

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAC

Cacilda Bastos Pereira da Silva

Valoração dos Benefícios do Metrô para a Saúde Pública
Associados à Poluição do Ar na cidade de São Paulo

São Paulo

2009

CACILDA BASTOS PEREIRA DA SILVA

Valoração dos Benefícios do Metrô para a Saúde Pública
Associados à Poluição do Ar na cidade de São Paulo

Dissertação apresentada ao Centro
Universitário Senac para obtenção
do título de Mestre em Gestão
Integrada em Saúde do Trabalho e
Meio Ambiente.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Simone
Georges El Khouri Miraglia

São Paulo
2009

S586v

Silva, Cacilda Bastos Pereira da

Valoração dos Benefícios do Metrô para a Saúde Pública associados à Poluição do Ar na cidade de São Paulo / Cacilda Bastos Pereira da Silva – São Paulo, 2009.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Simone Georges El Khouri Miraglia Dissertação de Mestrado em Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente – Centro Universitário Senac Campus Santo Amaro, São Paulo, 2009. 159f.

1. Valoração Ambiental 2. Transporte Público 3. Saúde Pública 4. Poluição do Ar I. Valoração dos Benefícios do Metrô para a Saúde Pública Associados à Poluição do Ar na cidade de São Paulo II. Cacilda Bastos Pereira da Silva.

Aluna: Cacilda Bastos Pereira da Silva

Título: Valoração dos Benefícios do Metrô para a Saúde Pública associados à Poluição do Ar na cidade de São Paulo

Dissertação apresentada ao Centro Universitário Senac para obtenção do título de Mestre em Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Simone
Georges El Khouri Miraglia

A banca examinadora do trabalho de conclusão, em sessão pública realizada em 26/02/2009, considerou a candidata aprovada:

- 1) Examinador: Alfésio Luiz Ferreira Braga
- 2) Examinador: Luiz Alexandre Kulay
- 3) Presidente: Simone Georges El Khouri Miraglia

Ao meu filho Pedro Luiz, pelo amor e energia, que me inspiraram na realização desse estudo.

A ele e aos meus sobrinhos Bernardo, Luccas, Anna e Gabriel, geração que irá defender a vida em um ambiente mais saudável.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Profª Simone por ter se tornado uma parceira fundamental na realização desse estudo, com sua orientação e dedicação à pesquisa científica, pela alegria e respeito como mestre, e, sobretudo pela amizade que passamos a nutrir.

Agradeço ao Profº Paulo Saldiva, médico do Laboratório de Poluição do Ar da Faculdade de Medicina da USP, por ter me motivado a pesquisar sobre o tema e por quem tenho grande admiração não só como um dos maiores pesquisadores sobre poluição do ar e saúde, mas também como cidadão engajado nas questões da cidade.

Aos Professores Alfésio Braga, médico e pesquisador, e Luiz Kulay, engenheiro e especialista em avaliação do ciclo de vida, pelas contribuições preciosas feitas para o estudo no processo de qualificação e defesa.

Ao Luiz Antonio Cortez e Paulo Celso Mano Moreira da Silva, agradeço o apoio e incentivo na tarefa em conciliar trabalho com estudo.

Àqueles que viabilizaram o apoio institucional na aprovação e realização das pós-graduação, especialmente, Leila de Araujo M. Pardo, Maria Luiza Bellock e Joana Rodrigues Martins da Universidade Corporativa do Metrô.

Aos meus colegas do Metrô: Emília Mayumi Hiroi e Eliza Kawashima, pelas informações da Pesquisa O/D; Flávio Luiz Jabbur Ferreira, na configuração georeferenciada de dados do trabalho.

Agradeço ao Diego Velloso Veronez, pelo apoio na discussão sobre o tema, na obtenção de dados e finalização da dissertação.

Aos meus professores e colegas do mestrado pelas horas em que discutimos com paixão nas noites de sexta-feira e aos sábados, e pela amizade que ficou entre nós.

Agradeço aos meus amigos Dirce, Mineiro, Daisy, Gerlene, Hécio e Paulo que me deram força e com quem dividi fases do meu estudo.

Agradeço aos meus pais, Dirce e Reynaldo, pela educação que recebi e pela saúde que mantêm, aos 80 anos de idade.

E, sobretudo ao meu filho Pedro Luiz, por ser um companheiro que soube enfrentar com sabedoria e paciência esses momentos de dedicação ao estudo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar e Sistema de Transporte Público no MSP	46
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Divisão Modal - MSP.....	27
Gráfico 2 - Evolução da frota de veículos automotores leves na RMSP.....	37
Gráfico 3 – Emissões relativas de poluentes por tipo de fonte na RMSP.....	38
Gráfico 4 - Consumo médio de gasolina x velocidade do automóvel.....	41
Gráfico 5 - Lentidão Media Anual de 1995 a 2005 – MSP.....	41
Gráfico 6 - Evolução da Rede Metroviária – 1986 a 2006.....	61
Gráfico 7 - Evolução da média diária de MP ₁₀ – 1986.....	76
Gráfico 8 - Evolução dos níveis de concentração de MP ₁₀ – 1988.....	77
Gráfico 9 - Evolução dos níveis de concentração de MP ₁₀ – mai 1991.....	78
Gráfico 10 - Evolução dos níveis de concentração de MP ₁₀ – nov 1991.....	79
Gráfico 11 - Evolução dos níveis de concentração de MP ₁₀ – 1990.....	80
Gráfico 12 - Evolução dos níveis de concentração de MP ₁₀ – 1989.....	81
Gráfico 13 - Evolução dos níveis de concentração de MP ₁₀ – 1994.....	83
Gráfico 14 - Evolução dos níveis de concentração de MP ₁₀ – 1995.....	84
Gráfico 15 - Evolução dos níveis de concentração de MP ₁₀ – 1996.....	85
Gráfico 16 - Evolução dos níveis de concentração de MP ₁₀ – 1999.....	88
Gráfico 17 - Evolução dos níveis de concentração de MP ₁₀ – 2001.....	89
Gráfico 18 - Evolução dos níveis de concentração de MP ₁₀ – 2000.....	90
Gráfico 19 - Evolução dos níveis de concentração de MP ₁₀ – 2003.....	94
Gráfico 20 - Evolução dos níveis de concentração de MP ₁₀ – 2006.....	97
Gráfico 21 - Média Diária de MP ₁₀ por Estação da CETESB – Paralisação 17 jun 2003.....	99
Gráfico 22 - Média Diária de MP ₁₀ por Estação da CETESB – Paralisação 17 jun 2003.....	100
Gráfico 23 - Média Diária de MP ₁₀ por Estação da CETESB – Paralisação 17 jun 2003.....	101

Gráfico 24 - Média Diária de MP ₁₀ por Estação da CETESB – Paralisação 15 ago 2006.....	105
Gráfico 25 - Média Diária MP ₁₀ em Áreas Próximas ao Metrô – 1986 a 2006.....	108
Gráfico 26 - Média Aritmética Anual MP ₁₀ – 1986 a 2006.....	109
Gráfico 27 - Média Aritmética Mensal MP ₁₀ – Inauguração Estação Clínicas.....	110
Gráfico 28 - Mortalidade Idosos – jun 2003.....	124
Gráfico 29 - Mortalidade Doenças Respiratórias – Idosos 60 a 64 anos.....	126
Gráfico 30 - Mortalidade Doenças Respiratórias – Idosos 60 a 64 anos.....	127
Gráfico 31 - Mortalidade por Doenças Respiratórias – Idosos 65 e mais anos.....	129
Gráfico 32 - Mortalidade por Doenças Respiratórias – Idosos 65 e mais anos.....	130
Gráfico 33 - Mortalidade Idosos – ago 2006.....	133
Gráfico 34 - Mortalidade Doenças Respiratórias – Idosos 60 a 64 anos.....	135
Gráfico 35 - Mortalidade Doenças Respiratórias – Idosos 60 a 64 anos.....	136
Gráfico 36 - Mortalidade Doenças Respiratórias – Idosos 65 e mais anos.....	138
Gráfico 37 - Mortalidade Doenças Respiratórias – Idosos 65 e mais anos.....	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados Gerais Transporte Metropolitano.....	26
Tabela 2 - Evolução da Rede Metroviária – 1986 a 2006.....	62
Tabela 3 - Duração e mês das paralisações - Metrô/SP.....	64
Tabela 4 - Representatividade dos Dados das Estações Automáticas da CETESB – 1986 a 2006.....	70
Tabela 5 - Paralisações Metrô – 1986 a 1991.....	75
Tabela 6 - Evolução da média diária de MP ₁₀ : Paralisação 9 a 14 out 1986.....	76
Tabela 7 - Evolução da média diária de MP ₁₀ - Paralisação 3 a 6 nov 1988.....	77
Tabela 8 - Evolução da média diária de MP ₁₀ - Paralisação 22 mai 1991.....	78
Tabela 9 - Evolução da média diária de MP ₁₀ - Paralisação 13 nov 1991.....	79
Tabela 10 - Evolução da média diária de MP ₁₀ – Paralisação 13 nov 1990.....	80
Tabela 11 - Evolução da média diária de MP ₁₀ – Paralisação 5 dez 1989.....	81
Tabela 12 - Paralisações Metrô – 1994 a 1996.....	82
Tabela 13 - Evolução da média diária de MP ₁₀ - Paralisação 11 mai 1994.....	83
Tabela 14 - Evolução da média diária de MP ₁₀ – Paralisação 9 a 11 mai 1995.....	84
Tabela 15 - Evolução da média diária de MP ₁₀ – Paralisação Metrô 14 mai 1996.....	85
Tabela 16 - Paralisações Metrô, 1999 a 2001.....	86

Tabela 17 - Evolução da média diária de MP ₁₀ – Paralisação 8 dez 1999.....	88
Tabela 18 - Evolução da média diária de MP ₁₀ – Paralisação 25 e 26 jun 2001.....	89
Tabela 19 - Evolução da média diária de MP ₁₀ – Paralisação 2 jun 2000.....	90
Tabela 20 - Paralisações Metrô, 2003 e 2006.....	91
Tabela 21 - Evolução da média diária de MP ₁₀ – Paralisação Metrô, 17 jun. 2003.....	93
Tabela 22 - Evolução da média diária de MP ₁₀ – Paralisação Metrô, 17 jun 2003.....	93
Tabela 23 - Evolução da média diária de MP ₁₀ – Paralisação Metrô, 15 ago 2006.....	96
Tabela 24 - Evolução da média diária de MP ₁₀ – Paralisação Metrô, 15 ago 2006.....	96
Tabela 25 - Média Diária de MP ₁₀ por Estação da CETESB – Paralisação 17 jun 2003.....	102
Tabela 26 - Média Diária de MP ₁₀ por Estação da CETESB – Paralisação 17 jun 2003.....	103
Tabela 27 - Média Diária MP ₁₀ por Estação CETESB – Paralisação 15 ago 2006.....	106
Tabela 28 - Média Diária MP ₁₀ por Estação CETESB – Paralisação 15 ago 2006.....	107
Tabela 29 - Dias Similares – 1986.....	112
Tabela 30 - Dias Similares – 1995.....	113
Tabela 31: Dias Similares – 2000.....	113
Tabela 32 - Dias Similares – 1988.....	115
Tabela 33 - Dias Similares - 1989.....	116
Tabela 34 - Dias Similares - 1990.....	116
Tabela 35 - Dias Similares - 1994.....	117

Tabela 36 - Dias Similares - 1996.....	117
Tabela 37 - Dias Similares - 1999.....	118
Tabela 38 - Dias Similares - 1991.....	120
Tabela 39 - Dias Similares – 2001.....	121
Tabela 40 - Dias Similares – 2003.....	123
Tabela 41 - Dias Similares – 2006.....	123
Tabela 42 - Mortalidade jun 2003.....	131
Tabela 43 - Mortalidade Idosos 65 anos e mais – ago 2006.....	136
Tabela 44 - Valoração Benefícios Metrô para Saúde Pública.....	140

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Padrões de qualidade do ar.....	49
Quadro 2: Revisão dos Padrões de Qualidade do Ar - OMS material particulado – média diária.....	50
Quadro 3: Revisão dos Padrões de Qualidade do Ar - OMS material particulado – média anual.....	51
Quadro 4: Principais variáveis de análise.....	66

LISTA DE SIGLAS

ANFAVEA	Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotivos
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CET	Companhia de Engenharia de Tráfego
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito de São Paulo
DNA	ácido desoxirribonucléico
EPA	Environmental Protection Agency
EUA	Estados Unidos da América
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FSP	Jornal Folha de São Paulo
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
IVAS	Infecções nas Vias Aéreas Superiores
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPF	Ministério Público Federal
MSP	Município de São Paulo
O/D	Pesquisa Origem/ Destino
OMS	Organização Mundial da Saúde
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S/A
PIB	Produto Interno Bruto
PMSP	Prefeitura do Município de São Paulo
PROAIM	Programa de Aprimoramento das Informações de Mortalidade

PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PROMOT	Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SEADE	Serviço Estadual de Análise Demográfica e Estatísticas
SPTrans	São Paulo Transporte
WHO	World Health Organization
UITP	União Internacional de Transporte Público
USP	Universidade de São Paulo
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta

LISTA DE SÍMBOLOS

a	sigla para representar ano ou 365 dias
ago	mês de agosto
CH ₄	metano
CO	monóxido de carbono
CO ₂	dióxido de carbono
COVs	compostos orgânicos voláteis
CSP	Custo de Saúde Pública
dez	mês de dezembro
dom	domingo
flex-fuel	sistema flexível de combustível
gasool	mistura de 22% de etanol e 78% de gasolina
h	horas
HC	hidrocarbonetos
IT -1	objetivo intermediário - 1
IT -2	objetivo intermediário- 2
IT -3	objetivo intermediário - 3
jun	mês de junho
jul	mês de julho
mai	mês de maio
MP	material particulado
MP ₁₀	material particulado com tamanho de 10 microns
Mr	número de óbitos relacionados à paralisação do Metrô
NOx	óxidos de nitrogênio
O ₃	ozônio
out	mês de outubro
passageiro/km	passageiro por quilômetro
ppm	partes por milhão
PM _{2,5}	partículas com tamanho de 2,5 microns
PQar	Padrão de Qualidade do Ar

PTS	partículas totais em suspensão
km	quilômetro
MAA	Média Aritmética Anual
MGA	Média Geométrica Anual
min	minutos
mm	milímetros
m/s	metros por segundo
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards
ND	não disponível
n°	número
nov	mês de novembro
MJ	megajoules
qua	quarta-feira
qui	quinta-feira
RE	revogado
sab	sábado
seg	segunda-feira
sex	sexta-feira
SO ₂	dióxido de enxofre
S-50	diesel com 50 partículas de enxofre por milhão
S-500	diesel com 500 partículas de enxofre por milhão
ter	terça-feira
t/ano	toneladas ao ano
US\$	dólar americano
VVE	Valor de Vida Estatística
XVII	algarismo romano (17)
µg/m ³	microgramas por metro cúbico
%	percentual
° C	graus celsius

RESUMO

As perspectivas de agravamento da poluição do ar em grandes cidades, como São Paulo, num contexto de crescimento da motorização e do uso de fontes energéticas potencialmente poluentes, levam à necessidade de se avaliar a sustentabilidade do transporte público sob a dimensão da saúde pública. A ausência de parâmetros econômicos valorando os impactos e os benefícios ambientais e sociais de alternativas de transporte não tem permitido analisar a efetividade de determinados investimentos, considerados onerosos aos cofres públicos, como o transporte sobre trilhos, para justificar sua viabilidade na obtenção de recursos para financiamento.

Assim, este estudo teve por objetivo estimar os benefícios do Metrô de São Paulo para a saúde pública através de indicadores de mortalidade associados às concentrações de poluentes atmosféricos. Foram analisadas as médias diárias de partículas inaláveis (MP_{10}) em São Paulo nos últimos 20 anos, tendo como cenário de referência, dias em que ocorreram paralisações (greve) da operação do Metrô, caracterizando um contexto sem o serviço do transporte metroviário. A partir dos níveis de concentração de MP_{10} obtidos nos períodos ex-ante e ex-post dos eventos, estabeleceu-se a associação com indicadores de mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias no segmento de idosos com 60 a 64 anos e mais de 65 anos, ocorridos na ausência da oferta do transporte sobre trilhos.

Os resultados mostraram que a operação de um sistema com tecnologia mais limpa, como o Metrô, contribui na redução da concentração de poluentes atmosféricos, especialmente o material particulado, em cerca de 50%, dependendo das condições meteorológicas do período. Os benefícios do Metrô para a saúde pública, valorados com base na mortalidade evitada de idosos, totalizaram cerca de R\$ 11 bilhões ao ano.

Palavras chave: valoração ambiental, transporte público, saúde pública e poluição do ar.

ABSTRACT

The worsening perspective of air pollution in big cities, like São Paulo, on a increase motorization context and use of potentially pollutant energetic sources, leads to an evaluation to quantify public transportation sustainability, under public health dimension.

The lack of economic parameters evaluating the impacts of environmental and social benefits transport alternatives hasn't permitted the effectiveness assessment of certain investments, considered burden to public treasures, like rail transportation, backing its viability to obtain finance sources.

Therefore, this study had the purpose of estimating the benefits of São Paulo's Metrô, based upon health statistics (mortality) associated with air pollution concentration.

It was analyzed the daily average of particulate matter (PM_{10}) in São Paulo for the last 20 years, having Metro's interruptions (strikes) operating days as reference scenery, characterizing a situation of absence of the subway transportation.

From the particulate matter (PM_{10}) concentration levels obtained from ex-ante and ex-post periods of the events, it was possible to establish the comparison with mortality caused by cardiac and respiratory diseases among old people with 60 to 64 years of age and over 65, occurred during rail transportation absence.

The results showed that cleaner technology operation system, like Metrô, contribute to reduce pollutants from atmosphere concentration, particularly particulate matter, in a rate of about 50%, depending on the meteorological conditions period.

The benefits of Metrô for public health, valued upon the number of avoided deaths, totalized about R\$11 Billions per year.

Key Words: environmental valuation, public transportation, public health, air pollution.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS
LISTA DE GRÁFICOS
LISTA DE TABELAS
LISTA DE QUADROS
LISTA DE SIGLAS
LISTA DE SÍMBOLOS
RESUMO
ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Caracterização da Problemática na Cidade de São Paulo.....	23
1.1.1 Justificativa.....	28
1.2 Objetivos do Estudo de Caso: Metrô de São Paulo.....	29
1.2.1 Geral.....	29
1.2.2 Específicos.....	29
1.3 Estrutura do Estudo de Caso: Metrô de São Paulo.....	30
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	32
2.1 Cidades, Transportes e Sustentabilidade.....	32
2.2 Transporte e a Poluição Atmosférica.....	35
2.2.1 Monitoramento da Qualidade do Ar.....	44
2.2.2 Padrões de Qualidade do Ar.....	47
2.3 Poluição Atmosférica e a Saúde Pública.....	52
2.4 Valoração Econômica Ambiental.....	57
2.5 Caracterização do Metrô de São Paulo.....	60
2.6 Paralisações da Operação do Metrô – Cenário de Referência.....	63
3. METODOLOGIA.....	65
3.1 Coleta e Tratamento dos Dados.....	67
3.1.1 Contexto do setor de transportes.....	67
3.1.2 Paralisações do Metrô.....	67
3.1.3 Dados da Poluição do Ar.....	67

3.1.4 Dados das Condições Meteorológicas.....	71
3.1.5 Dados de Mortalidade.....	71
3.2 Cálculo dos Benefícios Ambientais.....	71
3.3 Cálculo dos Benefícios Sociais.....	72
4 RESULTADOS.....	73
4.1 Impactos Socioambientais das Paralisações do Metrô.....	73
4.1.1 Impacto na Concentração Atmosférica de MP ₁₀	75
4.1.1.1: “Efeito Antecipado” e Concentração Menor: Paralisações 1986 a 1991.....	75
4.1.1.2 Influência do “Efeito Antecipado” na Concentração: Paralisações de 1994 a 1996.....	82
4.1.1.3 Redução da Concentração de MP ₁₀ : Paralisações de 1999 a 2001.....	86
4.1.1.4 Influência da Paralisação do Metrô na Concentração de MP ₁₀ : 2003 a 2006.....	91
4.1.2 Concentração de Partículas Inaláveis por Regiões – MSP.....	98
4.1.2.1 Análise Regionalizada dos Resultados da Semana de Paralisação.....	98
4.1.2.2 Análise Regionalizada da Concentração de MP ₁₀ no Mês da Paralisação.....	100
4.1.2.3 Análise da Concentração de MP ₁₀ em Áreas Próximas ao Metrô.....	108
4.1.3 Condições Meteorológicas: Paralisação do Metrô e Dias Similares.....	111
4.1.4 Mortalidade por Doenças Respiratórias e Cardiovasculares.....	124
4.2 Valoração dos Benefícios do Metrô para a Qualidade do Ar e a Saúde Pública.....	139
5. DISCUSSÃO.....	141
6. CONCLUSÃO.....	146
7. REFERÊNCIAS.....	147

1 INTRODUÇÃO

No início do século XXI, grandes metrópoles como São Paulo enfrentam o caos na mobilidade como um dos efeitos do aumento acentuado de população vivendo em áreas urbanas e conseqüentemente das demandas por maior infra-estrutura, transportes e energia.

No ciclo de desenvolvimento urbano, o transporte desempenha um papel importante como indutor de crescimento, mas que se tornou insustentável para a vida nas cidades.

A ausência de planejamento integrado na esfera urbana aliando o uso e a ocupação do solo aos transportes, e a priorização de investimentos em grandes obras de infra-estrutura viária em detrimento do transporte coletivo, contribuíram para um quadro favorável à motorização e ao agravamento da mobilidade urbana.

Num cenário de demandas complexas e de insuficiência de infra-estrutura de transporte, o uso do automóvel adquiriu um valor especial, não só como símbolo de status, mas como modelo de apoio às estratégias de deslocamento e como alternativa às necessidades da demanda. Os estímulos de crédito e o simples impulso de consumo de bens e status contribuíram e continuam mantendo o vigor para o uso acentuado do automóvel, apesar da relativa flexibilidade que possa representar no deslocamento das pessoas.

