cidade de São Paulo, para seu entorno (TARTAGLIA & OLIVEIRA, 1988). Esse fenômeno é denominado processo de desconcentração industrial e é característico da evolução histórica e geográfica do Estado de São Paulo. O grande problema na região metropolitana de São Paulo (RMSP), atualmente, são as emissões veiculares e não mais as emissões industriais, como ocorridos algumas décadas atrás.

Aproximadamente 78% da poluição do ar é proveniente dos veículos que circulam diariamente na região (HOGAN *et.al.*, 2000). Dentre os fatores que contribuem para o agravamento da poluição atmosférica podem ser citadas as características da frota circulante, a falta de manutenção periódica e adequada e a má qualidade dos combustíveis usados nos veículos.

Em estudo realizado por Martins (2004) foi verificado que as mais altas concentrações de ozônio na cidade de São Paulo ocorrem no meio da manhã e no meio da tarde, ambos períodos de pico. Foi constatado também que nos horários de tráfego intenso ocorrem elevações da poluição do ar por monóxido de carbono nos pontos da cidade onde se encontram as mais intensas circulações e concentrações da frota de veículos.

A redução e controle das emissões veiculares é uma importante questão ambiental a ser resolvida nos centros urbanos, e segundo relatório da CETESB (2014), a questão ambiental é um dos pilares para o desenvolvimento sustentável. O nível de poluição atmosférica é determinado pela quantificação das substâncias poluentes presentes no ar.

3.3 Modelos de estimativa da emissão de poluentes

Existem várias metodologias disponíveis para apoiar a quantificação das emissões de poluentes. De acordo com Sturm *et.al.* (1997), a definição do tipo de modelo de emissão depende muito da necessidade específica e da precisão requerida para descrever o comportamento das emissões provenientes do tráfego rodoviário. Os modelos de emissão de uma maneira geral são empregados para

dois tipos de análise. Eles podem ser empregados para prever os valores absolutos de poluição (inventários), como, por exemplo, identificar as ruas que excedem os padrões de qualidade do ar. Para este tipo de análise, um alto grau de exatidão nos fatores de emissão será requerido. Outra intenção do modelo de emissão é a sua utilização em avaliações de impacto, como a comparação de diferentes estratégias de tráfego (JACONDINO e CYBIS,2002).

Uma das metodologias apresentadas em Yu *et.al.* (2009) são os diferentes modelos que usam dinamômetros como equipamento de medição da rotação dos motores e se baseiam em ciclos de condução para estimar as emissões. São usados para uma grande variedade de ciclos de condução, que representam as características dos padrões de condução específicos de diferentes lugares ao redor do mundo e que variam de acordo com a cultura e os costumes locais.

Os sistemas do programa de tecnologia I/M (*Vehicle Inspection and Maintenance– I/M Programs*) de inspeção e manutenção veicular são usados devido à sua característica de funcionar como um programa de inspeção. Os programas I/M foram desenvolvidos nos anos 1970 pela agência norte-americana de proteção ambiental (EPA - *United States Environmental Protection Agency*) em observância às normas do Clean Air Act (CAA), com o objetivo de garantir que o controle das emissões veiculares funcione efetivamente. De acordo com o CAA, a EPA definiu as diretrizes para o projeto e operação do programa I/M. Nelas estão incluídas diferentes tecnologias de avaliação de emissões do programa I/M, como os testes I/M 240, o RSD (*Road-side Pullover Test*), ASM (*California's Acceleration Simulation Mode*), etc. (YU *et.al.*, 2009). Os detalhes dos testes podem ser vistos em Yu *et.al.* (2009), Beydon e Guldman (2006), EPA (2004) e Bin (2006).

O sistema RSD é usado devido à sua característica de realizar as medições das emissões sem a necessidade de parar o veículo. Esse modelo de tecnologia de medição foi desenvolvido no final dos anos 1980, na Universidade de Denver, EUA, começou a ser vendido em 1991. E, em 1996, foi oficialmente reconhecido pela EPA. O procedimento de medição usa as radiações eletromagnéticas nos comprimentos de onda referente ao infravermelho (IV) e ao ultravioleta (UV) para testar a taxa de absorção de poluentes quando o veículo passa por um feixe calibrado de IV ou UV. Essa metodologia objetiva avaliar e aumentar a eficiência dos programas I/M, melhorando a qualidade e quantidade de informações e documentação sobre a frota, desenvolver e avaliar os modelos e inventários de

emissão, e sintetizar os modelos de tráfego e de emissão (YU *et.al.*, 2009).

PEMS (*Portable Emission Monitoring System*) é um sistema que quantifica as emissões que tem ganhado atenção e aceitação. Foi desenvolvido no final da década de 1990 pela EPA. Primeiramente, foi concebido o sistema ROVER (*Real-time On road Vehicle Emission Reporter*), depois a segunda geração de PEMS com o sistema SPOT (*Simple Portable Onboard Test*). O procedimento de medição consiste na gravação dos dados referentes às emissões em equipamentos embarcados que realizam as medidas durante a operação do veículo em condições reais. Maiores detalhes sobre os modelos PEMS podem ser obtidos em Yu *et.al.* (2009) e Zhang e Frey (2008).

De acordo com Castro (2008), a partir da década de 1990 os modelos matemáticos utilizados para estimar emissões veiculares têm passado por um processo contínuo de evolução. Isto se deve aos avanços da tecnologia e também dos equipamentos para as medições.

Os modelos de emissão baseados em viagens combinam os fatores de emissão calculados em determinadas regiões com os dados de viagens para gerar inventários de emissão para as estimativas. Um representante dos modelos de emissão baseados em viagens é o MOBILE (*Mobile Source Emission Factor Model*) desenvolvido pela EPA (YU *et.al.*, 2009; EPA, 2004).

O mais recente modelo baseado em viagens é o IVE11 – *International Vehicle Emissions*, tido como um avanço das ferramentas de estimativas de emissões de fontes móveis em países em desenvolvimento (YU *et.al.*, 2009). O modelo IVE foi desenvolvido pelos pesquisadores do International Sustainable Systems Research – ISSRC e conjuntamente com os pesquisadores da Universidade da Califórnia, em Riverside. O IVE usa a tecnologia dos veículos locais, ciclos de condução para diferentes tipos de via e de veículo, fatores de emissão específicos para os veículos locais e as condições locais meteorológicas (DAVIS *et.al.*, 2005).

Existem também os modelos que utilizam dados referentes ao consumo de combustível. Um representante desse modelo é o COPERT – *Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport*, desenvolvido em 1985 pela agência europeia de controle ambiental, EAA – *European Environment Agency*. Combinando dados de fatores de emissão, com dados de consumo do combustível gera-se o inventário de emissões (Yu *et.al.* 2009) .

Hoje um dos principais modelos utilizados é o CMEM (*Comprehensive Modal*

Emission Model), inicialmente desenvolvido na década de 1990 com o patrocínio do *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) e a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) para cumprir a necessidade de modelagem de emissões microscópicas (FARNSWORTH, 2001).

Este tipo de modelo é necessário para avaliar os benefícios de emissões ou medidas específicas de controlo de corredores de transporte (por exemplo, pistas de HOV- *High-Occupancy Vehicle*), sistemas inteligentes de transporte (ITS) e melhorias de fluxo de tráfego (por exemplo, coordenação de sinal de trânsito). O CMEM é microscópico no sentido de que prevê segundo a segundo as emissões de escape e consumo de combustível com base em diferentes operações modais de frota de veículos em uso. Os parâmetros variam de acordo com o tipo de veículo, do motor, a tecnologia de emissão, e do nível de degradação (BARTH *et.al.*, 2000).

Os modelos de emissão necessitam, portanto, de dados sobre a atividade e comportamento do tráfego. Geralmente, são utilizados para este fim, ciclos de condução desenvolvidos para representar a operação de um veículo de maneira similar ao mundo real (JOURMARD *et.al.*, 2000). Atualmente, observa-se a grande utilização de modelos de emissão agregados a modelos de tráfego. De acordo com Algiers *et.al.* (1997), dentre os 32 micro-simuladores de tráfego avaliados, 54% incorporam modelos de emissão. A utilização de modelos de tráfego para o cálculo das emissões veiculares torna-se interessante, na medida em que eles podem representar as dinâmicas e o comportamento do tráfego urbano de uma forma real em escala temporal e espacial (JACONDINO e CYBIS, 2002).

3.4 Medidas mitigadoras para a emissão de poluentes

Em Allen *et.al* (2002) são discutidas diferentes políticas e seus efeitos, entre elas as leis de uso do solo, restrições de circulação a caminhões e veículos, tamanho dos veículos de carga, estrutura urbana para fazer o descarregamento de mercadorias. Os diversos aspectos abordados demonstram o quão complexa se tornou a situação do tráfego e a busca por soluções eficazes.

3.4.1 PROCONVE

Segundo Jasinski (2004), as primeiras discussões sobre a necessidade da

implantação de um programa nacional de controle de emissões veiculares ocorreram no país em 1977. Nesse mesmo ano começaram as primeiras discussões sobre o assunto através de um seminário internacional promovido pela CETESB.

O seminário alcançou reconhecimento das autoridades estaduais e municipais de São Paulo dos níveis preocupantes de poluição do ar e que a participação dos veículos no agravamento deste problema era significativa. A partir de então surgiram as primeiras ideias sobre um programa de controle de emissões veiculares.

Em 1986 foi criado o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, instituído pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 18/86 e pela Lei 8723, de outubro de 1993 através da CETESB e do IBAMA, apontando o controle da qualidade do ar. Outras resoluções, editadas posteriormente, estabeleceram diretrizes, prazos e padrões legais de emissão admissíveis para as diferentes categorias de veículos e motores, nacionais e importados (JASINSKI, 2004).

Fundamentado na experiência internacional, o programa estabeleceu um cronograma de redução gradual da emissão de poluentes para veículos leves (automóveis) e para veículos pesados (ônibus e caminhões) e adotou procedimentos diversos para a implementação das tecnologias industriais já existentes que foram adaptadas às necessidades brasileiras.

O PROCONVE atribuiu à certificação de protótipos e linhas de produção, a autorização especial do órgão ambiental federal para uso de combustíveis alternativos, o recolhimento e preparo dos motores encontrados em desacordo com o projeto, e proibiu a comercialização dos modelos de veículos não homologados segundo seus critérios (VIEIRA, 2008).

O programa deu prioridade ao segmento de veículos leves devido ao grande número e utilização intensiva, o que o caracteriza como o maior problema em termos de poluição veicular. Foram estabelecidos limites de emissão de poluentes no escapamento dos veículos. Para o cumprimento destes limites, foi necessário estipular prazos para o desenvolvimento dos veículos, adaptação da indústria de autopeças, melhoria de especificações dos combustíveis e, conseqüentemente, a aplicação de tecnologias e sistemas que aperfeiçoassem o funcionamento dos motores para proporcionar uma queima mais eficiente de combustível e, conseqüentemente, a diminuição das emissões e do consumo de combustível (IBAMA, 2004).

O PROCONVE, como parte integrante da Política Nacional de Meio Ambiente, determina que os fabricantes de motores e veículos automotores e os fabricantes de combustíveis ficam obrigados a tomar as providências necessárias para reduzir os níveis de emissão de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos, alcoóis, aldeídos, fuligem, material particulado e outros compostos poluentes nos veículos comercializados no País, enquadrando-se aos limites fixados nesta lei e respeitando, ainda, os prazos nela estabelecidos (BRASIL, 1986).

3.4.2 Tipos de motores

As montadoras de ônibus e caminhões no Brasil só podem fabricar desde janeiro de 2012 e comercializar desde março do mesmo ano, veículos que seguem as exigências da Sétima Fase do PROCONVE, baseada nas normas internacionais EURO 5.

Os ônibus e caminhões brasileiros que seguem os parâmetros Euro 5 podem reduzir em até 63% a emissão de Óxidos de Nitrogênio NOx e em até 80% a emissão de materiais particulados, na comparação com a tecnologia que era adotada até 2011, a Euro 3. A fase Euro 4 foi “pulada” depois da pressão de frotistas de ônibus e caminhões, que relutaram em comprar os veículos novos menos poluentes, pelo custo de aquisição maior. A resistência provocou uma queda na venda de veículos a diesel pesados em 2012 (PROCONVE, 2012).

Atualmente existe o modelo EURO 6, que já é realidade na Europa, porém no Brasil o EURO 6 não é obrigatório, entrará nas normas brasileiras em 2016. O dado curioso na passagem do Euro 4 para o Euro 5 é que os motores ganharam significativa eficiência, com ampla melhoria nos níveis de desempenho, trazidos a reboque dos sistemas de redução de emissões. Para o EURO 6, apenas a poluição será diminuída, com praticamente todos os propulsores mantendo as mesmas características dos similares EURO 5. Isso acontece em função de nenhuma tecnologia totalmente nova ter sido desenvolvida, mas sim a conjunção de sistemas já em uso (PROCONVE, 2012).

3.4.3 Zona Máxima de Restrição de Circulação

Dentre várias alternativas estudadas, alguns países têm adotado o rodízio de

veículos como uma das formas de diminuir os níveis de poluição atmosférica das grandes cidades, gerada basicamente pela queima do combustível, expelido pelos escapamentos dos automóveis e caminhões.

Para o transporte de cargas, o Departamento de Operações do Sistema Viário (DSV), ligado a Secretaria Municipal de Transportes (SMT), criou a Zona Máxima de Restrição de Circulação (ZMRC) com o Decreto nº 33.272 de 11 de junho de 1993. 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 ambientais (Figura 3).

Figura 3: Zona de Restrição de Circulação de 100 Km².
Fonte: CET, 2009.

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) (Decreto nº 37.185 de 20 de novembro de 1997).

O VUC (Veículo Urbano de Carga) e VLC (Veículo Leve de Carga), se definem como veículos *comerciais leves*, com comprimento total de 5,50m (VUC) e 6,50m (VLC) para uso urbano, com capacidade de carga de 3m³. A vantagem

desses veículos é que eles são única opção permitida de circular no centro expandido da cidade de São Paulo e opera em qualquer condição de entrega. Já as desvantagens é a capacidade de carga reduzida e custos unitários muito elevados. E com a criação do rodízio municipal, e das três Zonas Máximas de Restrição à Circulação (ZMRC) em 1997, estavam autorizados a circular nessas zonas.

Considerando a diferença entre para-choques dentre esses veículos, para cada VLC em operação substituindo 3 VUC, temos uma economia de espaço, na faixa de rolamento, de 20 metros.

A Prefeitura de São Paulo tem divulgado uma série de medidas para regular a circulação de caminhões visando minimizar o problema do trânsito na cidade. O Decreto nº 48.338 de 10 de maio de 2007, aumentou a área inicialmente definida para a ZMRC (passando de 11,4 km² para 24,5 km²) e alterou o comprimento do VUC para 6,30m, eliminando o VLC. Um ano depois, o Decreto nº 49.487 de 12 de maio de 2008, regulamentou uma nova ZMRC (agora com 100 km² como ilustrado na figura 3) e proibiu, inclusive, a circulação dos VUCs na área. O decreto também ampliou o horário de restrição: 5h às 21h de segunda a sexta-feira e aos sábados das 10h às 14h.

Com o passar do tempo, a CET foi expandindo essa restrição até chegar aos dias atuais, como a figura 4 mostra:

Figura 4: Mapa detalhado das vias da ZMRC.
Fonte: CET, 2008

Um mês depois, a prefeitura flexibilizou as restrições aos VUCs pelo Decreto nº 49.636 de 17 de junho de 2008, com a permissão de veículos com placas de final par podendo circular nos dias pares e veículos com placas de final ímpar nos dias ímpares. O decreto restringe a circulação com este rodízio ao horário entre 10h e 16h até 1º de novembro de 2008. A pedido das transportadoras, a SMT prorrogou a utilização do VUC até 30 de novembro de 2009, ficam valendo a partir daí, as restrições totais previstas pelo Decreto 49.487/08.

Zioni (2009) afirma que as áreas comerciais centrais, onde o tráfego é mais intenso, têm sofrido os efeitos da ZMRC sobre as movimentações da carga e as atividades de abastecimentos (ver figura 5). Da mesma maneira, cidades vizinhas adotaram a restrição de caminhões, principalmente nos eixos de circulação de suas cidades que, conseqüentemente, absorviam os fluxos de caminhões suprimidos no centro expandido de São Paulo, onde se localizam os principais eixos de ligação da RMSP.

Figura 5: Concentração de atividades no centro expandido de São Paulo.
 Fonte: CET (2015)

Em grande parte dos casos, a extensão dos prováveis impactos da aplicação destas políticas é evidente, isto é, possui fácil quantificação. Contudo, medidas relacionadas ao planejamento do tráfego influenciam nas características de operação dos veículos e apresentam um bom resultado em um curto prazo (RIBEIRO, 2001).

A amplitude dos resultados da aplicação de medidas de planejamento do tráfego e o seu custo/benefício, entretanto, não podem ser avaliadas sem a utilização de modelos quantitativos para a estimativa de poluentes provenientes do tráfego rodoviário, ou simplesmente, modelos de emissão (HASOUNAH e MILLER, 1994).

4 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Quase sempre, os eventos acontecem em algum lugar. Saber o local onde algo aconteceu pode ser importante, por isso a localização geográfica é um importante atributo de atividades políticas, estratégicas e de planejamento. Assim, as informações geográficas são multidimensionais, possuem coordenadas de latitude e longitude, são volumosas, os bancos de dados podem alcançar infinitas informações, podem representar de diversas maneiras, que influenciam o resultado das análises. Tendo como uma representação final a visualização das informação geográfica em forma de um mapa (LONGLEY *et.al*, 2013).

O SIG (Sistema de Informações Geográficas) são sistemas computacionais feitos para armazenar informações geográficas. São ferramentas que buscam melhorar a eficiência e a efetividade do tratamento da informação de eventos geográficos. Um dos méritos mais importantes do SIG é como uma ferramenta de resolução de problemas com a capacidade de combinar o geral com o específico (LONGLEY *et.al*, 2013).

É um sistema que aborda informações sobre entes de expressão espacial, ou seja, aqueles para os quais localização, forma, posição, conectividade, são relevantes (RODRIGUES, 1987). Segundo Decanini (2001), o SIG é um caso particular de sistema de informação que manipula informações georreferenciadas.

O geógrafo Michael Goodchild (1992) afirma que o SIG é um instrumento que abre as portas para a construção de uma nova ciência. Instrumentaliza, portanto, a implementação de uma verdadeira “Ciência do Espaço”, ou de “Ciência da Informação Geográfica”, uma ciência normativa, construída segundo fundamentos conceituais originários do mesmo corpo teórico subjacente à informática.

Resumindo, a “Ciência da Informação Geográfica” proposta por Goodchild, pretende problematizar o lado informacional da Geografia, não empreendendo qualquer reflexão epistemológica sobre a nova ciência, fora do foco informacional imposto pelo SIG. Neste sentido, Goodchild (1992) se concentra apenas na progressiva apropriação da Geografia pela informática, e é a partir desta perspectiva, da informatização da Geografia, que desenvolve sua visão da ciência geográfica.

Segundo Câmara (2002) o termo sistemas de informação geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Devido a sua ampla gama de aplicações, que inclui aplicações como agricultura, floresta, cadastro urbano, redes de concessionárias (água, energia e telefonia), e redes de transporte, há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG, a saber:

- Como ferramenta para a produção de mapas.
- Como suporte para análise espacial de fenômenos.
- Como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Silveira *et.al.* (2000) conceituam SIG como um sistema que permite, de forma geral, armazenamento, manipulação, visualização e operação de dados tabulares e georreferenciados, de forma a simular diversos cenários e a facilitar a análise de alternativas auxiliando, assim, o processo de tomada de decisões.

O estudo de SIG tem sido desenvolvido nas últimas décadas como um tema multidisciplinar, e abarca áreas do conhecimento como a geografia, cartografia, sensoriamento remoto, processamento digital de imagens, ciências do meio ambiente e ciências da computação (WORBOYS, 1995).

No presente trabalho será adotada a definição de Câmara, onde o SIG foi aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos, com sua aplicação em redes de transporte. O SIG foi utilizado com o escopo como uma ferramenta de produção de análise espacial de fenômenos, com a utilização de um banco de dados geográficos com o resultado final de um mapa.

A evolução do Sistema de Informações Geográficas possibilitou uma crescente utilização como ferramenta de auxílio à análise espacial, tornando possível avaliar cenários geográficos com rapidez e, conseqüentemente, as tomadas de decisões ficaram mais ágeis.

O desenvolvimento da tecnologia de computadores para a análise espacial ocorreu na segunda metade do século XX, abrindo inúmeras possibilidades, entre elas a de combinar os dados disponíveis de uma área. Segundo Schmidt *et.al.* (2003), acontece um grande desenvolvimento em novas técnicas para o estudo de dados observados em uma área geográfica, por exemplo, a modelagem de

poluentes no ar.

O SIG tem facilitado a visualização e o armazenamento de dados relevantes por meio de um sistema que codifica, gerencia e analisa dados espaciais, assim possibilitando o cruzamento de dados que podem estar associados à análise espacial para um desenvolvimento de estudos na área de transporte, meio ambiente e espaço urbano (CRUZ e CAMPOS, 2005).

Há várias aplicações para o SIG em diversas áreas do conhecimento, entre elas, o transporte. Como o transporte lida com o deslocamento e com a infraestrutura, assim como localização de centros de distribuição, facilidades de deslocamento, rotas, planejamento, rastreamento de veículos entre outros, o SIG emprega todas essas funções numa mistura de aplicações operacionais, táticas e estratégicas (LONGLEY *et.al*, 2013).

Os dados georreferenciados são dados espaciais cuja dimensão espacial está associada à sua localização na superfície da Terra, em um determinado período de tempo. Bertini (2003) afirma que as entidades geográficas estão no espaço geográfico e são objetos do mundo real, com suas características espaciais, e se relacionam entre si. A representação de um objeto é a descrição de sua forma geométrica associada a sua posição no espaço.

Muitos benefícios do SIG dependem de um georeferenciamento acurado, a capacidade de vincular diferentes itens de informação através de uma localização geográfica comum. A capacidade de medir distância e áreas na superfície da Terra e de executar formas mais complexas de análises; e a capacidade de comunicar informação geográfica de modo que os outros possam compreender (LONGLEY *et.al*, 2013).

4.1 Caracterização do SIG

Rodrigues (1990), afirma que o SIG é similar a outros sistemas de informação. Tem, entretanto, características distintas que explicam abordagem própria. Algumas dessas características são relacionadas a técnicas específicas de coleta e entrada de dados, outras são relacionadas aos esquemas de representação e estruturação dos entes e atributos, às operações espaciais e à apresentação de dados. Por ser o espaço um meio de integração, há ainda particularidades de sistemas de informação espacial ligadas à integração de dados com diferentes características temáticas,

temporais e espaciais.

A necessidade por dados espaciais e análise espacial não se restringe mais a cientistas e pesquisadores que estudam o planeta Terra. Planejadores urbanos e órgãos públicos que trabalham com cadastros precisam de informações detalhadas sobre a distribuição do solo e recursos naturais em pequenas localidades e também em cidades de médio e grande porte. Engenheiros civis necessitam planejar traçados de rodovias e canais, além de estimar custos de construção, incluindo os referentes a cortes e aterros. Departamentos de polícia precisam conhecer a distribuição espacial dos vários tipos de crimes; instituições médicas e de saúde a distribuição das doenças; o comércio se interessa pela distribuição de pontos de revenda e consumidores em potencial. A enorme infraestrutura necessária à vida urbana, as chamadas redes de utilidade como, por exemplo, água, gás, eletricidade, telefonia, sistema de esgoto, etc, todos precisam ser armazenados e manipulados em forma de mapas (BURROUGH e MCDONNELL, 1998).

Segundo Geertman e Vaneck (1995) o ponto forte do SIG reside em sua flexibilidade. Eles podem representar formas e padrões espaciais irregulares, bem como as relações espaciais entre eles. A utilização de um SIG se verifica por ser um modelo de manutenção de dados é integrada, compacta e barata; o acesso é rápido; realiza análises, e outras atividades afins, que até então eram inviáveis; promove a incorporação de processos; apresenta melhores projetos, programas, controle, etc; e fornece um ambiente de integração de informações (RODRIGUES, 1998).