A frota automotiva vem crescendo muito mais do que a população como mostrou um estudo que analisou os efeitos das medidas do Programa Nacional de Controle das Emissões Veiculares (PROCONVE) na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), constatando um crescimento relativo de 60% da frota automotiva comparado ao da população, que foi de 15%, no período de 1996 a 2006.

Com o fenômeno da motorização, as cidades passaram a sofrer com o aumento progressivo dos congestionamentos e com o agravamento dos níveis de concentração de gases poluentes provocados pela desproporção entre o número

de veículos circulantes e a malha viária. As fontes móveis passaram a ter maior participação na carga de poluentes emitidos na atmosfera do que as de fonte industrial e se tornaram a principal fonte de poluição do ar nos grandes centros urbanos (CETESB, 2007).

Os veículos automotores são responsáveis pela emissão de gases poluentes que causam danos ao meio ambiente como monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NOx) e dióxido de enxofre (SO₂), e contribuem expressivamente com as emissões de material particulado (MP).

A frota que circula ainda é predominantemente composta por veículos com motores movidos a combustíveis fósseis e apresentam os efeitos da deterioração das condições mecânicas em função do uso e da idade.

Os veículos novos já apresentam tecnologia com menor potencial de poluir o meio ambiente, principalmente os fabricados a partir de 2003 com tecnologia do tipo flex fuel em que um sensor inserido no módulo de comando da injeção eletrônica, também conhecido como centralina, faz com que o veículo possa rodar com álcool, gasolina, ou qualquer mistura dos dois combustíveis, sem perda de potência ou aumento da emissão de poluentes. Por outro lado, os veículos movidos a diesel, como é o caso da frota de ônibus e caminhões, são responsáveis por mais de 30% na emissão de material particulado entre outros gases altamente poluentes e nocivos para a saúde e o meio ambiente (CETESB, 2007).

Com os altos níveis de concentração de poluentes emitidos por essa frota de veículos, foram implementadas medidas de controle tais como o PROCONVE, lei federal que definiu limites máximos de emissão para veículos leves e pesados produzidos no Brasil. A obrigatoriedade imposta à indústria automobilística em atender padrões tecnológicos rigorosos para redução da emissão de poluentes na produção de veículos permitiu a redução da poluição do ar em cerca de 30%,

conforme análise realizada pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP).

As medidas estabelecidas neste programa em conjunto com outras como fiscalização, inspeção das emissões e rodízio de veículos trouxeram resultados positivos na redução dos níveis médios de concentração de poluentes. Porém com o crescimento da frota, essas medidas tendem a apresentar elevação ou efeito temporário na redução da concentração de poluentes, eliminando os benefícios para a saúde pública (MARTINS et al., 2001).

Em São Paulo, esses efeitos começam a ser observados nos níveis de três dos cinco principais poluentes urbanos (monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos) que tiveram aumento em 2007. Desde o lançamento do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), em 1986, que não se registrava isso conforme dados preliminares da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Os níveis de ozônio, em 2007, ultrapassaram o padrão máximo estabelecido em 72 dias, comparados a 46 em 2006 - por causa, principalmente, do aumento da frota de veículos e da predominância de dias quentes e secos, que favorecem a formação do ozônio a partir de gases expelidos por veículos (ESCOBAR, 2008).

Além desses problemas que comprometem os resultados positivos das medidas de controle, o problema da poluição e da saúde tende a ser agravado com o adiamento da implementação do diesel com 50 partículas por milhão (ppm) de enxofre, o S-50, para 2012/2014 e não mais em 2009, conforme estabelecido pelo PROCONVE. A falta de definição das especificações do óleo diesel S-50 (padrão de ensaio e comercial) pela Agência Nacional do Petróleo motivou a um atraso na produção do combustível pela PETROBRAS e na produção de veículos para atender às novas especificações.

Com o descumprimento da medida, foi firmado um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) entre o Ministério Público Federal (MPF) e as montadoras representadas pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos

Automotores (ANFAVEA), PETROBRÁS, Agencia Nacional do Petróleo (ANP) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA), em setembro de 2008, estabelecendo que o diesel com 50 ppm – S-50 será disponibilizado em 2014 para todas as regiões metropolitanas e o com 500 ppm – S-500 para o restante do país. Nesse intervalo de tempo, o diesel S-50 será fornecido para São Paulo e Rio de Janeiro, a partir de janeiro de 2009, para abastecer apenas os ônibus dessas cidades.

Com o adiamento, a saúde da população de São Paulo e do Brasil ficará ainda mais comprometida, considerando que morrem de 12 a 14 pessoas por dia por causas relacionadas à poluição do ar, o que significa cerca de 5.000 mortes anuais na Região Metropolitana de São Paulo (WHO, 2005).

Esses riscos à saúde associados à inalação de gases e partículas de emissão automotiva com casos de morbidade e mortalidade relacionados aos aparelhos respiratórios, cardiovasculares e até neoplasias têm sido pesquisados e comprovados, principalmente no segmento de crianças menores de cinco anos e de idosos com sessenta e cinco anos ou mais de idade (GOUVEIA et al., 2003; MARTINS et al., 2003; MIRAGLIA, 1997; POPE et al. 2002 e SALDIVA et al., 2006)

O mecanismo de agressão à saúde se deve principalmente aos particulados, que ficam suspensos no ar na forma de poeira, neblina ou fumaça, principalmente o de diâmetro mais fino com menos de 10 microns. Esse material atinge os alvéolos pulmonares e provoca alergias, asma e bronquite crônica, e, em dias de maior concentração, provoca infarto (CETESB, 2007 e SALDIVA, 2005).

Essa associação entre material particulado e mortes em situações de incremento dos níveis de concentração tem sido pesquisada em grandes cidades. Em um desses estudos em São Paulo, verificou-se que em dias que ocorreu o incremento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de MP_{10} aumentou, em particular, o número de casos de mortalidade de idosos por doenças respiratórias (GOUVEIA et al., 2003).

Resultados de outro estudo mostraram que com o rodízio de veículos em São Paulo, entre 1996 e 1998, não foi observada diminuição nos atendimentos a idosos com infecções nas vias aéreas superiores (IVAS), mesmo com a redução dos níveis médios de monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre (SO₂) (MARTINS et al. 2001).

1.1 Caracterização da Problemática na Cidade de São Paulo

Os impactos na saúde da população em decorrência da poluição do ar tendem a piorar considerando-se o aumento progressivo da motorização na cidade de São Paulo. Em 2007, o crescimento representou um aumento de 21% em relação ao total de viagens registradas (13 milhões) em 1997, tendência já verificada em edições anteriores da Pesquisa Origem/Destino, realizada pelo Metrô (Metrô, 2007).

A cidade é responsável por 65% das viagens motorizadas de toda a Região Metropolitana, sendo a maioria realizada dentro do município (METRÔ, 2007). Na cidade de São Paulo são realizadas diariamente 23 milhões de viagens, sendo 16 milhões por modo motorizado.

Esse fenômeno se deve em parte ao aquecimento da economia e amplo acesso ao crédito para aquisição do automóvel, fazendo com que a verdadeira metrópole paulistana mantenha a maior frota de veículos do país (DETRAN, 2008).

O recorde de vendas e licenciamento atingido em março de 2008, colocou 1.572 novos veículos nas ruas, número três vezes superior à média dos últimos anos, que era de 500 novos carros por dia (DETRAN, 2008). Esse crescimento representou um aumento de 62,4%, na comparação entre o número de veículos zero km emplacados entre fevereiro e março de 2008 (ANFAVEA, 2008).

Com cerca de 6,5 milhões de veículos (DETRAN, 2008) e 11 milhões de habitantes (IBGE, 2000 e SEADE, 2008), a maior cidade brasileira apresenta índice de motorização de 1,8 habitante por veículo (CET, 2008) que se assemelha à de países desenvolvidos como Inglaterra, Alemanha e França. Neste ritmo da economia, o índice dos paulistanos poderá alcançar o dos Estados Unidos, país mais motorizado do mundo, em que há praticamente um veículo para cada 1,3 habitante (GONZALES, 2008).

Apesar das vendas recordes de automóveis, a maioria (68%) da frota que circula pelas ruas apresenta idade média superior a 6 anos, sendo 41% com mais de 10 anos (METRÔ, 2007). Do total de unidades da frota paulistana, existem cerca de 2,7 milhões que se encaixam na categoria dos que emitem mais poluentes, por conta do desgaste natural e da manutenção inadequada, e entre estes há caminhões e ônibus a diesel, ainda mais nocivos à qualidade do ar.

A frota com até 5 anos de idade, que emite menos poluentes do que um veículo fabricado há dezoito anos atrás, corresponde a apenas 32% do total (METRÔ, 2007).

A cidade é conhecida por suas vias congestionadas e pelas médias diárias recordes de congestionamento, acima de 120 km no pico da tarde, devido à desproporção entre o número de veículos circulando por uma malha viária de 17.000 km (CET, 2008; SPTRANS, 2008).

Segundo a Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, além dos automóveis circulam cerca de 200 mil veículos de carga rodoviária por dia, dos quais 70 a 80 mil não se originam ou não se destinam à Região Metropolitana, caracterizando o “tráfego de passagem”, que disputa a mesma estrutura viária dos que nela se destinam (SPTRANS, 2008). Isto porque, a mobilidade urbana no município de São Paulo engloba necessariamente a escala metropolitana e regional, por atrair movimento das cidades que formam a Região Metropolitana de São Paulo, além de convergir diversas rodovias e sistemas de transporte de carga.

Além dos intermináveis congestionamentos, o tempo de deslocamento para se ir de um ponto ao outro em São Paulo também está se tornando crítico.

Uma pesquisa da Fundação Dom Cabral, de Minas Gerais, realizada entre 2004 e 2007, mostrou que a lentidão no trânsito no período da manhã e no horário do almoço têm se prolongado, em média, 15% ao ano, o que faz com que a poluição registre ligeira tendência de aumento desde 2007, revertendo quedas progressivas que vinham sendo observadas a partir de 2002 (GONZALES, 2008).

Nesse contexto, os impactos do transporte urbano afetam não só a saúde da população em decorrência da poluição do ar, mas também os cofres públicos. Há seis anos atrás, a cidade de São Paulo perdia mais de US\$ 208 milhões ao ano com internações, afastamentos e mortes. Caso esses recursos fossem aplicados no transporte coletivo, poderiam construir mais quilômetros de metrô (METRÔ, 2007; MIRAGLIA, 2002).

O Metrô de São Paulo, que junto com os trens urbanos operados pela Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) constitui a rede de transporte sobre trilhos, responde por apenas 24% do total de viagens realizadas por transporte coletivo no Município de São Paulo (MSP) por possuir uma extensão que não cobre todas as áreas da cidade. Os serviços de trens da CPTM participam em 5% das viagens realizadas no MSP (METRÔ, 2007).

O transporte coletivo na cidade de São Paulo, responsável pelo deslocamento diário de 9 milhões de passageiros, é constituído pelo sistema de transporte sobre trilhos (Metrô e trens) e pelo sistema de transporte sobre pneus (ônibus). O transporte individual (automóveis, táxi, motos, bicicletas) responde por 7 milhões das viagens motorizadas na cidade. (METRÔ, 2007). A tabela 1 resume os principais dados sobre o transporte no município de São Paulo dentro do contexto da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Tabela 1 - Dados Gerais Transporte Metropolitano

DADOS GERAIS TRANSPORTE METROPOLITANO	RMSP		MSP	
POPULAÇÃO ¹ (milhões)	19.700		10.940	
TOTAL DE VIAGENS ² (milhares/dia)	38.235		23.605	
VIAGENS TRANSP. COLETIVO ² (milhares/dia)	13.923 ²	55%	9.047	55%
VIAGENS TRANSP. INDIVIDUAL ² (milhares/dia)	11.640	45%	7.286	45%
VIAGENS MOTORIZADAS ² (milhares/dia)	25.563	67%	16.333	69%
FROTA de VEÍCULOS ³ (milhões)	8,4		6,5	
ÍNDICE de MOTORIZAÇÃO ⁴ (hab. / veículo)	2,3		1,8	

Fonte:

1. IBGE, 2000; SEADE, projeção populacional 2008;
2. Pesquisa Origem/Destino METRÔ 2007;
3. CETESB, 2007; DETRAN, 2008;
4. CET, 2008; DETRAN, 2008;

Apesar do sistema de transporte coletivo existente ser ainda insuficiente para uma metrópole, como São Paulo, conseguiu recuperar maior participação no total de viagens realizadas diariamente, em decorrência de investimentos em sistemas de transporte de massa como Metrô e trens metropolitanos, corredores de ônibus e da implantação do bilhete único, a partir de 2006.

As viagens por transporte coletivo no município de São Paulo (MSP) passaram a responder por 55% do total, recuperando participação no total de viagens. O transporte individual, antes responsável pela maioria (52%), responde agora por 45%, revertendo a tendência de crescimento verificada anteriormente como mostra gráfico 1 (METRÔ, 2007).

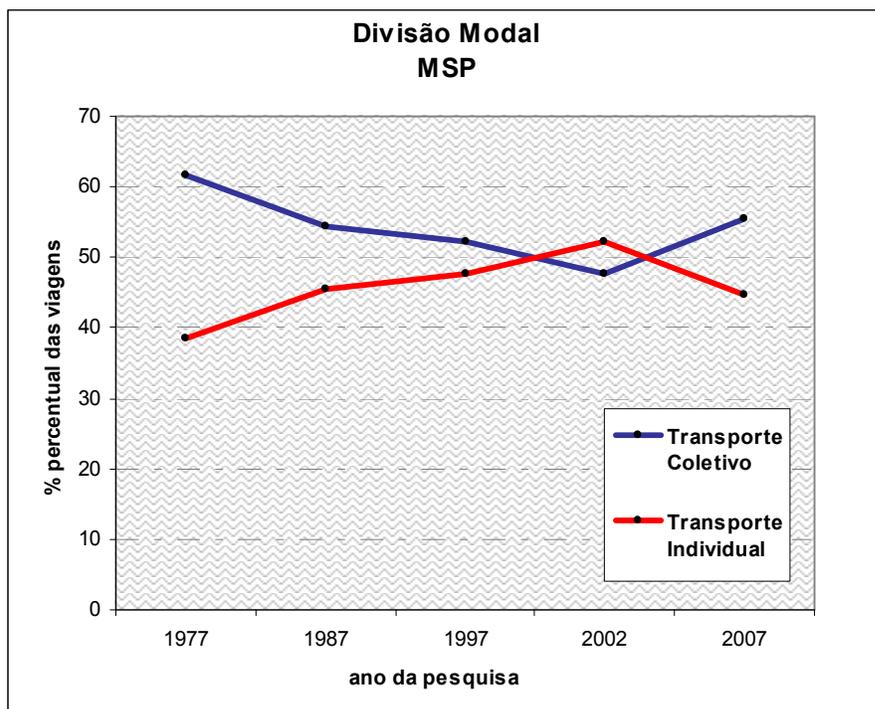


Gráfico 1 - Divisão Modal - MSP

Fonte: Metrô - Pesquisa Origem / Destino, 2007.

Finalmente, deve-se destacar que, o sistema de transportes sobre pneus, que depende da malha viária e disputa espaço com os automóveis, participa em 71% das viagens coletivas realizadas na cidade, diferente das outras metrópoles onde o ônibus é um serviço complementar ao de grande capacidade como o do metrô ou trem (METRÔ, 2007).

O transporte por ônibus municipal que está estruturado em um sistema composto por 1.331 linhas, conta com uma frota formada por ônibus e micro-ônibus de 14.843 mil veículos. Os corredores de operação segregada de ônibus totalizam uma extensão de 102,0 km (SPTRANS, 2008).

1.1.1 Justificativa

Numa dimensão de cidade como São Paulo e no contexto de caos da mobilidade urbana, torna-se importante avaliar os impactos dos transportes na qualidade do ar e seus efeitos na saúde pública. A questão da poluição do ar vem se agravando e poderá afetar ainda mais as condições da saúde, principalmente a população com menores condições socioeconômicas, e, portanto os custos sociais tenderão a aumentar com um maior desembolso de recursos públicos.

A expansão dos sistemas de transporte, como o Metrô, não tem acompanhado a necessidade da demanda. Mesmo sendo indicado como referência de transporte de qualidade, eficiência, tecnologia mais limpa e essencial para a mobilidade nas grandes cidades, o Metrô é considerado um investimento muito alto quando comparado com outras alternativas.

Assim, a proposição de estudo para avaliar a sustentabilidade ambiental de sistema de transporte como o Metrô através de indicadores de saúde (mortalidade) associados à poluição do ar é oportuna, pois, a ratificação desse estado de coisas poderá subsidiar a definição de novas linhas e justificar investimentos em sistemas com essas características tecnológicas.

A avaliação econômica de cada modal de transporte servirá para avaliar a efetividade do sistema escolhido sob o prisma ambiental e social, ampliando as análises de viabilidade que, em sua maioria, consideram apenas os aspectos relativos às soluções de engenharia, traçado, sistemas tecnológicos, requisitos operacionais e estimativas de demanda.

As abordagens ambiental, social e econômica propostas pelo estudo são pertinentes para análises de variáveis transdisciplinares, como o da saúde pública. Além disso, o estudo irá preencher uma lacuna relativa à valoração ambiental de alternativas de transporte sob a dimensão da saúde.

1.2 Objetivos do Estudo de Caso: Metrô de São Paulo

O objetivo geral do presente estudo é:

- Valorar os benefícios do Metrô de São Paulo para a saúde pública e o bem-estar social associados ao problema da poluição do ar para avaliar a sustentabilidade dos transportes sobre trilhos como alternativa modal com características tecnológicas mais limpa.

1.2.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Conhecer e analisar os níveis de partículas inaláveis (MP_{10}) e seus efeitos na saúde da população da cidade de São Paulo, tendo como premissa a ausência da operação dos serviços do Metrô;
- Analisar os benefícios do Metrô de São Paulo na dimensão da saúde pública associada aos aspectos ambientais e econômicos;
- Avaliar a sustentabilidade do Metrô sob o prisma da saúde tendo como indicador a mortalidade relacionada à poluição do ar.

1.3 Estrutura do Estudo de Caso: Metrô de São Paulo

O estudo, que tem como objeto o Metrô de São Paulo, compreende seis capítulos. No capítulo 1, depois de introduzir a dimensão do transporte urbano em uma metrópole como São Paulo que a faz detentora de indicadores ambientais e sociais significativos para estabelecer uma linha de base da qualidade do ar e da saúde pública, o estudo aprofunda esses temas no capítulo 2, em que se estabelece o referencial teórico.

Esse capítulo é subdividido em 6 sub-itens. O primeiro destaca a questão da sustentabilidade e o futuro das cidades diante do problema do consumo de recursos naturais e energia, sendo os transportes como um dos principais agentes do ciclo insustentável de desenvolvimento. O segundo sub-item apresenta as causas que relacionam a poluição do ar aos transportes, como uso e ocupação do solo, uso do automóvel e aumento da frota, idade da frota e tecnologia, consumo de energia e aspectos topográficos e meteorológicos. Neste mesmo item, são apresentadas as características do monitoramento da qualidade do ar na cidade de São Paulo, poluentes medidos e a rede de estações telemétricas, assim como os padrões que referenciam os limites aceitáveis de concentração de poluentes.

Uma vez estabelecida a relação entre transportes e poluição do ar, o estudo apresenta, no terceiro sub-item, os principais estudos epidemiológicos já realizados que confirmam a associação entre poluição do ar e morbi-mortalidade devido principalmente ao material particulado, um dos principais agentes mais nocivos à saúde humana.

No quarto sub-item que compõe o referencial teórico, é destacada a importância da valoração econômica ambiental para um estudo desse tipo e para instrumentalizar a gestão da sustentabilidade do transporte público.

O estudo de caso do Metrô de São Paulo, apresentado no quinto e sexto subitem, delinea as principais características das paralisações desse modo de transporte que constituem o cenário referência do estudo.

Depois de traçado um referencial teórico sobre o tema, o terceiro capítulo apresenta a metodologia adotada para o estudo de caso do Metrô de São Paulo.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados do estudo de caso do Metrô de São Paulo em que se estabeleceu a correlação dos níveis de concentração de material particulado (MP₁₀) com eventos de mortalidade, em dias de paralisação da operação do Metrô de São Paulo e a valoração ambiental dos benefícios.

A discussão dos resultados será o tema do quinto capítulo, buscando relacionar os benefícios com a problemática ambiental e social presente no estudo, e propõe aspectos relevantes para a continuidade das análises de sustentabilidade do transporte público.

O sexto capítulo, o último da estrutura, destaca os resultados e faz uma avaliação quanto aos objetivos do estudo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para subsidiar a análise sobre a problemática das cidades em relação aos transportes e à poluição do ar e saúde pública, objeto do estudo de caso do Metrô de São Paulo, foi realizada pesquisa bibliográfica sobre o tema, para o qual existem estudos de validade científica e referencial teórico já consolidados em importância e historicidade no cenário internacional e nacional, bem como para a área de estudo, o Município de São Paulo.

2.1 Cidades, Transportes e Sustentabilidade

Os prognósticos para o futuro da vida nas cidades revelam que em se mantendo o ritmo atual de crescimento urbano, o bem estar e a prosperidade nas sociedades contemporâneas podem ficar comprometidos uma vez que estão estreitamente relacionados com o consumo de bens e serviços, e ao uso de recursos naturais.

As demandas aumentarão uma vez que o número de megacidades, aquelas com mais de 10 milhões de habitantes, irá crescer, sobretudo nos países em desenvolvimento e as populações urbanas aumentarão 27% nos próximos 30 anos (UITP, 2005).

O transporte urbano entra nesse cenário, por ter se tornado uma das principais fontes causadoras de impacto no meio ambiente urbano, conseqüentemente no ser humano e no equilíbrio dos ecossistemas em decorrência dos problemas resultantes da metropolização e dos efeitos adversos do crescimento da motorização.

Os transportes passaram a serem considerados como estratégicos pelos riscos ambientais que representam tanto a nível local, regional como global.

No plano global, o uso de transporte motorizado ganha destaque pelos efeitos igualmente graves que causa sobre o equilíbrio da biosfera, através do aquecimento da terra ou efeito estufa, em decorrência da emissão de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis. Nos estudos sobre mudanças climáticas, o setor de transportes é apontado como responsável por cerca de 14 % das emissões de gases de efeito estufa (WRI, 2007)

Além dos impactos no clima, os poluentes emitidos pelos veículos podem também afetar a qualidade do ar em escala regional por força das condições climáticas que podem levá-los para regiões localizadas centenas de quilômetros do ponto de emissão. Ao longo dessa trajetória, a radiação solar acaba fornecendo a energia necessária para a produção de espécies químicas altamente reativas, das quais o ozônio troposférico é um dos representantes mais característicos (CETESB, 2007)

No caso do ozônio (O₃) ele tem dupla função no meio ambiente. Na estratosfera, o ozônio forma uma camada que tem a função de proteção contra os efeitos danosos da radiação ultravioleta, mas nas camadas mais baixas da atmosfera têm efeitos tóxicos por atingir diretamente os seres vivos. É um poluente considerado secundário por não ser emitido diretamente pelas fontes, e é formado na atmosfera através de reação entre os compostos orgânicos voláteis (COV's) e óxido de nitrogênio (NO_x) em presença de luz solar. (CETESB, 2007)

No plano regional, também é verificada a ocorrência da acidificação dos solos e da água provocada principalmente pela emissão de dióxido de enxofre (SO₂) e óxido de nitrogênio (NO_x) e a eutrofização quando o excesso de nutrientes na água provoca o crescimento exagerado de organismos como algas (DERISIO, 2000).

Na esfera local, os transportes provocam as emissões provenientes dos veículos com tecnologia movida a combustível fóssil, como a gasolina e o diesel, fazendo do setor e especialmente os automóveis, um dos principais agentes causadores

da poluição atmosférica.

A poluição do ar relacionada às emissões geradas pelos transportes está associada às cinco maiores causas de mortalidade registradas no mundo. As mortes relacionadas às doenças respiratórias vão continuar sendo uma das cinco, mantendo posição ocupada no ano de 2004 quando ganhou o terceiro e quarto lugar devido a doenças respiratórias do trato inferior como pneumonia, e doenças respiratórias crônicas obstrutivas – asma, bronquite. Os acidentes de trânsito vão ficar em quinto lugar (WHO, 2008).

Colocando na balança os riscos ambientais e sociais dos transportes, o desequilíbrio virá também pelos custos que representam. O tamanho das cidades e a densidade populacional irão influenciar na análise dos custos dos transportes, por que, em cidades densas e compactas a relação de custo-efetividade será melhor do que em grandes cidades de baixa densidade populacional (UITP, 2003).

Nos países desenvolvidos com uma densidade populacional média ou alta, o custo das viagens urbanas representa de 5 a 7% do Produto Interno Bruto - PIB, onde a metade das viagens urbanas se efetua através do transporte público, em bicicleta ou a pé. Nas grandes cidades, o custo alcança até 15% (UITP, 2003).

Nas cidades com densidade populacional baixa, em que o parque automobilístico aumenta conforme a renda per capita, o custo do transporte pode superar 25% do PIB, nos países em desenvolvimento (UITP, 2003).

Os impactos de uma infra-estrutura de transporte insuficiente e congestionada farão também com que diminua a produtividade e a viabilidade econômica de um país e assim aumentam-se os custos. Além do tempo perdido pelos cidadãos, os engarrafamentos afetarão ainda mais a economia e gerarão a queima de milhões de litros de combustível desnecessários.

Um estudo da Fundação Getúlio Vargas (FGV) divulgado em maio de 2008, estima que as perdas atinjam R\$ 33,3 bilhões ao ano, equivalentes a 12% do PIB da cidade. É a soma de R\$ 26,8 bilhões que se deixa de produzir com o congestionamento com outros R\$ 6,5 bilhões, resultado do aumento de gastos com combustíveis, saúde pública e transporte de cargas (GONZALES, 2008)

Esses dados revelam que os gastos em função dos congestionamentos estão aumentando e já são 6 vezes maiores do que há dez anos. Em 1998, o estudo “Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público” realizado pelo Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA), em 10 capitais brasileiras apontou que o custo era de R\$ 5 bilhões (IPEA, 1998).

Considerando que o desenvolvimento e o modo como o homem vem interagindo com a natureza têm resultado em um processo complexo de desrespeito e desequilíbrio ecológico, o transporte urbano como um dos setores da economia pode comprometer as condições e perspectivas de vida no presente e para as gerações futuras (MAY, 2003).

2.2 Transporte e a Poluição Atmosférica

No passado, o carro e toda manifestação de progresso, como a fumaça saindo das chaminés e dos escapamentos eram símbolos aceitos pela sociedade.

Mas foi a poluição decorrente do uso de fontes fósseis de energia que começou a alterar a troposfera, a camada que vai do solo até a altitude de cerca de 11 km. A combustão de combustíveis fósseis, gerada por quase todo transporte motorizado para transformar energia em movimento, produz gases e partículas que alteram as características físicas, químicas e biológicas normais da atmosfera, que é a denominação dada à camada de gases que envolvem a Terra que se estende até a altitude de mais de 80 km e que é constituída principalmente de nitrogênio (78%) e oxigênio (20%) (DERISIO, 2000).

Foi a partir do evento de atmosfera poluída que ocorreu em 1952, na cidade de Londres em virtude do uso de carvão na calefação doméstica associado ao fenômeno da inversão térmica, que a poluição do ar começou a ser considerada problema porque envolveu mais de 4 mil mortes.

Após a crise do petróleo no começo dos anos 1980, a poluição decorrente do uso crescente do automóvel e do pleno desenvolvimento das indústrias e das usinas passou a ser foco de controle do Estado, pela nocividade e agressão à saúde e ao bem estar público (CETESB, 2008).

A questão das emissões atmosféricas veiculares que até então não era considerada nas políticas públicas e nem pelas indústrias automobilísticas foi inserida na evolução tecnológica automotiva, com o emprego de mecanismos redutores das emissões.

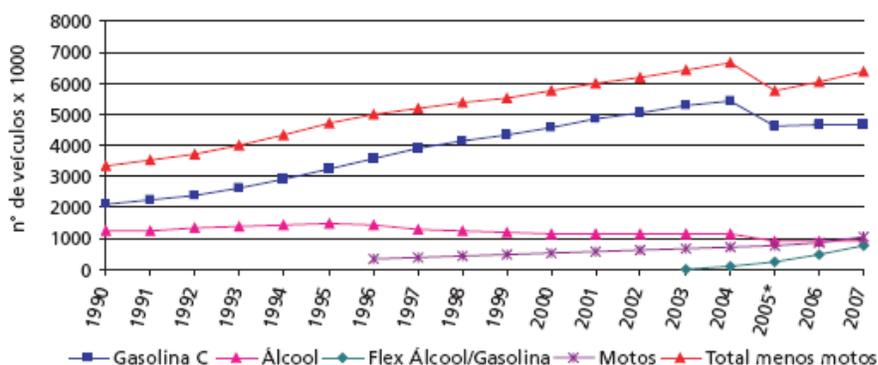
O problema da poluição do ar foi enfrentado com a adoção de recursos tecnológicos pelas indústrias. Porém, na opinião de Gorham, 2002 e Miraglia, 1997, o problema da poluição do ar deve ser analisado considerando-se cinco principais causas:

- a) o uso excessivo de automóvel e aumento da frota em áreas urbanas fortemente relacionado à ausência de planejamento integrado associando uso e ocupação do solo e transporte;
- b) idade da frota e tecnologia utilizada;
- c) consumo e disponibilidade de fontes alternativas de energia;
- d) aspectos topográficos, climáticos e meteorológicos em áreas metropolitanas;
- e) dia da semana como fator determinante nas análises de poluição do ar.

a) uso excessivo de automóvel e aumento da frota em áreas urbanas

A ausência de planejamento integrado na esfera urbana aliando o uso e a ocupação do solo aos transportes, caracterizado por parcelamentos e assentamentos em áreas distantes dos núcleos centrais das cidades, contribui para o uso excessivo de veículos e está diretamente relacionado ao crescimento da frota motorizada, e como consequência às externalidades negativas: congestionamentos e a poluição do ar.

Na cidade de São Paulo e região metropolitana, objeto desse estudo, os dados de crescimento da frota de veículos leves (automóveis) e pesados (ônibus e caminhões) colocam o setor de transportes como principal responsável pelas emissões de gases e partículas. Na figura 2, que mostra a evolução da frota de veículos leves com os diferentes tipos de combustíveis utilizados na RMSP, verifica-se uma curva ascendente totalizando, em 2007, 6,5 milhões de veículos, sendo 5,0 milhões do tipo ciclo Otto (leves), 460 mil a diesel (pesados) e 1.020 mil motos, representando cerca de 1/5 do total nacional. A redução numérica na curva evolutiva, no ano de 2005, deveu-se à atualização do banco de dados de veículos registrados no Estado de São Paulo, pela PRODESP (CETESB, 2007).



(*) A redução do número de veículos registrados se deve à atualização do banco de dados, realizada pela PRODESP.

Gráfico 2 - Evolução da frota de veículos automotores leves na RMSP.

Fonte: CETESB, 2007.

Considerando essa frota da RMSP, estima-se o volume de gases poluentes e particulados que são lançados na atmosfera, a partir de um inventário das emissões, constituído por informações obtidas de ensaios e por alguns fatores do Compilation of Emission Factors da Environmental Protection Agency – EPA. Para o ano-referência 2007, a CETESB estimou que 97% das emissões de CO, HC e NO_x teve como fonte os veículos. O volume foi de 1,5 milhão de t/ano de monóxido de carbono, 365 mil t/ano de hidrocarbonetos, 339 mil t/ano de óxidos de nitrogênio, como mostra o gráfico 3. (CETESB, 2007).

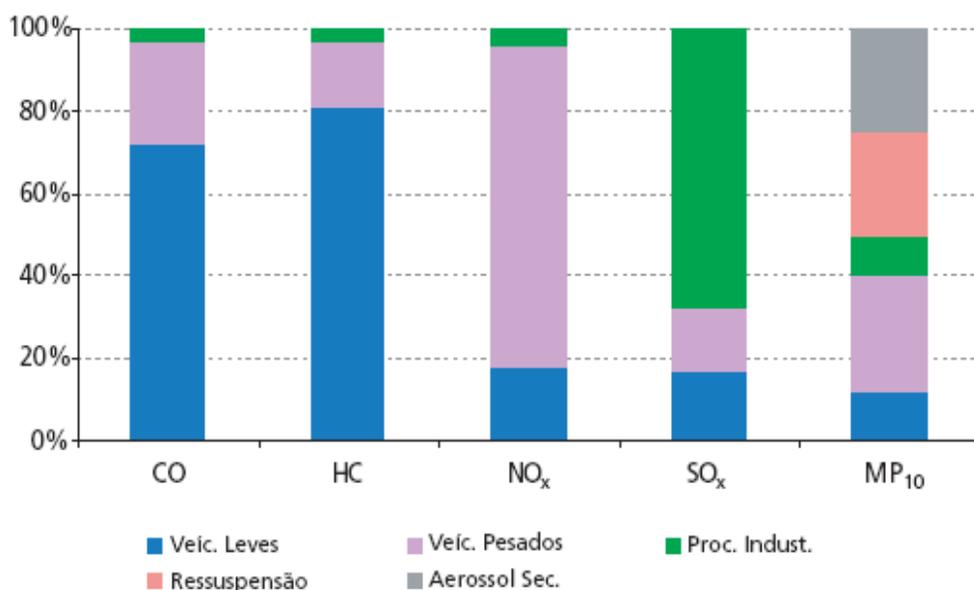


Gráfico 3 – Emissões relativas de poluentes por tipo de fonte na RMSP.

Fonte: CETESB, 2007.

No caso das partículas finas (MP₁₀), que representa maior risco à saúde humana, o inventário mostrou que foram emitidas 29,5 mil t/ano, 40% desse total pelos veículos. Anualmente na RMSP, a atmosfera recebe ainda 8,2 mil t/ano de óxidos de enxofre (SO_x), sendo que os veículos pesados movidos a diesel são responsáveis por 32% das emissões (CETESB, 2007).

b) idade da frota e tecnologia utilizada

Na RMSP, 49,5% da frota que circula tem mais de 10 anos, é bastante antiga e com o uso e manutenção inadequada emite ainda mais poluente. (CETESB,2007). Os veículos do tipo “flex-fuel” (bi-combustível), lançados em 2003, correspondem a apenas 10,1% da frota total.

Devido à gravidade da poluição causada pelos veículos automotores durante a década de 1980, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) desenvolveu as bases técnicas que culminaram com Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelecendo o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). A Lei Federal nº 8723 de 1993, definiu os limites máximos de emissão para veículos leves e pesados produzidos no Brasil, avaliados em ensaios padronizados e com combustíveis de referência.

O PROCONVE considerou a concepção tecnológica do motor como os principais elementos de controle da emissão dos poluentes, como também as características da qualidade do combustível utilizado. Baseado em experiências internacionais, estabeleceu uma série de regras à indústria automobilística: certificação de protótipos e de veículos para produção; autorização especial do órgão ambiental federal para uso de combustíveis alternativos; recolhimento e reparo dos veículos ou motores encontrados em desconformidade com a produção ou o projeto e proibição da comercialização dos modelos de veículos não homologados segundo seus critérios (CETESB, 2007).

Como medida complementar ao PROCONVE, foi criado o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similar – PROMOT, em 2002. Este programa estabeleceu limites de emissão para gases poluentes provenientes de motocicletas novas e previu exigências quanto à durabilidade de emissões, controle da qualidade da produção, critérios para a implantação de programas de inspeção e manutenção periódica e fiscalização em campo.

De acordo com a Cetesb (2007), os fabricantes de veículos vêm cumprindo as exigências legais, o que resultou na obtenção de redução média de mais de 94% na emissão de poluentes dos veículos leves novos de 2006, em relação ao início do programa em 1986. Os veículos leves foram considerados prioritários pelo PROCONVE, devido a sua grande quantidade e intensa utilização, que os caracterizaram como o maior problema a ser enfrentado.

c) consumo e disponibilidade de fontes alternativas de energia;

Outro fator que contribui para a poluição do ar está relacionado ao consumo e à indisponibilidade de fontes alternativas de energia.

Com a adição de 22% de álcool à gasolina, o Brasil tornou-se pioneiro na utilização, em larga escala, da adição de compostos oxigenados à gasolina. A adição de etanol à gasolina, utilizada principalmente por veículos leves, trouxe reduções imediatas nas emissões de monóxido de carbono (CO) e outros gases que colaboram para o efeito estufa (PETROBRAS, 2008).

A RMSP conta com 11,4% da frota atual movida a etanol hidratado e 61% movida a gasool (mistura 22% de etanol e 78% de gasolina). As motocicletas, que emitem 8 vezes mais que um automóvel, vêm sendo cada vez mais utilizadas e representam 12,1%. Os veículos movidos a diesel representam 5,4 % da frota (CETESB, 2007).

Com a crise da mobilidade e o aumento dos congestionamentos, o consumo de combustível também é maior em função da redução da velocidade veicular, como mostra o gráfico 4 (IPEA e ANTP, 1998). Comportamento similar é observado para os veículos pesados que utilizam diesel como combustível.

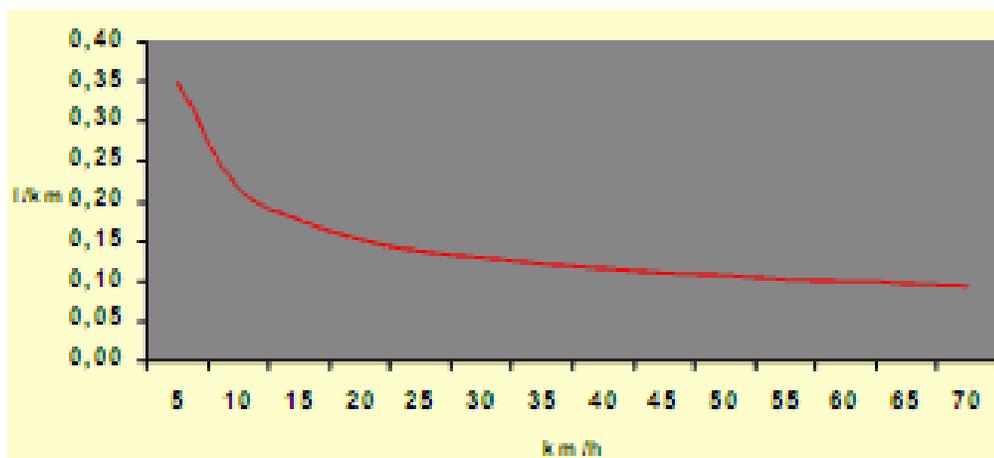


Gráfico 4 - Consumo médio de gasolina x velocidade do automóvel.

Fonte: IPEA e ANTP, 1998.

No caso do Município de São Paulo, essa relação entre consumo médio de combustível e velocidade é uma das causas da poluição do ar. O gráfico 5 mostra que a variação da velocidade dos veículos, em 2005, já apresentava níveis mais baixos, nos horários de pico.

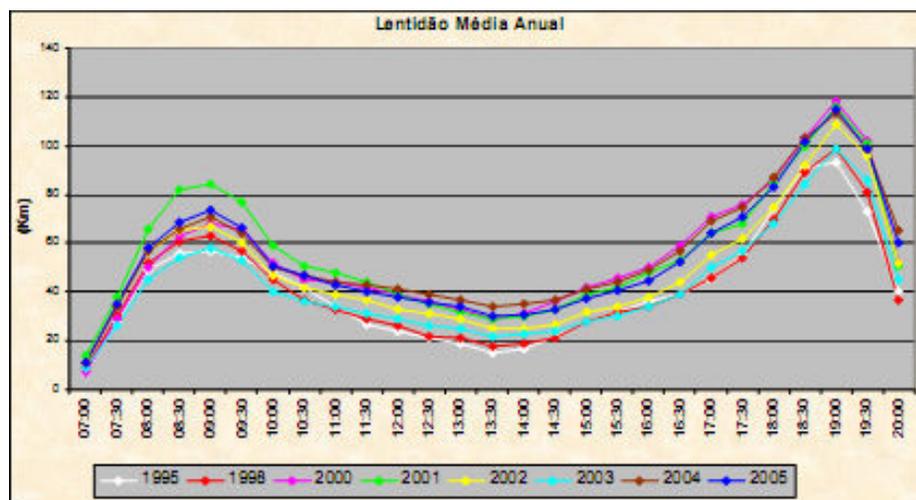


Gráfico 5 - Lentidão Média Anual de 1995 a 2005 – MSP

Fonte: CET, 2005.

Em torno das 9 horas da manhã são registrados valores médios de 80 Km de congestionamento e de 120 km, por volta das 19 horas da noite. Essas médias podem atingir picos superiores a 200 Km, devido a eventos de grande impacto no fluxo de veículos como inundações, acidentes ou outros eventos menos corriqueiros, porém associados aos deslocamentos em vias urbanas (CET, 2005).

d) aspectos topográficos e meteorológicos em áreas metropolitanas

O problema da poluição gerada em decorrência dos fatores mencionados anteriormente, como uso do automóvel, idade da frota, tecnologia e consumo de energia, pode se agravar fortemente quando as características físico-geográficas das cidades, como topografia e altitude, criam condições propícias para a concentração e dificultam a dispersão dos poluentes, no que resulta em exposição à má qualidade do ar.

As cidades do México e Santiago do Chile são exemplos que ilustram esse fator. A primeira cidade, que tem o ar mais poluído do mundo, está situada num vale a 2.300 metros do nível do mar, e é rodeada de montanhas de até 5.000 metros de altura. A alta pressão atmosférica e sua topografia de vale influenciam para a ocorrência da inversão térmica (SEGURA et al., 1997).

Santiago do Chile, que está situada a 600m do nível do mar tendo a Cordilheira dos Andes a oeste como barreira natural à dispersão do ar, tem os piores índices de contaminação atmosférica da América Latina, agravados pela posição geográfica (SEGURA and GUTBERLET, 1997).

Já a cidade de São Paulo, que não possui características topográficas como das cidades latino americanas, apresenta características climáticas e meteorológicas que influenciam o comportamento das concentrações dos poluentes na atmosfera.

Tendo em vista o advento das mudanças climáticas, a estação de inverno na cidade de São Paulo se caracteriza hoje como um período seco, ao passo de seu homólogo – verão – é predominantemente úmido. Durante o inverno, formações de alta pressão no Oceano Atlântico ao leste, dirigem-se para o norte, produzindo ventos fracos provenientes da costa. Nesse período, meses de maio a setembro, as condições de baixa velocidade dos ventos associadas ao calor, luz solar e baixa umidade prejudicam a dispersão dos poluentes, potencializando as reações fotoquímicas que resultam no fenômeno urbano denominado inversão térmica, de ocorrência típica em cotas mais baixas (abaixo de 200 m).

As baixas umidades relativas do ar, que caracteriza o tipo de massa de ar que está atuando sobre a região, podem agravar doenças e quadros clínicos, além de causar desconforto à população.

De setembro a abril, período característico da primavera e verão no Hemisfério Sul, a área é dominada por ventos úmidos de Sul, e a ocorrência de sistemas frontais resultando em precipitações e nuvens de baixa altitude. As precipitações pluviométricas, que são um indicador de instabilidade e de movimentos de ar, promovem a remoção parcial dos poluentes ao serem incorporados à água de chuva. Além disso, o solo úmido evita que haja ressuspensão das partículas para a atmosfera.

Na RMSP, a precipitação anual é de 1900 mm, com temperatura média que varia de 15° a 22°C. A temperatura na troposfera, na sua condição normal, decresce com a altitude, fato esse importante para a diluição das substâncias lançadas no ar, uma vez que essa condição favorece a ascensão da poluição (CETESB,2007).

Além dos fatores topográficos e meteorológicos, alguns estudos sobre o desenvolvimento urbano da RMSP mostram que esse processo também pode alterar as condições de dispersão de poluentes com a formação de ilhas de calor e pode provocar mudanças no clima da região, tais como a diminuição de

nevoeiros no centro da cidade e diminuição da garoa típica que ocorria na região (LOMBARDO, 1985).

e) dia da semana e movimento de veículos

Além dos fatores anteriormente destacados como determinantes para a poluição atmosférica, o dia da semana e o movimento de veículos nas ruas podem influenciar o episódio da concentração atmosférica.