No setor de planejamento de transportes, o SIG pode ser visto como um integrador de todas as atividades envolvidas no processo de planejamento, incluindo a administração e manutenção do sistema de transportes existente, principalmente na antecipação de problemas futuros (SILVA *et.al.* 1997). No entanto, como afirmam Lopes e Ferreira Filho (1999), apesar do SIG apresentar um potencial para atuar em atividades ligadas a transportes, como ferramenta de apoio de tomada de decisão, certos fatores, ainda hoje, contribuem para limitar seu uso por parte das instituições ligadas a transportes no país, tais como: a coleta de dados; poucos dados georreferenciados de fontes oficiais; padronização dos dados; a interoperabilidade entre o SIG e o banco de dados.

Muitas instituições que dependem de respostas precisas para seus

gerenciamentos de transporte não têm contado com o suporte de suas ferramentas SIG, pois os dados georreferenciados necessários não existem, estão incompletos ou não podem ser captados de outras fontes devido à heterogeneidade de atributos (LOPES e FERREIRA FILHO,1999). Por estas razões o SIG deve ser uma ferramenta que seja o reflexo de uma estrutura organizativa que integre a tecnologia com base de dados, conhecimentos e um contínuo apoio financeiro ao longo do tempo. Os procedimentos e metodologias que envolvam os SIG devem ser padronizados e provenientes de fontes oficiais e fidedignas.

4.2 Aplicação do SIG no setor de transportes

Para Nazário *et.al* (2000), devido à importância que os dados espaciais ocupam no setor de transportes, o SIG possibilita inúmeras aplicações. A partir da utilização de dados georreferenciados, pode-se executar diversas análises nas seguintes áreas:

- Apoio ao Marketing - Nesta área o uso de SIG auxilia na identificação do potencial de vendas das diferentes regiões. Isto fornece informação para eventuais promoções em pontos com menor poder aquisitivo. Além disso, pode ser realizada segmentação de mercado, se existirem dados disponíveis dos clientes com suas respectivas necessidades (obtidas através de pesquisas).
- Geografia de mercado - localização de pontos comerciais - Na atualidade, a tecnologia SIG é amplamente utilizada na geografia de mercado, que tem no estudo de localização os pontos comerciais como principal vertente.
- Localização de fábricas e CD's (centros de distribuição) / Roteamento – Neste tipo de estudo, o SIG é utilizado como a principal ferramenta de decisão entre os roteamentos possíveis, obtida através de algoritmos baseados em programação matemática.
- Análises de sistemas logísticos - É importante existir controle em sistemas logísticos já implementados, sendo possível através do SIG. Para distribuidores, por exemplo, pode-se identificar várias anomalias, tais como: desbalanceamento das regiões de entrega, fluxos inadequados, má formação na consolidação, entre outras.

No trabalho de Nassi *et.al*. (1996), foi apresentada uma experiência prática

mostrando os primeiros passos na implantação de um SIG em grandes cidades como no Rio de Janeiro e Recife. O objetivo era gerar imagens para cadastro que auxiliassem no planejamento do transporte público urbano. Para isso foi necessária a representação gráfica de alguns dos principais componentes do sistema, tais como: cadastro de ruas e avenidas do município, itinerários de linhas de transporte público, perfis de carregamento de linhas e rotas, entre outros. Com a base cartográfica criada e utilizando as ferramentas do SIG, foi possível, segundo os autores do trabalho, o planejamento e operação do transporte público urbano por seus administradores.

O SIG também emprega a roteirização, termo com equivalente em inglês *routing*, significando o processo de construção de roteiros e a sequência de paradas a serem cumpridas por veículos de uma frota. O roteamento de veículos tem sido estudado e analisado por muitos especialistas da área de transportes e de pesquisa operacional. Por meio de algoritmos (modelos de simulação e otimização) e de uma base de dados apropriada (rede representando o sistema viário), é possível resolver problemas de roteamento e programação de veículos para atender a determinado objetivo, como o de grupo de cargas a serem coletadas ou distribuídas (Moura, 2001).

Dentro do aspecto de roteirização da rede de transporte coletivo urbano, Vieira (1999) fez o estudo de métodos racionais de roteirização de ônibus urbano para escolha de um método adequado à aplicação nas grandes cidades brasileiras. Para se conhecer as diferenças locais em termos de planejamento de itinerários nessas capitais, apresentou-se um levantamento efetuado junto a 11 órgãos gestores. Foi posteriormente realizada uma comparação com os procedimentos adotados no Brasil com os procedimentos dos EUA e Canadá, e escolhe-se o melhor método baseado nos critérios existentes na literatura. O objetivo foi alcançado e o método escolhido pôde ser aplicado, com algumas modificações pertinentes na coleta de dados. Esperou-se que a pesquisa contribuísse para divulgação das técnicas de roteirização baseadas em modelos matemáticos de modo a auxiliar o especialista na alteração e/ou concepção de rotas; e na completa reformulação dos sistemas de transportes público.

Moura (2001) realizou um trabalho com o objetivo de desenvolver uma metodologia para auxiliar empresas a planejar e otimizar as rotas de veículos que realizam a distribuição de mercadorias. Para auxiliar nessas operações, os SIGs são

uma poderosa ferramenta, por oferecerem recursos para visualização do sistema viário e dos pontos de atendimento.

O TransCAD é um Sistema de Informação Geográfica projetado especificamente para o planejamento, gerenciamento, operação e análise das características dos sistemas de transportes (Caliper, 1996). O TransCAD realiza várias análises de transportes e possui um banco de dados projetado para capturar e analisar dados de transportes. Estes dados, por exemplo: de redes de transportes, fluxos de carga, rotas, programação, análise de transportes interzonais, demanda de passageiros, desempenho do sistema de transportes e outros, podem ser armazenados, visualizados e analisados em qualquer escala espacial.

Trabalhando com todos os modos de transporte, este sistema, quando aplicado a modelos de roteamento e logística, pode ser utilizado por diferentes setores (públicos ou privados) em aplicações tais como (MELO e FERREIRA FILHO, 2001):

- Operações de coleta e entrega; • Planejamento da distribuição;
- Manutenção de facilidades/oportunidades (Facility maintenance);
- Coleta e entrega porta-a-porta;
- Varrição de ruas ou remoção de neve;
- Coleta de lixo sólido e reciclável;
- Cálculo de distâncias percorridas.

Assim o SIG demonstra seu potencial na área de transporte, com diferentes aplicações, sendo possível analisar dados em formato espacial e multidisciplinar, que agrega várias informações e a possível realização de análises com resultados específicos para o problema em questão.

4.3 Análise Espacial

A análise espacial inclui todas as transformações, manipulações, métodos que podem ser aplicados aos dados geográficos para adicionar valor a eles, para apoiar decisões e para revelar padrões e anomalias que não são óbvios à primeira vista. Assim, a análise espacial é o processo pelo qual transformamos os dados brutos em informação útil na busca pela descoberta científica ou por uma tomada de decisão mais eficiente (LONGLEY *et.al*, 2013).

Segundo Câmara *et.al.* (2002), o processo de análise espacial alcança um conjunto de procedimentos encadeados cuja finalidade é a escolha de um modelo inferencial que considere explicitamente o relacionamento espacial no presente fenômeno. As técnicas de análise espacial permitem descrever a distribuição das variáveis de estudo, identificar situações atípicas e não só em relação à distribuição espacial, mas também em relação aos vizinhos e buscar a existência de padrões na distribuição espacial.

Existem vários tipos de análise espacial, como, por exemplo, a de localização identificando onde algo acontece ou existe, sendo possível comparar diferentes propriedades no mesmo lugar, descobrir relações, ou até mesmo explicações. Outro tipo de análise espacial é através dos atributos, onde a análise não é feita apenas pela localização dos dados, mas as informações que contam nesses dados através do banco de dados (LONGLEY *et.al*, 2013).

De acordo com Gonçalves (2005), as técnicas de análise exploratória espacial dos dados, conhecida como ESDA (*Exploratory Spatial Data Analysis*) são úteis para descrever e revelar distribuições e padrões de associação espacial (*clusters*), regimes espaciais ou outras formas de instabilidade espacial (não-estacionaridade) e observações atípicas (*outliers*). A principal vantagem desta técnica é tratar os efeitos espaciais, fazendo referência à dependência e à heterogeneidade espacial.

As técnicas empregadas são, em geral, adaptações das ferramentas usuais. Para a investigação do tipo de distribuição utilizam-se histogramas, entre outras formas de visualização da distribuição dos dados.

A autocorrelação espacial trata da similaridade entre valores que ocorrem em regiões ou pontos próximos do espaço, ou seja, indica onde a distribuição dos valores é dependente da distribuição espacial das feições. Para que análises contendo informações espaciais tenham êxito faz-se necessário a utilização de alguns conceitos como o de pesos e defasagens espaciais (ANSELIN, 1988). Pesos espaciais ponderam influências que algumas regiões exercem sobre outras, por isto possuem relação com distância. Desta forma se as feições próximas são mais parecidas que feições distantes, estas possuem um valor de autocorrelação espacial positivo, enquanto que se feições vizinhas tendem a não possuírem valores similares, estas apresentam correlação negativa. Para análises que apresentam padrões espaciais aleatórios não existe autocorrelação espacial.

Análises estatísticas usam medidas espaciais para identificar e quantificar padrões existentes e reconhecer variações nos conjuntos de dados das feições. Estas análises exploratórias de padrões espaciais podem apresentar características globais para descobrir a existência de agrupamentos e o tipo de padrão na área de estudo ou características locais, que enfoca na análise de feições individuais ou no seu relacionamento com feições vizinhas.

Além das análises citadas anteriormente, uma análise utilizada nessa dissertação é a de estimativa de densidade. Uma das maneiras que esta é executada é através do método *Kernel*.

4.4 Método de *Kernel*

O método de *Kernel* é utilizado para analisar padrões na distribuição de pontos, que consiste em uma forma simples de realizar uma estimativa da intensidade pontual do fenômeno estudado em toda a sua área de estudo. Este estimador de intensidade de distribuição de pontos permite uma visão geral da distribuição de primeira ordem dos eventos, além de ser fácil sua interpretação (DRUCK *et.al*, 2004).

Xie e Wu (2014) afirmam que a função de *Kernel* é o método não paramétrico mais utilizado nas últimas décadas. Essa função descreve a distribuição da localização de uma ocorrência de acontecimento e pode ignorar a sua associação com os valores. Esta distribuição é caracterizada pela densidade de eventos que ocorrem em torno de um centróide, representando, assim, os padrões de comportamento de pontos ou linhas. Nesta dissertação, os eventos correspondem a localização dos estabelecimentos comerciais (representada por pontos) e também aos locais onde ocorreram as contagens de veículos de carga da CET (Companhia de Engenharia de Tráfego).

Uma alternativa simples para analisar o comportamento de padrões de pontos é a estimativa da intensidade pontual do processo em toda área de estudo. Para isso, pode-se ajustar uma função bi-dimensional sobre os eventos considerados, compondo uma superfície cujo valor será proporcional à intensidade de amostras por unidade de área. Esta função realiza uma contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse (CARVALHO e CÂMARA, 2004).

O estimador de intensidade é computado a partir dos m eventos $\{u_i, \dots, u_{i+m-1}\}$ contidos num raio de tamanho τ em torno de u e da distância d entre a posição e a i -ésima amostra, a partir da função cuja a forma geral é (fórmula 1) :

$$\hat{\lambda}_{\tau}(u) = \frac{1}{\tau^2} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{d(u_i, u)}{\tau}\right), d(u_i, u) \leq \tau$$

Fórmula 1: Função de Kernel.

Fonte: Câmara, 2004.

Segundo Câmara (2004), os parâmetros básicos de *Kernel* são: (a) um raio de influência ($\tau \geq 0$) que define a vizinhança do ponto a ser interpolado e controla o "alisamento" da superfície gerada; e (b) uma função de estimação com propriedades de suavização do fenômeno. O raio de influência define a área centrada no ponto de estimação u que indica quantos eventos u_i contribuem para a estimativa da função intensidade λ . Um raio muito pequeno irá gerar uma superfície muito descontínua; se for grande demais, a superfície poderá ficar muito amaciada.

O estimador de intensidade é muito útil para nos fornecer uma visão geral da distribuição de primeira ordem dos eventos. Trata-se de um indicador de fácil uso e interpretação (CÂMARA, 2004).

A análise de densidade de *Kernel* é realizada pela passagem de uma janela movendo-se sobre os dados, geralmente em uma grade regular. A densidade de observações dentro de um raio definido é calculada para cada evento, e a contribuição de cada observação é ponderado pela sua proximidade com o centro da janela móvel. O resultado da aplicação da função de *Kernel* é um mapa de densidade (formato raster). O valor de cada pixel representa a relação entre as concentrações de acontecimentos por unidade de área. O *Kernel* pode ser usado para calcular a densidade de eventos pontuais, isto é, a densidade de estabelecimentos comerciais numa região.

Muitos artigos discutem a utilização do método *Kernel*, pois este permite estimar densidades a partir dos diversos dados existentes, sejam eles de tráfego, acessibilidade, acidentes, entre outros. Em Xie e Yan (2013), o *Kernel* foi utilizado com o objetivo de estimar a densidade de acidentes viários em aglomerados urbanos em uma cidade na Bélgica. A partir da localização de acidentes viários geocodificados com endereços e identificação, foi possível realizar técnicas de

agrupamento (*clustering*) espaciais. No presente trabalho utilizou-se o mesmo conceito, aplicado à distribuição dos estabelecimentos comerciais responsáveis por gerarem transporte de carga urbana na cidade de São Paulo.

Muitas pesquisas já utilizaram o método, seja em poluição ou em transportes, por exemplo o CEPTEC/INPE, realizou uma pesquisa de monitoramento do transporte de poluição antropogênica e de queimada na América do Sul. Com uma metodologia de um sistema de monitoramento operacional em tempo real foi implementado em 2003 usando o modelo de transporte 3D on-line CATT-BRAMS (*Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modelling System*) acoplado com um modelo de emissões. O método de *Kernel* foi utilizado em dados de CO que têm grandes áreas horizontais sem dados válidos, devido à espessura da área de observação e à cobertura de nuvens, as médias mensais dos resultados do modelo foram calculadas, depois de aplicar o *Kernel* de média e o perfil a priori, e utilizando dados recuperados com maior de 50% de contribuição a priori (CEPTEC/INPE, 2005).

5 ANÁLISE DE MULTICRITÉRIOS

A técnica do multicritério é um termo genérico para métodos que auxiliam na tomada de decisões utilizando as suas próprias preferências em casos em que existem mais de um critério conflitante (CHEN *et.al.*, 2008). Ao estudar os sistemas de transporte de cargas, vê-se que existem múltiplos atores dos setores públicos e privados que participam no processo de tomada de decisão (BRUCKER *et al.*, 2004). Esta variedade de atores torna mais complexa a tarefa de implementar sistemas de transporte eficientes e eficazes (LEVINE e UNDERWOOD, 1996; LABBOUZ *et.al.*, 2008).

Segundo Costa (2002), uma das principais e das mais atraentes características das metodologias de auxílio multicritério à decisão é que as mesmas reconhecem a subjetividade como inerente aos problemas de decisão e utilizam julgamento de valor como forma de tratá-las cientificamente.

Os métodos multicritérios de análise de decisão (MMAD) provêm maior entendimento do contexto multidisciplinar do processo decisório; efetuam a análise da decisão e recomendam um curso de ações ou selecionam a melhor ação a ser implementada; validam a análise da decisão e organizam as informações para decisões futuras (GOMES, 1998). Estas técnicas podem, por conseguinte, ser utilizadas para: (a) identificar a melhor opção, (b) ordenar as opções, (c) listar um número limitado de alternativas para uma subsequente avaliação detalhada, ou (d) simplesmente distinguir as possibilidades aceitáveis das inaceitáveis (DODGSON *et.al.* 2001). Diante da variedade métodos multicritérios existentes e da multiplicidade de características inerentes a cada um, torna-se imprescindível selecionar aquele que melhor se adeque a este trabalho.

Há uma série de projetos sobre técnicas de decisão multicritérios para a tomada de decisão em diferentes sistemas de transporte de passageiros. O gráfico 1 apresenta a evolução ao longo do tempo do número de artigos publicados no período de 1982 a maio de 2014. Desde os primeiros trabalhos apresentados por Roy e Hugonnard (1982) e Giuliano (1985), há poucas publicações até o final da década de 1990 (PÉREZ *et.al.*, 2014).

Gráfico 1: Evolução do tempo do número de artigos publicados

Fonte: Pérez *et.al*, 2014.

As publicações totais aumentaram a partir dos anos 2000, com uma pequena quantidade surpreendente de publicações entre 2003 e 2006. Nota-se que a partir do número total de artigos publicados nestes mais de 30 anos, 48,86% foram publicados entre 1982 e 2007, enquanto 51,14% foram publicados durante os últimos 6 anos (entre 2008 e 2014). Durante este período de 6 anos, as obras se concentraram principalmente sobre a seleção de tecnologias para o transporte ou a gestão do tráfego, políticas, e decidir sobre o investimento em infra-estrutura.

Ao longo dos anos, o maior número de trabalhos publicados está relacionado à escolha de opções de investimento para a infraestrutura dos sistemas de transporte de passageiros. A segunda e a terceira questão mais estudada foi, respectivamente, a seleção de políticas e seleção de tecnologia para sistemas de transporte, bem como modelos para avaliar o desempenho dos transportadores. Isto mostra claramente que os multicritérios são vantajosos para os modelos de tomada de decisão em comparação com os métodos convencionais de avaliação que se concentram em um único critério, tais como a análise de custo-benefício. De fato, como apontado por Tsamboulas (2007), "os tomadores de decisão precisam saber muito mais do que apenas os custos e desempenho do tráfego; eles precisam de informações sobre o longo prazo e os impactos indiretos sobre a mobilidade da sociedade, os impactos ambientais/consequências".

De acordo com a definição dada por Ghiani *et.al.* (2004) sobre as decisões estratégicas, táticas e operacionais nos sistemas de transporte, analisou o alcance das decisões tomadas em cada papel revisto. Cerca de 84% dos trabalhos estão focados no nível estratégico, enquanto os outros dizem respeito da tomada de decisão. Apenas o artigo de Li *et.al.* (2011) considera níveis de decisão, tanto estratégicos e táticos. Nenhum dos artigos estava interessado na análise de

decisões operacionais. A técnica de multicritério tem sido usada principalmente para auxiliar na decisão de longo e médio prazos em planejamento.

5.1 Analytic Hierarchy Process (AHP)

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) possui vários atributos desejáveis para a realização desta pesquisa como: a) é um processo de decisão estruturado que pode ser documentado e repetido; b) é aplicável a situações que envolvem julgamentos subjetivos; c) utiliza tanto dados quantitativos como qualitativos; d) provê medidas de consistência das preferências; e) há uma ampla documentação sobre suas aplicações práticas na literatura acadêmica; f) seu uso é apropriado para grupos de decisão (JIANYUAN, 1992).

O problema abordado nesta dissertação envolve a classificação e comparação de vários critérios considerados em seu conjunto na análise da criticidade da localização dos estabelecimentos comerciais para o aumento da emissão de poluentes. Diante dessa questão, recorreu-se ao uso do método de análise hierárquica multicritérios conhecido como *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que auxilia na visualização de problemas que são influenciados por diferentes critérios, cuja importância frente ao problema é variável.

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty em meados da década de 1970 no intuito de promover a superação das limitações cognitivas dos tomadores de decisão (ABREU *et.al.*, 2000). A aplicação do AHP para sistematizar uma ampla gama de problemas de decisão nos contextos: econômico, político, social e ambiental, devido à sua simplicidade, sólida base matemática e capacidade de avaliar fatores qualitativos e quantitativos, sejam eles, tangíveis ou intangíveis (SHIAU *et.al.*, 2002).

O AHP baseia-se na capacidade humana de usar a informação e a experiência para estimar magnitudes relativas através de comparações par a par (TOMA e ASHARIF, 2003). Seu uso é indicado para problemas que envolvem a priorização de soluções potenciais através da avaliação de um conjunto de critérios (KIM, 1999). A aplicação do método AHP pode ser decomposta em duas fases: estruturação e avaliação, sendo que a primeira envolve a decomposição do problema em uma estrutura hierárquica que mostra as relações entre as metas, os critérios que exprimem os objetivos e subobjetivos, e as alternativas que

envolvem a decisão.

Relaciona-se, portanto, à apresentação, descrição e justificativa do problema e pontos de vista e, conseqüentemente, à busca do consenso. A segunda fase – avaliação – é caracterizada pela definição do tipo de problema a ser adotado, determinando assim se as ações serão: a) analisadas em termos relativos ou absolutos; b) ordenadas ou escolhidas, c) aceitas ou rejeitadas (BANA e COSTA, 2001).

Essencialmente, o AHP busca decompor um problema em uma estrutura hierárquica descendente que se assemelha a uma árvore genealógica, como mostra a figura 6. As hierarquias geralmente são empregadas em situações que envolvem incerteza, e devem ser construídas de tal forma que: a) incluam todos os elementos importantes para a avaliação, permitindo que, se necessário, possam ser modificados ao longo do processo; b) considerem o ambiente que cerca o problema; c) identifiquem as questões ou atributos que contribuam para a solução, d) identifiquem os participantes envolvidos com o problema (GOMES, 1998).

Figura 6: Estrutura Hierárquica Básica.

Fonte: GOMES, 1998.

A partir do momento que essa hierarquia básica é arquitetada, a etapa seguinte do processo AHP é avaliar sistematicamente as alternativas por meio da comparação, duas a duas, sob a ótica de cada um dos critérios ou atributos. Essa comparação pode utilizar dados concretos das alternativas ou julgamentos humanos como forma de informação (SAATY, 1980).

O AHP transforma as comparações, muitas vezes empíricas, em valores numéricos que são processados e comparados. O peso de cada um dos fatores permite a avaliação de cada um dos elementos dentro da hierarquia definida. Esta

capacidade de conversão de dados empíricos em valores numéricos é o principal diferencial do AHP com relação a outras técnicas.

A alternativa proposta por Saaty (2005) é a mais amplamente utilizada. Atribuindo valores que variam de “1” a “9”, a escala determina a importância relativa de uma alternativa i com relação à alternativa j e, reciprocamente, da alternativa j em relação à alternativa i , conforme apresentado na tabela 8.

Tabela 8: Escala de importância relativa

ESCALA	AVALIAÇÃO NUMÉRICA (a_{ij}) (alternativa i em relação à j)	RECÍPROCO ($1/a_{ij}$) (alternativa j em relação à i)
Extremamente preferido	9	1/9
Entre muito forte e extremo	8	1/8
Muito fortemente preferido	7	1/7
Entre forte e muito forte	6	1/6
Fortemente preferido	5	1/5
Entre moderado e forte	4	1/4
Moderadamente preferido	3	1/3
Entre igual e moderado	2	1/2
Igualmente preferido	1	1

Fonte: SAATY, 2005

A utilização desta escala na avaliação dos critérios e/ou atributos gera uma matriz com valores numéricos. O mesmo procedimento é utilizado para a avaliação dos pares de alternativas sob a ótica de cada um dos critérios e/ou atributos.

Os principais dados de entrada para a construção de uma hierarquia são as respostas obtidas para uma série de perguntas que, normalmente, possuem a forma geral: “Qual é a importância do critério 1 em relação ao critério 2?” (DODGSON *et.al.*, 2001). Esse procedimento, conhecido por comparação par a par, é utilizado para estimar a escala fundamental unidimensional em que os elementos de cada nível são medidos.

O método, portanto, baseia-se na comparação entre pares de critérios e sub-critérios, se existirem, e na construção de uma série de matrizes quadradas, onde o número na linha i e na coluna j dá a importância do critério C_i em relação à C_j , como se pode observar na forma matricial indicada abaixo – fórmula 2

(KATAYAMA *et.al.*, 2005).

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1j} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2j} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \dots & a_{3j} \\ \dots & \dots & \dots & 1 & \dots \\ 1/a_{1j} & 1/a_{2j} & 1/a_{3j} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Fórmula 2: Forma matricial do AHP.