O movimento de veículos é menor no início da semana, evoluindo de maneira crescente fazendo com que os dias úteis apresentem níveis maiores de concentração da terça-feira à sexta-feira, diminuindo nos fins-de-semana e feriados (MIRAGLIA, 1997).

2.2.1 Monitoramento da Qualidade do Ar

O monitoramento da qualidade do ar na RMSP é realizado pela CETESB e constitui uma rede de estações medidoras fixas e móveis, instaladas em diversos locais.

A rede manual de monitoramento mede os teores de dióxido de enxofre e fumaça na RMSP, desde 1973, além das partículas totais em suspensão.

O monitoramento realizado por estações medidoras fixas através de processo automático foi iniciado em 1981, com 22 pontos. Hoje com 30 estações fixas, processa os dados em tempo real, na forma de médias horárias. Essas médias são transmitidas para a central de telemetria e armazenadas em banco de dados.

A rede de monitoramento da poluição do ar mede os níveis de concentração de dióxido de enxofre (SO₂), partículas inaláveis (MP₁₀), ozônio (O₃), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos totais menos metano (CH₄), além de parâmetros meteorológicos como direção e velocidade

dos ventos, temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica. Em 1999, iniciou-se o monitoramento manual das partículas inaláveis finas ($MP_{2,5}$).

A localização das estações é definida tendo como base a proximidade de possíveis fontes emissoras assim como as características geográficas, climáticas e meteorológicas do local. Algumas delas tiveram alterações de locais, ou passaram por problemas nos equipamentos de medição, mas o monitoramento da CETESB é considerado o mais importante da América Latina.

Para o estudo dos impactos dos transportes na qualidade do ar na cidade de São Paulo, referenciou-se a localização das estações de monitoramento da qualidade do ar em um mapa tendo como base os corredores de ônibus e linhas de metrô, conforme mostra a Figura 1.

As estações fixas estão instaladas predominantemente no Centro Expandido de São Paulo, por ser essa região onde se concentravam as fontes industriais e hoje se encontram alguns dos principais corredores de transporte.

Os dados da CETESB são significativos para uma análise da contribuição relativa dos transportes como um todo na qualidade do ar na cidade de São Paulo, e para uma análise mais apurada dos impactos de cada modo de transporte, existem séries históricas de estações próximas a corredores de tráfego e estação de metrô, tais como Cerqueira César e Parque Dom Pedro.

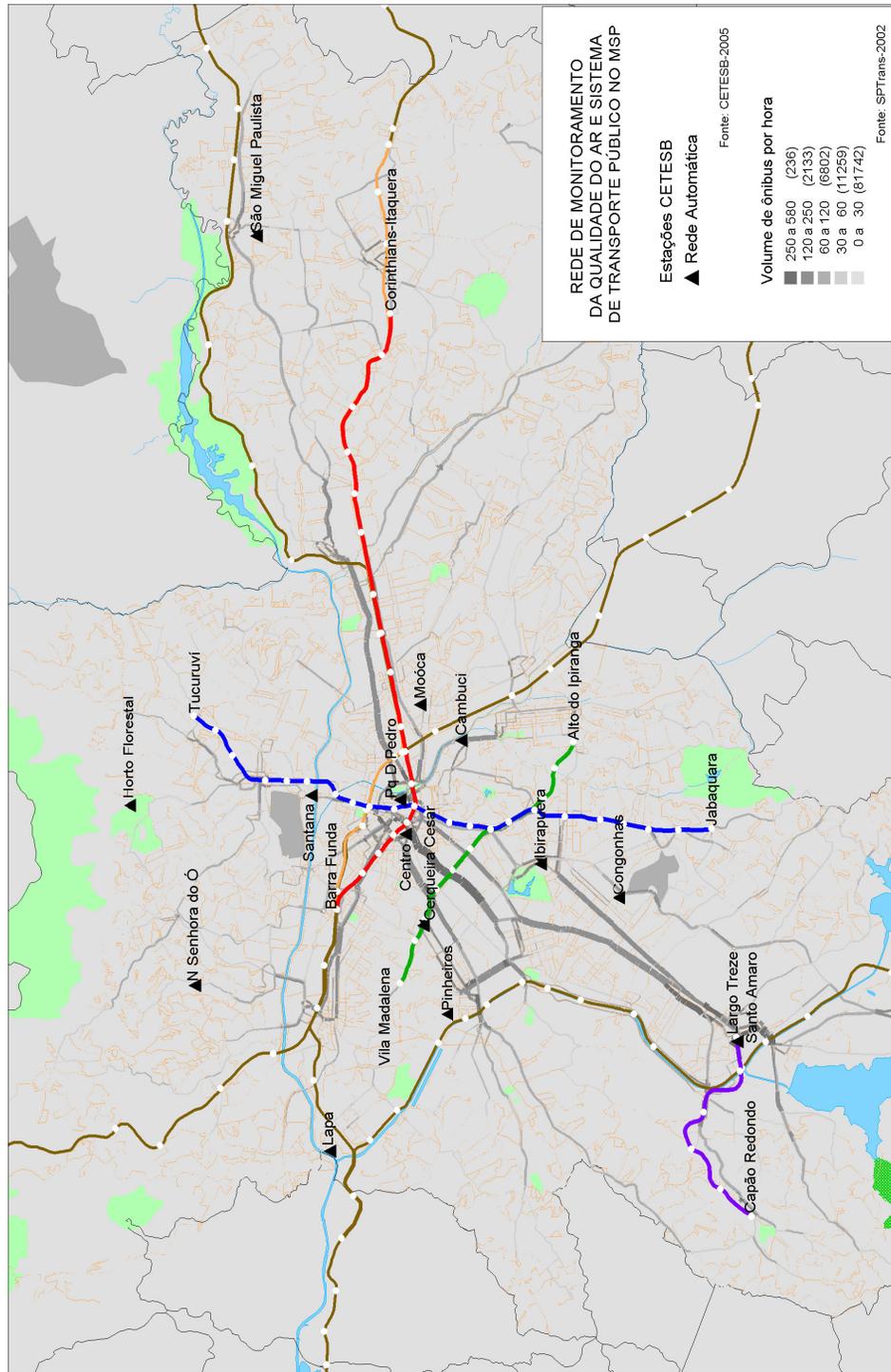


Figura 1 - Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar e Sistema de Transporte Público no MSP

Fonte: METRÔ, 2008; CETESB, 2006; SPTRANS, 2002.

2.2.2 Padrões de Qualidade do Ar

A faixa de coloração escura que cobre o céu das cidades revela cada vez mais que o ar apesar de abundante, invisível e inodoro, não suporta infinitamente os danos provocados pelo homem.

Há uma grande variedade de substâncias no ar, e os piores casos de contaminação por gases, vapores, partículas e poeira são causados pela atuação conjunta de mais de um tipo de poluente. A paisagem nas cidades está se modificando e a exposição sistemática e simultânea a esses poluentes, por sua vez, agrava as condições de vida e traz conseqüências negativas para a saúde.

A preocupação com relação ao meio ambiente e à saúde depois de episódios agudos de poluição do ar associados à mortalidade levou autoridades de controle a estabelecerem limites de concentração para a qualidade do ar.

Os padrões de qualidade do ar definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera. Os critérios utilizados para orientar episódios agudos de poluição do ar são baseados em informações científicas sobre os efeitos dos diversos poluentes na saúde humana e no meio ambiente, e são fixados em níveis que possam propiciar margem de segurança adequada.

Os padrões variam de país para país, mas seguem as determinações da Environmental Protection Agency (EPA) e da Organização Mundial da Saúde (OMS). A abordagem adotada pelos países deve considerar as circunstâncias locais de desenvolvimento e de viabilidade técnica para gerenciar a qualidade do ar, de forma que os padrões estabelecidos orientem os níveis de riscos à saúde.

Os padrões nacionais brasileiros, estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) através da Portaria Normativa n° 348 de 19/03/90, foram submetidos ao Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e transformados na Resolução CONAMA n° 03/90.

Foram estabelecidos dois padrões:

- Padrões Primários: estabelecem as concentrações de poluentes que, ultrapassados, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo;
- Padrões Secundários: são as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. No entanto, ainda que os níveis de concentração de alguns poluentes estejam dentro dos padrões como monóxido de carbono (CO) e partículas totais em suspensão (PTS), estudos epidemiológicos, associando níveis de contaminação atmosférica com efeitos nocivos à saúde, apontam a ocorrência de casos de mortalidade mesmo em níveis mínimos de concentração (CIFUENTES et al., 2001). Isto significa que os limites estabelecidos não representam mais uma margem de segurança para a saúde.

Um relatório divulgado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2005, estabelecendo pela primeira vez padrões de aplicação mundial, confirmou que há estreita relação entre o ar poluído e danos à saúde pública, razão da morte de 2 milhões de mortes prematuras por ano (WHO, 2005).

A partir desse relatório que reuniu dados científicos significativos sobre os riscos à saúde, a OMS estabeleceu, em 2007, novos limites para a poluição do ar. Os padrões da qualidade do ar, National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), estabelecidos pela agência ambiental americana Environmental Protection Agency (EPA), estão sendo revisados atualmente, e já existem novos valores

recomendados (EPA, 2007). Dos quatro poluentes estudados - material particulado, ozônio, dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio -, a OMS reduziu os limites dos três primeiros.

Em relação aos padrões internacionais, a norma brasileira estabelecida em 1990, aceita concentrações mais altas para os quatro poluentes, conforme mostra o Quadro 1 (CETESB, 2007; EPA, 2007; MIRAGLIA, 1997; WHO, 2007).

Quadro 1 - Padrões de qualidade do ar:

Poluente	Padrão Nacional		Padrão EPA*		Padrão OMS	
	Amostragem	Padrão Primário µg/m ³	Amostragem	Padrão Primário µg/m ³	Amostragem	Padrão Primário µg/m ³
Partículas Inaláveis (PM₁₀)	24h (1)	150	24h (1)	150	24h (1)	50
	MAA	50	MAA	RE	MAA	20
Partículas Inaláveis (PM_{2,5})	24h (1)		24h (1)	35	24h (1)	25
	MAA	NE	MAA	15	MAA	10
Fumaça	24h (1)	150			24h	100 -150
	MAA	60	NE	NE	MAA	40-60
SO₂	24h (1)	365	24h (1)	365	24h	20
	MAA	80	MAA	80	10 min	500
CO		40.000 (35 ppm)		40 (35 ppm)		
	1h (1)	10.000	1h	10		
	8h	(9 ppm)	8h	(9 ppm)		
O₃			1h	235 (0,12ppm)		
	1h (1)	160	8h	0,075ppm	8h	100
NO₂	1h (1)	320			MAA	40
	MAA	100	MAA	100	1h	200

Fonte: MIRAGLIA, 1997; CETESB, EPA (revisão em curso), WHO, 2007

*NAAQS – National Ambient Air Quality Standards

NE – não existe

RE – revogado por falta de dados seguros para definição.

1 – Não pode ser excedido mais de uma vez ao ano.

MAA – média aritmética anual

MGA – média geométrica anual

O limite de 150 microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de ar como média diária considerado seguro para o material particulado (MP_{10}), segundo a legislação brasileira, para um período de 24 horas, já não pode ser avaliado como um nível de concentração adequado porque, segundo os estudos que orientam a OMS é considerado fator de risco para ocorrência de 5% mais mortes.

O padrão de qualidade do ar (PQar) para material particulado (MP_{10}) de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como média diária estabelecido pela organização, recentemente, foi baseado num nível mínimo de probabilidade de risco à saúde relacionando a média diária e anual de MP, como mostra o quadro 2.

Quadro 2 - Revisão dos Padrões de Qualidade do Ar - OMS
material particulado – média diária

Média 24-horas (*)	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Base teórica para nível adotado
Objetivo intermediário-1 (IT-1)	150	75	Cerca de 5% de aumento na mortalidade comparado ao PQar
Objetivo intermediário-2 (IT-2)	100	50	Cerca de 2.5% de aumento na mortalidade comparado ao PQar
Objetivo intermediário-3 (IT-3)	75	37.5	Cerca de 1.2% de aumento na mortalidade comparado ao PQar
Padrão de qualidade do ar (PQar)	50	25	Baseado na relação entre média diária e anual de MP

Fonte: GOUVEIA, 2008 adaptado do relatório Air Quality Guidelines (WHO, 2005).

O padrão anual de material particulado vigente no Brasil, como MAA, é de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, conforme quadro 3. Segundo a OMS, representa risco de morte prematura de 6% comparando-se com o nível referência (15%) de maior risco, que é de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Hoje, no entanto, os padrões recomendados pela OMS para o mesmo parâmetro medido também como MAA apontam o limite de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como o menor valor em que se observou aumento da mortalidade, como mostra o Quadro 3 (WHO, 2005).

Quadro 3 - Revisão dos Padrões de Qualidade do Ar - OMS
material particulado – média anual

Média anual	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Base teórica para nível adotado
Objetivo intermediário-1 (IT-1)	70	35	níveis associados a mortalidade 15% mais alta que PQar
Objetivo intermediário-2 (IT-2)	50	25	risco de morte prematura diminui 6%, comparado com IT-1
Objetivo intermediário-3 (IT-3)	30	15	risco de morte prematura diminui 6%, comparado com IT-2
Padrão de qualidade do ar (PQar)	20	10	menor valor em que se observou aumento na mortalidade

Fonte: GOUVEIA, 2008 adaptado do relatório Air Quality Guidelines (WHO, 2005).

Assim, considerando que na Região Metropolitana de São Paulo a média anual de MP₁₀ nos últimos cinco anos ficou em torno de 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, considerado adequado aos padrões hoje vigentes, é de se destacar que a população que vive nas cidades brasileiras está sujeita a níveis de concentração que representam maior risco à saúde, e, portanto, as análises da qualidade do ar devem ser relativizadas quanto aos critérios de salubridade (CETESB, 2007).

2.3 Poluição Atmosférica e a Saúde Pública

Ao longo da história do desenvolvimento econômico e dos processos de ocupação e aglomeração humana, a degradação ambiental alterou a paisagem e também a saúde da população.

A revolução industrial, no final do século XVII, permitiu ao homem não só o almejado progresso, mas às custas de um ar poluído pelas atividades das indústrias e depois também por automóveis, que resultou no aumento do número de doenças e de mortes associadas, efeito da exposição sistemática a poluentes tóxicos ou devido a episódios agudos após o registro de altos níveis de concentração.

O carvão, principal fonte de energia utilizada nos processos industriais e residenciais em várias cidades da Europa e EUA foi uma das causas dos episódios agudos de elevados níveis de concentração de partículas, dióxido de enxofre e outros gases que levaram ao aumento de mortalidade no Vale de Meuse, na Bélgica, em 1930, e em Donora, na Pensilvânia (EUA), em 1948 (BRAGA et al., 2001).

Durante o inverno de Londres, em 1952, aconteceu um episódio que ficou conhecido pelo alto grau de incidência de mortalidade associada ao uso de carvão para aquecimento de interiores. Com o fenômeno da inversão térmica, impedindo a dispersão de poluentes como material particulado e enxofre, ocorreram 4 mil mortes em relação à média de óbitos em períodos semelhantes, o que se denomina como um episódio agudo em que três dias depois de um aumento da concentração aumenta a incidência de mortalidade (BRAGA et al., 2000).

A partir desses e de outros episódios, países da América do Norte e Europa estabeleceram exigências tecnológicas para o setor industrial e parâmetros para a qualidade do ar visando controlar os níveis ambientais de poluição em diversos

centros urbanos, e por um longo período, diminuíram os efeitos na saúde (GOUVEIA et al., 2003).

Um estudo norte-americano, iniciado em 1970, acompanhou e monitorou a saúde de mais de oito mil adultos durante quatorze anos em seis cidades dos Estados Unidos, e o resultado encontrado foi de que a exposição a altos níveis de concentração de partículas finas e enxofre aumentou em 26% a mortalidade por problemas respiratórios (DOCKERY et al., 1993).

Conhecido como Harvard Six Cities Study, o estudo americano subsidiou a revisão e a definição de padrões de qualidade do ar mais rigorosos estabelecidos pela Agência Ambiental Americana (EPA).

O aprimoramento de técnicas de análise estatística de séries temporais, e estudos do tipo ecológico que acompanham determinados grupos de pessoas por um período longo de tempo permitiram gerar dados confiáveis quanto à relação existente entre a mortalidade e a exposição a poluentes.

Mesmo com as evidências da toxicidade dos poluentes nesses episódios, vários estudos epidemiológicos foram realizados para investigar os efeitos da exposição prolongada à poluição do ar na saúde em cidades com altos níveis de concentração. Os resultados desses estudos demonstraram que os piores casos de contaminação são causados pela atuação conjunta de mais de um tipo de poluente, isto é, a exposição simultânea e, portanto, sinergia, do ser humano a diferentes substâncias agressivas à saúde.

No entanto, foi demonstrado que as partículas (MP₁₀ e MP_{2,5}) acarretam danos maiores ao sistema respiratório e cardiovascular que os poluentes gasosos (SO₂, NO₂, CO e O₃) (DOCKERY et al., 1994; SCHWARTZ et al., 1996; MIRAGLIA, 1997; CONCEIÇÃO et al., 2001; POPE et al., 2002; SALDIVA, 2005).

Isto porque, as partículas com diâmetros iguais ou menores que o tamanho de 10 microns são depositadas nos alvéolos mais profundos do pulmão e mesmo com a função de troca de ar, dificilmente são expelidos, provocando alergias, asma e bronquite crônica (SALDIVA, 1995). Também podem alterar o DNA com potencial cancerígeno e mutagênico (POPE et al., 2002).

Outros estudos simularam e demonstraram a existência da associação do material particulado nos casos que resultam em morbidade e mortalidade por problemas respiratórios (DOCKERY et al., 1994; SCHWARTZ et al., 1996; MIRAGLIA, 1997; CONCEIÇÃO et al., 2001; POPE et al., 2002; SALDIVA, 2005).

Os parâmetros de morbidade que têm sido documentados apresentam-se na forma de alterações clínicas que alteram as condições de saúde dos segmentos atingidos gerando perdas sociais e econômicas à população e aos governos, tais como: exacerbações de sintomas respiratórios e cardiovasculares, aumento de crises, limitação funcional, maior utilização de medicamentos, número de consultas em pronto-socorro e internações hospitalares.

Efeitos na morbidade observados por pesquisadores incluem aumentos em sintomas respiratórios em crianças (POPE et al. 1992), diminuição na função pulmonar, aumento nos episódios de doença respiratória (DOCKERY et al., 1989) ou simplesmente aumento no absenteísmo escolar (RANSOM & POPE, 1989; ROMIEU et al., 1992). O número de internações hospitalares também tem sido um indicador dos efeitos da poluição na saúde da população (DOCKERY et al., 1989; POPE et al., 1992; SCHWARTZ, 1996; GOUVEIA and FLETCHER, 2000).

Os efeitos observados principalmente na mortalidade por causas relacionadas a doenças respiratórias e também doenças cardiovasculares, revelaram que os segmentos mais vulneráveis da população são crianças abaixo de cinco anos de vida, idosos e também fetos.

No conjunto da literatura existente na área é apontada a estreita relação entre mortalidade e material particulado e parece não existir uma dose de segurança de incremento do poluente sem que o mesmo se reflita em aumento de mortes. Mesmo pequenas variações de material particulado são traduzidas por aumentos correspondentes de mortalidade.

Os efeitos do material particulado nos casos de óbitos ocorrem antes que os limites atuais de qualidade do ar sejam ultrapassados. O tempo de latência para que ocorra o aumento de mortalidade é bastante curto, não ultrapassando poucos dias (CIFUENTES, 2001).

Os mecanismos que regulam as mortes respiratórias e cardiovasculares são aparentemente distintos. A mortalidade por doenças respiratórias parece depender da indução de um estado inflamatório pulmonar, com prejuízo das defesas respiratórias contra agentes infecciosos inalados. A mortalidade por doenças cardiovasculares está mais associada a distúrbios do controle autonômico do coração ou alterações dos fatores de coagulação (BRAGA, 2007).

Nos casos de mortalidade por problemas respiratórios, a poluição do ar funciona como uma dose a mais em pessoas com predisposição genética, ou seja, a poluição não é a causa da existência de asma ou enfisema em uma pessoa. Com o comprometimento dos alvéolos nos pulmões na filtragem do ar, a pressão cardíaca aumenta com o aumento dos gases na corrente sanguínea, levando ao óbito por problemas cardiovasculares (SALDIVA, 2008).

No Brasil, alguns estudos investigatórios, realizados em sua grande maioria no Município de São Paulo, indicam que a poluição do ar em grandes cidades apresenta níveis suficientes para causar efeitos adversos na saúde, demonstrando associações estatisticamente significantes com mortalidade em idosos (SALDIVA et al, 1995; MIRAGLIA, 1997) e com mortalidade infantil (CONCEIÇÃO et al., 2001), além de hospitalizações em crianças e adultos por causas respiratórias (GOUVEIA & FLETCHER, 2000; BRAGA et al., 2001).

Estudos relacionando as medidas de controle de qualidade do ar e dados de saúde da Cidade de São Paulo demonstraram que a exposição prolongada aos níveis atuais de poluição promove alterações inflamatórias das vias aéreas em animais de experimentação e seres humanos, com prejuízo dos mecanismos de defesa dos pulmões contra microorganismos. Nos dias mais poluídos, o número de internações por doenças respiratórias cresce cerca de 30% (BRAGA e SALDIVA, 2001).

Em São Paulo, em dias com alta concentração de poluentes, a mortalidade em idosos aumenta 12%. A expectativa de vida para os paulistanos também é reduzida com a exposição sistemática à poluição do ar. A cada ano vivido, se perdem dois anos como esperança de vida. (MIRAGLIA et al., 1997).

Além disso, a poluição do ar em São Paulo induz a danos do DNA (mutações) (POPE et al., 1992) com favorecimento do surgimento de tumores pulmonares em humanos e animais, causa o nascimento de bebês com baixo peso (MEDEIROS, 2005) e afeta a proporção de nascimento de machos e fêmeas nos mamíferos (LICHTENFELS, 2007).

No Brasil, a poluição nas grandes cidades ainda não mereceu a atenção devida apesar de apresentar índices preocupantes de mortalidade, como ocorre no Município de São Paulo.

Ao longo dos últimos anos, esta preocupação vem crescendo à medida que aumentam os problemas relacionados à função respiratória e à saúde em geral daqueles que vivem em áreas urbanas.

Nas grandes cidades, especialmente nos países em desenvolvimento, em que não existem sistemas de transporte público organizados e eficientes, a questão da poluição do ar é um problema como no México e no Chile. Com o uso crescente do automóvel, as condições de vida tendem a se agravar com a exposição sistemática aos poluentes e aos seus efeitos tóxicos.

2.4 Valoração Econômica Ambiental - VEA

O meio ambiente sempre esteve presente na dimensão econômica e no desenvolvimento como fonte de matéria prima e para a vida como um todo. Os recursos naturais e serviços ambientais têm funções e valores econômicos, porém, se a utilização dos mesmos é tratada a preço “zero” (custo), ou seja, sem limites ou cuidados, o benefício pode vir acompanhado de riscos de esgotamento, ou de custos por causa dos impactos e danos ao meio ambiente e ao homem.

Quando esses custos são pagos por aqueles que não geraram a degradação ambiental, denomina-se como externalidades negativas. Mas também podem ser positivas, quando outros agentes se apropriam dos benefícios involuntariamente de uma determinada produção ou consumo.

O sistema econômico não leva em conta essas externalidades ambientais, conseqüentemente o padrão de apropriação do capital natural promove benefícios para alguns usuários de recursos naturais sem que estes compensem os custos incorridos por usuários excluídos. Os usuários destes recursos não internalizam nas suas decisões privadas estes custos externos, e os preços de mercado não captam o verdadeiro valor econômico (social) daquele uso dos recursos. (MIRAGLIA, 2005).

A economia do meio ambiente, que se alicerça na fundamentação teórica neoclássica, desenvolveu e aprofundou os conceitos e métodos para a valoração do meio ambiente, e daí derivaram importantes instrumentos de política, como impostos, taxas, multas, padrões que servem como forma de aplicar o princípio poluidor-pagador. (MIRAGLIA, 2005).

A idéia de que deva existir um preço a ser pago por aquele que usa o recurso ambiental em que esteja incluído o custo da externalidade é definida pela literatura econômica como imposto pigouviano, que representa o preço social do recurso (SEROA DA MOTTA, 1997).

O custo da degradação, associado à perda de bem-estar da população, deve incorporar o princípio de poluidor-pagador, ou *polluterpays*, em que se estabelece ao poluidor, o pagamento dos custos necessários ao combate à poluição, custos esses determinados pelo Poder Público para manter o meio ambiente em estado aceitável, e promover a sua melhoria (CANEPA, 2003).

Existe ainda o princípio usuário-pagador, ou *user-pays*, em que se estabelece aplicação de instrumentos econômicos para que o uso e aproveitamento de recursos naturais se processem em benefício da coletividade, definindo valor econômico ao bem natural (CANEPA, 2003)

No caso dos transportes urbanos, por exemplo, os usuários de automóvel que emitem gases poluentes não pagam nada para compensar a degradação da qualidade do ar e do meio ambiente, usufruído por todos os outros cidadãos. Os problemas com saúde decorrente da poluição do ar provocada por alguns são pagos indiretamente por todos à medida que há doenças e internações e até a perda de vidas.

A definição de um preço pelo uso de recursos ambientais é uma tarefa complexa porque não tem preço reconhecido no mercado. O valor econômico dos recursos ambientais é derivado de todos os seus atributos os quais podem estar ou não associados a um uso. A tarefa de valorar economicamente um recurso ambiental consiste em determinar quanto melhor ou pior estará o bem-estar das pessoas devido a mudanças na quantidade de bens e serviços ambientais, seja na apropriação por uso ou não (MIRAGLIA, 2007).

A classificação dos recursos naturais é importante porque as metodologias de valoração variam de recurso para recurso, sem uma forma única de cálculo. Os recursos naturais podem ser classificados como aqueles cuja exploração pela atividade humana leva necessariamente à redução na sua disponibilidade futura (ex: petróleo) - que são os recursos exauríveis com possibilidade de escassez futura, e são também classificados como recursos de fluxo por existir a

possibilidade de ter suas condições originais restauradas pela ação natural ou humana (ex: o ar e a água) (MIRAGLIA, 2007).

No caso dos recursos exauríveis, o valor deve refletir a possibilidade de haver variações nos estoques desses recursos ao longo do tempo e a perda de riqueza decorrente de sua não disponibilidade para as gerações futuras. O custo de uso deve estar associado à escassez crescente do recurso, como exemplo, os *royalties*, instituídos para cobrança pelo uso da água.

O ar, classificado como um recurso de fluxo, não tem o risco de ter seus estoques exauridos, no entanto, pode ocorrer degradação, contaminação ou outras formas de perda de qualidade que acabam gerando perdas na capacidade produtiva e na qualidade de vida dos indivíduos das comunidades afetadas (MIRAGLIA, 2007).

Além da complexidade da matéria que trata a economia ambiental, como as dificuldades para atingir formas consensuais de cálculo desses valores ou a heterogeneidade de situações que impede um forma única de se valorar, existem ainda os problemas éticos que envolvem, por exemplo, o cálculo do valor da vida humana (MIRAGLIA, 2007).

Neste caso, a maioria das técnicas de valoração, que não apresentam preços de mercado, têm sido associada à teoria microeconômica do bem estar, através do desenvolvimento de novos métodos de análise social de custo-benefício.

Na área da gestão, a valoração ambiental permite a sua aplicação em diversos casos, como quando se precisa estimar a viabilidade de projetos, avaliar a efetividade de soluções ambientais como os Integrated Environmental Solutions (IES), definir multas ambientais, planos de compensação ambiental e em estudos de impacto ambiental.

A valoração ambiental é também uma ferramenta de gestão importante porque avalia a viabilidade econômica de projetos sociais, podendo-se aplicá-la a um

determinado programa ou a vários, alternativos, para compará-los em termos de sua "rentabilidade social".

Para se estimar valores relativos às externalidades associadas a um projeto, a valoração é uma ferramenta que permite avaliar os impactos totais de um determinado projeto, não se restringindo apenas aos elementos que dispõem de preços de mercado.

A análise de custo-benefício ambiental de projetos contempla a estimativa dos benefícios dentro de uma perspectiva social, uma vez que internaliza os custos da degradação ou extinção dos recursos naturais. O objetivo dessa análise é mostrar a relação entre os custos totais de cada programa e os benefícios diretos e indiretos gerados. A valoração de benefícios originários de um dado investimento pode ser suficiente para demonstrar que estes mesmos benefícios, ainda que de forma subvalorizada, já estão excedendo os custos. Além disso, a valoração também identifica a forma como os custos e os benefícios estão sendo distribuídos na sociedade, ou seja, quais atores estão arcando com os custos e recebendo os benefícios.

Finalmente a VEA, orienta a prática à medida que permite identificar quais as estratégias prioritárias, cujos benefícios excedem os custos, (benefícios menos custos descontados no tempo) – benefícios líquidos.

2.5 Caracterização do Metrô de São Paulo

A análise dos benefícios do Metrô para a poluição do ar e para a saúde implica necessariamente em saber a abrangência da sua rede e as principais características da sua operação.

A primeira linha de Metrô começou a transportar pessoas na cidade de São Paulo a mais de 35 anos. A primeira linha a operar comercialmente, em 1974, ligava o

bairro de Santana, na zona norte, ao Jabaquara, zona sul. Hoje, com uma extensão de 61,3 km, o Metrô possui uma rede composta por quatro linhas, em áreas distintas da cidade.

No período de análise adotado no estudo de caso, a extensão da rede será um indicador importante na análise dos benefícios. No período histórico adotado no estudo de caso, a rede evoluiu de 28,3 km a 60,2 km, acrescentando mais 32 km à rede inicial existente em 1986, conforme mostra a tabela 2 e o gráfico 6.

Nos primeiros anos analisados, existiam duas linhas em operação: a Linha 1 - Azul, ligando o bairro de Santana a Jabaquara e a Linha 3 – Vermelha, de Barra Funda a Itaquera. A partir de 1991, o trecho de Paraíso a Consolação da Linha 2 - Verde iniciou a sua operação comercial.

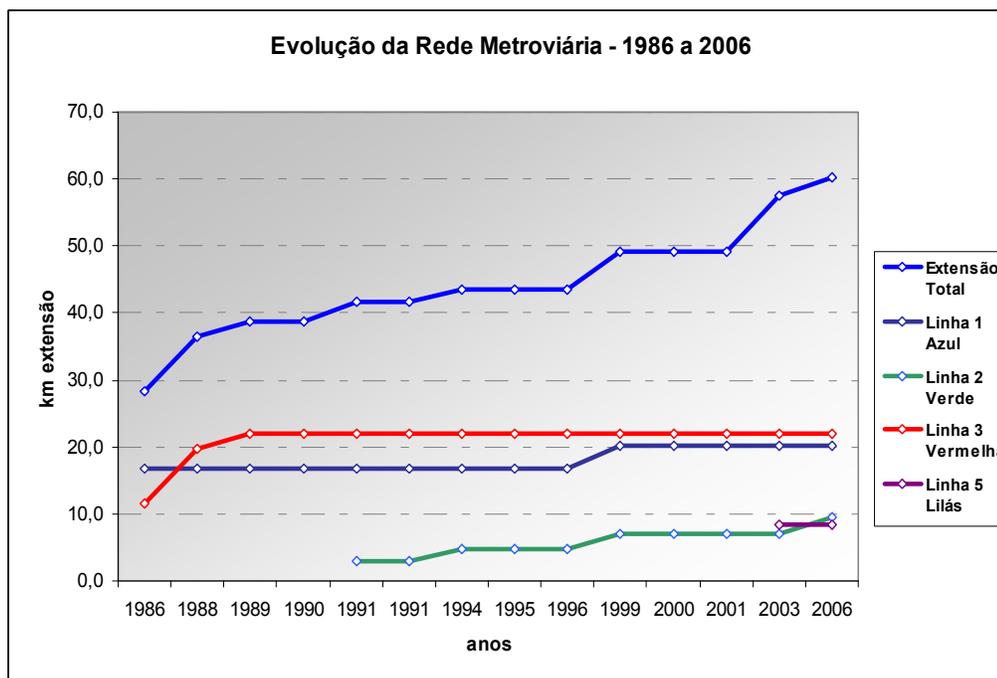


Gráfico 6 - Evolução da Rede Metroviária – 1986 a 2006

Fonte: Metrô, 2008

No final do período, a rede já contava com quatro linhas, com o início da operação da Linha 5 – Lilás, em 2003. Com a expansão das outras linhas, a rede ganhou um pouco mais de capilaridade, configurando as seguintes linhas:

- Linha 1 – Azul de Tucuruvi a Jabaquara
- Linha 2 – Verde de Vila Madalena a Alto do Ipiranga;
- Linha 3 – Vermelha de Barra Funda a Itaquera;
- Linha 5 – Lilás de Capão Redondo a Largo Treze.

Tabela 2 - Evolução da Rede Metroviária – 1986 a 2006

Ano	Extensão	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 5
Paralisações	Total	Azul (1)	Verde (2)	Vermelha (3)	Lilás (4)
1986	28,3	16,7	-	11,6	-
1988	36,4	16,7	-	19,7	-
1989	38,7	16,7	-	22	-
1990	38,7	16,7	-	22	-
1991	41,6	16,7	2,9	22	-
1991	41,6	16,7	2,9	22	-
1994	43,4	16,7	4,7	22	-
1995	43,4	16,7	4,7	22	-
1996	43,4	16,7	4,7	22	-
1999	49,2	20,2	7	22	-
2000	49,2	20,2	7	22	-
2001	49,2	20,2	7	22	-
2003	57,6	20,2	7	22	8,4
2006	60,2	20,2	9,6	22	8,4

Fonte: METRÔ, 2007.

(1) Início da operação comercial em 26/09/1975 do trecho Jabaquara - Santana

(2) Início da operação comercial em 25/01/1991 do trecho Paraíso - Consolação

(3) Início da operação comercial em 10/03/1979 do trecho Sé - Brás

(4) Início da operação comercial em 20/10/2002 do trecho Capão Redondo – Largo Treze

2.6 Paralisações da Operação do Metrô – Cenário de Referência

Para analisar os benefícios do Metrô, adotou-se a premissa de que a ausência do serviço provoca um impacto direto no volume de viagens realizadas por outros modos, em decorrência da transferência da demanda de usuários do metrô, e na condição de circulação dos veículos nas vias.

As viagens transferidas e as afetadas pelas paralisações, sobretudo ônibus e automóvel, geram um acréscimo de quilometragem rodada, de consumo de combustível e, portanto, aumento das emissões de poluentes.

O cenário de referência para análise dos benefícios do Metrô foi composto pelas paralisações da operação ocorridas no período entre 1986 e 2006, em decorrência de movimento (greve) da categoria de profissionais metroviários.

Do total (14) de paralisações que ocorreram em períodos de discussão do dissídio coletivo da categoria, seis (6) aconteceram nos meses de outubro, novembro e dezembro, estação da primavera e começo do verão, e oito (8) nos meses de maio, junho e agosto, em pleno inverno. Em função da mudança do dissídio de novembro para maio, as paralisações passaram a coincidir com os períodos em que o fenômeno da inversão térmica ocorre com mais frequência (Sindicato dos Metroviários, 2007; CETESB, 2007).

A maioria (64%) das paralisações teve duração mínima de 24 horas, ou seja, um dia, e se deram em uma terça-feira (50%), dia da semana em que se registra um fluxo intenso de veículos, e, portanto maior emissão de poluentes, como mostra a tabela 3.

Tabela 3 - Duração e mês das paralisações - Metrô/SP

Ano Paralisação	n° dias	data inicial	mês	dia da semana
1986	6	9	out	Qui
1988	4	3	nov	Qui
1989	1	5	dez	Ter
1990	1	13	nov	Ter
1991	2	22	mai	Ter
1991	1	13	nov	Qua
1994	1	11	mai	Qua
1995	3	9	mai	Ter
1996	1	14	mai	Ter
1999	1	8	dez	Qua
2000	1	2	jun	Sex
2001	2	25	jun	Qua
2003	1	17	jun	Ter
2006	1	15	ago	Ter

Fonte: Metrô, Sindicato dos Metroviários, 2007; Jornal FSP, 1986 a 1990.

Como a negociação de dissídio coletivo é divulgada à população e aos usuários antecipando a eventualidade de paralisação do sistema, é possível que haja uma situação de mobilidade atípica nos dias anteriores ao evento, influenciando nos níveis de concentração de poluentes.

3. METODOLOGIA

No caso do estudo sobre os efeitos do Metrô na poluição do ar adotou-se a análise do tipo função dose-resposta, que mede os danos resultantes de atividades impactantes, aqui consideradas como as paralisações da operação do Metrô. A mensuração da dose ou a intensidade do dano foi medida através dos níveis de concentração de material particulado MP₁₀ registrados nos dias dessas atividades, e seus efeitos (resposta) foram analisados a partir dos dados de mortalidade.

Posteriormente, foram realizadas estimativas de valoração ambiental através do método de Valor de Vida Estatística (VVE) (DILLINGHAM, 1979 in MIRAGLIA et al. 2005).

Partindo da premissa de que a ausência do Metrô no sistema de transporte urbano traz efeitos ambientais e sociais para a cidade de São Paulo e para a população na dimensão da poluição do ar e da saúde pública foram adotadas as seguintes variáveis de análise nesse estudo, apresentadas no quadro 4:

Quadro 4 - Principais variáveis de análise

Análise	Variável	Indicador	Fonte
Cenário Referência	Data da paralisação	dia/mês/ano	Sindicato dos Metroviários, Metrô e Jornal FSP
	Dia da semana	segunda-feira a domingo	calendário
Cenário de controle	Dia similar ao da paralisação	dia da semana mês/ano temperatura umidade relativa velocidade dos ventos	calendário CETESB
Poluição do Ar	Concentração de MP₁₀	Média diária	CETESB
Condições Meteorológicas	Temperatura	graus celsius	CETESB
	Umidade relativa	percentual %	CETESB
	Velocidade dos Ventos	metros por segundo (m /s)	CETESB
Saúde Pública	Mortalidade por causas respiratórias e cardiovasculares	Número de óbitos de idosos (60 a 64, 65 e mais anos)	PROAIM, PMSP
Cálculo dos Benefícios	Valor da Vida Estatística	US\$ 550.000	Dillingham, 1979

3.1 Coleta e Tratamento dos Dados

3.1.1 Contexto do setor de transportes

A caracterização do transporte urbano no Município de São Paulo e na Região Metropolitana foi baseada em dados obtidos nas Pesquisas Origem/Destino do Metrô de São Paulo, dados do Departamento de Trânsito (DETRAN) para frota de veículos, e de outras fontes como São Paulo Transportes (SPTrans) para dados relativos ao transporte por ônibus municipal e CET, para dados relativos ao trânsito.

3.1.2 Paralisações do Metrô

Para o período de análise deste estudo foram considerados todos os eventos em que ocorreram paralisações do Metrô, de 1986 a 2006, com duração de mais de 24 horas, exceto a paralisação de 13/11/1991 que durou 12 horas. Esta última foi considerada representativa para o estudo, dado que sua duração foi suficiente para alterar as estratégias de deslocamento e o cenário de análise da concentração de MP₁₀.

Foi realizado levantamento dos dias de paralisações através de pesquisa documental junto à entidade sindical (Sindicato dos Metroviários de São Paulo), arquivos de jornais (Folha de São Paulo) e dados da própria empresa de transporte (Metrô).

3.1.3 Dados da Poluição do Ar

Para análise dos benefícios ambientais do Metrô, foram levantados dados sobre a poluição do ar em termos de concentração de material particulado (MP₁₀), por apresentar efeitos nocivos à saúde humana, como comprovado em estudos epidemiológicos, assim como em avaliações experimentais.

Através de pesquisa documental, foram levantados dados secundários obtidos pelo sistema de monitoramento da qualidade do ar realizado pela CETESB coletados em 14 das 17 estações automáticas, hoje existentes na rede que monitoram MP_{10} . As estações consideradas neste estudo localizam-se nos seguintes bairros do Município de São Paulo: Cambuci, Centro, Cerqueira César, Congonhas, Ibirapuera, Lapa, Moóca, Nossa Senhora do Ó, Parque Dom Pedro, Penha, Pinheiros, Santana, Santo Amaro, São Miguel Paulista. As estações Horto Florestal, IPEN-USP e Itaquera, não foram consideradas nesse estudo por não apresentarem dados para material particulado prejudicando a sua representatividade (Horto) e por terem sido instaladas recentemente pela CETESB (Horto, 2004; IPEN e Itaquera em 2007).

O total de estações pesquisadas variou ao longo do período de análise acompanhando a composição da rede de monitoramento, conforme mostrado na tabela 4. Algumas estações apresentaram irregularidade na série histórica, por problemas inerentes ao monitoramento da CETESB. Pode-se afirmar que os dados coletados têm uma margem segura de representatividade, exceto para o ano de 1989, que apresentou problemas operacionais.

O monitoramento de MP_{10} é realizado diariamente, durante 24 horas, e os dados são processados e registrados a cada hora do dia por estação medidora.

Após levantamento dos dados horários nos relatórios anuais da qualidade do ar disponíveis nos arquivos documentais da CETESB, eles foram digitalizados e receberam tratamento estatístico simples, efetuados através de planilhas de cálculo do aplicativo Excel, constante do pacote produzido por Microsoft Office.

Os dados horários de concentração de MP_{10} que apresentaram índice menor a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foram descartados para efeito do cálculo das médias diárias uma vez que caracterizavam problemas operacionais da estação medidora telemétrica.

Os dados horários foram transformados em médias diárias de concentração de material particulado (MP₁₀) para cada uma das 14 estações medidoras e depois transformadas em média da cidade, para cada dia analisado.

Para este estudo, então, foram adotadas as médias diárias de material particulado (MP₁₀) dos dias das paralisações, e dias ex-ante e ex-post ao evento por estação medidora e para a cidade de São Paulo.

De 1986 a 2006, adotou-se o critério de analisar os níveis de concentração de três a quatro dias antes e depois ao evento da paralisação.

Os períodos que apresentaram uma diferença significativa desses níveis em relação ao dia similar como ocorreu em 2003 e 2006, ampliou-se esse critério para um total de 30 dias incluindo os dias da paralisação de forma a caracterizar a influência do evento na concentração de MP₁₀.

Tabela 4 - Representatividade dos Dados das Estações Automáticas da CETESB – 1986 a 2006

Estação	1986	1988	1989	1990	1991	1991	1991	1991	1994	1995	1996	1999	2000	2001	2003	2006	Total
CAMBUCI	X	X		X	X	X					X	X	X	X	X	X	11
CENTRO	X	X	X	X	X						X	X	X	X	X		10
CERQUEIRA CÉSAR	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	14
CONGONHAS	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	12
IBIRAPUERA	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
LAPA		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			11
MOÓCA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					10
N. SRA. DO Ó		X			X	X				X	X	X	X		X	X	9
PQUE D. PEDRO					X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	9
PENHA		X		X	X	X		X	X	X	X	X	X				9
PINHEIROS												X	X	X	X	X	5
SANTANA		X									X	X	X			X	6
STO AMARO	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	12
SÃO MIGUEL PAULISTA				X	X					X		X	X	X	X		7
TOTAL	7	11	4	10	11	11	11	8	10	10	10	14	13	10	10	9	

Fonte: CETESB, 2007.

3.1.4 Dados das Condições Meteorológicas

Para identificar possíveis influências das condições meteorológicas no nível de poluição do ar foram levantados os dados sobre temperatura, umidade e velocidade dos ventos de todos os dias das paralisações e dos dias similares em dia da semana, mês e ano, para cada uma das estações medidoras.

Os dados meteorológicos sobre temperatura, umidade, velocidade dos ventos estão disponíveis por estação medidora, e são processados hora a hora, durante 24 horas. Depois de levantados e digitalizados, os dados horários foram transformados em médias diárias para cada estação e depois em média diárias da cidade.

3.1.5 Dados de Mortalidade

Como indicador de efeito da poluição do ar na saúde foi utilizada a mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares em idosos com idade entre 60 a 64 anos, e 65 e mais anos. As informações sobre mortalidade em São Paulo foram obtidas na Secretaria Municipal da Saúde, que através do Programa de Aprimoramento das Informações de Mortalidade (PROAIM) da Prefeitura de São Paulo, mantém o registro das mortes ocorridas desde 1991.