Fonte: KATAYAMA, KOSHIISHI e NARIHISA, 2005

Nessas matrizes, a_{ij} indica o julgamento quantificado do par de critérios (C_i , C_j) e o valor da intensidade de importância. As seguintes condições devem ser atendidas (ABREU *et.al.*, 2000):

* se $a_{ij} = a$, então $a_{ji} = 1/a$, a^{10} ;

* se C_i é julgado como de igual importância relativa a C_j , então $a_{ij} = 1$, $a_{ji} = 1$ e $a_{ii} = 1$, para todo i .

A partir da matriz de atributos consolidada e padronizada, são calculados os pesos relativos entre os critérios e/ou atributos. Após a determinação dos pesos de cada critério e/ou atributo, é possível estabelecer a hierarquia entre eles. Isto significa obter o grau de importância que as pessoas percebem para cada um dos critérios e/ou atributos.

Segundo Chwolka e Raith (2000), a maior vantagem do AHP é que ele requer que os indivíduos façam somente comparações entre pares de alternativas. Já Boritz (2002) aponta como um dos pontos fortes mais significativos do AHP a capacidade de medir o grau de inconsistência, dos julgamentos paritários avaliando a intensidade com que o autovalor da matriz de julgamentos se afasta de sua ordem, presente nos julgamentos par a par e, desse modo, ajudar a assegurar que somente ordenamentos justificáveis sejam usados como a base para avaliações.

Por outro lado, Bana e Costa e Vansnick (2001), em intensos debates com especialistas em Métodos Multicritérios de Análise de Decisão, suscitam algumas

dúvidas sobre o AHP. Ishizaka (2004), por sua vez, apresenta várias críticas em relação ao método, como por exemplo, é importante que haja consenso na priorização dos níveis mais altos de hierarquia, os critérios apresentados devem ser independentes ou suficientemente diferentes, o processo de interação de grupo ou individual não deve haver idealismo demais nem forte predisposição para liderança entre os envolvidos e requer um procedimento para estrutura questionário de perguntas.

Existem no mercado alguns softwares, como *Expert Choice*, que implementam o AHP e provêm a simplificação do processo de avaliação e a execução dos cálculos matriciais e dos índices de consistência (SAUNDERS, 1994).

O *Expert Choice* é um software de caráter interativo fundamentado no método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) que simplifica a construção das hierarquias e o cálculo das prioridades (SCHMOLDT *et al.*, 1995). Ele transforma decisões complexas em comparações par a par e sintetiza os resultados, proporcionando aos gestores, por conseguinte, a possibilidade da melhor escolha possível e uma explicação clara para a decisão (TIPEC, 2005).

Há uma versão “demo” desse software denominada *Expert Choice 11®* que permite acesso por 15 dias para avaliação do software. No entanto, ao contrário da licença comercial *Expert Choice 11®*, que permite que a construção de modelos com níveis ilimitados de hierarquia e critérios, a versão “demo” limita o modelo em 9 objetivos por nó, 8 alternativas e 3 participantes (TIPEC, 2005).

Dodgson *et.al.* (2001) afirma que a estrutura do AHP identifica as áreas de maior e menor oportunidade; prioriza as opções; esclarece as diferenças entre as alternativas; ajuda aos agentes a entender melhor situação; indica a melhor alocação de recursos para atingir os objetivos; facilita a geração de novas e melhores opções e favorece a comunicação entre as partes integrantes do processo. Portanto, é uma ferramenta interativa, muito benéfica para analistas e tomadores de decisão na resolução de problemas complexos relacionados a interesses econômicos, sociais, culturais, políticos, ambientais, entre outros.

Apesar das especificidades essenciais à aplicação do método, uma decisão lógica pode ser obtida com uso do AHP através do entendimento do problema; da definição e análise dos critérios de decisão; da atribuição de pesos; da avaliação das soluções alternativas para o problema; da verificação do desempenho das alternativas para cada critério; do preparo das recomendações para a tomada

de decisão (GOMES, 1998). Ao final desse processo, o grupo de decisões, por meio de negociação, mediação e arbitragem, será capaz de fazer a melhor escolha.

A aplicação do método AHP no planejamento de transporte, é muito difundida, sobretudo no ambiente acadêmico, e sendo empregada em diversas dissertações de Mestrado, como por exemplo, Godinho (2007), aplicou o AHP em conjunto com o SIG, para escolher o melhor traçado de linhas de ônibus urbanos em Cuiabá.

Já Moreira (2000), utilizando o AHP realizou a avaliação de quatro projetos de intervenções no transporte coletivo da cidade de Porto Alegre, o que lhe proporcionou bastante flexibilidade, pois permitiu a inclusão de variáveis de difícil quantificação, como monetária, número de transbordos, emissão de poluentes e intrusão urbana, além de permitir a atribuição de pesos às diversas variáveis, o que explicita o ponto de vista dos tomadores de decisão em relação à importância dada aos critérios utilizados.

Os métodos hierárquicos multicriteriais refletem a forma como nos comportamos ou pensamos. Ele melhora as capacidades naturais, acelerando os processos de pensamentos, incluindo fatores que normalmente não seriam considerados. O AHP aborda problemas complexos em termos de interações, permitindo colocar o problema como ele é entendido na sua complexidade, refinando a sua definição através de um processo de repetição. Constitui uma metodologia flexível que permite tomar decisões, tendo em conta a lógica, as opiniões e os valores individuais, e por essa razão, é uma ferramenta muito útil para o setor de transporte, uma vez que possibilita visões futuras, quantificar critérios que, em princípio, seriam considerados apenas qualitativos.

6 LÓGICA FUZZY

A lógica *Fuzzy*, também conhecida como lógica nebulosa, lógica difusa, ou ainda como teoria das possibilidades, tem como base a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* introduzida pelo Zadeh em seu artigo “*Fuzzy Sets*” publicado no ano de 1965.

Este conceito contrapõe-se ao da lógica clássica, bivalente, fundada por Aristóteles, segundo a qual uma determinada proposição somente pode assumir os valores: Verdadeiro ou Falso, representados respectivamente pelos números 0 e 1, excluindo-se definitivamente qualquer possibilidade de ocorrerem valores intermediários. Trata-se do Princípio do Meio Excluído (BOYER, 1996).

Uma das características da Lógica Clássica é o axioma do Terceiro Excluído, isto é, não existe alternativa para um valor verdade além do par (Verdadeiro, Falso). Ao lidar com problemas do mundo real, no entanto, é como que o conhecimento disponível não seja nem absolutamente verdadeiro nem absolutamente falso, podendo ser, por exemplo paradoxais, incertos, desconhecidos, indeterminados, verdadeiros em geral, verdadeiros com uma certa probabilidade, etc. Para estender a Lógica Clássica de maneira a permitir o tratamento deste tipo de conhecimento, é necessário alterar o conjunto de valores (Verdadeiro, Falso). Dentre dos formalismos propostos para alterar este conjunto de valores encontra-se a Lógica *Fuzzy* (D'OTTAVIANO e FEITOSA, 2003).

A Lógica *Fuzzy*, também chamada de lógica multivalorada, foi primeiramente introduzida em 1930 pelo filósofo e lógico polonês Jan Lukasiewicz. Através do estudo de termos do tipo alto, velho e quente, ele propôs a utilização de um intervalo de valores $[0,1]$ que indicaria a possibilidade que uma declaração fosse verdadeira ou falsa. Em 1937, o filósofo Max Black definiu o primeiro conjunto *Fuzzy* e descreveu algumas ideias básicas de operações com conjuntos *Fuzzy*. Então, Lofti Zadeh em seu artigo de 1965, redescobriu a ideia de fuzzyficação, identificou e explorou tal conceito. Portanto, Zadeh ficou e ainda é conhecido como o “mestre” da Lógica *Fuzzy* (COUTAURAT, 1903).

A teoria clássica de conjuntos permite o tratamento de classes de objetos e suas interrelações em um universo definido. Nessa teoria, a pertinência de um dado elemento com relação a um conjunto refere-se ao fato de tal elemento pertencer ou não a esse conjunto. De forma ilustrativa, considere o gráfico apresentado no lado

esquerdo da figura 7, que representa um exemplo típico da teoria clássica e descreve a altura de uma pessoa através de três conjuntos: baixo, médio e alto. Nesse exemplo, dado um elemento x qualquer, o mesmo pertencerá a um dos conjuntos do gráfico; por exemplo, se $x = 1,75$, então x pertence ao conjunto médio e não aos demais, ou seja, um elemento pertence ou não a um determinado conjunto e, além disso, tal elemento não pertence a mais de um conjunto (MANDANI, 1973).

Figura 7: Explicação da lógica de *Fuzzy*.
Fonte: MANDANI, 1973.

Ao contrário da Lógica convencional, a Lógica *Fuzzy* utiliza a ideia de que todas as coisas admitem (temperatura, altura, velocidade, etc.) graus de pertinências. Com isso, a Lógica *Fuzzy* tenta modelar o senso de palavras, tomada de decisão ou senso comum do ser humano. Ainda tomando como exemplo o gráfico da Figura 2, dados dois elementos $x_1 = 1,79$ e $x_2 = 1,81$, se a Lógica clássica for utilizada, esses dois elementos pertencem a classes diferentes, x_1 pertencendo à classe médio e x_2 à classe alto. No entanto, na realidade fica difícil de dizer que uma pessoa com 1,69 m e outra com 1,71 m pertencem a classes diferentes (MANDANI, 1973).

A lógica *Fuzzy* admite que uma determinada proposição pode assumir qualquer valor no intervalo entre 0 e 1. Assim, os valores assumidos representam os graus de verdade desta proposição. Uma proposição é totalmente verdadeira se o seu grau de verdade é 1, e totalmente falsa se o seu grau de verdade é 0, admitindo-se como possível a ocorrência de quaisquer valores intermediários de graus de verdade (FERGE, 1986).

O ser humano realiza inferências, através de regras de raciocínio e atribuição de valores *Fuzzy* às variáveis que observa. Valores dotados de incertezas e representados por expressões muitas vezes vagas e imprecisas. Estas variáveis, presentes no pensamento e comunicação humanos, são consideradas válidas para

a lógica *Fuzzy*, haja vista que um termo linguístico pode ser representado por um conjunto *Fuzzy* (D'OTTAVIANO e FEITOSA, 2003).

Segundo Shaw e Simões (1999), a habilidade de se manipular conjuntos e números *Fuzzy* é uma das atividades mais importantes do cérebro humano, e este processo de decisões *Fuzzy* requer um tempo de processamento computacional mínimo por não existir modelo matemático a ser seguido.

A teoria dos conjuntos *Fuzzy* representa uma generalização da teoria clássica dos conjuntos, por considerar, além dos valores limites {0 e 1}, também os valores do intervalo [0, 1]. Por causa desta generalização, a teoria de conjuntos *Fuzzy* apresenta maior campo de aplicabilidade na solução de problemas que envolvam algum grau de avaliação subjetiva, em comparação à clássica teoria de conjuntos (KANDEL, 1986).

Também é possível representar um conjunto *Fuzzy* a partir de relações existentes entre os valores dos elementos e seus respectivos graus de pertinência: são as funções de pertinência. Estas funções descrevem uma curva no plano, cujos pontos representam o valor de pertinência no intervalo [0, 1] em função dos respectivos valores pertencentes ao universo.

Considerando que um conjunto *Fuzzy* é uma generalização de um conjunto clássico, a função de pertinência é uma generalização da função característica destes conjuntos (ZIMMERMANN, 1985). À descrição matemática das funções de pertinência, basta definir as equações das curvas que as descrevem.

Em um sistema *Fuzzy*, a entrada de dados pode ser um valor preciso, ou um conjunto *Fuzzy* (geralmente quando provem de um observador humano ou na forma de uma base de dados, como, por exemplo, os questionários). Para adequar a entrada ao sistema, faz-se a fuzzificação, que é o processo de transformação das variáveis de entrada em graus de pertinência, produzindo uma interpretação ou qualificação das mesmas. O processo de fuzzificação consiste em associar a um vetor linguístico (por exemplo, muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto) os possíveis valores dos parâmetros de entrada (graus de pertinência) para se produzir um conjunto *Fuzzy* que retrate a imprecisão do problema sob análise, isto é, realize um mapeamento dos dados de entrada.

Em algumas aplicações é necessário o processo de defuzzificação, que consiste em obter um vetor linguístico associado ao vetor de graus de pertinência. Existem vários métodos de defuzzificação, entre eles, o centro dos máximos que

utiliza o valor típico de cada termo com base nos dados tratados, e a escala desenvolvida por Cury (1999).

Todo conjunto *Fuzzy* está contido em um determinado universo, desta forma, todo conjunto *Fuzzy* é na realidade um subconjunto de seu Universo de Discurso. Em termos matemáticos, Universo de Discurso é um conjunto de valores finitos que contém todos os valores possíveis de estarem contidos em seus subconjuntos *Fuzzy* (SHAW e SIMÕES, 1999).

Os Sistemas de Controle *Fuzzy* são compostos de um Controlador *Fuzzy*, um interpretador de entradas e um interpretador de saídas. O Controlador *Fuzzy* é composto pelas funções de pertinência e pelas regras *Fuzzy*, que consistem em implicações lógicas formuladas com o uso de variáveis e termos linguísticos.

Estas implicações contêm as informações que permitem relacionar as condições de entrada do sistema de controle às saídas geradas por ele. Regras *Fuzzy* são formuladas sob a forma: *se* (condições) e *então* (consequência). As condições são obtidas através das entradas e a consequência é a emissão de saídas que representam ações de controle.

A tecnologia *Fuzzy* consiste no tratamento matemático de sistemas onde a subjetividade e as características ambíguas das variáveis processadas tornam a lógica clássica de difícil modelagem e aplicação. Através da Lógica *Fuzzy* se pode realizar operações com palavras, onde, aos conjuntos *Fuzzy* competem indicar a possibilidade e não a probabilidade, de tal afirmação estar correta.

6.1 Aplicação na área de transporte

A aplicação da lógica *Fuzzy* em sistemas de controle deve ocorrer em situações onde haja benefícios esperados por sua utilização, podendo haver situações em que seu uso não seja o mais indicado. De forma geral, a indicação de uso de lógica *Fuzzy* ocorre quando se deseja incorporar ao sistema a experiência de operadores humanos a respeito do processo a ser controlado (ZIMMERMANN, 1985).

Os sistemas de controle *Fuzzy* têm encontrado aplicações em vários campos da ciência e da técnica. Segundo Terano et al (1991), as primeiras aplicações comerciais de sistemas de controle *Fuzzy* ocorreram em 1980, e os produtos do campo da engenharia de controle são os que possuem maior valor de mercado.

Sucena *et.al.* 2005, aplicou a lógica *Fuzzy* para a melhoria da mobilidade urbana. Focada no usuário, a pesquisa trabalhou para contribuir na melhoria do planejamento de transporte quanto ao gerenciamento da mobilidade, considerando vários atributos que compõem a visão da mobilidade urbana, tomando-se as indicações dos usuários que utilizam a infraestrutura local. Esses atributos foram escolhidos de acordo com a estrutura existente no local, destacando-se os pontos que são relevantes para as condições sociais, ambientais e financeiras dos usuários.

Rocha (2007) analisou a aplicação da Teoria *Fuzzy* nos modelos de transporte de poluente para estudar o comportamento das concentrações de poluentes em rios naturais, através de funções de pertinências. Os resultados mostraram que os modelos *Fuzzys*, aplicados aos processos de transporte de poluentes, podem ser uma boa alternativa na determinação do risco de degradação de um sistema hídrico qualquer.

Segundo Moreira (2013) utilizaram a teoria *Fuzzy* para uma análise de risco de falha de dispersão dos poluentes atmosféricos. A metodologia proposta consiste no desenvolvimento de um modelo de dispersão de poluente na forma *Fuzzy*, de modo que uma análise de risco possa ser desenvolvida. Desta forma, primeiramente foi formulado o modelo de dispersão na forma determinística. Em seguida, esta equação foi transformada em uma equação *Fuzzy* onde a variável de controle foi calculada na forma de função de pertinência.

7 METODOLOGIA DA ANÁLISE

7.1 Área de estudo

A área de estudo dessa pesquisa é o município de São Paulo (figura 8), capital do Estado de São Paulo, localizado na região sudeste do Brasil.

Figura 8: Área de estudo.

Fonte: Laboratório de Geoprocessamento - EPUSP.

O município de São Paulo tem mais de 11,8 milhões de habitantes, com uma área territorial de 1.524,110 km², com um total de frota circulante de 1.323.775 veículos sendo que cerca de 200.000 são caminhões (IBGE, 2010). Segundo a Organização das Nações Unidas São Paulo é uma das 27 megacidades existentes hoje no mundo (ONU, 2012).

7.2 Materiais

Os materiais utilizados nessa pesquisa serão:

- Boletins técnicos da Companhia de Engenharia de Tráfego do Município de São Paulo – CET/SP (2013)
- Localização e classificação dos estabelecimentos comerciais – CNAE / RAIS (2011)
- Localização dos estabelecimentos do Centro de Estudos da Metrópole - CEM (2013)

- Dados de GPS de caminhões cedidos pela empresa Maplink (2014)
- Dados da qualidade do ar da CETESB (2014)
- Dados IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) cedidos pela PNUD (2010)
- Rede viária do município de São Paulo - Prefeitura de São Paulo (2013)
- Mapa digital georreferenciado das quadras do município de São Paulo (2013)
- Distritos do município de São Paulo - Prefeitura de São Paulo (2013)
- Delimitação de zonas de tráfegos

Programas Auxiliares:

- ArcGIS
- QuantumGIS
- ExpertChoice
- Excel

7.3 Informações dos dados utilizados

Os conjuntos de dados utilizados nesse estudo são compostos por uma rede viária do município de São Paulo, dados dos estabelecimentos comerciais e a contagem de caminhões fornecido pela CET, que foram digitalizados. Os dados da rede viária foram fornecidos pela Prefeitura de São Paulo. Além de informação espacial, a base de dados inclui as características físicas da via, tais como pavimentação, tipo de via, setor censitário que está incluída, além do endereço. Quanto à área de estudo, o município de São Paulo está mapeado, abrangendo todas as vias acessíveis para veículos regulares, quadras e subprefeituras (Prefeitura Municipal de São Paulo, 2014).

As informações fornecidas pela Pesquisa de Monitoração da Fluidez, feita pela Companhia de Engenharia de Tráfego em 2013, tem o enfoque de fornecer dados de volume e velocidade de diferentes tipos de veículos, incluindo os caminhões. O objetivo da pesquisa é ser fonte de consulta de dados de volume e velocidade necessários para subsidiar os estudos em engenharia de tráfego. Nesta pesquisa será utilizada a contagem de caminhões, pois será possível perceber quais os locais os caminhões estão percorrendo e em qual quantidade, de acordo

com contagem de caminhões realizada em determinados horários (7h às 10h, das 17h às 20h e no horário de pico) em 29 rotas diferentes na cidade de São Paulo (CET, 2013).

As análises de locais de caminhões no município de São Paulo foram realizadas usando dados de receptores de GPS instalados em caminhões de carga. A parceria com a Maplink, provedor de dados de tráfego foi essencial para a realização dos estudos. O banco de dados, usado como uma entrada para os estudos, corresponde a uma semana de rastreamento, de 05 a 10 outubro de 2014, e tem 1.789.022 pontos de caminhões com latitude e longitude, de 81.785 caminhões diferentes, sendo que 16 caminhões estão com velocidade 0 km/h, ou seja, parados.

Os dados dos estabelecimentos comerciais foram fornecidos pelo RAIS e CNAE. O Ministério do Trabalho e Previdência Social conta com um instrumento de coleta de dados denominado de Relação Anual de Informações Sociais - RAIS. Instituída pelo Decreto nº 76.900, de 23/12/75, a RAIS tem por objetivo o suprimento às necessidades de controle da atividade trabalhista no país, com provimento de dados para a elaboração de estatísticas do trabalho, e informações do mercado de trabalho às entidades governamentais (RAIS, 2014).

Além dos dados espaciais, no banco de dados há ainda características como nome do estabelecimento, razão social e tipo do estabelecimento (farmácia, papelaria, shopping entre outros).

A CNAE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas é o instrumento de padronização nacional dos códigos de atividade econômica e dos critérios de enquadramento utilizados pelos diversos órgãos da Administração Tributária do país. Trata-se de um detalhamento, aplicado a todos os agentes econômicos que estão engajados na produção de bens e serviços, podendo compreender estabelecimentos de empresas privadas ou públicas, estabelecimentos agrícolas, organismos públicos e privados, instituições sem fins lucrativos e agentes autônomos (CNAE, 2014).

A CNAE resulta de um trabalho conjunto das três esferas de governo, elaborada sob a coordenação da Secretaria da Receita Federal e orientação técnica do IBGE, com representantes da União, dos Estados e dos Municípios, na Subcomissão Técnica da CNAE, que atua em caráter permanente no âmbito da Comissão Nacional de Classificação - CONCLA.

Associando os dados do CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas), da RAIS (Relação Anual de Informações Sociais) e do CEM (Centro de Estudos da Metrópole), é possível analisar a relação dos estabelecimentos comerciais, com o objetivo de descobrir quais destes são os estabelecimentos comerciais que precisam de mais caminhões para seus abastecimentos.

O IDHM é um índice que permite conhecer a realidade do desenvolvimento humano do território brasileiro. Populariza a ideia de que desenvolvimento não se resume à perspectiva do crescimento econômico, mas sim facilita a comparação entre localidades, conduz a um diálogo mais informado na discussão de políticas e estimula a busca por melhores desempenhos socioeconômicos entre os municípios e regiões metropolitanas brasileiras. O índice não abrange todos os aspectos de desenvolvimento humano e não é uma representação da "felicidade" das pessoas, nem indica "o melhor lugar no mundo para se viver", mas sintetiza três das mais importantes dimensões do desenvolvimento humano. Amplia e fomenta o debate, instrumentalizando a sociedade sobre o estado da qualidade de vida nas unidades federativas, municípios, regiões metropolitanas e UDH brasileiras, estimulando a concentração de atores de forma a protagonizar atividades e políticas inovadoras para a superação dos desafios locais rumo ao desenvolvimento humano (ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO, 2010).

O dado do IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal), fornecido pelo Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil do ano de 2013, é calculado com uma nova metodologia, bem como atualizações e ajustes necessários de todos os indicadores componentes, com o objetivo de possibilitar uma análise das tendências do desenvolvimento humano dos municípios ao longo das últimas décadas (vide detalhes em Anexo A).

Os dados da CETESB sobre o monitoramento da qualidade do ar, iniciou-se na década de 1970, bem como a emissão anual do relatório “Qualidade do Ar no Estado de São Paulo” que até hoje é realizado em diferentes escalas de abrangência.

A rede automática tem atualmente dezesseis estações fixas de amostragem. Na tabela 9 estão discriminados, dentre outros, os poluentes monitorados pelas estações automáticas espalhadas pela capital de São Paulo. Cada estação tem um determinado objetivo de monitoramento. Como as diversas regiões do Estado apresentam características ambientais diferenciadas, as formas de monitoramento e

controle da poluição são diferenciadas. A localização dessa rede de monitoramento feita pela CETESB a tabela 10, expõe:

Tabela 9: Configuração da Rede Automática

Estações		Configuração (Parâmetros)														Localização
Capital	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	CO	O ₃	UR	TEMP	VV	DV	P	RAD	ERT	
Capão Redondo	•	–	–	•	•	•	–	•	•	•	•	•	•	•	–	Estrada de Itapeperica, 5859 – Capão Redondo
Cerqueira César	•	–	•	•	•	•	•	–	–	–	–	–	–	–	–	Av. Dr. Arnaldo, 725 – Faculdade de Saúde Pública – Sumaré
Congonhas	•	•	•	•	•	•	•	–	–	–	–	–	–	–	–	Al. Dos Tupiniquins, 1571 – E.M. Prof. João Carlos da S. Borges – Planalto Paulista
Ibirapuera	–	•	–	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	–	–	Parque do Ibirapuera s/nº – setor 25
Cid.Universitária USP – IPEN	–	•	–	•	•	•	•	•	–	–	–	–	–	–	–	Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Univesitária – Butantã
Interlagos	•	–	•	•	•	•	–	•	•	•	•	•	•	•	–	R. Domingas Galleteri Blota, 171 – Campo Grande
Itaim Paulista	•	•	–	•	•	•	–	•	–	–	•	•	–	–	–	R. Jaguar, 225 – Itaim Paulista
Itaquera	–	–	–	–	–	–	–	•	–	–	–	–	–	–	–	Av. Fernando do Espirito Santo Alves Matos, 1000 – SESC – Parque do Carmo

Continua.