Para analisar os períodos de 2003 e 2006, foram levantados os dados de mortalidade do mês da paralisação.

3.2 Cálculo dos Benefícios Ambientais

O cálculo estimado dos benefícios ambientais do Metrô em relação à qualidade do ar considerou a média diária de material particulado MP₁₀ do dia da paralisação em relação à média de MP₁₀ do dia similar, registrados em 2003 e 2006.

3.3 Cálculo dos Benefícios Sociais

O cálculo dos custos da saúde decorrentes das paralisações do Metrô foi efetuado com base em valor indicativo da estimativa de vida utilizado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e Banco Mundial, disponível e acessível sem ônus monetário.

As mortes excedentes à média diária do dia da paralisação, ocorridas no período de 72 horas, foram transformadas em valor monetário, aplicando-se o valor de US\$ 550.000 mil por vida humana (estimativa adotada pelo Banco Mundial), considerando-se os custos anuais.

4 RESULTADOS

4.1 Impactos Socioambientais das Paralisações do Metrô

Num cenário sem a operação do Metrô, é esperado um aumento do fluxo de veículos circulando nas vias afetando diretamente as viagens dos que habitualmente utilizam o serviço, que passam a utilizar outro modo (ônibus ou automóvel), e também daqueles que não utilizam. Há um aumento da quilometragem rodada por modo motorizado, aumento do consumo de combustível fóssil que pode variar em função da diminuição da velocidade gerada com o congestionamento (METRÔ, 2007).

Dias antes do evento, pode haver uma alteração na dinâmica das viagens ocorrendo o que aqui se denomina de “efeito antecipado” da paralisação, uma vez que a população é alertada pela mídia e pela entidade sindical, representante dos metroviários, de que poderá haver a paralisação do serviço. A emissão de gases e partículas poluentes, gerada com o aumento do fluxo de veículos sob efeito antecipado e sob a influência da paralisação, pode alterar o quadro de poluição do ar da cidade.

Assim, a curva evolutiva dos níveis de concentração de material particulado esperada para estudo desse tipo é a que apresenta um aumento gradual nos dias ex-ante, como efeito da divulgação antecipada e da modificação da dinâmica do usuário, e atinge um nível mais elevado, no dia da paralisação. Nos dias subseqüentes, pode haver uma queda gradual dependendo das condições meteorológicas predominantes no período.

Para efeito de comparação dos resultados do estudo com outros fatores de análise, subdividiu-se a série histórica adotada em quatro períodos, de acordo com as fases do Programa de Controle da Qualidade do Ar para Emissões Veiculares (PROCONVE) e com as características de cada uma dessas mesmas fases.

Os períodos de análise adotados são:

1º 1986 a 1991: período que corresponde à primeira fase do PROCONVE, em que se estabeleceram parâmetros para a eliminação de poluentes gerados pelo processo de combustão de combustíveis fósseis provenientes de veículos leves, e início do aprimoramento tecnológico da produção dos veículos;

2º 1994 a 1996: equivale à segunda fase do programa em que a indústria automobilística introduziu o sistema de injeção eletrônica e conversores catalíticos nos veículos novos;

3º 1999 a 2001: terceira fase corresponde ao período de aprimoramento das melhorias tecnológicas da fase 2 do programa com a inclusão de sensor de oxigênio;

4º 2003 a 2006: fase ainda em vigência e que visa à redução de material particulado (MP₁₀), óxido de nitrogênio (NO_x) e hidrocarboneto (HC).

4.1.1 Impacto na Concentração Atmosférica de MP₁₀

4.1.1.1: “Efeito Antecipado” e Concentração Menor: Paralisações 1986 a 1991

Nesse primeiro período de análise, que corresponde à Fase 1 do PROCONVE, a rede de transporte metroviário era composta inicialmente por duas linhas, Linha 1 - Azul e Linha 3 - Vermelha, e a partir de 1991, passou a contar com a operação da Linha 2 – Verde. A extensão evoluiu de 28,3 para 41,6 km em razão de uma expansão expressiva de 13 quilômetros, representando um crescimento de 3 km/ano.

Nesse período ocorreram as paralisações mais longas com duração de até seis (6) dias, conforme mostra a tabela 5.

Tabela 5 - Paralisações Metrô – 1986 a 1991

Ano Paralisação	n° dias	data inicial	mês	dia da semana
1986	6	9	out	qui
1988	4	3	nov	qui
1989	1	5	dez	ter
1990	1	13	nov	ter
1991	2	22	mai	ter
1991	1	13	nov	qua

Fonte: METRÔ, Sindicato dos Metroviários e FSP, 2007.

Os eventos, em sua maioria ocorreram nos meses de outubro, novembro e dezembro, no período mais úmido e mais favorável à dispersão de poluentes, exceto a paralisação de 22 de maio de 1991, época do inverno.

Nessa fase inicial do PROCONVE, as médias diárias de particulado registradas pelo monitoramento da CETESB atingiram níveis bastante elevados, como em 1986 e 1991. No entanto, a concentração de MP₁₀ nos dias das paralisações se

mostrou mais baixa que nos dias ex-ante e ex-post, caracterizando uma curva invertida como mostram as tabelas 6, 7, 8 e 9 e gráficos 7, 8, 9 e 10.

Entre as causas prováveis para justificar tal fato, destaca-se a falta de infraestrutura de transporte para suportar a ausência do serviço do Metrô, e a alteração da condição de mobilidade urbana provocando um quadro de imobilidade ou diminuição do número de viagens na cidade.

No período ex-ante e ex-post da paralisação mais longa de toda a série analisada, com duração de seis dias, foram registrados picos superiores a $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, conforme mostra a tabela 6 e gráfico 7.

Tabela 6 - Evolução da média diária de MP₁₀: Paralisação 9 a 14 out 1986

ex-ante/ex-post	6/10	7/10	8/10	9/10	10/10	11/10	12/10	13/10	14/10	15/10	16/10	17/10
dia semana	seg	ter	qua	qui	Sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex
média diária	153,87	162,42	75,92	97,59	66,53	39,17	41,45	59,00	66,86	73,14	111,89	164,76

Fonte: CETESB, 1986.

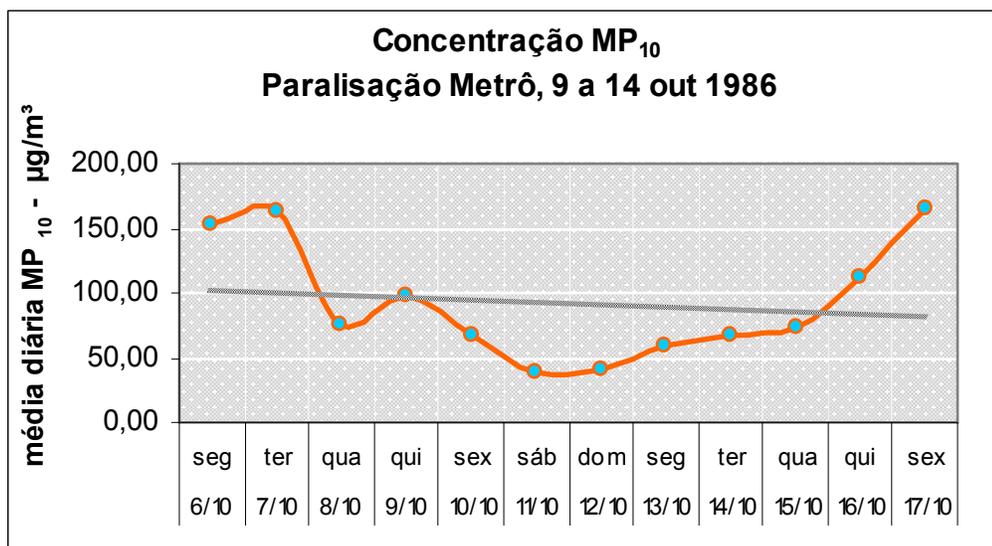


Gráfico 7 - Evolução da média diária de MP₁₀ - 1986

Fonte: CETESB, 1986.

Em 1988, a curva também é invertida, ou seja, no dia da paralisação os níveis de particulado são mais baixos. No entanto, os níveis de material particulado aumentam nos dias posteriores, conforme mostra tabela 7 e gráfico 8.

Tabela 7 - Evolução da média diária de MP₁₀ - Paralisação 3 a 6 nov 1988

ex-ante/ex-post	31/10	1/11	2/11	3/11	4/11	5/11	6/11	7/11	8/11	9/11
dia semana	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua
média diária	37,44	46,00	51,26	53,71	49,44	37,36	35,59	66,09	72,83	91,25

Fonte: CETESB, 1988.

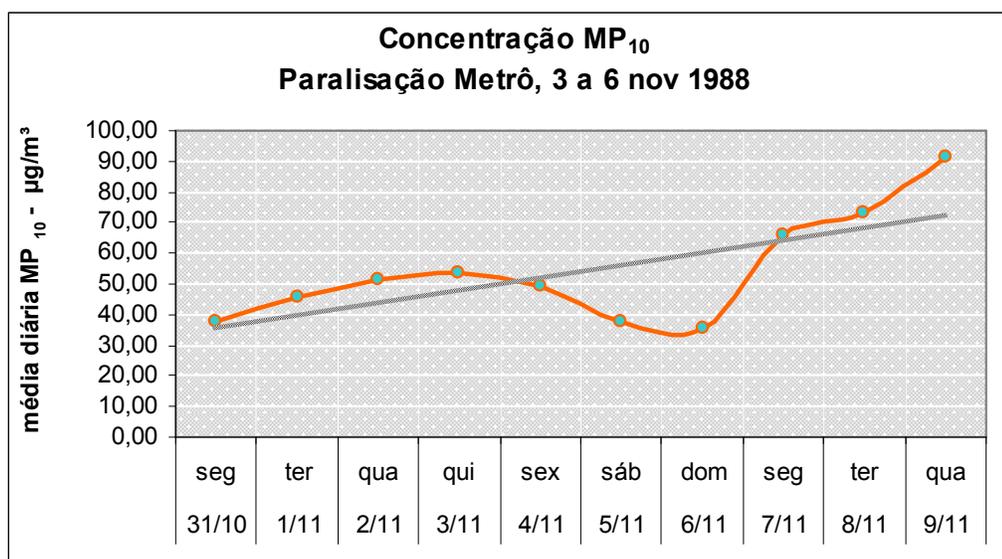


Gráfico 8 - Evolução dos níveis de concentração de MP₁₀ – 1988

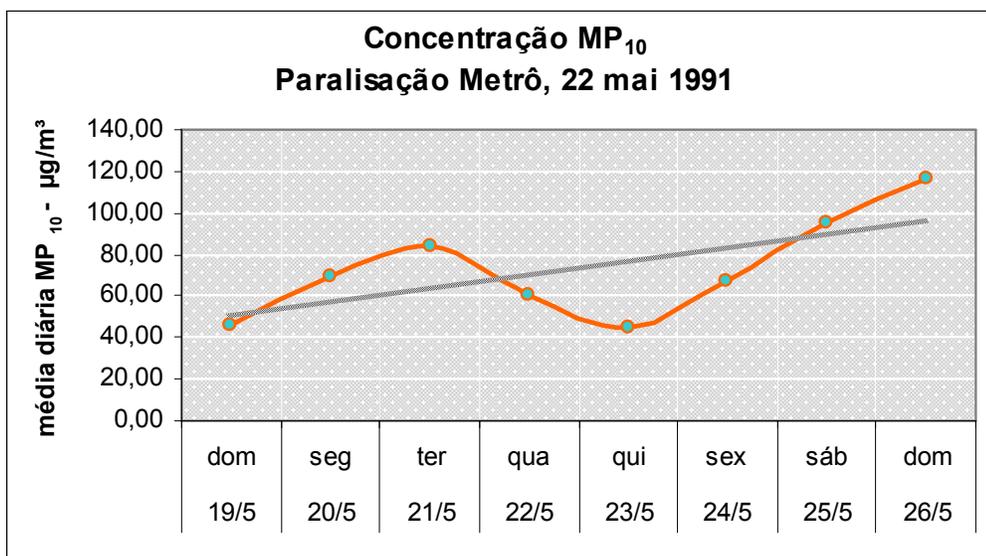
Fonte: CETESB, 1988.

Em maio de 1991, o nível de particulado foi superior a 110 µg/m³ nos dias posteriores à paralisação de dois dias, como apresentado na tabela 8 e gráfico 9. Porém a curva de concentração se manteve invertida, mesmo sendo o período do inverno.

Tabela 8 - Evolução da média diária de MP₁₀ - Paralisação 22 mai 1991

ex-ante/ex-post	19/5	20/5	21/5	22/5	23/5	24/5	25/5	26/5
dia semana	dom	seg	ter	Qua	qui	sex	sáb	dom
média diária	45,99	69,62	84,32	60,87	44,41	67,59	95,73	116,34

Fonte: CETESB, 1991.

**Gráfico 9 - Evolução dos níveis de concentração de MP₁₀ – mai 1991**

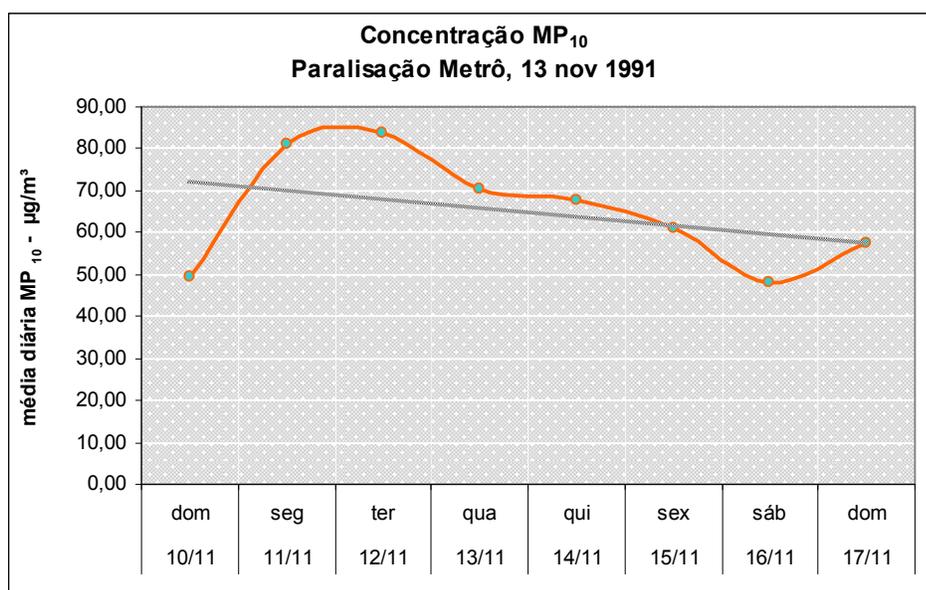
Fonte: CETESB, 1991.

Em novembro do mesmo ano, pode ter ocorrido o “efeito antecipado” da paralisação em decorrência do aumento acentuado de MP₁₀, nos dias anteriores, que depois foram reduzindo gradualmente a partir da paralisação, como apresentado na tabela 9 e gráfico 10.

Tabela 9 - Evolução da média diária de MP₁₀ - Paralisação 13 nov 1991

ex-ante/ex-post	10/11	11/11	12/11	13/11	14/11	15/11	16/11	17/11
dia semana	dom	seg	ter	Qua	qui	sex	sáb	dom
média diária	49,60	81,14	83,65	70,23	67,78	60,99	48,13	57,48

Fonte: CETESB, 1991.

**Gráfico 10 - Evolução dos níveis de concentração de MP₁₀ – nov 1991**

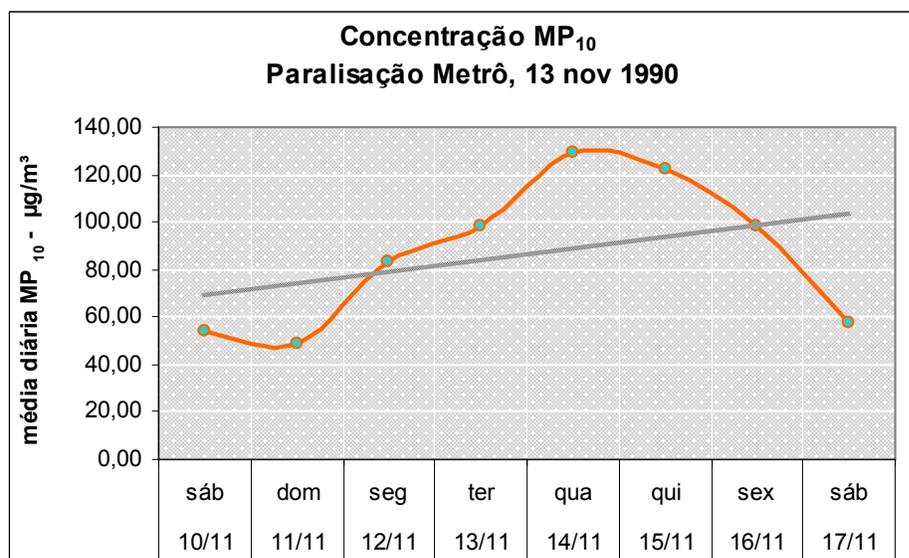
Fonte: CETESB, 1991.

Ao contrário dos episódios anteriores, em que a concentração de MP₁₀ era menor no dia da paralisação em 1990, se mostrou mais elevada na paralisação no dia do evento, possivelmente sob influência do “efeito antecipado”, em que se verificou um aumento acentuado um dia antes do evento, conforme mostra a tabela 10 e gráfico 11. Foram também registradas médias diárias elevadas nos dias posteriores, acima de 120 µg/m³.

Tabela 10 - Evolução da média diária de MP₁₀ – Paralisação 13 nov 1990

ex-ante/ex-post	10/11	11/11	12/11	13/11	14/11	15/11	16/11	17/11
dia semana	sáb	dom	seg	Ter	qua	qui	sex	sáb
média diária	53,99	48,91	83,22	98,13	129,53	122,45	98,30	57,55

Fonte: CETESB, 1990.

**Gráfico 11 - Evolução dos níveis de concentração de MP₁₀ – 1990**

Fonte: CETESB, 1990.

Já a paralisação no ano de 1989, incluída no estudo, apresentou problemas de representatividade por falhas no sistema de monitoramento da CETESB relativa aos dias ex-ante. No entanto, é possível verificar que no dia 5/12, a concentração é menor do que nos dias posteriores, como mostra a tabela 11 e gráfico 12.

Tabela 11 - Evolução da média diária de MP₁₀ – Paralisação 5 dez 1989

ex-ante*/ex-post	5/12	6/12	7/12	8/12	9/12
dia semana	ter	qua	Qui	sex	sáb
média diária	55,38	57,90	65,88	72,29	63,02

* dados anteriores não disponíveis

Fonte: CETESB, 1989.

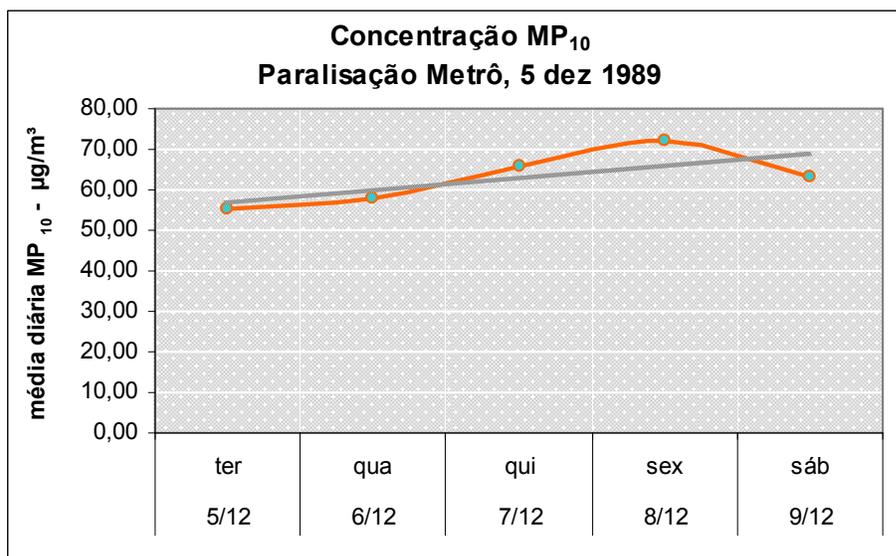


Gráfico 12 - Evolução dos níveis de concentração de MP₁₀ – 1989

* dados ex-ante não disponíveis

Fonte: CETESB, 1989.

4.1.1.2 Influência do “Efeito Antecipado” na Concentração: Paralisações de 1994 a 1996

No segundo período, correspondente à Fase 2 do PROCONVE, a rede de metrô possuía 43,4 km, em decorrência da expansão de 1,8 km na Linha 2 – Verde.

No período, as paralisações do Metrô tiveram duração de um (1) e três (3) dias, sendo todas no mês de maio, como mostra a tabela 12.

Tabela 12 - Paralisações Metrô – 1994 a 1996.

Ano Paralisação	nº dias	data inicial	mês	dia da semana
1994	1	11	mai	qua
1995	3	9	mai	ter
1996	1	14	mai	ter

Fonte: Metrô, Sindicato dos Metroviários e FSP

Nestes eventos, há indicação da influência do “efeito antecipado” nas médias diárias de material particulado nos dias anteriores que podem ter colaborado no aumento dos níveis no dia da paralisação. Nos três eventos analisados, se verifica uma tendência de queda nos dias posteriores.

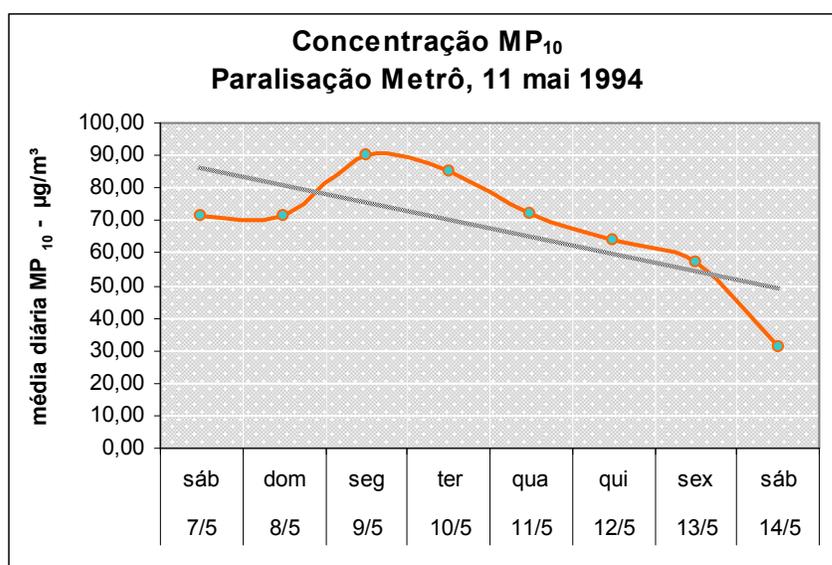
Assim, a curva de concentração de particulado se altera quando comparado com o primeiro período analisado (1986 a 1991).

No primeiro evento, em 1994, a elevação é acentuada dois dias antes da paralisação, que evolui para uma diminuição acentuada a partir do dia da paralisação, como mostra a tabela 13 e gráfico 13.

Tabela 13 - Evolução da média diária de MP₁₀ - Paralisação 11 mai 1994

ex-ante/ex-post	7/5	8/5	9/5	10/5	11/5	12/5	13/5	14/5
dia semana	sáb	dom	seg	Ter	qua	qui	sex	sáb
média diária	71,20	71,25	89,78	85,08	72,21	63,95	56,90	30,77

Fonte: CETESB, 1994.

**Gráfico 13 - Evolução dos níveis de concentração de MP₁₀ – 1994**

Fonte: CETESB, 1994.

Como apontado antes, o “efeito antecipado” pode ter influenciado o aumento dos níveis de particulado nos dias anteriores ao da paralisação nos eventos ocorridos em 1995 e 1996, conforme mostram as tabelas 14 e 15 e gráficos 14 e 15. A tendência verificada nos dias posteriores é de diminuição.

Embora dentro do padrão máximo de material particulado, o pico de concentração verificado é elevado ($136,01\mu\text{g}/\text{m}^3$), em 1995, assim como em 1996 ($115,50\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Em 1995, a curva evolutiva é prejudicada pela ausência do dado no dia 7 de maio, dois antes da paralisação, em decorrência de problemas no monitoramento da CETESB.

Tabela 14 - Evolução da média diária de MP₁₀ – Paralisação 9 a 11 mai 1995

ex-ante/ex-post	5/5	6/5	7/5	8/5	9/5	10/5	11/5	12/5	13/5	14/5
dia semana	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom
média diária	136,01	66,75	ND	53,47	88,10	66,67	62,67	56,20	58,15	73,17

* dados não disponíveis

Fonte: CETESB, 1995.

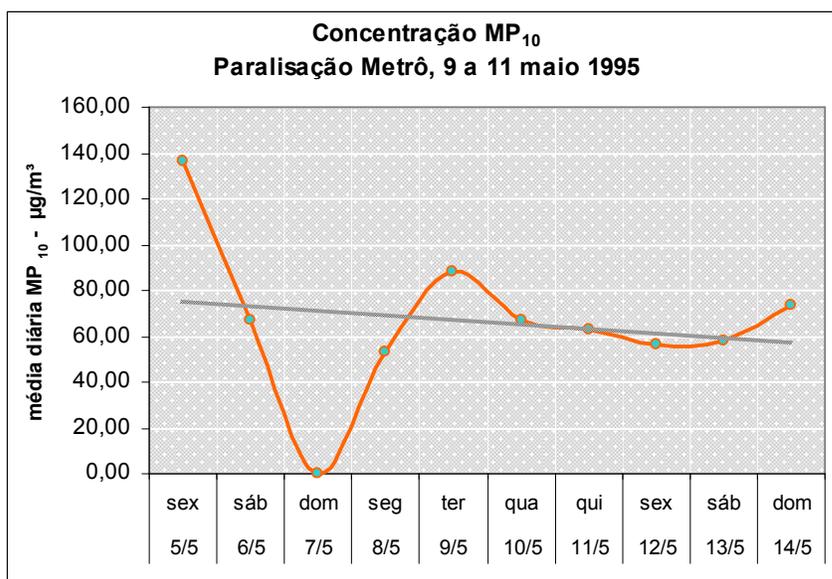


Gráfico 14 - Evolução dos níveis de concentração de MP₁₀ – 1995

- dia 7/5, dados não disponíveis.

Fonte: CETESB, 1995.

Já a curva dos níveis de concentração, em 1996, atinge um pico mais elevado no dia da paralisação, após um aumento antecipado, e em seguida evolui para uma diminuição acentuada no segundo dia após a paralisação.

Tabela 15 - Evolução da média diária de MP₁₀ – Paralisação 14 mai 1996

ex-ante/ex-post	11/5	12/5	13/5	14/5	15/5	16/5	17/5	18/5
dia semana	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb
média diária	57,71	69,93	96,23	115,50	102,58	45,49	59,34	67,20

Fonte: CETESB, 1996.

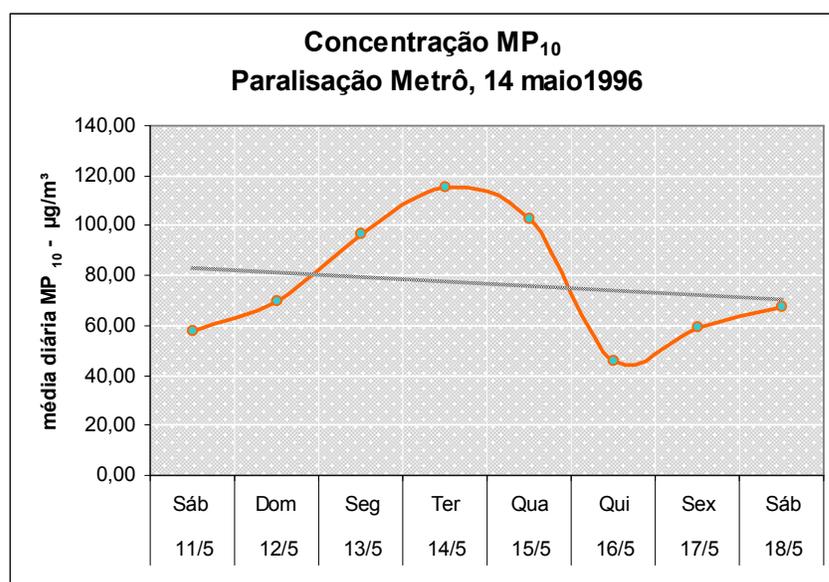


Gráfico 15 - Evolução dos níveis de concentração de MP₁₀ – 1996

Fonte: CETESB, 1996.

4.1.1.3 Redução da Concentração de MP₁₀: Paralisações de 1999 a 2001

No terceiro período de análise, em que se iniciava a Fase 3 do PROCONVE, a rede de metrô totalizava 49,2 km de extensão. A expansão de mais 6 quilômetros em relação ao período anterior ampliou a Linha 1 – Azul e a Linha 2 – Verde.

No período de 1999 a 2001, as paralisações do Metrô tiveram duração de um (1) e dois (2) dias, e ocorreram no mês de dezembro e junho. As paralisações tiveram início em uma quarta-feira e sexta-feira, como mostra a tabela 16.

Tabela 16 - Paralisações Metrô, 1999 a 2001

Ano Paralisação	nº dias	Data inicial	mês	dia da semana
1999	1	8	dez	qua
2000	1	2	jun	sex
2001	2	25	jun	qua

Fonte: Metrô, Sindicato dos Metroviários e FSP

As médias diárias de MP₁₀, nos três episódios, apresentaram níveis de concentração bem menores que nos outros períodos. A média registrada variou em torno de 35,0 µg/m³, apesar de atingir níveis em torno de 80,0 µg/m³, na paralisação que ocorreu em junho de 2000.

Essa redução da concentração indica uma melhora na qualidade do ar, que pode estar relacionada com a efetividade das medidas estabelecidas pelo PROCONVE, como as melhorias tecnológicas introduzidas no mercado automotivo, na fase anterior, e em aprimoramento nessa fase. O Rodízio de Veículos implantado pelo governo estadual para diminuir a poluição do ar de 1997 a 1998, também ajudou a diminuir o nível médio de concentração de poluentes em São Paulo (Martins et

al., 2001). O Rodízio Municipal de Veículos para melhorar o trânsito, encontrava-se em vigor desde 1997.

É também de se destacar que a rede de metrô atingia quase 50km de extensão e participava em 14% do total de viagens realizadas na RMSP (Metrô, 2002).

Em relação ao impacto das paralisações do Metrô na concentração de material particulado nessa fase não foi possível caracterizar uma evolução homogênea que caracterizasse as três paralisações.

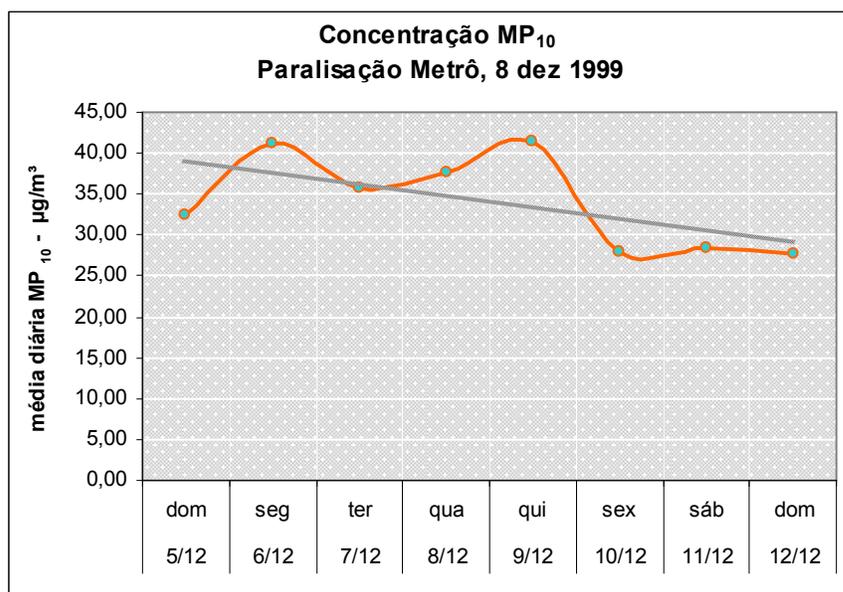
Verificou-se uma pequena elevação da concentração dias antes das paralisações ocorridas em 1999 e 2001, que se manteve no dia da paralisação, mas em seguida diminuiu, conforme apresentado nas tabelas 17 e 18, e gráficos 16 e 17.

Os níveis médios diários atingiram patamar bem menor de concentração, em 1999, que pode estar associado ao mês de dezembro, estação chuvosa mais favorável à dispersão dos poluentes.

Tabela 17 - Evolução da média diária de MP₁₀ – Paralisação 8 dez 1999

ex-ante/ex-post	5/12	6/12	7/12	8/12	9/12	10/12	11/12	12/12
dia semana	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom
média diária	32,53	41,25	35,69	37,54	41,55	27,94	28,42	27,65

Fonte: CETESB, 1999.

**Gráfico 16 - Evolução dos níveis de concentração de MP₁₀ – 1999**

Fonte: CETESB, 1999.

Em 2001, não foi possível aferir alguma influência da paralisação do Metrô na concentração de MP₁₀, mas pode ter acontecido o “efeito antecipado”.

Tabela 18 - Evolução da média diária de MP₁₀ – Paralisação 25 e 26 jun 2001

ex-ante/ex-post	22/6	23/6	24/6	25/6	26/6	27/6	28/6	29/6	30/6
dia semana	sex	sáb	dom	Seg	ter	qua	qui	sex	sáb
média diária	42,81	61,38	47,89	60,14	50,95	33,17	32,00	40,44	58,57

Fonte: CETESB, 2001.

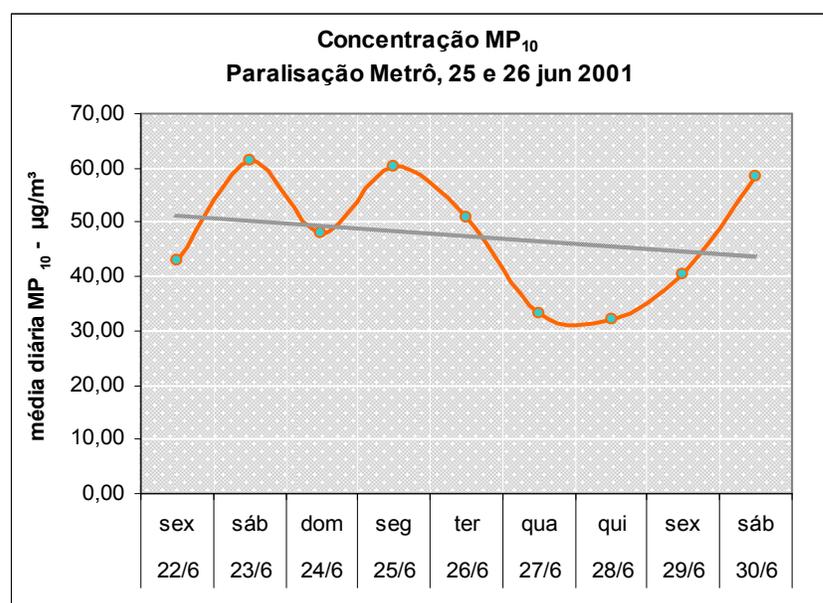


Gráfico 17 - Evolução dos níveis de concentração de MP₁₀ – 2001

Fonte: CETESB, 2001.

Já no episódio ocorrido em 2000, a curva é invertida como na primeira fase analisada, quando a concentração de MP₁₀ é menor no dia paralisação, como mostra a tabela 19 e o gráfico 18. A paralisação em uma sexta-feira, dia da semana que apresenta uma diminuição da mobilidade quando comparado com os três dias anteriores, pode ter influenciado para uma concentração mais baixa e que se manteve no sábado e domingo, subsequentes.

No período em que ocorreu a paralisação, em junho, registraram-se níveis maiores de concentração, tanto nos dias ex-ante como ex-post.

Tabela 19 - Evolução da média diária de MP₁₀ – Paralisação 2 jun 2000

ex-ante /ex-post	30/5	31/5	1/6	2/6	3/6	4/6	5/6	6/6	7/6
dia semana	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua
média diária	77,10	58,14	43,88	39,53	36,76	35,31	64,47	83,63	89,78

Fonte: CETESB, 2000.

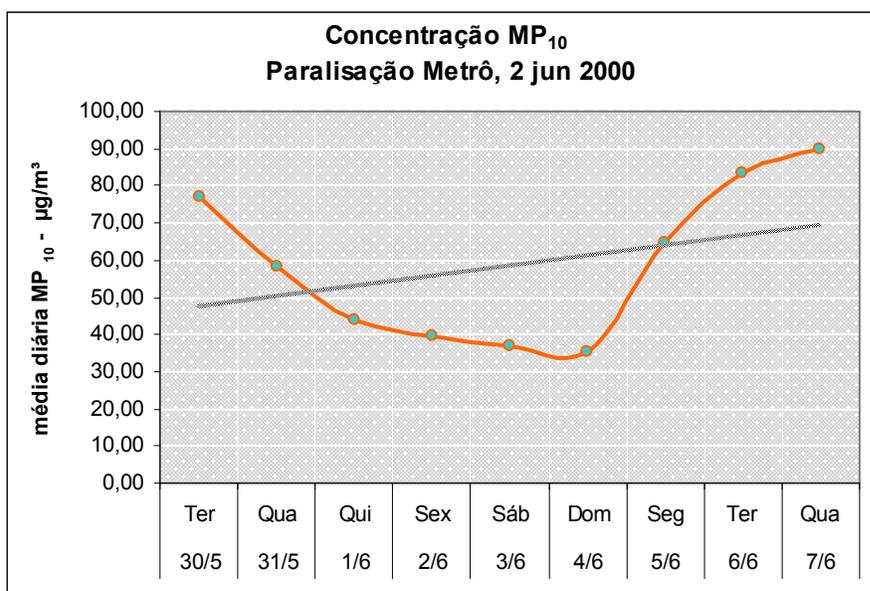


Gráfico 18 - Evolução dos níveis de concentração de MP₁₀ – 2000

Fonte: CETESB, 2000.

4.1.1.4 Influência da Paralisação do Metrô na Concentração de MP₁₀: 2003 a 2006

No último período analisado que compreende a Fase 4 do PROCONVE, o Metrô ampliou a sua rede para 60,2 km, um acréscimo de 11 quilômetros à extensão existente no período anterior.

As paralisações da operação do Metrô tiveram a duração de um (1) dia, e se deram nos meses de junho e agosto, ambas em estação seca, caracterizada por baixa incidência de chuva e ventos. Ambas as paralisações tiveram início em uma terça-feira, como mostra a tabela 20.

Tabela 20 - Paralisações Metrô, 2003 e 2006

Ano Paralisação	n° dias	Data inicial	Mês	dia da semana
2003	1	17	Jun	ter
2006	1	15	Ago	ter

Fonte: Metrô, Sindicato dos Metroviários e FSP, 2007

A influência dos eventos é evidenciada na evolução da curva de concentração nos dias ex-ante e redução nos dias ex-post, embora nos dois casos se observe um aumento acentuado sete dias depois. As médias diárias registradas nos dias em que o Metrô não operou, mostradas nas tabelas 21 e 22, são mais altas do que as dos dias anteriores e posteriores, exceto em 2003, que a tendência de elevação no dia seguinte se mantém. O gráfico 19 apresenta a curva evolutiva das médias diárias no mês.

Analisando-se possíveis fatores, identificaram-se condições meteorológicas desfavoráveis nos dois períodos relacionadas à estação seca no período da paralisação. Em 2003, o período de inverno apresentou piora na qualidade do ar,

devido à inversão térmica, levando, por exemplo, ao aumento acentuado da concentração de MP_{10} em 24 de junho de 2003, sete dias após a paralisação do Metrô (CETESB, 2003 e FSP, 2003).

Tabela 21 - Evolução da média diária de MP₁₀ – Paralisação 17 jun 2003

ex-ante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
dia semana	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter
média diária	84,01	73,75	59,40	33,47	50,89	64,57	62,13	25,97	32,98	41,57	52,58	67,95	72,39	82,40	44,11	81,17	101,49

Fonte: CETESB, 2003.

Tabela 22 - Evolução da média diária de MP₁₀ – Paralisação 17 jun 2003

ex-post	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
dia semana	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg
média diária	101,49	111,30	69,72	49,03	54,48	50,13	80,71	126,88	102,06	87,47	115,46	100,44	105,47	40,31

Fonte: CETESB, 2003.

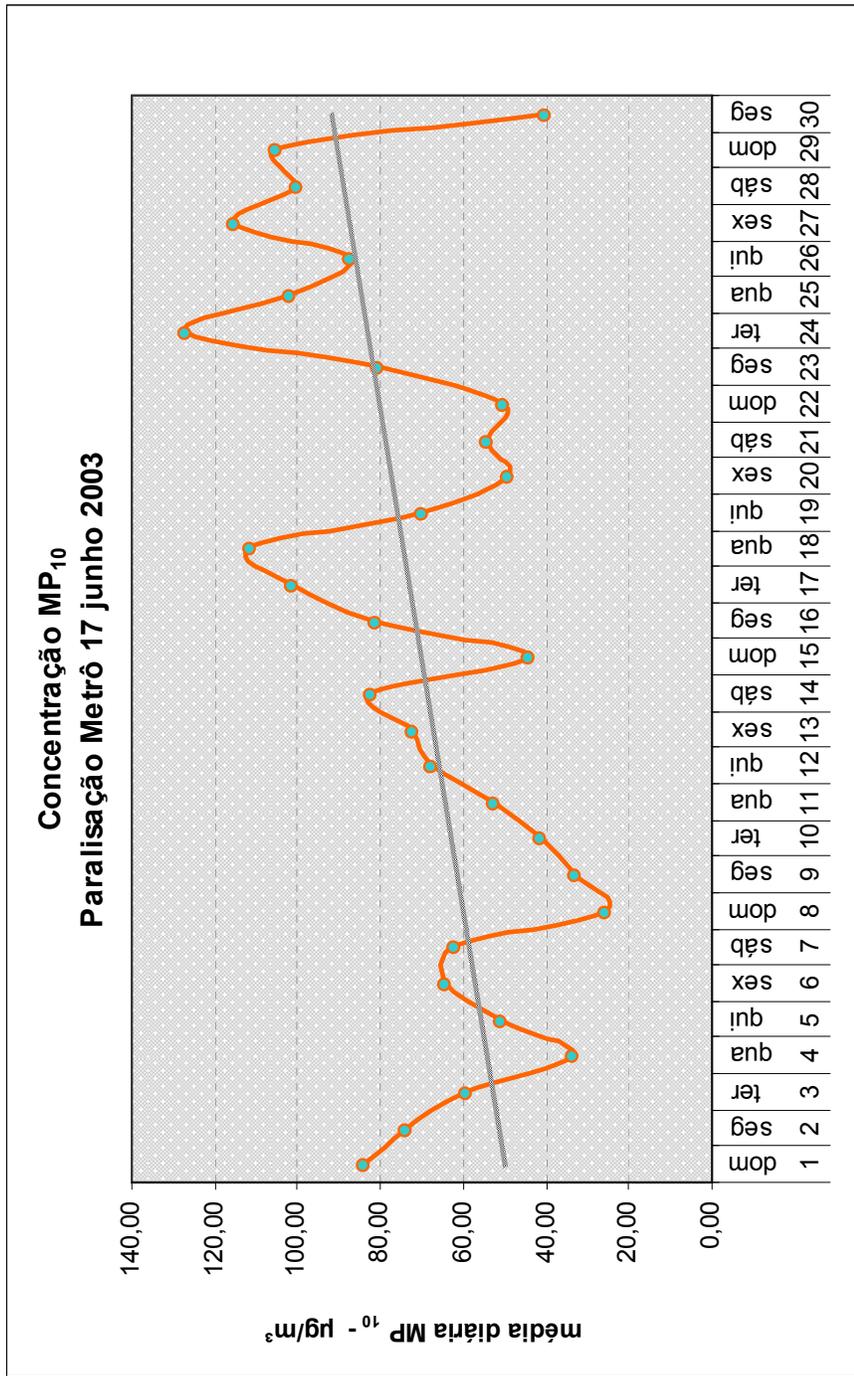


Gráfico 19 - Evolução dos níveis de concentração de MP₁₀ – 2003
Fonte: CETESB, 2003.