Conclusão.

Capital	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	CO	O ₃	UR	TEMP	VV	DV	P	RAD	ERT	Localização
Marg. Tietê Ponte dos Remédios	•	•	•	•	•	•	•	–	•	•	•	•	•	•	•	Av. Embaixador Macedo Soares, 12889
Moóca	•	–	–	–	–	–	•	•	–	–	•	•	–	–	–	R. Bresser, 2341 – Administração Regional da Moóca e Centro Esportivo Municipal
Nossa Senhora do Ó	•	–	–	–	–	–	–	•	•	•	–	–	–	–	–	R. Capitão José Amaral, 80 – E.E. Cacilda Becker – Vila Portuguesa
Parelheiros	•	•	–	•	•	•	•	•	•	•	–	–	–	–	–	Av. Paulo G. Reimberg, 2448 – E.E. Pres.Tancredo A. Neves – Jardim Novo Horizonte
Parque D. Pedro II	•	–	–	•	•	•	•	•	–	–	–	–	–	–	–	Parque D. Pedro II, s/nº – Palácio das Indústrias – Centro
Pinheiros	•	•	–	•	•	•	•	•	•	•	•	•	–	–	–	Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 – CETESB – Alto de Pinheiros
Santana	•	–	–	–	–	–	–	•	–	–	•	•	–	–	–	Av. Santos Dumont, 1019 – Parque de Material Aeronáutico – Santana
Santo Amaro	•	–	–	–	–	–	•	•	–	–	•	•	–	–	–	R. Padre José Maria, 355 – Centro Educacional. Esportivo Municipal Joerg Bruder
Total	13	7	4	11	11	11	10	13	7	7	9	9	4	3	1	

Fonte: CETESB 2015

Tabela 10: Configuração da Rede Automática - 2

MP₁₀ Partículas Inaláveis	NO₂ Dióxido de Nitrogênio	UR Umidade Relativa	P Pressão Atmosférica
MP_{2,5} Partículas Inaláveis Finas	NO_x Óxidos de Nitrogênio	TEMP Temperatura	RAD Radiação Total e Ultra-Violeta
SO₂ Dióxido de Enxofre	CO Monóxido de Carbono	VV Velocidade dos Ventos	ERT Enxofre Reduzido Total
NO Óxido de Nitrogênio	O₃ Ozônio	DV Direção dos Ventos	* Estação móvel
BEN Benzeno	TOL Tolueno		

Fonte: CETESB 2015

Segundo Curilov (2006) os objetivos típicos para avaliação da qualidade do ar através das redes automáticas são:

- Criar base científica para o desenvolvimento das ações de controle;
- Avaliar se os níveis de poluição estão dentro dos padrões legais;
- Avaliar a eficácia das ações de controle;
- Avaliar as tendências da qualidade do ar;
- Avaliar os níveis de poluição aos quais a população está exposta;
- Informar a população dos níveis de poluição do ar;
- Fornecer informações para o gerenciamento da qualidade do ar;
- Identificar as principais fontes poluidoras;
- Avaliar o impacto de determinadas fontes;
- Identificar a influência sobre os ecossistemas em geral;
- Criar subsídios para o desenvolvimento e validação de ferramentas de gestão atmosférica.

Uma rede de monitoramento da qualidade do ar bem dimensionada consiste de um grupo de estações onde diferentes estações respondem a diferentes

necessidades de avaliação. Cada estação atende a determinado objetivo prioritário de monitoramento. Embora uma estação possa atender a mais de um objetivo simultânea, isso nem sempre é possível (CURILOV, 2006).

Na tabela 11 são indicados os métodos de medição empregados para os diversos parâmetros amostrados pela rede de monitoramento da CETESB no Estado de São Paulo.

Tabela 11: Métodos de Medição dos Parâmetros.

Parâmetros	Método de Medição
Partículas inaláveis finas	radiação Beta
Partículas inaláveis	radiação Beta
Dióxido de enxofre	fluorescência de pulso (ultravioleta)
Óxidos de nitrogênio	quimiluminescência
Monóxido de carbono	infravermelho não dispersivo (GFC)
Enxofre reduzido total	oxidação térmica- fluorescência de pulso (ultravioleta)
Ozônio	ultravioleta
Benzeno / Tolueno	cromatografia gasosa

Fonte: CETESB (2015)

Esta rede, ligada a uma central de computadores através do sistema de telemetria, registra ininterruptamente as concentrações dos poluentes na atmosfera. Estes dados são processados com base nas médias estabelecidas por padrões legais e são disponibilizados de hora em hora na internet. Diariamente às 11:00hs é divulgado na internet o Boletim de Qualidade do Ar, onde é apresentado um resumo das condições da poluição atmosférica das 24 horas anteriores a um previsão meteorológica das condições de dispersão dos poluentes para as 24 horas seguintes.

Os resultados são apresentados por estação, podendo filtrar por UGRHI (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos) e município. A qualidade do ar de cada estação é determinada pelo poluente que apresenta maior índice. Para cada UGRHI, informa os efeitos à saúde e como proteger-se das concentrações observadas. Ainda, apresenta por dados horários, média móvel e índice de

qualidade do ar dos poluentes para cada estação da rede automática, a partir da data e hora informadas pelo usuário. Permite consultar, também, os dados horários dos parâmetros meteorológicos.

Segundo a CET (2015), entende-se que pode contribuir para a redução da emissão de poluentes e de gases do efeito estufa a promoção de ações que aperfeiçoem a redução da frota, o aumento da velocidade média e a obrigatoriedade do uso de caminhões que atendam as fases P-5 e P-6 do PROCONVE, na distribuição urbana de bens e serviços. Porém, dada a complexidade das relações sócio econômicas que se desenvolvem na cidade, é necessário ampliar o conhecimento sobre a distribuição urbana da carga (bens, serviços, mercadorias, insumos e resíduos) e buscar ferramentas de simulação e modelagem para quantificação, avaliação e seleção de medidas no tocante aos seus impactos e eficiência.

Na primeira etapa, o projeto da pesquisa de Origem e Destino de Cargas de São Paulo envolve a identificação, seleção e definição de metodologias, procedimentos, parâmetros e indicadores para o planejamento e gerenciamento da execução da pesquisa e posterior tratamento e análise dos dados obtidos. As atividades desenvolvidas nesta etapa consistiram em planejar e gerenciar a coleta de dados sistematizados que caracterizam os elementos da logística de estoque, armazenamento, transporte, administração, exportação e importação, o padrão das viagens, os tipos e quantidades de carga transportada, os tipos de veículos envolvidos neste transporte na cidade de São Paulo. Nos municípios/estados/países onde ocorrem movimentações de cargas como a cidade de São Paulo foram também criados instrumentos para supervisão dos estudos de planejamento e da execução da pesquisa de campo, envolvendo a definição de uma metodologia para controle de qualidade da produção de entrevistas, tabulações e consistência dos dados (CET, 2015).

A tabela 12 demonstra a definição dos setores econômicos. A Companhia de Engenharia de Tráfego resolveu usar duas bases, as mesmas bases utilizadas nesta dissertação que são a RAIS - Relação Anual das Informações Sociais, e a nomenclatura da Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE.

Tabela 12: Setores econômicos pela RAIS e CNAE para a pesquisa de OD de Cargas

Agrupamentos de Setores	Descrição	Setores Correspondentes da CNAE
1	Mineração	5, 6, 7, 8, e 9
2	Construção	41, 42 e 43
3	Fabricação de Alimentos/Bebidas/Cigarros	10, 11 e 12
4	Fabricação de Bens de Consumo	13, 14, 15, 16, 17, 18, 26, 31 e 32
5	Fabricação de Bens de Capital	19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29 e 30
6	Manutenção e Reparo de Veículos/Máquinas	33 e 45
7	Tratamento de Água, Descontaminação, Utilidades e Coleta e Descarte de Resíduos	35, 36, 37, 38 e 39
8	Atacado de Bens de Consumo	462, 463 e 464
9	Atacado de Bens de Capital	466 e 467
10	Atacado - Outros	461, 465, 468 e 469
11	Varejo em Geral - Supermercados	47113
12	Todos os demais Varejos	Todos os Demais 47
13	Transporte Rodoviário de Cargas	49302
14	Todas as demais Atividades de Transporte e Armazenagem	Todos os Demais 49, 50, 51, 52 e 53
15	Alimentação e Hotelaria	55 e 56
16	Todos os demais Serviços - Caminhões Leves	59, 60, 61 77, 81, 90, 91, 95, 96
17	Todos os demais Serviços	Todos os Demais CNAE >= 58

Fonte: CET, 2015

7.4 Metodologia da dissertação

A intenção do estudo é hierarquizar as áreas do município de São Paulo que

possuem maior quantidade de poluentes do ar, devido à circulação do transporte de carga para o abastecimento dos estabelecimentos comerciais, e com esta integração destes dados e com análises espaciais uma resposta como demonstra a figura 9.

Figura 9: Passo a passo da metodologia adotada para a Dissertação.
Fonte: Própria

Para a realização da dissertação foram utilizadas as ferramentas e recursos do geoprocessamento – análises espaciais e sistemas de informações geográficas (SIG), os estudos que se referem ao transporte de carga, como os trabalhos desenvolvidos por Wang e Trauth (2006) e Taubenbock *et.al.* (2012). Os primeiros autores escreveram artigos com técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto sobre a identificação de origens e destinos comerciais, com base no uso do solo, assim determinando as distâncias das viagens comerciais como uma medida de acessibilidade do sistema de transportes. Já Taubenbock *et.al.* analisam as megacidades utilizando critérios multitemporais de dados de sensoriamento remoto e geoprocessamento para a monitoração da dinâmica espaço-tempo dessas megacidades, com o objetivo de aplicações no planejamento urbano.

O uso do geoprocessamento se justifica na medida em que apresenta uma forte vinculação com o espaço geográfico, permitindo uma análise espacial integrada,

incorporando vários níveis de informação.

8 RESULTADOS

8.1 Espacialização dos dados do relatórios da CET

O primeiro procedimento consistiu em espacializar os dados dos relatórios da CET e relacionar a informação com os segmentos de ruas, obtidos pela Prefeitura de São Paulo, utilizando o software ArcGis 10.0. Para isso, os pontos de contagem de veículos de carga e as rotas foram mapeados, e depois suas informações foram para a tabela de atributos (vide detalhes em Apêndice A)

8.2 Análises espaciais dos estabelecimentos comerciais

São Paulo é o estado que tem o maior número de empreendimentos, com 3.782.075 de estabelecimentos, equivalente a 29,3% do total, seguido por Minas Gerais com 1.259.610 estabelecimentos, representando 9,8% do total e Rio de Janeiro com 1.054.988 estabelecimentos, ou 8,2% do total (IBPT, 2012).

O Setor de Serviços é o que mais possui empreendimentos, com 43,91% do total, seguido pelo comércio com 42,07%, Indústria com 7,16%, Agronegócio com 4,72%, Setor Financeiro com 1,38% e Serviços Públicos com 0,75% do total dos estabelecimentos (IBPT, 2012).

Para facilitar as explicações dos dados, o município de São Paulo, por ser muito grande, foi dividido em regiões, seguindo os critérios da CETESB, onde há estações de monitoramento da qualidade do ar, como apresenta a figura 10.

Figura 10: Regiões do município de São Paulo adotadas.

Fonte: CETESB 2013. Elaboração: Própria.

Os estabelecimentos comerciais do município de São Paulo cadastrados no CEM (Centro de estudos da Metrópole) foram georeferenciados, classificados

através da CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas), e filtrados por apenas aqueles que geram transporte de carga, seja para o abastecimento ou para o transporte de mercadoria, como demonstra a tabela 13.

Tabela 13: Estabelecimentos comerciais – São Paulo.

Tipos de Estabelecimentos	Quantidade
Adegas	9
Aeroporto	2
Bancos	684
Bares e outros	615
Cafeterias	993
Caixas Eletrônicos	398
Cinemas	85
Clínicas e Laboratórios Médicos	233
Correios	1
Farmácias	2.461
Hospitais	177
Hoteis	716
Livrarias	418
Lojas de Artigos Esportivos	14
Lojas de Artigos para Casa	136
Lojas de Artigos para Escritórios	4
Lojas de Departamentos	26
Lojas de Eletrônicos	73
Lojas de Materiais de Construção	41
Lojas de Roupas	292
Lojas Especializadas	280
Mercados	2.039
Postos de Combustível	2.011
Restaurantes	10.492
Shopping	86

Fonte: CEM, 2013.

A figura 11 apresenta a quantidade de estabelecimentos por regiões do município de São Paulo, assim como a tabela 14 mostra a quantidade de estabelecimentos por região.

Figura 11: Estabelecimentos comerciais no município de São Paulo.

Fonte: CEM, 2013 e CNAE/RAI, 2011. Elaboração: Própria.

Tabela 14: Quantidade de estabelecimentos comerciais por região– São Paulo.

INFORMAÇÕES			ÁREA KM ²	QUANTIDADE DE ESTABELECIMENTOS
NOME	ZONA	ZMRC		
Itaquera	LESTE	FORA	150,54	1.426
Itaim Paulista	LESTE	FORA	110,26	878
Marg.Tietê - Ponte dos Remédios	OESTE	PARCIAL	27,98	429
Mooca	LESTE	PARCIAL	75,32	2.044
Nossa Senhora do Ó	NORTE	FORA	161,96	989
Cerqueira César	CENTRO	PARCIAL	25,97	2.386
Pinheiros	OESTE	PARCIAL	26,06	1.463
Parque D.Pedro II	CENTRO	PARCIAL	18,48	1.806
Cid. Universitária-USP-Ipen	OESTE	FORA	56,42	836
Congonhas	SUL	PARCIAL	49,37	1.076
Interlagos	SUL	FORA	71,56	629
Ibirapuera	SUL	PARCIAL	37,01	3.072
Santo Amaro	SUL	FORA	38,30	1.054
Santana	NORTE	FORA	134,93	1.897
Parelheiros	SUL	FORA	453,47	105
Capão Redondo	SUL	FORA	89,82	383
TOTAL				20.473

Fonte: CEM, 2013.

Com ambos os dados o resultado já demonstra que as regiões com maior número de estabelecimentos comerciais são: Ibirapuera (Zona Sul), Cerqueira César (Centro), e Mooca (Zona Leste), como apresenta a figura 12.

Figura 12: Quantidade de estabelecimentos comerciais por regiões de São Paulo.

Fonte: CEM, 2013, CNAE/RAI, 2011 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria.

Utilizando-se dos dados fornecidos pelo Centro de Estudos da Metrópole, e da classificação da RAIS/CNAE, foi realizado uma análise da predominância de

estabelecimentos por quadra dos *shapes* da Prefeitura de São Paulo. – figura 13.

Figura 13: Predominância por tipo de estabelecimento comercial por quadra.

Fonte: CEM, 2013 e CNAE/RAI, 2011. Elaboração: Própria.

8.3 Aplicação da AHP nos estabelecimentos comerciais

Usando-se a análise espacial baseada no método *Kernel*, executado no software ArcGIS 10.0, foi possível identificar a concentração desses estabelecimentos comerciais e definir as áreas de influência dos mesmos.

Dentre os métodos para a escolha do raio do *Kernel* citados por Bailey and Gatrell (1996), após alguns testes feitos com diferentes tamanhos de raio e grid, optou-se por usar o raio e o tamanho do grid sugerido pelo ArcGIS. A escolha deveu-se ao fato desses parâmetros terem apresentado como resultado uma cobertura maior dos pontos analisados, conforme apresentado nos mapas adiante.

Em uma megacidade, a multiplicidade de tipos de estabelecimentos comerciais e de serviços possui dimensões variáveis tanto para o produto que os abastece como para o que é consumido. Dependendo da frequência de consumo e da perecibilidade do produto, o abastecimento e eliminação dos resíduos desses estabelecimentos comerciais será mais ou menos frequente, com maior ou menor estoque. Além disso, outro fator importante a ser considerado é a quantidade de fornecedores necessários para a provisão necessária ao funcionamento desse comércio. Tais questões levaram à necessidade de se estabelecer uma hierarquia por importância relativa dos tipos de estabelecimentos comerciais considerando-se o transporte de carga por caminhões dentro do município de São Paulo. Dessa forma, levando-se em conta as demandas e os critérios mencionados acima, recorreu-se ao método AHP para a definição de pesos a serem atribuídos por tipo de estabelecimento, que possam melhor refletir os diferentes comportamentos da circulação de caminhões de carga em função do tipo de estabelecimento. Assim, os critérios usados no AHP para a definição de pesos por tipo de estabelecimento comercial, considerando-se os já selecionados tipos, foram: média das partes da unidade de consumo, frequência de consumo e quantidade de fornecedores, como apresenta a tabela 15.

Tabela 15: Definição de pesos por tipo de estabelecimento.

Tipos de Estabelecimentos	Classe	Porte Médio da Unidade de Consumo		Frequência do Consumo		Quantidade de Fornecedores	
		Classificação	Peso	Classificação	Peso	Classificação	Peso
Cinema	1	Pequeno	1	Média	2	Pouca	1
Caixa Eletrônico	2	Pequeno	1	Alta	3	Pouca	1
Farmácia	2	Pequeno	1	Alta	3	Pouca	1
Cafeteria	3	Pequeno	1	Alta	3	Média	2
Clínica E Laboratório Médico	4	Pequeno	1	Alta	3	Alta	3
Adega	5	Médio	2	Baixa	1	Média	2
Loja De Departamento	6	Médio	2	Média	2	Pouca	1
Livraria	7	Médio	2	Média	2	Média	2
Loja Artigos Esportivos	7	Médio	2	Média	2	Média	2
Loja Artigos Para Casa	7	Médio	2	Média	2	Média	2
Loja Artigos Para Escritório	7	Médio	2	Média	2	Média	2
Loja De Eletrônicos	7	Médio	2	Média	2	Média	2
Loja Roupas	7	Médio	2	Média	2	Média	2
Lojas Especializadas	7	Médio	2	Média	2	Média	2
Posto De Gasolina	8	Médio	2	Alta	3	Pouca	1
Hotel	9	Médio	2	Alta	3	Média	2
Correio	10	Médio	2	Alta	3	Alta	3
Hospital	10	Médio	2	Alta	3	Alta	3
Mercado	10	Médio	2	Alta	3	Alta	3
Restaurante, Bar E Outros	10	Médio	2	Alta	3	Alta	3
Loja Material De Construção	11	Grande	3	Média	2	Alta	3

Fonte: CEM, 2013, CNAE/RAI, 2011.

No AHP, a mestrandia do CISlog - EPUSP Patrícia Larajeiro, realizou os dados primários para concretizar o AHP, os critérios foram comparados entre si e, para cada um deles, os tipos de estabelecimentos comerciais foram comparados dois a dois (figura 14). O resultado foi uma tabela de pesos (vide tabela 16), cujo índice

de inconsistência gerado foi de 0,1 que é considerado aceitável. O Índice de Consistência (IC) é dado por $IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n-1)$, onde $\lambda_{\text{máx}}$ é o maior autovalor da matriz de julgamentos. Segundo Saaty (2000) a condição de consistência dos julgamentos é $RC \leq 0,10$. (TREVIZANO & FREITAS, 2005)

Figura 14: Esquema produzido pelo software ExpertChoice com os parâmetros e pesos do AHP
Fonte: Própria.

Tabela 16: Pesos X Tipo de Estabelecimento Comercial.

Tipo de Estabelecimento Comercial	Pesos (AHP)
Cinemas	0,018
Lojas De Departamento	0,022
Lojas de Eletrônicos	0,028
Caixas Eletrônicos	0,031
Farmácias	0,031
Adegas	0,031
Livrarias	0,035
Lojas Artigos Esportivos	0,035
Lojas Artigos Para Casa	0,035
Lojas Artigos Para Escritório	0,035
Lojas Roupas	0,035
Lojas Especializadas	0,035
Postos De Combustível	0,035
Cafeterias	0,044
Hotéis	0,048
Clínicas E Laboratórios Médicos	0,079
Correios	0,083
Hospitais	0,083
Mercados	0,083
Restaurantes, Bares E Outros	0,083
Lojas Material de Construção	0,091
Shoppings	0,099

Fonte: Própria.

Aplicando-se os pesos sugeridos pelo AHP à função *Kernel*, chegou-se ao mapa de densidade dos estabelecimentos comerciais no município de São Paulo, e percebe-se uma alta concentração localizada a partir da região central (Figura 15).

Figura 15: Densidade número de estabelecimentos comerciais em São Paulo por km².
 Fonte: CEM, 2013, CNAE/RAI, 2011. Elaboração: Própria.

Em relação à localização dos estabelecimentos comerciais, os pontos de maior concentração estão localizados em zonas agrupadas da seguinte forma:

a) CEASA, Vila Leopoldina e Emissário, onde a circulação de veículos de carga é intensa, marcada pela proximidade às marginais e, sobretudo, devido à localização da Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), que concentra grande volume de caminhões circulando todos os dias para entrega e retirada de mercadoria.

b) Jardim Paulistano, Pinheiros e Vila Madalena, três zonas que concentram grande atividade comercial, sobretudo de bares e restaurantes que dependem da entrega de mercadorias;

c) Moema, Chácara Itaim e Vila Olímpia repetem a situação descrita, anteriormente, no item b;

d) Sé, Parque D. Pedro, Ladeira da Memória, República, Santa Efigênia, MASP, Vila Buarque e Consolação, Campinas e Trianon são zonas localizadas na região central do município onde estão localizadas, por exemplo, o Terminal P. Dom Pedro – importante nó de mobilidade – e a zona cerealista, além de grande comércio atacadista e varejista do município e da região, além da Av. Paulista e entorno, com alto índice de estabelecimentos comerciais e serviços.

8.4 Análise espacial dos dados do Maplink

O primeiro procedimento consistiu em espacializar o banco de dados de caminhões e relacionar a informação com os segmentos de ruas. Para isso, foram realizados vários tratamentos, tal como a identificação de registros duplicados ou qualquer outro tipo de inconsistência que poderia afetar o processamento ou os resultados. A espacialização da base de dados foi realizada utilizando um SIG.

Espacializados no software ArcGis 10.0 os pontos de caminhões rastreados, foram comparados com os vetores de ruas e avaliados os deslocamentos entre eles. No final da análise, observou-se que 80%, ou 1.141.441, dos pontos espacializados estavam localizadas a uma distância de 20 metros das ruas e foram transferidos, através de uma ferramenta de precisão, para o segmento de rua correspondente. Os 20% restante estavam localizados principalmente em grandes pátios de centros de distribuição e logística, o que impediu sua correspondência

com segmentos de ruas específicas.

Para avaliar a quantidade de caminhões diferentes que passaram por cada segmento de rua no município de São Paulo, os caminhões foram contados apenas uma vez, através do identificador de veículos, para cada segmento na semana/dia em análise. A diferenciação de cada célula da tabela do banco de dados foi possível devido à existência deste identificador único de veículo.

Identificada a quantidade de caminhões por segmento de rua para cada dia da semana, observou-se que há uma grande variação no número de veículos (tabela 17):

Tabela 17: Contagem de caminhões por dia da semana em São Paulo.

Número de caminhões pelos dias da semana		
Domingo	05/10/2014	4575
Segunda-feira	06/10/2014	18183
Terça-feira	07/10/2014	19516
Quarta-feira	08/10/2014	15141
Quinta-feira	09/10/2014	13159
Sexta-feira	10/10/2014	11160

Fonte: Maplink, 2014.

Para a análise espacial de quantidade de caminhões por regiões, é importante ressaltar que considerando apenas o caminhões com o segmento rua correspondente, não há como diferenciar se tal caminhão realizou ou não carga e/ou descarga na região onde seu ponto foi coletado. A princípio foi feito um *buffer* de 20 metros nas quadras, para que os pontos de coordenadas geográficas coletados dos caminhões ficassem contidos dentro da quadra onde seria feita a análise. Em seguida, foi realizado um *join spatial*, para que os atributos dos pontos coletados por GPS fossem associados aos polígonos das regiões (Figura 16).

Figura 16: Quantidade de caminhões por regiões – SP
Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria.

O resultado mostra que as regiões com maior circulação de veículos de carga são: Nossa Senhora do Ó, Santana – ambos da zona norte – seguidos

pela Marginal Tietê, e Parelheiros, região bastante influenciada pelo Rodoanel Sul (tabela 18). Foram feitos mapas quantitativos dos dias de coleta dos dados dos veículos, como apresenta as figuras 17 a 22.

Tabela 18: Contagem de caminhões por dia da semana nas regiões de São Paulo.

NOME	QUANTIDADE DE CAMINHÕES - POR VEÍCULOS						
	TOTAL	05/10/2014	06/10/2014	07/10/2014	08/10/2014	09/10/2014	10/10/2014
Itaquera	3.708	118	844	961	692	610	488
Itaim Paulista	3.634	117	845	900	691	597	486
Marg.Tietê-Ponte dos Remédios	9.041	474	1.903	2.137	1.770	1.506	1.253
Mooca	7.852	444	1.856	1.839	1.383	1.258	1.072
Nossa Senhora do Ó	13.347	874	3.100	3.139	2.330	2.146	1.758
Cerqueira César	6.287	257	1.083	1.550	1.267	1.115	1.015
Pinheiros	6.197	286	1.099	1.500	1.247	1.101	964
Parque D.Pedro II	1.770	49	406	411	313	265	266
Cid.Universitária-USP-Ipen	2.213	149	456	516	488	334	270
Congonhas	3.867	210	765	970	736	659	527
Interlagos	968	26	270	215	178	140	139
Ibirapuera	1.846	99	354	482	406	262	243
Santo Amaro	1.136	36	315	277	204	161	143
Santana	12.027	982	3.082	2.806	1.962	1.752	1.443
Parelheiros	7.171	430	1.622	1.653	1.336	1.149	981
Capão Redondo	721	24	183	160	138	104	112
TOTAL	81.785	4.575	18.183	19.516	15.141	13.159	11.160

Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014

Figura 17: Quantidade de caminhões por regiões por dia - 05/10

Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 18: Quantidade de caminhões por regiões por dia - 06/10.
Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 19: Quantidade de caminhões por regiões por dia - 07/10.
Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 20: Quantidade de caminhões por regiões por dia - 08/10/2014
Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 21: Quantidade de caminhões por regiões por dia - 09/10/2014
Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 22: Quantidade de caminhões por regiões por dia - 10/10/2014.

Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Ainda nos dados coletados do Maplink, foi possível associar a quantidade de caminhões por dia da semana e por faixa de horário da coleta. Relacionando o

resultado com os horários restritivos da ZMRC (das 05:00 às 09:00 horas, e das 17:00 até as 22 :00 horas). Porém o Maplink não fornece a informação de que tipos de veículos de carga estão circulando nesse período de restrição, ou seja, podem ser caminhões liberados pela lei, como o VUC, mas também podem ser veículos proibidos para circular nesse horário. É notável que o horário com maior circulação de veículos de carga durante a semana foi das 22:00 até às 23:00 horas, um horário que é permitido a circulação de caminhões de qualquer tipo em todas as regiões. Já o horário com menos circulação de veículos de carga é do período da manhã, durante o horário restritivo da ZMRC, da 8 :00 às 9:00 horas (tabela 19).

Tabela 19: Contagem de caminhões por horário e dia da semana nas regiões de São Paulo, em 2014

HORÁRIOS	5/10	6/10	7/10	8/10	9/10	10/10	TOTAL
00:00 às 01:00	66	26	181	154	169	181	777
01:00 às 02:00	35	40	156	132	177	154	694
02:00 às 03:00	40	27	125	143	128	133	596
03:00 às 04:00	39	33	119	162	119	117	589
04:00 às 05:00	33	29	173	221	178	197	831
05:00 às 06:00	5	20	121	132	126	123	527
06:00 às 07:00	9	20	73	108	76	89	375
07:00 às 08:00	9	31	72	73	80	72	337
08:00 às 09:00	5	7	60	57	49	52	230
09:00 às 10:00	3	32	72	94	66	85	352
10:00 às 11:00	17	68	101	90	99	135	510
11:00 às 12:00	8	80	124	113	105	147	577
12:00 às 13:00	34	84	103	126	143	135	625
13:00 às 14:00	45	38	169	139	173	143	707
14:00 às 15:00	42	93	148	134	179	156	752
15:00 às 16:00	52	112	197	219	234	218	1.032
16:00 às 17:00	28	132	240	224	226	252	1.102
17:00 às 18:00	53	125	231	186	227	267	1.089
18:00 às 19:00	19	122	215	183	255	257	1.051
19:00 às 20:00	55	204	181	199	212	252	1.103
20:00 às 21:00	45	197	230	224	211	194	1.101
21:00 às 22:00	26	230	221	214	214	219	1.124
22:00 às 23:00	31	201	218	202	276	250	1.178
23:00 às 00:00	47	187	199	191	188	226	1.038

Fonte: Maplink, 2014.

Após a filtragem dos dados por horários, foi realizada outra análise espacial para saber a quantidade de veículos de carga que circulam na cidade pelas

regiões de medição de qualidade do ar da CETESB. Foi escolhido o dia com maior circulação de veículos, dia 07/10/2014 terça-feira, e dividido de três em três horas para saber em qual período do dia é mais movimentado.

O resultado dessa análise mostra que a região mais movimentada durante o dia todo é Itaquera, na zona leste de São Paulo, região fora da ZMRC, em segundo lugar, Santana, seguido pela Nossa Senha do Ó, ambas na zona norte. O horário com maior movimento no dia analisado é no período da noite com 17.820 veículos circulando entre as 18:00 às 21:00 horas, sendo a região com maior movimento a Itaquera (zona leste).

A maior circulação de veículos de carga em uma região e em qualquer período analisado, é em Itaquera, zona leste, com 9.125 veículos circulando no período da tarde, entre 15 horas até 18 horas (Tabela 20).

Tabela 20: Contagem de caminhões por horário e região no dia 07/10/2014.

NOME	ZONA	ZMRC	ÁREA KM ²	DIA 07/10/2014							
				MADRUGADA		MANHÃ		TARDE		NOITE	
				00:00 até 03:00	03:00 até 06:00	06:00 até 09:00	09:00 até 12:00	12:00 até 15:00	15:00 até 18:00	18:00 até 21:00	21:00 até 00:00
Itaquera	LESTE	FORA	150,54	309	148	119	276	403	397	9125	616
Itaim Paulista	LESTE	FORA	110,26	184	175	43	154	335	273	297	463
Marg.Tiete - Ponte dos Remédios	OESTE	PARCIAL	27,98								
				292	391	246	268	206	669	714	500
Mooca	LESTE	PARCIAL	75,32	318	378	288	625	432	877	961	1027
Nossa Senhora do Ó	NORTE	FORA	161,96	655	664	379	586	704	1230	1765	997
Cerqueira César	CENTRO	PARCIAL	25,97	129	119	64	100	113	371	324	280
Pinheiros	OESTE	PARCIAL	26,06	114	148	112	114	105	370	366	263
Parque D.Pedro II	CENTRO	PARCIAL	18,48	28	62	63	59	132	188	175	163
Cid.Universitária - USP - Ipen	OESTE	FORA	56,42	93	106	49	52	179	191	153	205
Congonhas	SUL	PARCIAL	49,37	162	127	149	143	156	325	331	241
Interlagos	SUL	FORA	71,56	72	44	51	11	45	203	135	160
Ibirapuera	SUL	PARCIAL	37,01	51	61	50	68	103	196	110	149
Santo Amaro	SUL	FORA	38,30	28	35	48	20	110	173	160	94
Santana	NORTE	FORA	134,93	941	1005	651	667	791	1996	2456	1683
Parelheiros	SUL	FORA	453,47	634	300	192	275	622	699	712	604
Capão Redondo	SUL	FORA	89,82	25	8	13	83	49	202	36	67
				4035	3771	2517	3501	4485	8360	17820	7512

Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014.

A fim de visualizar essas informações, foram elaborados mapas com estas análises de dados, para observar as alterações da circulação de veículos de carga durante o dia 07/10/2014 (Figuras 23 a 30).

Figura 23: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período madrugada.

Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 24: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período de 03:00 até 06:00 horas
 Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 25: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período manhã.

Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 26: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período de 09:00 até 12:00 horas
 Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 27: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período tarde
 Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 28: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período de 15:00 até 18:00 horas
 Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 30: Quantidade de caminhões no dia 07/10/2014 no período de 21:00 até 00:00 horas
 Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria

As informações contidas nos dados do Maplink, através de atributos, referiam-se ao horário, latitude e longitude coletados via GPS. Assim, foi realizado um cálculo

de velocidade (tempo e distância percorrida), possibilitando gerar uma nova informação de velocidade por quadra dos veículos durante a semana (figura 31).

O mapa informa que regiões perto das áreas com mais movimento de veículos de carga, como Rodoanel Sul, Marginais e zonas norte e leste são as áreas com maior velocidade de veículos chegando até 103 km/h, áreas onde é permitido obter maiores velocidades. Já as áreas mais residências, afastadas destas vias de maior velocidade os caminhões registram uma velocidade menor de até 30 km/h.

Figura 31: Quantidade de caminhões por regiões - SP.
 Fonte: Maplink, 2014 e CETESB, 2014. Elaboração: Própria.

8.5 Dados CETESB

A CETESB fornece dados da qualidade do ar todos os dias em 16 regiões de São Paulo, sendo elas duas da zona norte (Nossa Senhora do Ó e Santana), duas do centro (Cerqueira César e Parque Dom Pedro II), três da zona leste (Itaquera, Itaim Paulista e Mooca), três da zona oeste (Marginal Tietê, Pinheiros e Cidade Universitária) e por fim, seis da zona sul (Congonhas, Interlagos, Ibirapuera, Santo Amaro, Parelheiros e Capão Redondo). Foi coletado os dados da qualidade do ar na mesma semana que os dados do Maplink, ou seja entre os dias 05/10/2014 até 10/10/2014.

Os dados da qualidade do ar é uma maneira de comparação com os dados finais dessa dissertação. Os dados são coletados de hora em hora e divulgados no site da CETESB. Os poluentes coletados são (CETESB, 2014 e MMA, 2014):

- Monóxido de Carbono (CO): é um gás inodoro e incolor, formado no processo de queima de combustível. A maior parte das emissões é em áreas urbanas decorrentes de veículos automotores. Seu efeito no corpo humano é dor no peito, fadiga, dificuldade no processo de respiração.
- Materiais particulados (MP10 e MP2.5): é uma mistura complexa de sólidos com diâmetro reduzido, com possibilidade de penetração no trato respiratório. As fontes principais são a queima de combustíveis fósseis, seus efeitos a saúde incluem câncer respiratório, inflamação no pulmão, asma.
- Dióxido de Nitrogênio (NO₂): é um gás poluente com ação altamente oxidante, apresenta também efeitos sobre as mudanças climáticas globais. Suas fontes podem ser naturais, mas também antropogênicas, como o processo de combustão. Seus efeitos são problemas respiratórios, e no ambiente pode causar smog fotoquímico e as chuvas ácidas.
- Ozônio (O₃): é um poluente secundário, encontrado naturalmente na estratosfera, onde tem uma função positiva de absorver radiação solar. Sua fonte é através de reações químicas que acontecem entre o dióxido de nitrogênio e compostos orgânicos. Este poluente é emitido principalmente na queima de combustíveis fósseis, os efeitos são sintomas como asma, deficiência respiratória, como outras doenças pulmonares.
- Dióxido de Enxofre (SO₂): é um gás tóxico e incolor, existe fontes naturais,

mas o aumento das concentrações de SO₂ no ambiente na maioria em partes urbanas causadas por combustíveis fósseis que contenham enxofre em sua composição. Os efeitos à saúde são sintomas como asma, problemas respiratórios.

A classificação da qualidade do ar feita pela CETESB é: boa (0-40 µg/m³), moderada (41-80 µg/m³), ruim (81-120 µg/m³), muito ruim (121-200 µg/m³) e péssima (>200 µg/m³). Com essas informações foi elaborada uma tabela com a qualidade do ar durante a semana em todas as 16 áreas com os poluentes adotados (tabela 21). Os dados foram georreferenciados como os mapas Figuras 32 a 37 representam.

Tabela 21: Qualidade do ar por região na semana de estudo.

INFORMAÇÃO					DIA 05/10/2014						DIA 06/10/2014						DIA 07/10/2014					
ID	NOME	ZONA	ZMRC	ÁREA KM²	CO_D5	MP10_D5	MP25_D5	NO2_D5	O3_D5	SO2_D5	CO_D6	MP10_D6	MP25_D6	NO2_D6	O3_D6	SO2_D6	CO_D7	MP10_D7	MP25_D7	NO2_D7	O3_D7	SO2_D7
1	Itaquera	LESTE	FORA	150,54					B						B						M	
2	Itaim Paulista	LESTE	FORA	110,26		B			B			B			B		M				M	
3	Marg.Tietê - Ponte dos Remédios	OESTE	PARCIAL	27,98	B	B	B	B		B	B	B	B	B		B	B	M	M	B		B
4	Mooca	LESTE	PARCIAL	75,32	B	B			B		B	B			B		B	M			B	
5	Nossa Senhora do Ó	NORTE	FORA	161,96		B			B			B			B		M				B	
6	Cerqueira César	CENTRO	PARCIAL	25,97	B	B		B		B	B	B		B		B						
7	Pinheiros	OESTE	PARCIAL	26,06	B	B	B	B	B		B	B	B	B	B		B	B	B	B	B	B
8	Parque D.Pedro II	CENTRO	PARCIAL	18,48	B	B		B	B		B	B		B	B		B	B		B	B	
9	Cid.Universitária - USP - Ipen	OESTE	FORA	56,42	B		B	B	B		B		B	B	M		B		B	B	M	
10	Congonhas	SUL	PARCIAL	49,37	B	B	B	B		B	B	B	B	B		B	B	M	M	B		B
11	Interlagos	SUL	FORA	71,56		B		B	B	B		B		B	B	B		M		B	M	B
12	Ibirapuera	SUL	PARCIAL	37,01	B		B	B	B		B		B	B	M		B		M	B	M	
13	Santo Amaro	SUL	FORA	38,30	B	B			B								B	B			B	
14	Santana	NORTE	FORA	134,93		B			B			B			B						M	
15	Parelheiros	SUL	FORA	453,47	B	B	B	B	B		B	M	B	B			B	M	M	B	B	
16	Capão Redondo	SUL	FORA	89,82		B		B	B			B		B	B			M		B	M	
INFORMAÇÃO					DIA 08/10/2014						DIA 09/10/2014						DIA 10/10/2014					
ID	NOME	ZONA	ZMRC	ÁREA KM²	CO_D8	M10_D8	M25_D8	NO2_D8	O3_D8	SO2_D8	CO_D9	M10_D9	M25_D9	NO2_D9	O3_D9	SO2_D9	CO_D10	MP10_D10	MP25_D10	NO2_D10	O3_D10	SO2_D10
1	Itaquera	LESTE	FORA	150,54					M						R						R	
2	Itaim Paulista	LESTE	FORA	110,26		M			M			M			M			M			R	
3	Marg.Tietê - Ponte dos Remédios	OESTE	PARCIAL	27,98	B	M	M	B		B	B	M	M	B		B	B	M	M	B		B
4	Mooca	LESTE	PARCIAL	75,32	B	M			M		B	M			M		B	M			M	
5	Nossa Senhora do Ó	NORTE	FORA	161,96		M			M			B			M			M			M	
6	Cerqueira César	CENTRO	PARCIAL	25,97	B	M		B		B	B	M		B		B	B	M		B		B
7	Pinheiros	OESTE	PARCIAL	26,06	B	M	M	B	M		B	M	M	B	B		B	M	M	B	B	
8	Parque D.Pedro II	CENTRO	PARCIAL	18,48	B	B		B	M		B	B		B	M		B	B		B	M	
9	Cid.Universitária - USP - Ipen	OESTE	FORA	56,42	B		M	B	R		B	M		B	R		B		M	B	R	
10	Congonhas	SUL	PARCIAL	49,37	B	M	M	B		B	B	M	M	B		B	B	M	M	B		B
11	Interlagos	SUL	FORA	71,56		M		B	R	B		M			R	B		M		B	R	B
12	Ibirapuera	SUL	PARCIAL	37,01	B		M	B	R		B		M	B	R		B		M	B	R	
13	Santo Amaro	SUL	FORA	38,30	B	M			R		B	M			M		B	M			M	
14	Santana	NORTE	FORA	134,93					M						R						R	
15	Parelheiros	SUL	FORA	453,47	B	M	M	B	M		B	M	M	B	M		B	M	M	B	M	
16	Capão Redondo	SUL	FORA	89,82		M		B	M			M		B	M			M		B	M	

Legenda: B - Qualidade Boa / M - Qualidade Média / R - Qualidade Ruim

Fonte: CETESB, 2014

Figura 32: Qualidade do ar no dia 05 de outubro de 2014.

Fonte: CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 33: Qualidade do ar no dia 06 de outubro de 2014.

Fonte: CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 34: Qualidade do ar no dia 07 de outubro de 2014.

Fonte: CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 35: Qualidade do ar no dia 08 de outubro de 2014.

Fonte: CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 36: Qualidade do ar no dia 09 de outubro de 2014.

Fonte: CETESB, 2014. Elaboração: Própria

Figura 37: Qualidade do ar no dia 10 de outubro de 2014.

Fonte: CETESB, 2014. Elaboração: Própria

8.6 Dados IDHM

O cálculo do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é feito com três indicadores: (i) longevidade (a esperança de vida ao nascer), (ii) educação (pessoas com mais de 18 anos com fundamental completo) e, (iii) renda (mensal per capita).

No caso do município de São Paulo o indicador de longevidade é fornecido pela Secretária Estadual de Saúde por distrito, através das tábuas de mortalidade, sendo depois projetado para os setores censitários por sobreposição, para uma análise mais precisa.

O indicador de escolaridade foi calculado por áreas de ponderação, pois o censo de 2010 não possui as informações de progressão escolar dos jovens necessárias para o cálculo. Por áreas de ponderação foi possível extrair estas informações, para que fosse realizada a sobreposição deste indicador com os setores censitários.

O indicador renda é o único que foi calculado diretamente, estando já no mesmo formato do Censo 2010 do IBGE.

Desta forma, a Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo - FSP elaborou o mapa do Índice de Desenvolvimento Humano do município de São Paulo, com informações de 2010, pelo censo, secretarias da saúde e de educação de São Paulo, com a coordenação da Professora Adelaide Cassia Nardocci, realizado pelo aluno doutorando Adeylson Guimarães Ribeiro (figura 38).

Figura 38: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de São Paulo.
Fonte: IBGE, 2010 Secretarias da Saúde e da Educação, 2010. Elaboração: Própria.

8.7 Cruzamento de dados - *Fuzzy*

Para analisar se existe alguma relação com a quantidade dos estabelecimentos comerciais, quantidade de veículos de carga e IDHM, foi realizada uma lógica *Fuzzy* com esses três dados correlacionados.

Figura 39: Densidade de estabelecimentos comerciais por região de São Paulo
 Fonte: Prefeitura de São Paulo, 2013 CNAE/RAIS, 2011 e CEM, 2013. Elaboração: Própria.

A figura 39 mostra a densidade de estabelecimentos comerciais por região do município de São Paulo. Já a figura 40, mostra a densidade de caminhões por

regiões do município de São Paulo. Isto, para que seja, no final, aplicada a fuzzificação destes com o resultado do *Kernel* com a AHP (overlayer *Fuzzy*).

Figura 40: Densidade de caminhões por região de São Paulo
 Fonte: Prefeitura de São Paulo, 2013 e Maplink, 2014. Elaboração: Própria.

Com a fuzzificação destes dados acima, foi incluído o IDHM, que antes estava por setor censitário para então ser sobreposto com as 16 regiões do município, foi efetuado o *overlay Fuzzy* do software ArcGis 10.0 (Figura 41).

Figura 41: Resultado da fuzzificação dos dados.

Fonte: IBGE, 2010 Secretarias da Saúde e da Educação, 2010. Elaboração: Própria.

A figura 46 apresenta o resultado das fuzzificações em conjunto, exibindo as regiões que tem tendência em ter maior emissão de poluentes derivados da

circulação de caminhões e localização dos estabelecimentos comerciais, que, junto com o IDHM, são: a região central de Cerqueira César, Parque Dom Pedro II e Ibirapuera, com destaque também na Marginal Tietê e Pinheiros. Já na zona leste, a área da Avenida Jacu Pêssego com uma alta emissão. Na zona Sul a região do Rodoanel Mário Covas - Trecho Sul. Na zona norte se destaca a área de quatro das principais rodovias que chegam a São Paulo: Rodovia Anhanguera, Rodovia dos Bandeirantes, Rodovia Fernão Dias e Rodovia Presidente Dutra.

9 CONCLUSÃO

A metodologia proposta demonstrou ser possível efetuar as análises espaciais a partir de dados cedidos pelo poder público e privado. As aplicações da função de *Kernel*, AHP e lógica *Fuzzy* foram aplicadas com sucesso para o intuito da pesquisa, gerando resultados favoráveis para o resultado final.

Os dados da pesquisa de monitoramento da fluidez dos anos de 2004 e 2013 baseada exclusivamente em dados públicos (oficiais) e abertos, mostram um aperfeiçoamento da pesquisa, porém com dados ainda não suficientes para realizar análises mais específicas e com abrangência do município inteiro.

Já os dados dos estabelecimentos comerciais do município de São Paulo, foram precisos para a aplicação do estudo, pois continham informações importantes, tanto quanto a localização (espacialização), como as outras informações que contêm, como por exemplo, tipos de estabelecimentos.

O procedimento da AHP nessa pesquisa teve alta relevância, com ela foi possível aplicar pesos nos estabelecimentos comerciais, para executar a ferramenta *Kernel*, identificando os locais do município onde tem maior chance de receber os veículos de carga frequentemente.

Os dados dos caminhões coletados via GPS foram precisos em suas informações de localização e de tempo, porém sem referência ao tipo de caminhão, que se caso houvesse, novas análises seriam executáveis.

O IDHM completou a análise, sendo eficiente nas informações a respeito da educação, renda e saúde da população do município. Uma maneira mais detalhada de analisar o município sobre o seu desenvolvimento e o poder de compra, que influenciam diretamente no transporte de produtos.

O resultado do *Fuzzy* demonstra que as avenidas e rodovias do município de São Paulo possuem alta concentração de poluentes, sendo utilizadas como rotas para os veículos de carga que tanto fazem do município sua origem e/ou destino, relacionadas com as áreas com maior quantidade de estabelecimentos comerciais e um alto IDHM, ou apenas como passagem e via de acesso à cidade, sendo áreas com menor quantidade de estabelecimentos comerciais e um baixo IDHM.

As regiões que possuem alta concentração de poluentes atmosféricos são: Cerqueira César, Parque Dom Pedro II e Ibirapuera, com destaque também na

Marginal Tietê e Marginal Pinheiros, além da zona leste (Itaquera e Itaim Paulista).

Itaquera é a área da cidade com maior concentração de indústrias, e Itaim Paulista uma região com rotas de acesso à Itaquera, e para o Aeroporto Governador André Franco Montoro – Aeroporto Internacional, localizado em Guarulhos.

As regiões centrais como Cerqueira César, Parque Dom Pedro II e Ibirapuera possuem uma alta concentração de comércios do tipo restaurantes, com alta frequência de veículos de carga devido à perecibilidade dos produtos, mas também são zonas onde oferecem muitos empregos de diversos setores e uma vida urbana muito ativa, como casas de shows, bares, danceterias, entre outros.

A Marginal Tietê (SP-15 ou Rodovia Professor Simão Faiguenboim) é uma importante via de tráfego interligando as regiões oeste, norte e leste da cidade, com acesso às rodovias Castelo Branco, Anhanguera, Bandeirantes, Presidente Dutra, Fernão Dias e Ayrton Senna e ao Aeroporto Internacional de São Paulo-Guarulhos. Muitos veículos de carga optam por passar pela Marginal Tietê ao invés do Rodoanel, devido a ausência de pedágios, mesmo que esta opção tenha uma distância de rodagem maior.

A Marginal Pinheiros (SP-15 ou Rod. Professor Simão Faiguenboim) conecta a região de Interlagos à região do Complexo Viário Heróis de 1932, no acesso à Rodovia Castelo Branco, dando acesso às rodovias Imigrantes e Anchieta através da Avenida dos Bandeirantes e, por conta disto, recebe, em seu trajeto, grande fluxo de caminhões que vinham do interior do país com destino ao Porto de Santos.

Com resultado final desta pesquisa, foi realizada uma comparação com os dados da qualidade do ar da CETESB. Os dados da CETESB apresentam uma piora na qualidade do ar no decorrer da semana, quando, por exemplo, domingo (05/10/2014) possuía uma qualidade do ar Boa, e na segunda-feira, 06/10/2014, a qualidade do ar já apresentou qualidade Média em algumas regiões como Parelheiros, Cidade Universitária e Ibirapuera, com alta emissão de poluentes.

No dia 07/10/2014, terça-feira, poucas regiões possuem qualidade do ar Boa, mas nenhuma com qualidade do ar Ruim, sendo a maioria com qualidade do ar Média. Porém, já no dia seguinte, algumas regiões como Interlagos, Ibirapuera, Santo Amaro e Cidade Universitária, já possuem qualidade do ar Ruim para o poluente O₃. Na quinta-feira, somam-se a estas mesmas áreas, Santana e Itaquera – áreas que na coleta via GPS se registra grande quantidade de circulação de veículos de carga. E no dia 10/10/2014, sexta-feira, Itaim Paulista

entra na lista das regiões com qualidade do ar Ruim.

Informações que concordam com o resultado do *Fuzzy* entre a circulação dos veículos de carga e a concentração dos tipos de estabelecimentos comerciais: áreas com alta emissão de poluentes gerados por estes veículos, porém com maior detalhamento de sua origem, como a partir de quadras e vias específicas, compreendendo melhor a informação da CETESB que apenas informa a qualidade do ar da região como inteira.

Assim, para localidades que não possuem uma coleta de qualidade do ar urbano, e também para definir o quanto o veículo de carga afeta a qualidade do ar em ambientes urbanos, essa metodologia se apresenta como uma solução viável, mais rápida e menos onerosa, permitindo que se estimem as regiões que apresentam maior emissão de poluentes atmosféricos em um determinado município, analisados como parâmetros para o planejamento urbano e de transportes, com um resultado satisfatório.

10 RECOMENDAÇÕES

Como sequencia desta dissertação, recomenda-se que outros locais ou parâmetros espaciais sejam calculados por meio dessa metodologia proposta. Seria uma forma de averiguar sobre a eficiência e eficácia do método para diferentes locais, e verificar se pode ser assim utilizado.

É possível ainda analisar com outros tipos de veículos, como ônibus ou automóveis. Além disso, a aplicação dessa metodologia em outros municípios, e também com dados mais específicos, como por exemplo, selecionar apenas um tipo de estabelecimento comercial, como restaurantes, farmácias ou shoppings.

Outra recomendação, também, é a utilização de softwares livres, a utilização de outras análises de multicritérios e outras análises de clusters espaciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L. M. de; GRANEMANN, S. R.; GARTNER, I. ; BERNARDES, R. S. Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 257 – 262, 2000.

ALGERS, S. E.; BERNAUER, M.; BOERO, L.; BREHERET, C.; DI TARANTO, M.; DOUGHERTY, K. F.; GABARD, J.F. **Review of Micro-Simulation Models. Report of the SMARTEST Project - Deliverable 3**, 1997. Disponível em <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/smartest/deliv3.html>> Acesso em 14/06/2014.

ALLEN, J.; ANDERSON, S.; BROWNE, M.; JONES, P. **A framework for considering policies to encourage sustainable urban freight traffic and good/ service flows**. Summary Report, project carried out as part of the EPSRC Sustainable Cities Programme. Transport Studies Group, University of Westminster, 2002, p. 31. Disponível em <http://home.wmin.ac.uk/transport/download/urbandistsumm.pdf>> Acesso em 26/11/2014.

ALLEN, W. B.; LIU, D.; SINGER, S. Accessibility measures of US metropolitan areas. In: **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 27, n. 6, p. 439-449, 1993.

ÁLVARES JUNIOR, O.M.; LACAVA, C.I.V.; FERNANDES, P.S. **Emissões Atmosféricas**. Brasília: SENAI/DN, 2002. 373 p.

AMBRASAITÉ, I.; BARFOD, M.; SALLING, K. MCDA and risk analysis in transport infrastructure appraisals: The rail baltica case. In: **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v. 20, n. 1, 2011, p. 944–953.

ANSELIN, L. Spatial Econometrics: Methods and Models. In: **Kluwer Academic Publishers**. v. 2, n. 1, p. 264, 1988.

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Resolução nº. 3.056**. Dispõe sobre o exercício da atividade de transporte rodoviário de cargas por conta de terceiros e mediante remuneração, estabelece procedimentos para inscrição e

manutenção no Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas - RNTRC e dá outras providências. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Diário Oficial da União, 13 março 2009a.

ARAÚJO, P. D. **Impactos ambientais e na matriz de consumo de combustíveis pela introdução de uma frota de veículos leves com células a combustível na cidade de São Paulo – SP**. 2004. 164p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos). Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BANA E COSTA, C. A.; VANSNICK, J. **A fundamental criticism to Saaty's use of the eigenvalue procedure to derive priorities. Working Paper Series**, LSEOR 01.42. The London School of Economics and Political Science, Londres, 2001.

BARFOD, M. B.; SALLING, K. B.; LELEUR, S. Composite decision support by combining cost-benefit and multi-criteria decision analysis. In: **Decision Support Systems**, v. 51, n.1, 2011, p. 167–175.

BARTH, M.; AN, F.; YOUNGLOVE, T.; SCORA, G.; LEVINE, C.; ROSS, M.; WENZEL, T. **Comprehensive modal emission model (CMEM): version 2.0 user's guide**. Riverside: University of California, 2000.

BASTOS, A. L. D.; BAUM, D. M., DIAS, D. P. Ruídos e Emissões no Transporte Aéreo. In: **Journal of Transport Literature**, v. 1, n. 1, p. 66-104, 2007.

BEHRENDTS, S.; LINDHOLM, M.; WOXENIUS, J. The impact of urban freight transport: A definition of sustainability from an actor's perspective. In: **Transportation Planning and Technology**, v. 31, n. 6, 2008, p. 693-713.

BERTINI, G. C. **Uma modelagem orientada a objeto para o mapa urbano básico de Belo Horizonte (MUB/BH)**. 2003. 105p. Monografia (Especialização em Geoprocessamento), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte – Minas Gerais.

BERTOLINI, L.; LE CLERCQ, F. Urban development without more mobility by car? Lessons from Amsterdam, a multimodal urban region. In: **Environment and Planning A**, v. 35, n.1, 2003, p. 575–589.

BEYDON, M.; GULDMANN, J-M. Vehicle characteristics and emissions: Logit and regression analyses of I/M data from Massachusetts, Maryland, and Illinois. In: **Transportation Research Part D**, v. 11, n. 1, p. 59-76, 2006.

BHUSHAN, N.; RAI, K. **Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process**. New York: Springer, 2004.

BIANCHI, R.H. Uma análise da demanda de entregas para abastecimento de um estabelecimento comercial de pequeno porte em São Paulo. LARES. In: **13ª Conferência Internacional da LARES**, 2013. Disponível em <http://lares.org.br/Anais2013/artigos/860-1008-1-SM.pdf>. Acesso em 15, novembro, 2015.

BIAS, E. de S.; BAPTISTA, G. M. de M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2003, Belo Horizonte. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, p. 1741–1748.

BIN, O. A logit analysis of vehicle emissions using inspection and maintenance testing data. In: **Transportation Research Part D**, v.8, n. 1, p. 215-227, 2003.

BINSBERGEN, A.V; VISSER, J. **New urban goods distribution systems**. 1999 Disponível em: <<http://www.tft.lth.se/fileadmin/tft/dok/KFBkonf/3binsbergenvisser.PDF>>. Acesso em: 23, jan. 2015.

BLACK, W.R. Sustainable transportation: a US perspective. In: **Journal of Transport Geography** . v. 5, n. 1, 1996, p. 151–159.

BLUM, U. Positive externalities and the public provision of transportation infrastructure: An evolutionary perspective. In: **Journal of Transportation and Statistics**, v. 1, n. 3, 1998, p. 81-88.

BORITZ, J. E. **Pairwise Comparison - The Analytic Hierarchy Process**. Waterloo: University of Waterloo, 2002.

BOYER, C.B. **História da Matemática**. São Paulo: Edgar Blücher, 1996.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 18**, de 6 de maio de 1986. In: Resoluções, 1986.

BROWNE, D., RYAN, L. Comparative analysis of evaluation techniques for transport policies. In: **Environmental Impact Assessment Review**, v.31, n.3, 2011, p. 226–233.

BRUCKER, K., VERBEKE, A., E MACHARIS, C. The applicability multicriteria-analysis to the evaluation of intelligent transport systems (ITS). Economic impacts of intelligent transportation systems: Innovations and case studies. In **Transportation Economics**, v. 8, n.1, 2004, p. 151–179.

BRUNDTLAND, G.H.; Nosso Futuro Comum. Rio de Janeiro. Fundação Getúlio Vargas. **Relatório de 1987 da Comissão Mundial Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU**, 1988.

BRUNDTLAND, G. H. (Org.) **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: FGV, 1987.

BRUNDTLAND, G. H. (Org.) **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: FGV, 1987.

BURROUGH, P. **Dynamic Modelling And Geocomputation. Geocomputation: A Primer**. P. Longley, M. Batty and R. McDonnel. London: John Wiley & Sons, 1998.

CAIXETA-FILHO J.V.; GAMEIRO, A. H. (Orgs.) **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001, p.88 - 111.

CALIPER. **TransCAD-Transportation GIS Software-User's Guide, Version 3.0 for Windows**. Newton, Ma, Caliper Corporation, 1996.

CAMARGO-PÉREZ, J.; MONTOYA-TORRES, J.R.; CARRILLO, M. Multi-criteria decision making for locating multimodal transfer nodes in passenger transport systems. In: **Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics** (IEEE SMC 2013), Manchester, UK, 2013, p. 718–723.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A M.V.; CARVALHO, M. S.; DRUCK, S (2002) **Análise Espacial de dados Geográficos**. 2a edição (online). Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>, capturado 10/2014>. Acesso em: 20

out. 2014.

CASTRO, C. F. C. **Avaliação de fatores intervenientes nas emissões veiculares em corredores de ônibus**. 2008. 164p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo, 2008.

CARVALHO. S.; CÂMARA, G. **Análise de Eventos Pontuais**. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (editores). *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Brasília: EMBRAPA, 2004, Capítulo 2.

CARVALHO, S. N. De. Estatuto da cidade: aspectos políticos e técnicos do plano diretor. In: **São Paulo em Perspectiva**, v.15, n. 4, São Paulo, 2001.

CET - **Companhia de Engenharia de Tráfego**. Mapa ZMRC. São Paulo, 2008. Disponível em: < <http://cetsp1.cetsp.com.br/pdfs/carga/mapaZMRC.pdf>>. Acesso em: 13 agosto 2014

CET - **Companhia de Engenharia de Tráfego**. (2014). Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/consultas/>>. Acesso em: 16/11/ 2014.

CET - **Companhia de Engenharia de Tráfego**. (2015). Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/consultas/pesquisa-origem-e-destino-de-cargas/a-pesquisa.aspx>>. Acesso em: 10/07/2015.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Qualidade do ar no Estado de São Paulo**. Relatório Anual. São Paulo, 2008. Disponível em <http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>. Acesso em 13/06/2014.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar no Estado de São Paulo**. Série Relatórios, São Paulo, SP, 2012, p. 123. Disponível em <http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>. Acesso em 25/07/2015

CHANG, Y. Z. D.; GERPEN, V. H. J.; LEE, I.; JOHNSON, A. L.; HAMMOND, G. E.; MARLEY, J. S.; J. *Am.Oil Chem. Soc.*1996, p. 73.

CHEN, Y.; KILGOUR, D. M.; HIPEL, K. W. Screening in multiple criteria decision

analysis. In: **Decision Support Systems**. v.45 n.2, 2008, p. 278–290.

CHRISTOFIDES, N. **Graph Theory: An Algorithmic Approach**. London: Academic Press, 1975.

CHURCH, R.L.; MURRAY, A.T. **Business Site Selection, Location Analysis and GIS**. John Wiley & Sons. New Jersey, 2009.

CHWOLKA, A.; RATH, M. G. **Supporting group decisions with the AHP: harmonization vs. aggregation of preferences. Decision theory and optimization in theory and practice**. Org. por WANKA, G. Shaker, Aachen, 2000, pp. 17 - 32.

CIBULSKA, P. C. V.; TEDESCO, G. M. I.; VILLELA, T. M. A.; GRANEMANN, S. R. Avaliação das mudanças no registro dos transportadores rodoviários remunerados de carga no Brasil. In: **Revista Transportes**, v. 20, n. 1, p. 80-85, 2012.

CLARKE, I., ROWLEY, J. A case for spatial decision-support systems in retail location planning. In: **International Journal of Retail and Distribution Management**. v. 23, 1995, p. 4–10.

CNAE – Classificação Nacional de Atividade Econômica. Secretaria da Receita Federal do Brasil. Ministério da Fazenda. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/PessoaJuridica/CNAEFiscal/txtcnae.htm>>. Acesso em: 05/10/2014.

CNT - Confederação Nacional do Transporte. Estatísticas do Transporte Brasileiro. **Revista CNT Transporte Atual**, Janeiro 2011. Disponível em <http://www.cnt.org.br/publicacoes/economia-em-foco>. Acesso em 11 de junho 2015.

_____. Confederação Nacional do Transporte. Pesquisa Empresa de Cargas CNT-2002 – **Relatório analítico**, 2002a. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/publicacoes/economia-em-foco>. Acesso em 11 junho 2015.

_____. Confederação Nacional do Transporte. Pesquisa de Autônomos CNT-2002 – **Relatório analítico**, 2002b. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/publicacoes/economia-em-foco>. Acesso em 11 junho 2015.

COM – Commission of the European Communities. **The impact of transport on the environment – A community strategy for “sustainable mobility**. Brussels, 1992, p. 74. Disponível em http://aei.pitt.edu/1235/1/transport_environment_gp_cOM_92_46.pdf. Acesso em 05/08/2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 3** de 28 de junho de 1990, p. 5. Disponível em http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1990_003.pdf. Acesso em 27/09/2015.

COUTURAT, L. **Opuscles et fragments inédits de Leibniz**. Paris, 1903.

COSTA, H. G. **Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão**. Niterói, 2002, p. 104. Disponível em <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2004/pdf/arq0279.pdf>. Acesso em 10/09/2015.

CORRÊA, S. M.; ARBILLA, G. Atmos. Environ. Mercaptans emission in diesel and biodiesel exhaust. In: **Atmospheric Environment**, v.42, n. 1, p. 6721-6725, 2008.

CRAINIC, T. G.; RICCIARDI, N.; STORCHI, G. Advanced freight transportation systems for congested urban areas. In: **Transportation Research Part C**, v. 12, n. 2 2004, p. 119-137.

CRAINIC, T. G.; RICCIARDI, N.; STORCHI, G. Models for evaluating and planning city logistics systems. In: **Transportation Science**, v. 43, n. 4, 2009, p. 432-454.

CRUZ, I.; CAMPOS, V.B.G. Sistemas de Informações Geográficas Aplicados À Análise Espacial em Transportes Meio Ambiente e Ocupação do Solo. In: **Rio de Transportes III**, Rio de Janeiro, 2005.

CUNHA, C.B; YOSHIKAWA, H. T. Y. **Mobilidade Urbana. Caderno 4**. São Paulo: Globo Comunicação e Participações S.A. Globo Universidade, 2014. p. 26-31.

CURILOV, R. **Caracterização das Estações da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar na RMSP – Estação Centro de Santo André**. São Paulo: CETESB, 2006. (Relatório – RCET – 8300/C925c/038258 disponível na Biblioteca

da CETESB).

CURY, M. V. Q. **Modelo Heurístico Neuro-fuzzy para Avaliação Humanística de Projetos de Transporte Urbano**. 1999. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, 1999.

CZERNIAK, R. J.; LAHSENE, J. S.; CHATTERJEE, A. Urban freightmovement – What form will it take? – A1B07: Committee on Urban GoodsMovement, Chair: Janice S. Lahsene, TRB (Transportation Research Board), 2000.

DABLANC, L. **Entre police et service - L'action public sur le transport de marchandises en ville: le cas des métropoles de Paris et New York**. 1997. 459p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Transportes). Laboratoire Techniques, Territoires et Sociétés. Doctorat de l'Ecole nationale des ponts et chaussées. Spécialité : transport. TH 97 571, 1997.

DANTAS, A.S.P.W.G; TACO, H.; YAMASHITA, Y. Sistemas de informação Geográfica em Transportes: O Estudo do Estado da Arte. **Anais do X Congresso de Pesquisa e Ensino em transportes, ANPET**, Brasília, DF, vol. 1, 1996, p. 211-219.

DECANINI, M. M. S. Sig no Planejamento de trilhas no Parque Estadual de Campos do Jordão. In: **Revista Brasileira de Cartografia**. nº 53, pp. 97-110, 2001.

DETRAN-SP - Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo. **Estatística de Trânsito: frota de veículos em São Paulo por tipo**. São Paulo, 2015. Disponível em <http://www.detran.sp.gov.br/frota/frota2015.asp>, Acesso em 06/10/2015.

DAVIS, N.; LENTS, J.; OSSES, M.; NIKKILA, N.; BARTH, M. Development and application of an international vehicle emissions model. In: **Transportation Research Board**, v. 05-1844, 2005, p. 19.

DIZIAIN, D.; RIPERT, C.; DABLANC, L. How can we bring logistics back into cities? The case of Paris metropolitan area. In: **Procedia - Social and Behavioral Sciences**. v. 39, n. 1, 2012, p. 267-281.

DODGSON, J.; SPACKMAN, M.; PEARMAN, A.; PHILLIPS, L. **DTLR Multi-criteria Analysis Manual. DTLR – Department for Transport**, Local Government and the Regions, Reino Unido, 2001.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6). Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 20/10/2014.

D'OTTAVIANO I.M.L.; FEITOSA H.A. Sobre a história da lógica, a lógica clássica e o surgimento das lógicas não clássicas. In: **V Seminário Nacional de História da Matemática**, UNESP, Rio Claro, 2003.

DUTRA, N. G. S.; NOVAES, A. G.; MOREIRA, M. E. P.; Novos conceitos e tecnologias na distribuição urbana de mercadorias. In: **ENEGEP, XXVI**, 2006, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ENEGEP, 2006. s/ p. Disponível em: [http://www.clubbrasil.org/downloads/Dutra,%20Novaes,%20Moreira%20\(2006\).pdf](http://www.clubbrasil.org/downloads/Dutra,%20Novaes,%20Moreira%20(2006).pdf) Acesso em 11/05/2014.

EPA – **United States Environmental Protection Agency. Guidance on use of remote sensing for evaluation of I/M program performance. EPA – Office of Transportation and Air Quality – Certification and Compliance Division**, 2004, p. 63. Disponível em <https://www3.epa.gov/otaq/epg/progeval.htm>. Acesso em 06/11/2015.

ESRI: **Environmental System Resource Institute**. Disponível em: <http://www.esri.com/industries/real_estate/index.html>. Acesso em: 23 jul. 2005.

EUROPEAN COMMISSION. Sustainable mobility. **Results from the transport research programme** (The EXTRA project, within the European Community's). Manuscript completed in July 2001. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001.

EWING, R.; CERVERO, R. **Travel and the Built Environment**. Chicago: EUA, 2010.

FARNSWORTH, S. P. **El Paso Comprehensive Modal Emissions Model (CMEM)**

case study. Texas Transportation Institute, Report 2107-2, 2001, 80p.

FERGUSON, M.; MAOH, H.; RYAN, J.; KANAROGLOU, P.; RASHIDI, T. H. Transferability and enhancement of a microsimulation model for estimating urban commercial vehicle movements. In: **Journal of Transport Geography**, v. 24, n. 1, 2012, p. 358-369.

FERNANDES L., J. E.; CEA CH., JOAQUÍN; SOTO O., A. A multi-modal supply-demand equilibrium model for predicting intercity freight flows. In: **Transportation Research Part B**, v. 37, n. 7, p. 615-640, 2003.

FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte Público Urbano**. 2ª Ed. RiMa: São Carlos, 2004.

FHWA - Federal Highway Administration. 2006. **Highway statistics 2004**. Department of transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC. Disponível em <https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics.cfm>. Acesso em 16/11/2015.

FLEURY, P. F. **Terceirização logística no Brasil**. FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. (Eds.). Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos. São Paulo: Atlas, 2003.

FREGE, G. **Die Grundlagen der Arithmetik**: Eine logisch mathematische Untersuchung über den Begriff der Zahl. Hamburg: Felix Meiner Verlag, 1986.

FULTON, L. **Sustainable Transport: New Insights from the IEA's Worldwide Transit Study**. International Energy Agency, 2011. Disponível em https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TransportInfrastructureInsights_FINAL_WEB.pdf. Acesso em 06/11/2015.

GAFFNEY, J. S.; MARLEY, N. The impacts of combustion emission on air quality and climate – From coal to biofuels and beyond, In: **Atmospheric Environment**. v. 43, n. 1, p. 23-36, 2009.

GAKENHEIMER, R. Urban mobility in the developing world. In: **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v.40, n.10, 1999, p. 617-689.

GALINDO, E. P. **Análise Comparativa do Entendimento do Transporte como Objeto do Planejamento**. 2009. 191 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília, Distrito Federal, Brasília, 2009.

GEERTMAN, S. C. M.; VAN ECK, J. R. R. Gis and models of accessibility potential: an application in planning. In: **Internacional Journal of Geographical Information Systems**, v. 9 n. 1, p 67 – 80, 1995.

GEIPOT. **Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes**. Disponível em: <http://www.geipot.gov.br/NovaWeb/IndexAnuario.htm>. . Acesso em 25/01/2015.

GIULIANO, G. A. Multicriteria method for transportation investment planning. In: **Transportation Research Part A**. v. 19 n. 1, 1985, p. 29–41.

GHIANI, G.. LAPORTE, G.. MUSMANO, R. **Introduction to logistics systems planning and control**. Chichester, UK: Wiley, 2004, p. 18.

GODINHO, J. C. M. **Aplicação do método de análise multicritério na escolha do traçado de linhas de ônibus de transporte público utilizando sistema de informação geográfica**. 2007.193p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Transportes). Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

GOLDEMBERG, J. **SOS Planeta Terra: o efeito estufa**. São Paulo: Brasiliense, 1990.

GONÇALVES, E. **A distribuição espacial da atividade inovadora brasileira: uma análise exploratória**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. CEDEPLAR, 2005.

GOODCHILD, Michael F. Geographical Information Science. In: **International Journal of Geographical Information Systems**. v.6 n.1, p. 12, 1992.

GOMES, L. F. A. M. **Teaching Decision Making Analytical Skills to Engineers: A New Paradigm**. International Conference on Engineering Education, Rio de Janeiro, 1998.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria dos Transportes Metropolitanos. Planos e Projetos. 2015. Disponível em: <<http://www.stm.sp.gov.br/index.php/planosXeXprojetos/pitu>> Acesso em: 22/01/2015.

GUARIEIRO, L. L. N. ; VASCONCELOS, P.C.; SOLCI, M.C. Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma breve revisão. In: **Revista Virtual de Química**. v.3 . n. 5. p. 434-445. 2011.

HARKER, P. T.; FRIESZ, T. L. Prediction of Intercity Freight Flows I: Theory, In: **Transportation Research Part B**, v. 20, n. 2, p. 139-153, 1986.

HASOUNAH, M.; MILLER E.J., Modelling Air Pollution from Road Traffic: a Review. In: **Traffic Engineering and Control**, v.35, n. 9, 1994, p. 510 - 514.

HELOU, U. Entrevista com o presidente do Setcesp, Urubatan Helou. (2004). Disponível em: http://www.transurbana.com/entrevista_urubatan.htm. Acesso em 15 set. 2015

HENSHER, D.; FIGLIOZZI, M. Behavioural insights into the modelling of freight transportation and distribution systems. In: **Transportation Research Part B**, v. 41, n. 9, 2007, p. 921–923.

HOGAN, D.; CUNHA, J. M. P. BAENINGER, R., CARMO, R. L. **Migração e ambiente. Aspectos relevantes da dinâmica recente**. Campinas: NEPO/UNICAMP, 2000.

HOLGUÍN-VERAS, J.; PATIL, G. R. Integrated origin-destination synthesis model for freight with commodity-based and empty trip models. In: **Journal of the Transportation Research Board**, n. 2008, 2007, p. 60-66.

HOLGUÍN-VERAS, J.; THORSON, E. Modeling commercial vehicle empty trips with a first order trip chain model. In: **Transportation Research Part B**, 2001.

HOFFMANN MELO, Euler. **Ônibus movido a etanol! Um estudo de caso**. 2009. 156p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia). Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2009.

HULL, A. Policy integration: What will it take to achieve more sustainable transport solutions in cities? In: **Transportation Policy**, v.15 n.2, 2008, p. 94-103.

IBAMA - Instituto Brasileiro Do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores: PROCONVE/PROMOT**. 2. ed. Brasília: IBAMA, 2004. p. 187.

IBEAS, A.; MOURA, J. L.; NUZZOLO, A.; COMI, A. Urban freight transport demand: transferability of survey results analysis and models. In: **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v. 54, n. 1, 2012, p. 1068-1079.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2010**. Disponível em <http://www.censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em 29/09/2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2012**. (2014) Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2012/estimativa_tcu.shtm. Acesso em: 30/05/2015.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING** – Manual 2015. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/>. Acesso em 20/11/2015.

IPCC – Climate Change 2007: **Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge University Press. Cambridge: United Kingdom, 2007, p. 1000.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público**. Brasília, 1999, 56 p. Disponível em http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_0960.pdf . Acesso em 30/05/2015.

ISHIZAKA, A. **Advantages of clusters and pivots in AHP**. Suíça: University of Basel, 2004.

JACONDINO, G.B.; CYBIS H.B.B. Avaliação de Modelos de Emissão de Poluentes em Simuladores de Tráfego. In: **XVI CONGRESSO DA ANPET**. Natal, 2002.

JASINSKI, V. P.; MENDES, M. A.; MALHEIROS, A. L. A **Qualidade do ar na região central de Curitiba**. Curitiba, 2004.

JIANG, B.; OKABE, A. Different Ways of Thinking about Street Networks and Spatial Analysis. In: **Geographical Analysis**, v. 46, n. 4, 2014, p. 1–4.

JIANYUAN, Y. **Using Analytic Hierarchy Process as the auxiliary decision of computer integrated system for library management (CISLM)**. China: Nankai University, 1992.

JOUMARD, R.; M. ANDRÉ; R. VIDON; P. TASSEL E C. PRUVOST. Influence of Driving Cycles on Unit Emission from Passenger Cars. In: **Atmospheric Environment**, v.34, 2000, p. 4621 – 4628.

KANDEL, A. **Fuzzy Mathematical Techniques with Applications Tampa - Flórida - U.S.A.**: Addison-Weslwy Publishing Company, 1986.

KATAYAMA, K.; KOSHIISHI, T.; NARIHISA, H. **Reinforcement Learning Agents with Primary Knowledge Designed by Analytic Hierarchy Process**. Okayama: Okayama University of Science, 2005.

KIM, S. C. **Statistical Issues in Combining Expert Opinions for Analytic Hierarchy Process**. Coréia: Soongsil University, 1999.

KONAR, A. **Artificial Intelligence and soft computing: Behavioral and cognitive modeling of the human brain**. Calcutta: CRC Press, 2000.

KOULOPOULOS, T. M; PALMER, N. **White Paper Excerpted from The X Economy. The X-Economy**. Ed.Hardcover. Texere, 2000. 256 p. ISBN: 1587990741.

LABBOUZ, S.; ROY, B.; DIAB, Y. Implementing a public transport line: Multi-criteria decision-making methods that facilitate concertation.Operational In: **International Journal**, v.8 n.1, 2008, p. 5–31.

LASTRES, H.; ALBAGLI, S. **Informação e globalização na era do conhecimento**. Editora Campos, Rio de Janeiro, 1999.

LASETER, T. M; TORRES, D.; CHUNG, A. **Oasis in the dot-com delivery Desert. Press Releases**. Operating Strategies, 2003. Disponível em <<http://www.eship-4u.com/files/pdf/Oasis.pdf>>. Acesso em 03/08/2014.

LEVINE, J.; UNDERWOOD, S. A multiattribute analysis of goals for intelligent transportation system planning. In: **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v.4 n.2, 1996, p. 97–111.

LI, Y.-T.; HUANG, B.; LEE, D.-H. Multimodal, multicriteria dynamic route choice: A GIS-microscopic traffic simulation approach. In: **Annals of GIS**, v.17 n.3, 2011, p. 173–187.

LIMA, E. V. A. **Aplicação do Modelo de Streeter-Phelps na Análise de Concessão de Outorga de Lançamento de Efluentes em Rios Naturais**. 2011. 96p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

LITMAN, T. (2011) Parking Management: Strategies, Evaluation and Planning. In: **Victoria Transport Policy Institute**. Disponível em http://www.vtpi.org/park_man.pdf Acesso em 22/10/2015.

LONGLEY, P.; GOODCHILD, M.; MAGUIRE, D. e RHIND, D: **Sistemas e ciência da Informação Geográfica**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LOPES, A. A. S. **Desenvolvimento de uma metodologia com base na teoria fuzzy, aplicada a modelos da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD), para calcular o risco de degradação ambiental em rios naturais**. 2009. 140p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade federal do ceará, Fortaleza, 2009.

LOPES, L. A. S.; FERREIRA FILHO, A. S. Reuniões para padronização de dados georreferenciados de transportes. In: **XIII ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte**. v.2. 1999, São Carlos. Anais p 111-115.

LUGER, George F. **Artificial Intelligence: Structures and strategies for complex problem solving**. 5th ed. Essex: Pearson Education/Addison Wesley, 2005.

MACOHIN, G. A. **De Transportador a Operador Logístico - a lacuna a ser preenchida: um estudo de caso**. 2001. 156p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: UFSC, 2001.

MANHEIM, M., L. **Fundamentals of transportation systems analysis, vol. 1: Basic Concepts**. Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1979, p. 658.

MARTINS, M.H.R.B.; ANAZIA, R.; GUARDANI, M.L.G.; SILVA, S.R. Evolucion of air quality in the São Paulo metropolitan area and its relation with public policies. J. In: **Enviornment and Pollution**, v. 22 n. 4, 2004, p. 430-440.

MENESES, H. B. **Interface Lógica em Ambiente SIG para Bases de Dados de Sistemas Centralizados de Controle do Tráfego Urbano em Tempo Real**, 2003. 204 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Transportes). Centro de Tecnologia - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental – Departamento de Mudanças Climáticas – **Gerência de Qualidade do Ar. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Relatório Final**, 2011, p. 114.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 18**, de 6 de maio de 1986. In: Resoluções, 1986.

MMA – Ministério do Meio Ambiente Poluentes Atmosféricos. Disponível em <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos> Acesso em 25/09/2015.

MOREIRA, H. B. C. Análise do Risco de Falha na Dispersão dos Poluentes Atmosféricos utilizando a Teoria Fuzzy. In: **AIDIS de Ingenieria y Ciencia Ambientales**. v. 6, n.1, p. 99, 2013.

MOREIRA, R. **Avaliação de projetos de Transportes utilizando análise benefício custo e AHP**. 2000. 146 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

MORLOK, E. K. **Introduction to transportation engineering and planning**. New York: McGraw Hill, 1978, p. 767.

MOURA, M.C. **Uso de Sistemas de Informações Geográficas no planejamento para otimização de rotas de distribuição**. 2001. 68p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Transportes). Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – Minas Gerais, 2001.

MUÑUZURI, J; LARRAÑETA, J; ONIEVA, L; CORTÉS, P. Solutions applicable by local administrations for urban logistics improvement. In: **Cities**, v. 22, n. 1. Elsevier: Grã Bretanha, 2005.

NASSI, C.D.; SANTOS, M.P.S. A experiência brasileira no uso de Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao sistema de transporte público urbano: O caso do município do Rio de Janeiro. In: **Congresso Latinoamericano de Transporte Público e Urbano**, v. 8, Curitiba, 1996.

NAZÁRIO, P.; WANKE, P.; FLEURY, P.F. (2000) O Papel do transporte na estratégia Logística. In: **Revista Tecnológica**. Disponível em <http://www.centrodelogistica.com.br/new/fs-public.htm> Acesso em 20/07/2014.

NEMOTO, T.; VISSER, J.; YOSHIMOTO, R. **Impacts of information and communication technology on urban logistics system. Faculty of Commerce & Management**, Hitutsubashi University, Japan, 1999. Disponível em: <https://hermes-ir.lib.hit-u.ac.jp/rs/bitstream/10086/16042/1/070cmWP_65.pdf>. Acesso em: 30/01/2015.

OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. (2008) Policy instruments to limit negative environmental impacts from increased international transport. **Global Forum on Transport and Environment in a Globalising World**. México. Disponível em <http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/06Speed.pdf>. Acesso em

12/10/2015.

_____. Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Regulatory reform and innovation. OECD Documents**, 1996. Disponível em: <http://www.oecd.org/sti/inno/2102514.pdf>. Acesso em: 12/10/2015.

_____. Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Regulatory reform in the Japan. OECD Country Studies**, 1999. Disponível em: <http://www.oecd.org/regreform/oecdreviewsofregulatoryreform-japanprogressinimplementingregulatoryreform.htm>. Acesso em: 12/10/2015.

_____. Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. (2010) **Globalisation, Transport and the Environment, OECD Publishing**. Disponível em <http://www.oecd.org/greengrowth/greening-transport/globalisationtransportandtheenvironment2010.htm>. Acesso em 12/10/2015

_____. Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Economic Studies. Regulatory reform in road freight**. n.32, 2001. Disponível em: <http://www.oecd.org/eco/outlook/2732085.pdf>. Acesso em:12/10/2015.

OGDEN, K. W. **Urban goods movement and its relation to planning**, The Urban Goods and Freight Forecasting Conference, patrocinada pelo Federal Highway Administration, Office of Environment and Planning, Statewide and Intermodal Planning Division. New Mexico State University, outubro de 1997. Disponível em <http://www.wctrs.leeds.ac.uk/wp/wp-content/uploads/abstracts/lisbon/general/01242.pdf>. Acesso em 23/05/2015.

OLIVEIRA, A. V. M.; TUROLLA, F. A. Financiamento da infraestrutura de transportes. In: **Journal of Transport Literature**, v. 7, n. 1, 2013, p. 103-126.

OLIVEIRA, J. C. V.; CAIXETA-FILHO, J. V. **Caracterização das Empresas de Transporte Fluvial de Grãos: Um estudo de caso para a hidrovia Tietê- Paraná**. 1997. Disponível em <http://www.spell.org.br/documentos/ver/18453>. Acesso em 23/05/2015.

OLIVEIRA, M.A.C.; SHINOHARA, A.H. A experiência com gás natural / GLP no polo Araripe, PE, Brazil. In: **Cerâmica**, v.60 n. 354, 2014. p. 243- 253.

OLIVEIRA, M. P. G. **Sistema Espacial de Apoio à Decisão: Modelos para análise do adensamento de atividades econômicas no espaço urbano**. 1997. 165p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola de Governo de Minas Gerais da Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 1997.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima 1992**. Disponível em <http://uc.socioambiental.org/sites/uc.socioambiental.org/files/conven%C3%A7%C3%A3o%20quadro%20das%20na%C3%A7%C3%B5es%20unidas%20sobre%20mudanc%C3%A7as%20clim%C3%A1ticas.pdf>. Acesso em 10/03/2015.

_____. - Organização das Nações Unidas. **Protocolo de Quioto à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima 1997**. Disponível em http://www.mct.gov.br/upd_blob/0005/5390.pdf. Acesso em 10/03/2015.

_____. - Organização das Nações Unidas. **World Urbanization Prospects – The 2011 Revision – Highlights**. United Nations Organizations – Department of Economic & Social Affairs – Population Division, New York, 2012. Disponível em <http://www.un.org/en/development/desa/population/>. Acesso em 20/11/2015.

PADULA, R. **Transportes: fundamentos e propostas para o Brasil**. Brasília: Confea, 2008.

PEREZ, J.C.; CARRILLOM.H.; TORRESJ.R.M. Multi-criteria approaches for urban passenger transport systems: a literature review. In: **IEEE- International Conference on Systems Man, and Cybernetics**, v. 226, n.1, 2015, p. 69-87.

PORTAL. **Inner urban freight transport and city logistics. Portal (Transport Teaching Material)**. Patrocinado por: European Commission e Research Sustainable Mobility, 2003. Disponível em <www.eu-portal.net>. Acesso em 18/07/2015.

PORTELA, K. Rodízio envelhece a frota de caminhões de São Paulo. Anais eletrônicos 2005. Disponível em: <http://www.maolink.uol.com.br/news/2005-10-11_especial_frota_caminhoes.htm> Acesso: 15/09/ 2015.

POLACK, J. B.; HEERTJE, A. **Analytical Transport Economics: An International Perspective**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2001, 448p.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/desenvolvimento_urbano/dados_estatisticos/>. Acesso em: 21/07/2014.

PROCONVE- Ministério do Meio Ambiente P7. Disponível em: <<http://www.sindirepa-sp.org.br/pdfs/cartilhadieselproconve7.pdf>>. Acesso em: 23/05/2015.

QUISPEL, M. Active partnerships; the key to sustainable urban freight transport. In: **ECOMM 2002 (European Conference on Mobility Management)** 15 – 17 May 2002, Gent. Disponível em <http://www.epomm.eu/ecomm2002/presentations/Final%20programme/final%20programme.pdf>. Acesso em 09/10/2015.

QURESHI, I.; LU, H. Urban transport and sustainable transport strategies: A case study of Karachi Pakistan. In: **Tsinghua Science & Technology**, v.12 n.3, 2007, p. 309–317.

RAIS – Relação Anual de Informações. Ministério do Trabalho e Emprego. Disponível em: <<http://www.rais.gov.br/sitio/sobre.jsf>>. Acesso em: 02/10/2014.

RIBEIRO, S.K. **Transporte Sustentável: Alternativas para Ônibus Urbanos**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2001.

RIBEIRO, W. C. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. In: **Revista Parcerias Estratégicas – CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**. Edição Especial. v. 1, n. 27, p. 26, 2008.

RICH, J.; HOLMBLAD, C.O.; HANSEN, C.O. A weighted logit freight mode-choice model. In: **Transportation Research Part E**, v.45, n. 6, p. 1006-1019, 2009.

RÍOS, A.; NOZICK, L. K.; TURNQUIST, M. A. Value of diferente categories of information in estimating freight origin-destination tables. In: **Journal of Transportation Research Board**, nº 1783, 2002, p. 42-48.

ROCHA, G.S. **Aplicação da Teoria dos Números Fuzzys nos Modelos de Transporte de Poluentes para Avaliar sua Capacidade de Previsão do Risco de Contaminação em Rios Naturais**. 2007. 111p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

RODRIGUES, M. **Geoprocessamento**. 1987. 347 p. Tese (Livre docência) - EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

_____. Introdução ao Geoprocessamento. In: Geoprocessamento, 1990, São Paulo. **Anais do Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento**. EPUSP, 1990, p 1-26.

_____. Sistemas de Informações Geográficas. In: **Programa de Transferência de Tecnologia GIS**, v. 2, apostila e CD-rom. Convênio EPUSP / SABESP, São Paulo, 1998.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional**. 3ª Edição revisada e ampliada. São Paulo: Aduaneiras, 2003.

_____. **Gestão Estratégica da Armazenagem**. 2ª Edição. São Paulo: Aduaneiras, 2007.

RONCA, J.L.C. Metropolização e desenvolvimento do Brasil. In: **BRUNA, G.C. (org.) Questões de organização do espaço regional**. São Paulo: Livr. Nobel/Ed.USP, 1983, p. 119-50.

ROSE, Adriana. **Uma avaliação comparação de alguns sistemas de informação geográfica aplicados aos Transportes**. 2001. 79 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade de São Carlos, São Carlos, 2001.

ROY, B.; HUGONNARD, J. Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria method. In: **Transportation Research Part A: General**, v.16 n.4, 1982, p. 301–312.

RUSSO, F.; COMI, A. Measures for sustainable freight transport at urban scale: Expected goals and tested results in Europe. In: **Journal of Urban Planning and Development**, v. 137,n. 2, 2011, p. 142-152.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hill International, 1980.

SAATY, T. L. **Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks**. Pittsburgh: RWS Publications, 2005.

SALDIVA, P. H. N. **Problemas de saúde causados pela poluição do ar**. O Globo Ciência, TV Globo, Canal Futura.

SALLING, K. B.; LELEUR, S.; JENSEN, A. V. Modelling decision support and uncertainty for large transport infrastructure projects: The CLG-DSS model of the Øresund fixed link. In: **Decision Support Systems**, v.43, n. 4, 2007, p. 1539–1547.

SANTANA, E.; CUNHA, K.B.; FERREIRA, A.L.; ZAMBONI, A. Padrões de qualidade do ar. Experiências, comparada Brasil, EUA e União Europeia. In: **Instituto de Energia e Meio Ambiente**. v. 1, n. 1, p. 30, São Paulo. 2012

SANTOS, G.; BEHRENDT, H.; TEYTELBOYM, A. Part II: Policy instruments for sustainable road transport. In: **Transportation Economics**, v. 28 n.1, 2010; p. 46–91.

SANTOS, S.H.L. **Aplicação da Teoria Fuzzy em modelos de transporte de massa para o cálculo do risco na concessão de outorga para lançamento de efluentes em rios**. 2012. 104p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SÃO PAULO. **Decreto nº 33.272**, de 11 de junho de 1993. Dispõe sobre a Zona de Máxima Restrição de Circulação - ZMRC, e da outras providências.

SÃO PAULO. **Decreto nº 37.085**, de 3 de outubro de 1997. Regulamenta a lei nº

12.490, de 3 de outubro de 1997, que autoriza o Executivo a implantar Programa de Restrição ao Trânsito de Veículos Automotores no Município de São Paulo.

SÃO PAULO. **Decreto nº 37.185**, de 20 de novembro de 1997. Dispõe sobre o trânsito de caminhões nas vias do município de São Paulo e nas Zonas de Máxima Restrição de Circulação - ZMRC, e de outras providências.

SÃO PAULO. **Decreto nº 45.821**, de 6 de abril de 2005. Fixa horários para a realização de operações de carga e descarga em estabelecimentos comerciais e de serviços localizados no Município de São Paulo.

SÃO PAULO. **Decreto nº 48.338**, de 10 de maio de 2007. Estabelece normas para o trânsito de caminhões e para operações de carga e descarga em estabelecimentos situados no Município de São Paulo.

SÃO PAULO. **Decreto nº 49.487**, de 12 de maio de 2008. Regulamenta o trânsito de caminhões na Zona de Máxima Restrição de Circulação – ZMRC

SÃO PAULO. **Decreto nº 49.636**, de 17 de junho de 2008. Dispõe sobre o trânsito dos Veículos Urbanos de Carga - VUC na Zona de Máxima Restrição de Circulação - ZMRC, nos períodos e nos horários que especifica.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Transportes. **Portaria 21/02 – DSV/SMT**, publicada no Diário Oficial do Município em 21/05/2002, p.20. São Paulo, 2002.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Lei nº. 13.885**, de 25 /08/ 2004 J Regionais Estratégicos das Subprefeituras X Estabelece normas complementares ao Plano Diretor Estratégico, institui os Planos Regionais Estratégicos das Subprefeituras, dispõe sobre o parcelamento, disciplina e ordena o Uso e Ocupação do Solo do Município de São Paulo, 2004.

SÃO PAULO. **Lei nº. 16.050**, de 31 de Julho de 2014, Política de Desenvolvimento Urbano e o Plano Diretor Estratégico. São Paulo: Diário Oficial da Cidade de São Paulo, ano 59, n. 140, p.1X352. 01 de agosto de 2014.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Dados Estatísticos**. Disponível em:

<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/desenvolvimento_urbano/dados_estatisticos/> Acesso em: 18/11/2014

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Coordenação de Subprefeituras. **Padrão Arquitetônico das Calçadas.** Disponível<<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/calçadas/index.php?p=37447>> Acesso em: 01 fev. 2015.

SAUNDERS, J. H. **Comparison of Decision Accuracy in the Analytic Hierarchy Process and Point Allocation.** Washington, 1994. Disponível em <http://www.johnsaunders.com/papers/ahpvpa/ahpvpa.htm>. Acesso em 09/10/2015.

SCHMIDT, A. M.; NOBRE, A. A.; FERREIRA, G. S. **Alguns aspectos da modelagem de dados espacialmente referenciados.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/254445047_Alguns_aspectos_da_modelagem_de_dados_espacialmente_referenciados. Acesso em 09/10/2015.

SCHMOLDT, D. I. L.; PETERSON, D. L.; SMITH, R. L. **The Analytic Hierarchy Process and participatory decision-making.** Virgínia: USDA Forest Service, 1995.

SCHROEDER, E. M.; CASTRO, J. C. Transporte rodoviário de cargas: situação atual e perspectivas. In: **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v.3 n. 6, 1996. Disponível em:<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev2902.pdf>. Acesso em: 10/04/2014.

SETCESP. Sindicato das Empresas de Transportes de Carga de São Paulo e Região. **Manifesto: pela mobilidade urbana e o abastecimento de São Paulo.** São Paulo, 16 maio 2008. Disponível em :< <http://www.setcesp.org.br/>>. Acesso em: 07/04/2014.

SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. **Controle e Modelagem Fuzzy.** São Paulo: Edgar Blücher, 1999.

SHIAU, Y.; TSAI, T.; WANG, W.; HUANG, M. **Use questionnaire and AHP techniques to develop subcontractor selection system**. Chung Hua University, 2002.

SILVA, A.N.R. **Sistemas de Informação Geográfica para Planejamento de Transportes**. 1998. Livre-docência. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

SILVA, A. R. **Avaliação de modelos e regressão espacial para análise de cenários de transporte rodoviário de carga**. 2006. 138p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Transportes) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, 2006.

SILVA, F.J.A. **Índice de concordância e risco Fuzzy na avaliação do desempenho de sistemas de lagoas de estabilização**. 2010. 162p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SILVA, M. Criar e professorar um curso online: relato de experiência. In: **SILVA, Marco (Org.)**. Educação Online. 2º ed., São Paulo: Edições Loyola, 2006. p. 53 – 76.

SILVA, M. A. C.; FERREIRA FILHO, V. J. M. Sistemas de Roteirização e Programação de Veículos . In : **Pesquisa Operacional**, v. 21, n. 2, 2001, pp.223-232. Disponível em : <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382001000200007>. Acesso : 20/03/2016.

SILVEIRA, L. S. C.; YAMASHITA, Y.; DANTAS, A. S. Estudo de demanda de transporte público urbano por ônibus sob o enfoque do sistema de informações geográficas e do sensoriamento remoto. In: **ANPET – Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes**, 2000, p 47- 58.

SOUTHWORTH, F. **Freight transportation planning: models and methods. Transportation Engineering Handbook: Planning Methods and Applications**, chapter 4. Pennsylvania: Goulias, K. (Ed.), Publisher CRC Press, 2002, p. 456.

SPAETHLING, D. Sustainable transportation. The American experience. In: Proceedings of Seminar C. Planning for Sustainability of the 24th European Transport Forum. **PTRC Education and Research Services Limited**. London, England, Setembro 1996. Disponível em <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6076219>. Acesso em 22/04/2015.

SPINELLI, E.; IZIDORO, A. Maioria é a favor da ampliação do rodízio. **Folha de São Paulo**. São Paulo, ano 88, n. 28.859, 2008. Disponível em: <<http://www.folha.uol.com.br/fdp/cotidian/ff0704200801.htm>> . Acesso em: 28/08/2015.

STURM P. J.; ALMBAUER, R.; SUDY, C.; Pucher, K. Application of computational methods for the determination of traffic emissions. In: **Journal of air & waste management association**, v. 47, n°1, 1997, p. 1204 - 1210.

TARTAGLIA, J. C.; OLIVEIRA, O. L. **A interiorização do desenvolvimento econômico no Estado de São Paulo (1920-1980)**. São Paulo: Fundação SEADE, 1988. v.1

TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R. G. Modeling city logistics. In: **Journal of the Transportation Research Board**, v. 20, n. 1. 1790, 2002, p. 45-51.

TAUBENBÖCK, H.; ESCH, T.; FELBIER, A.; WIESNER, M.; ROTH, A.; DECH, S. Monitoring Urbanization In: **Mega Cities from Space. Remote Sensing of Environment**, v. 117, n. 1, 2012, p. 162-176.

TIPEC – **Tecnologias para Incremento da Performance e Eficiência Corporativa.** Disponível em:

<<http://www.decisionsystems.com.br/editor/mostrarpag.asp?id=48>>. Acesso em: 20/10/2014.

TEIXEIRA, E. C.; FELTES, S.; SANTANA, E. R. R. de. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre. In: **Química Nova**, v. 31, n. 2, p. 244-248, 2008.

TEIXEIRA, E. C.; FELTRES, S.; SANTANA, E. R. R. Estudo das emissões de fontes moveis na região metropolitana de Porto Alegre - Rio Grande do Sul. In: **Quim Nova**, v. 31, n. 2, p.244-248, 2008.

TERANO, T., ASAI, K., SUGENO, M. Fuzzy **Systems Theory and Its Applications** U.S.A: Academic Press Inc., 1991.

TERM. Transport and Environment Reporting Mechanism - Caminhamos na direcção certa? Indicadores sobre a integração transportes–ambiente na União Européia; **Responsável pelo sumário: Agência Européia do Ambiente, impresso na Bélgica em janeiro de 2000. Disponível em <<http://eea.eu.int>>. Acesso em 14/03/2015.**

TFYP . **Relatório. TFYP Working Group Sr. No. 83/2001.** Report of the Working Group on Convergence and e-Governance for the Tenth five year plan (2000-2007). Preparado pela Comissão de Planejamento da Índia, novembro de 2001, p. 70.

TOLEDO, G.I.F.M. **Avaliação da Exposição da População à Poluição relacionada ao Tráfego no Município de São Paulo.** 2010. 110p. Tese de Doutorado (Doutorado em Saúde Pública). Faculdade de Saúde Pública da USP. São Paulo, 2010.

TOMA, T.; ASHARIF, M. R. **AHP coefficients optimization technique based on GA.** Department of Information Engineering of University of Ryukyus. Japão, 2003. Disponível em <http://bw-www.ie.uryukyu.ac.jp/~j94033/study/finalpaper2.html>. Acesso em 25/04/2015.

TOMLINSON, R.F. Panel discussion: Technology Alternatives and Technology

Transfer. In: **Computer Assisted Cartography and Geographic Information Processing**. Hope and Realism – Proceedings. Ontário: Douglas and Boyle, Eds. Canadian Cartographic Association, Dept. of Geography, University of Ottawa, p. 65-71, 1982

TOMLINSON, R.F.; BOYLE, A.R. The state of development of systems for handling national resources inventories data, In **Cartographica**. v. 4, n.18, p. 65-95, 1981.

TORRES, H. M. **Eficiência, equidade e aceitabilidade do pedágio urbano**. 2007. 333p. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

TRB – Transportation Research Board. Sustainable transportation indicators: A recommended program to define a standard set of indicators for sustainable transportation planning. Transportation Research Board – TRB, Sustainable Transportation Indicators Subcommittee of the Transportation Research Board ADD40[1], 2008, 14p. Disponível em <http://www.vtpi.org/sustain/sti.pdf>. Acesso em 15/08/2014

Trevizano, W. A.; Freitas, A. L. P. Emprego do Método da Análise Hierárquica (A.H.P.) na seleção de Processadores. In: **XXV Encontro Nac. de Engenharia de Produção** – Porto Alegre, RS, Brasil, 29 out a 01 de nov. de 2005.

TRINDADE, F.S. **O uso dos softwares livres de SIG como ferramenta de apoio ao ensino de Geografia no nível fundamental: Um estudo de caso a partir da elaboração de um mapa temático sobre Áreas de Risco através do software “Terra View”**. 2012. 38p. Monografia (Bacharel em Geografia) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2012.

TSAMBOULAS, D. A. A tool for prioritizing multinational transport infrastructure investments. In: **Transport Policy**, v. 14, n. 1, 2007, p. 11–26.

TURCK SIN, L.; BERNARDINI, A.; MACHARIS, C. A combined AHP-PROMETHEE approach for selecting the most appropriate policy scenario to stimulate a clean vehicle fleet. In: **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 20, n. 1, 2011, p.954–965.

ÜLENGİN, F.; ÖNSEL, S.; YILKER, T.; AKTAS, E.; KABAK, Ö. An integrated transportation decision support system for transportation policy decisions: The case of Turkey. In: **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 41, n.1, 2007, p. 80–97.

VELOSO, P.; SANTOS, C. dos; AZEREDO, P.; FURTADO, A. **Estrutura dos Dados**; 5ª edição. reimpressão. Rio de Janeiro: Campos, 1986.

VERHOEF, E. External effects and social costs of road transport. In: **Transportation Research A**, v. 28A, n. 4, 1994, p. 273-287.

VIEIRA, A.B. **Roteirização de ônibus urbano: escolha de um método para as grandes cidades brasileiras**. 1999. 168p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

VIEIRA, F. T. **Redução de NOx por etanol em catalisador Pd-Ba/ZrO2**. 2008. 114p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Química) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

WANG, H.; TRAUTH, K. M. Urban Origins/Destinations from high-resolution remote sensing images. In: **Journal of Urban Planning and Development**, v. 132, n. 2, 2006, p.8.

WANKE, P.; P. F. FLEURY. **Transporte de cargas no Brasil: estudo exploratório das principais variáveis relacionadas aos diferentes modais e as suas estruturas de custos**. In: DE NEGRI J. A.; KUBOTA, L. C. (Ed.). **Estrutura e dinâmica do setor de serviços no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, 2006.

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development. Meeting Summary of the Sustainable mobility stakeholder dialogue Workshop. In: **Stakeholder Dialogue Workshop**. 17-19 september 2001, Cape Town. Disponível em http://www.uneca.org/sites/default/files/uploaded-documents/CoM/cfm2001/com2001_annex1.pdf. Acesso em 28/04/2015.

WHO - World Health Organization. Air quality guidelines for particulate matter,

ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. **Summary of risk assessment** **Ginebra,** **2006.** Disponível em http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf Acesso em: 20/09/2015.

WORBOYS, M. F. **Gis: a computing perspective**. 1 ed.. London: Taylor & Francis, 1995. 376p.

XIE, X.; WU, J. Some Improvement on Convergence Rates of Kernel Density Estimator. In: **Applied Mathematics**, v. 5, n.11, 2014, p. 1684-1696.

XIE, Z.; YAN, J. Detecting traffic accident clusters with network kernel density estimation and local spatial statistics: an integrated approach. In: **Jornal of Transport Geography**, v. 31, n. 1, 2013, p. 64-71

YOUNG, W. **Planning and design for trucks**. Apostila: CIV4284 – Transport Systems – Topic 8. Department of Civil Engineering, Monash University; Engineering and Management Workshop 2001. Disponível em <http://www.monash.edu.my/events/TEM/program.htm..> Acesso em 28/04/2015.

YU, L.; JIA, S.; SHI, Q. Research on transportation related emissions- Current status and future directions. In: **Air and Waste Management Association**, v.59, nº 1, 2009, p. 183-195.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. In: **Information and Control**, v. 8, nº 1, pp 338-353, 1965.

ZHANG, K.; FREY, C. Evaluation of response time of a portable system for in-use vehicle tailpipe emissions measurement. In: **Environmental Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 221-227, 2008.

ZIMMERMANN, H. J. **Fuzzy Set Theory and Its Applications**. Mishawaka - U.S.A: Kluwer Nijhoff Publishing, 1985.

ZIONI, S. M. **Espaços de carga na região metropolitana de São Paulo**.

2009. 316p. Tese de Doutorado (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

APÊNDICE A - Georreferenciamento dos dados da CET

Considerando-se o município de São Paulo e o universo de dados disponível, foi feita análise e seleção desses dados considerando-se aqueles relevantes para se responder à questão principal deste trabalho. Partindo-se dos dados do Relatório da Monitoração da Fluidez da CET dos anos de 2004 e de 2013, foi feito um georreferenciamento desses dados como apresentam as figura 42 e 43.

Figura 42: Rotas e pontos seleccionados no relatório da CET 2004.

Fonte: CET, 2004

Figura 43: Rotas e pontos selecionados no relatório da CET 2013.

Fonte: CET, 2013

Os anos foram escolhidos com um objetivo, sendo o primeiro antes da lei de Zona Máxima de Restrição de Caminhão, e o segundo o ano com o relatório mais recente da CET, o que permitiu realizar análises se ocorreu alguma diferença entre estes dois anos com a aplicação da lei. Utilizando com a contagem de caminhões feita pela CET, foi possível gerar gráficos que auxiliam na análise de quais são as rotas com maior volume, e qual zona da cidade de São Paulo tem maior volume de caminhões circulando pela cidade.

O gráfico 2 representa a contagem de caminhões do relatório da CET do ano de 2004, sendo a quantidade de caminhões representada pelo eixo X, e as rotas deste ano pelo eixo Y, e vale ressaltar que neste ano estava disponível uma área menor, ou seja, uma quantidade de rotas também menor se comparada com o ano de 2013. Já no gráfico 3, com os eixos representando as mesmas informações que ao gráfico 2, apresenta a contagem de caminhões realizada pela CET, com 29 rotas disponíveis, vale ressaltar que a numeração das rotas não seguem ordem numérica. Entre os dois períodos representados, há uma diferença de 581,14%, sendo 11.989 caminhões em 2004, e 69.674 em 2013.

O gráfico 4 apresenta um agrupamento das rotas por zonas do município de São Paulo nos dois anos analisados. Em 2004, as zonas Central, Norte e Leste lideravam na quantidade de caminhões circulando pela cidade. E em 2013, a Zona Leste teve um aumento de 39 pontos percentuais, uma diferença de 28.795 caminhões, e duas rotas a mais se comparado com 2004. A Zona Sul, um aumento de 15 pontos percentuais, 17.331 caminhões e o dobro de rotas analisadas.

No ano de 2004 não existia a lei da Zona Máxima de Restrição de Caminhões, e com a análise dos dados, foi possível confirmar a aplicabilidade desta lei, uma vez que a quantidade de caminhões registrados na zona Central foi consideravelmente menor no relatório de 2013, com diminuição de 978 caminhões, representando 29 pontos percentuais a menos, mesmo que no ano de 2004, com 19 rotas relatadas (tabela 22), três delas apenas na região central, quantidade menor se comparada com 2013, que dentre as 29 rotas coletadas (tabela 23), quatro são na região central.

O resultado do ano de 2013 mostra que as rotas com maior volume de caminhão são em ordem decrescente: Av. Aricanduva, seguida pela Marginal Pinheiros e Marginal Tietê. Fato que faz da zona Leste a zona com a maior contagem de caminhões.

Gráfico 2: Contagem de caminhões por rota do Relatório da CET (2004).

Fonte: CET, 2004. Elaboração Própria

Gráfico 3: Contagem de caminhões por rota do Relatório da CET (2013).

Fonte: CET, 2013. Elaboração Própria

Gráfico 4: Comparação da contagem de caminhões por zona do Município de São Paulo, do Relatório da CET 2013 e 2004.

Fonte:CET, 2004 e 2013. Elaboração: Própria.

Tabela 22: Informações das rotas do Relatório da CET (2004).

Rota	Nome	Zona
1	Av. Eusébio Matoso, Av. Rebouças, R. da Consolação	OESTE
2	Av. Clélia, Av. Francisco Matarazzo, Av. São João	OESTE
3	Av. Braz Leme, Av. Rudge, Av. Rio Branco	NORTE
4	Av. Zaki Narchi, Av. Santos Dumont, Av. Tiradentes, Av. Prestes Maia	NORTE
5	Av. Luís Dumont Villares, Av. Cruzeiro do Sul, Av. do Estado	NORTE
6	Av. Celso Garcia	CENTRO
11	Av. Adolfo Pinheiro, Av. Santo Amaro, Av. São Gabriel	SUL
13	Av. Heitor Penteado, Av. Dr. Arnaldo, Av. Paulista	OESTE
14	Elevado Costa e Silva	OESTE
15	Rótula Central	CENTRO
16	Est. de Itapecerica,Av. João Dias	SUL
17	Av. Prof. Francisco Morato	OESTE
21	Av. Vereador José Diniz, Av. Ibirapuera	SUL
23	R. Teodoro Sampaio, R. Cardeal Arcoverde	OESTE
24	Est. do M' Boi Mirim, Av. Guarapiranga	SUL
26	Av. Dr. Gastão Vidigal, Av. Prof. Rodrigues, Av. Pedroso de Moraes	OESTE
28	Av. das Juntas Provisórias, Av do Estado	CENTRO
29	Av. Radial Leste	LESTE
31	R. Henrique Schaumanm, Av. Brasil, Av. Pedro Álvares Cabral	OESTE

Fonte:CET, 2004 Elaboração: Própria.

Tabela 23: Informações das rotas do Relatório da CET (2013).

Rota	Nome	Zona
1	Av. Eusébio Matoso, Av. Rebouças, R. da Consolação	OESTE
2	Av. Clélia, Av. Francisco Matarazzo, Av. São João	OESTE
3	Av. Braz Leme, Av. Rudge, Av. Rio Branco	NORTE
4	Av. Zaki Narchi, Av. Santos Dumont, Av. Tiradentes, Av. Prestes Maia	NORTE
5	Av. Luís Dumont Villares, Av. Cruzeiro do Sul, Av. do Estado	NORTE
7	Av. Radial Leste	LESTE
9	Av. Vergueiro, R. Domingos de Moraes, Av. Jabaquara, Av. Armando de Arruda Pereira	CENTRO
10	Av. Washington Luís, Av. Rubem Berta, Av. Vinte e Três de Maio	SUL
12	Av. Adolfo Pinheiro, Av. Santo Amaro, Av. São Gabriel	SUL
13	Av. Heitor Penteado, Av. Dr. Arnaldo, Av. Paulista	OESTE
14	Elevado Costa e Silva	OESTE
15	Rótula Central	CENTRO
16	Est. de Itapecerica, Av. João Dias	SUL
17	Av. Prof. Francisco Morato	OESTE
18	Av. Sem. Teotônio Vilela, Av. Interlagos, Av. Washington Luís	SUL
19	Av. dos Bandeirantes, Av. Tancredo Neves	SUL
21	Av. Vereador José Diniz, Av. Ibirapuera	SUL
22	Av. Brigadeiro Faria Lima, R. Tabapuã, Av. Brigadeiro Luis Antonio	OESTE
23	R. Teodoro Sampaio, R. Cardeal Arcoverde	OESTE
24	Est. do M' Boi Mirim, Av. Guarapiranga	SUL
25	Av. Brig. Faria Lima e Av. Hélio Pelegrino	OESTE
26	Av. Dr. Gastão Vidigal, Av. Prof. Rodrigues, Av. Pedroso de Moraes	OESTE
28	Av. das Juntas Provisórias, Av do Estado	CENTRO
31	R. Henrique Schaumanm, Av. Brasil, Av. Pedro Álvares Cabral	OESTE
32	R. Vergueiro, Av. Liberdade	CENTRO
33	Av. Jacu Pêssego	LESTE
34	Av. Aricanduva	LESTE
35	Marginal Tietê	NORTE
37	Marginal Pinheiros	SUL

Fonte: CET, 2013 Elaboração: Própria.

Ocorreram algumas mudanças no decorrer dos anos no relatório da CET, sendo que a cada ano a CET acrescentou e modificou de acordo com a importâncias das mesmas de acordo com os estudos da própria CET, de acordo com o número de veículos em geral circulando, obras infraestruturais de transporte e grandes estabelecimentos comerciais. Assim, as rotas 29 e 11 foram alteradas para rotas 7 e 12, respectivamente. A rota 6 foi descontinuada em 2005, e nestes 9 anos seguintes a 2004 foram acrescentadas 12 novas rotas, sendo elas: 1, 9, 10, 19, 22, 25, 26, 32, 33, 34, 35 e 37.

Devido a pouca informação disponível para o município de São Paulo, foi escolhida a região central do município com os seguintes distritos: Sé, República, Brás, Consolação, Bela Vista, Liberdade, Cambuci, Pari, Bom Retiro e Santa Cecília, sendo esta região muito movimentada e inserida parcialmente incluídas na Zona Máxima de Restrição de Circulação como demonstra a figura 44.

Figura 44: Área de estudo – região central do Município de São Paulo.

Fonte: Prefeitura de São Paulo 2013. Elaboração: Própria.

Com a contagem de caminhões de ambos os anos, foi possível com a função *Kernel*, estimar e distinguir a quantidade de caminhões nas vias da região

central. As figuras 45 e 46 apresentam a contagem de caminhões realizada pela CET nos anos de 2004 e 2013, no período da manhã (7h até 10h), sentido Bairro - Centro.

Figura 45: Função *Kernel* na região central de São Paulo com a contagem de caminhões no período da manhã sentido bairro/centro – 2004
 Fonte: CET 2004. Elaboração: Própria.

Figura 46: Função *Kernel* na região central de São Paulo com a contagem de caminhões no período da manhã sentido bairro/centro – 2013.
 Fonte: CET 2013. Elaboração: Própria.

As figuras 47 e 48 expõe a contagem de caminhões realizada pela CET nos anos de 2004 e 2013 no período da tarde (17h até 20h) sentido Bairro - Centro.

Figura 47: Função *Kernel* na região central de São Paulo com a contagem de caminhões no período da tarde sentido bairro/centro - 2004.

Fonte: CET 2004 e 2013. Elaboração: Própria.

Figura 48: Função *Kernel* na região central de São Paulo com a contagem de caminhões no período da tarde sentido bairro/centro - 2013.

Fonte: CET 2004 e 2013. Elaboração: Própria.

Decorrente desse processo foi realizada uma diferença entre os anos com a ferramenta *raster calculator* do software ArcGis 10.0, como demonstram as figuras 49 e 50.

Figura 49: Diferença da função de *Kernel* da contagem de caminhões dos anos de 2004 e 2013 no período da manhã no sentido bairro-centro.
 Fonte: CET 2004 e 2013. Elaboração: Própria.

Figura 50: Diferença da função de *Kernel* da contagem de caminhões dos anos de 2004 e 2013 no período da tarde no sentido bairro-centro.

Fonte: CET 2004 e 2013. Elaboração: Própria.

Após análise, constata-se que existe uma diferença entre os períodos da manhã e da tarde. Em 2004, no período da manhã, sentido bairro/centro o número máximo de caminhões na via da região central foi 359, e no período da tarde foi de 553. No ano de 2013 com a lei da Zona Máxima de Restrição de Circulação já vigente, o número máximo de caminhões na via no mesmo sentido e diminuiu se comparado com o ano de 2014, sendo que no período da manhã foi de 80 e no período da tarde de 97. Uma queda de 77,71% e 82,45%, respectivamente.

Assim, com essa diminuição de quantidade de caminhões circulando a quantidade de emissão de poluentes derivados dos veículos de carga também é diminuída na região central do município de São Paulo.

ANEXO A - Informações sobre o IDHM

O Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil foi desenvolvido através da parceria entre o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e a Fundação João Pinheiro (FJP), com dados dos Censos Demográficos do IBGE. O Atlas surge da intenção de estimular a criação de instrumentos eficazes para a observação e análise da realidade brasileira. Sendo assim, o Atlas objetiva ser uma ferramenta de apoio aos gestores e administradores na formulação de políticas públicas adequadas à realidade municipal. Além disso, pretende ser uma plataforma amigável, de fácil acesso e compreensão, disponível a todos os cidadãos brasileiros, de maneira a atingir a sociedade em geral para que ela possa conhecer e transformar a realidade que a cerca.

O IDHM é calculado com três dados: longevidade, educação e renda. O IDH global também utiliza esses dados, assim como foi feito o IDHM de 2003, porém com algumas diferenças, como demonstra a figura 51:

	LONGEVIDADE	EDUCAÇÃO		RENDIA
		População Adulta	População Jovem	
IDHM Brasil 2013	Esperança de vida ao nascer	18+ com fundamental completo (peso 1)	% 5-6 na escola % 11-13 nos anos finais do fundamental % 15-17 com fundamental completo % 18-20 com médio completo (peso 2)	Renda mensal <i>per capita</i> (em R\$ ago/2010)
IDH Global	Esperança de vida ao nascer	Média de anos de estudo de 25+	Anos Esperados de Estudos	Renda Média Nacional <i>per capita</i> (US\$ ppp2005)
IDHM 2003	Esperança de vida ao nascer	Taxa de alfabetização 15+ (Peso 2)	Taxa bruta de frequência à escola (Peso 1)	Renda mensal <i>per capita</i> (em R\$ ago/2000)

Figura 51: Dados do IDHM Brasil, IDH Global e IDHM 2003.

Fonte: PNUD, 2013

É errado fazer qualquer tipo de comparação entre o IDHM de um município e o IDH de um país. O IDHM tem como inspiração o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), mas diferencia-se de seu cálculo em função dos ajustes que sofre

para melhor se adequar à realidade brasileira.

Assim como no IDH global, o IDHM Educação é uma composição de dois indicadores: situação educacional da população adulta e um referente à população em idade escolar (jovens). Entretanto, as variáveis são outras. No caso da população adulta, a média de anos de estudo de pessoas de 25 anos ou mais, tal como é medido no IDH Global, não pode ser obtida das informações do Censo 2010 e foi substituída pela proporção da população adulta de 18 anos ou mais que concluiu o ensino fundamental. Este indicador permite uma boa avaliação do nível de carência da população adulta em relação à escolaridade considerada básica (nível fundamental). No caso da população jovem, a metodologia aplicada pelo IDH Global a partir de 2010 – a expectativa de vida escolar – é uma medida de retenção das pessoas na escola, independentemente da repetência, e inclui o ensino superior. A adaptação do IDHM para os contextos nacional e municipal foi feita com uma combinação de 4 indicadores que permitem verificar até que ponto as crianças e os jovens estão frequentando e completando determinados ciclos da escola. O subíndice resultante, o fluxo escolar da população jovem, é a média aritmética do percentual de crianças de 5 a 6 anos frequentando a escola, do percentual de jovens de 11 a 13 anos frequentando os anos finais do ensino fundamental (6º ao 9º ano), do percentual de jovens de 15 a 17 anos com ensino fundamental completo e do percentual de jovens de 18 a 20 anos com ensino médio completo.

No processo da construção do IDHM foi realizado um estudo sobre o Desenvolvimento Humano, com mais de 40 especialistas brasileiros nas oficinas metodológicas para a adaptação do IDH para o IDHM, assim foram feitas escolhas de indicadores sobre o desenvolvimento humano municipal. O cálculo do IDHM é apresentado na figura 52:

Figura 52: Cálculo do IDHM
Fonte: PNUD, 2013

O IDHM é um índice composto que agrega 3 das mais importantes dimensões do desenvolvimento humano: a oportunidade de viver uma vida longa e saudável, de ter acesso a conhecimento e ter um padrão de vida que garanta as necessidades básicas, representadas pela saúde, educação e renda.

Vida longa e saudável é medida pela expectativa de vida ao nascer, calculada por método indireto a partir dos dados dos Censos Demográficos do IBGE. Esse indicador mostra o número médio de anos que as pessoas viveriam a partir do

nascimento, mantidos os mesmos padrões de mortalidade observados no ano de referência.

Acesso a conhecimento é medido pela composição de indicadores de escolaridade da população adulta e do fluxo escolar da população jovem. A escolaridade da população adulta é medida pelo percentual de pessoas de 18 anos ou mais de idade com fundamental completo; e tem peso 1. O fluxo escolar da população jovem, já explicado anteriormente, tem peso 2. A medida acompanha a população em idade escolar em quatro momentos importantes da sua formação. A média geométrica desses dois componentes resulta no IDHM Educação. Os dados são do Censo Demográfico do IBGE.

Padrão de vida é medido pela renda municipal per capita, ou seja, a renda média de cada residente de determinado município. É a soma da renda de todos os residentes, dividida pelo número de pessoas que moram no município – inclusive crianças e pessoas sem registro de renda. Os dados são do Censo Demográfico do IBGE. Os três componentes acima são agrupados por meio da média geométrica, resultando no IDHM.