O inverno de 2006 foi o mais desfavorável dos últimos dez anos. Em julho e agosto, mês da paralisação do Metrô, registrou-se 65% de dias desfavoráveis à dispersão de poluentes devido à alta incidência de períodos com baixa ventilação e ausência de precipitação (CETESB, 2006)

O aumento da concentração de MP_{10} no dia da paralisação do Metrô, 15 de agosto, é seguido de uma elevação acentuada no dia 24 de agosto, conforme apresentado nas tabelas 23 e 24 e gráfico 20. Já sob influência das condições do clima predominante nesse mês, várias regiões de São Paulo apresentaram índices abaixo de 20% de umidade relativa, considerado estado de emergência segundo a OMS (FSP, 2006).

Tabela 23 - Evolução da média diária de MP₁₀ – Paralisação 15 ago 2006.

ex-ante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
dia semana	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter
média diária	25,77	24,71	31,71	55,82	65,33	63,56	70,33	68,40	74,69	61,34	68,32	65,76	70,36	74,28	78,02

Fonte: CETESB, 2006.

Tabela 24 - Evolução da média diária de MP₁₀ – Paralisação 15 ago 2006.

ex-post	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
dia semana	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui
média diária	78,02	59,29	42,77	38,91	30,69	35,42	32,24	45,02	65,59	95,21	68,19	71,32	34,95	41,34	26,70	29,23	49,71

Fonte: CETESB, 2006.

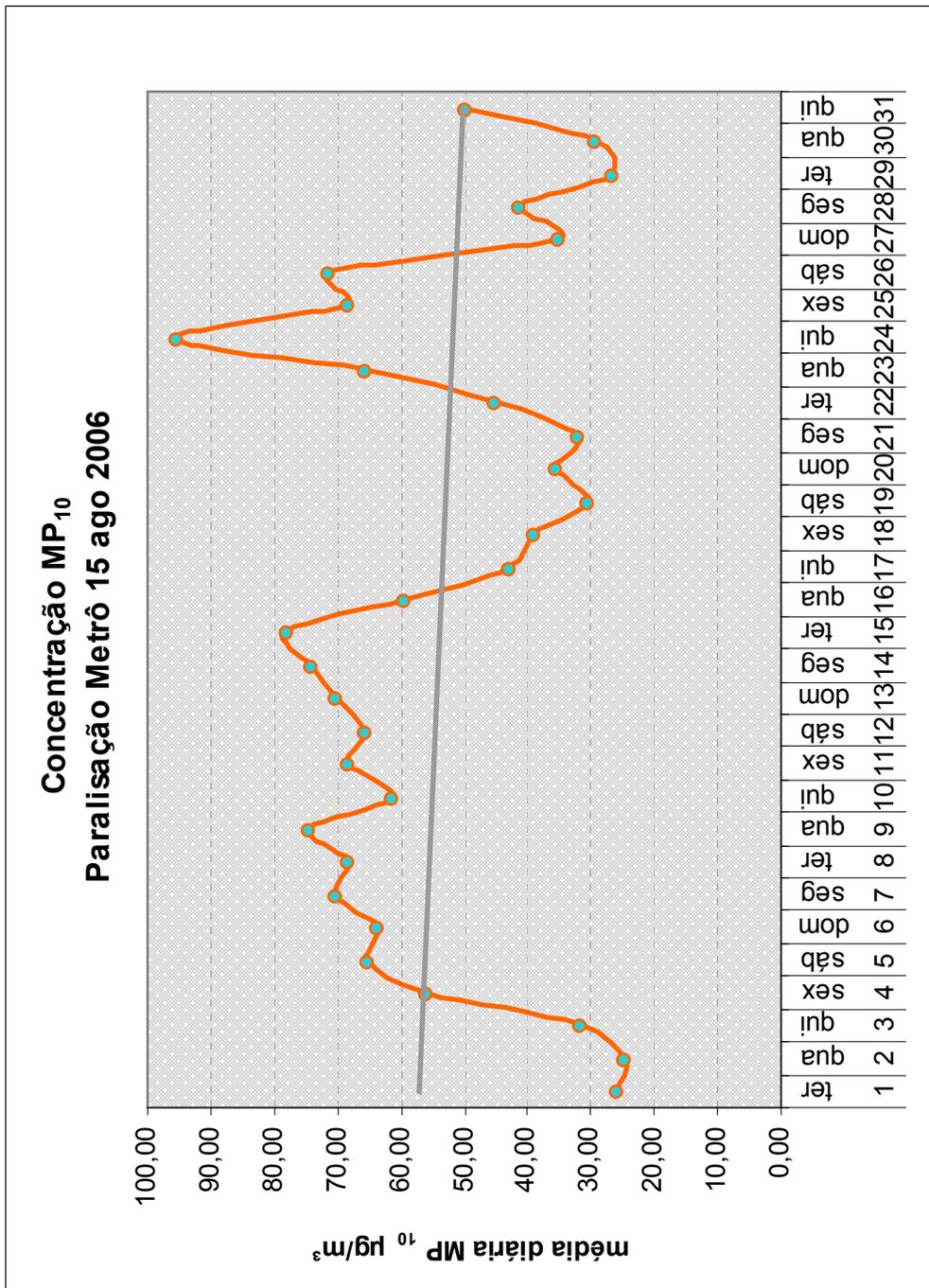


Gráfico 20 - Evolução dos níveis de concentração de MP₁₀ – 2006

Fonte: CETESB, 2006.

4.1.2 Concentração de Partículas Inaláveis por Regiões - MSP

Os dois últimos episódios, 2003 e 2006, retratam as situações mais recentes em que se registrou um aumento dos níveis de concentração por influência da paralisação do Metrô. Para uma análise regionalizada do impacto, adotaram-se três tipos de análise. A primeira análise faz um recorte nos resultados destacando três dias ex-ante e ex-post. A segunda analisa a concentração durante o mês todo em todas as regiões. A terceira abordagem seleciona três estações da CETESB situadas próximas às linhas de Metrô.

4.1.2.1 Análise Regionalizada dos Resultados da Semana de Paralisação

Em 2003, em todas as regiões de São Paulo os níveis de particulado se elevaram no dia da paralisação do Metrô. Em três (Cerqueira César, Parque D. Pedro e Ibirapuera) das dez estações medidoras em operação apresentaram níveis de particulado ainda mais elevados chegando a um patamar mais alto no dia seguinte, como mostra o gráfico 21.

A Estação Parque D. Pedro apresentou o nível mais elevado entre as que tiveram o pior quadro de poluição por particulado. Ela está localizada em região de fundo de vale e é próxima a vias de tráfego pesado. Cerqueira César, que também apresentou maior concentração é localizada num corredor de transporte e está instalada em frente à Estação Clínicas do Metrô. Ibirapuera, região conhecida pela existência de uma grande área verde em São Paulo, registrou picos de particulado tão elevados quanto nas regiões anteriores.

No gráfico 21, é possível observar as curvas mais elevadas na parte superior, as curvas do que chamamos de “efeito antecipado” da paralisação no dia anterior na parte intermediária e logo abaixo, as curvas caracterizando o efeito nos dias posteriores.

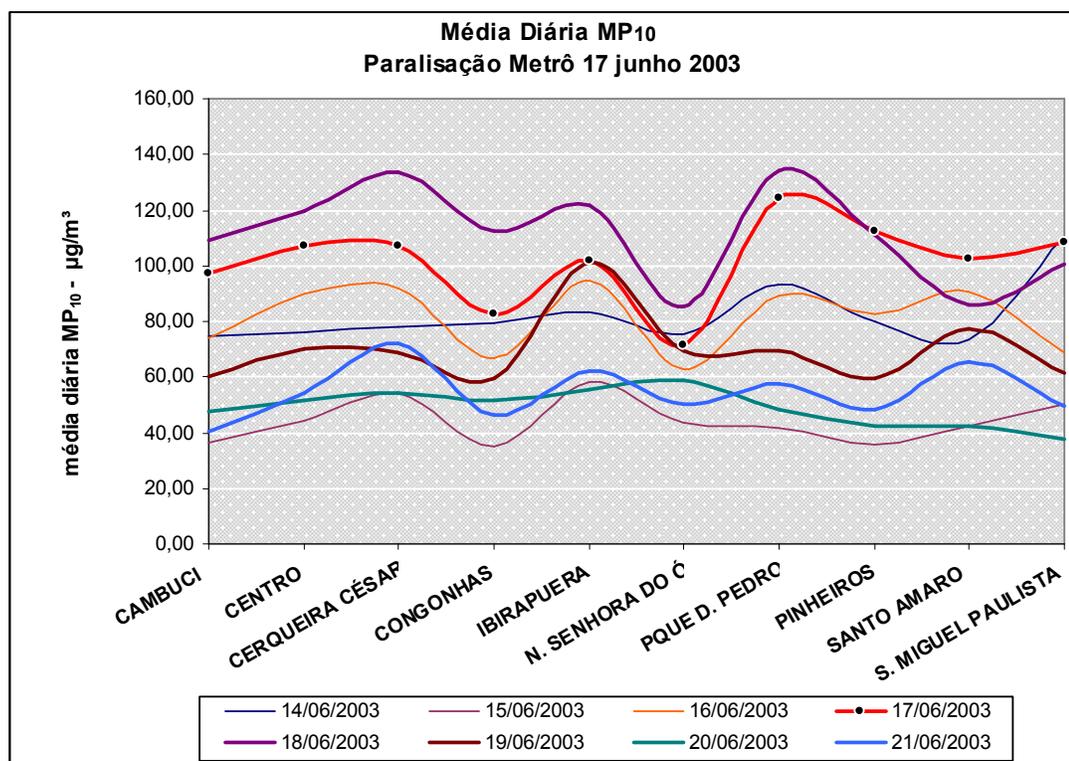


Gráfico 21 - Média Diária de MP₁₀ por Estação da CETESB – Paralisação 17 jun 2003

Fonte: CETESB, 2003.

Já em 2006, a região de Congonhas apresentou o nível mais crítico, seguido de Parque D. Pedro e Pinheiros, durante a paralisação e nos dias posteriores. É interessante destacar que há uma nítida subdivisão das curvas no gráfico 22, colocando as médias diárias do dia da paralisação e dia anteriores na parte superior do gráfico e dias subseqüentes na parte inferior, o que significa a queda dos níveis de poluição após a paralisação.

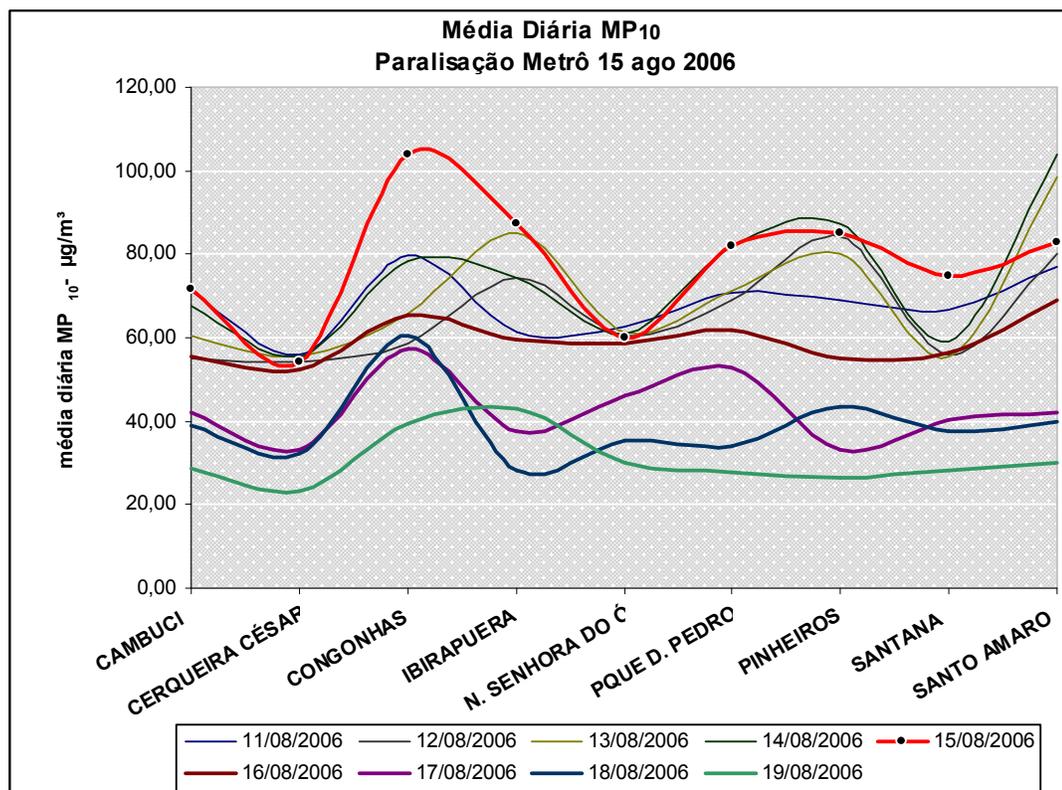


Gráfico 22 - Média Diária de MP₁₀ por Estação da CETESB – Paralisação 15 ago 2006

Fonte: CETESB, 2006.

4.1.2.2 Análise Regionalizada da Concentração de MP₁₀ no Mês da Paralisação

Analisando a curva de concentração de material particulado ao longo do mês de junho quando ocorreu a paralisação do Metrô, em 2003, a poluição na região do Parque D. Pedro, Cerqueira César e Ibirapuera se destacam das demais, no dia da paralisação, como mostra o gráfico 23 e tabelas 25 e 26. Dias antes, a região de São Miguel Paulista e Parque D. Pedro apresentavam os piores níveis. Ao final do mês sob efeito de inversão térmica, essas regiões apresentam níveis bastante críticos, bem como a de Santo Amaro.

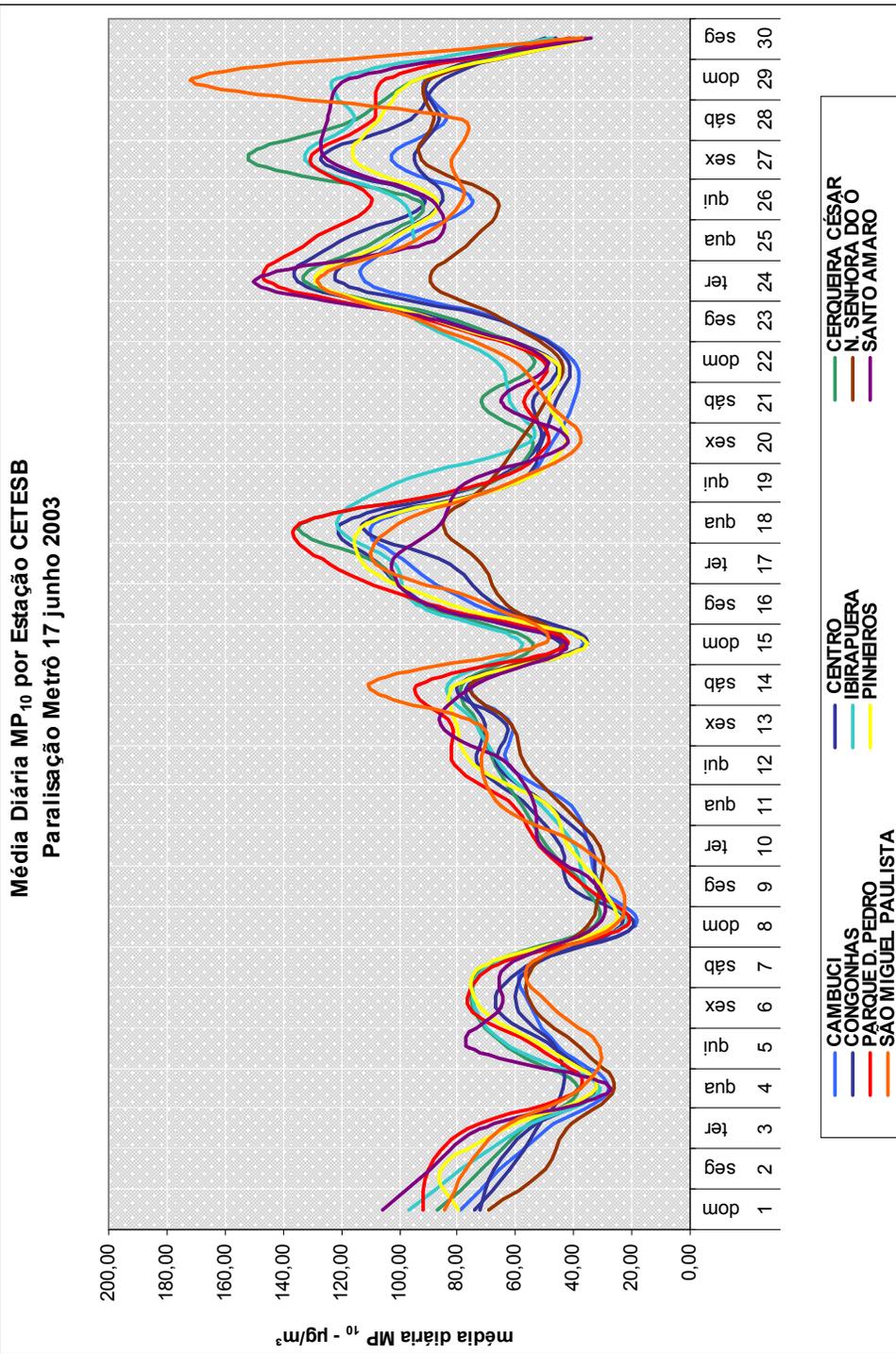


Gráfico 23 - Média Diária de MP₁₀ por Estação da CETESB – Paralisação 17 jun 2003
 Fonte: CETESB, 2003.

Tabela 25 - Média Diária de MP₁₀ por Estação da CETESB – Paralisação 17 jun 2003

Estações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom
CAMBUCI	79,17	65,63	48,96	27,73	44,79	54,83	56,71	19,00	30,88	34,71	40,67	62,67	61,63	74,54	36,29
CENTRO	72,33	67,42	55,08	32,13	46,67	66,83	56,58	19,48	41,38	44,54	55,79	72,75	70,46	76,21	44,13
CERQUEIRA CÉSAR	86,88	71,58	57,75	38,50	62,86	74,83	70,63	32,67	36,71	49,52	57,87	67,08	73,08	78,17	54,13
CONGONHAS	74,25	61,88	53,04	43,83	46,33	59,83	54,92	23,48	32,25	33,75	48,54	66,42	63,21	79,41	35,08
IBIRAPUERA	96,70	78,87	58,30	30,82	61,52	74,00	69,22	22,57	35,85	39,39	50,95	65,26	73,74	83,00	58,00
N. SENHORA DO Ó	69,55	49,91	42,54	26,05	37,50	54,00	53,91	35,29	30,82	31,22	44,04	56,79	61,25	75,25	43,35
PARQUE D. PEDRO	91,92	90,08	76,67	37,78	52,17	76,00	68,33	22,06	35,77	51,46	60,83	80,67	82,08	93,29	41,71
PINHEIROS	79,50	85,83	64,13	32,50	49,73	72,63	71,96	27,33	30,43	41,92	48,42	74,38	80,50	80,00	35,42
SANTO AMARO	105,54	89,08	72,21	27,47	76,14	65,05	63,00	32,00	31,78	51,32	53,36	62,00	85,77	73,55	42,50
SÃO M. PAULISTA	84,29	77,25	65,29	37,91	31,17	47,71	56,00	25,85	23,91	37,92	65,33	71,46	72,17	110,63	50,50

Fonte: CETESB, 2003.

Tabela 26 - Média Diária de MP₁₀ por Estação da CETESB – Paralisação 17 jun 2003

Estações	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg
CAMBUCI	74,33	96,96	108,96	59,92	47,63	40,25	40,00	63,75	112,00	100,42	75,00	102,77	83,71	90,00	37,08
CENTRO	89,79	107,25	119,71	69,88	51,58	54,13	46,58	84,63	135,17	120,58	91,46	127,08	95,79	84,46	46,25
CERQUEIRA CÉSAR	92,13	107,21	133,67	68,79	54,17	71,95	53,43	80,17	132,25	108,42	93,63	151,92	115,00	93,13	39,90
CONGONHAS	67,00	82,54	112,63	59,50	51,25	45,96	42,04	64,79	120,92	104,04	85,04	94,75	86,42	89,42	49,74
IBIRAPUERA	94,26	101,78	121,61	101,18	55,55	62,22	66,91	94,20	ND	94,75	99,87	132,57	115,61	121,74	47,60
N. SENHORA DO Ó	63,04	71,67	85,04	69,30	59,14	49,96	44,52	64,13	89,13	75,17	66,50	92,17	88,33	89,64	35,63
PARQUE D. PEDRO	89,13	124,08	134,25	69,67	48,54	57,33	50,71	89,42	145,33	130,58	109,25	130,92	109,00	104,42	41,42
PINHEIROS	82,50	112,63	111,13	59,75	42,48	48,33	46,96	86,79	128,71	103,92	87,04	115,54	107,00	93,00	34,88
SANTO AMARO	90,48	102,54	85,83	77,48	42,10	65,22	49,26	86,48	150,04	88,04	88,79	124,61	124,87	117,58	33,78
SÃO M. PAULISTA	69,04	108,25	100,21	61,75	37,83	49,50	60,83	92,75	128,33	94,70	78,17	82,29	78,71	171,33	36,83

Fonte: CETESB, 2003.

A diferença na concentração de particulado nessas regiões, como descrito anteriormente, pode estar relacionada à proximidade de corredores de transporte por ônibus e ao grande fluxo de veículos, assim como à localização geográfica na cidade.

Em agosto de 2006, as regiões de Pinheiros, Santo Amaro, Congonhas e Parque D. Pedro apresentaram os piores níveis de concentração por MP₁₀. No dia da paralisação do Metrô, Santo Amaro manteve um nível elevado já registrado dias antes, e em Congonhas o nível subiu ainda mais, como mostra o gráfico 24 e as tabelas 27 e 28.

Ao final do mês, Parque D. Pedro e Congonhas estiveram com o maior nível do mês todo, e Pinheiros e Santo Amaro mostraram-se novamente como áreas críticas.

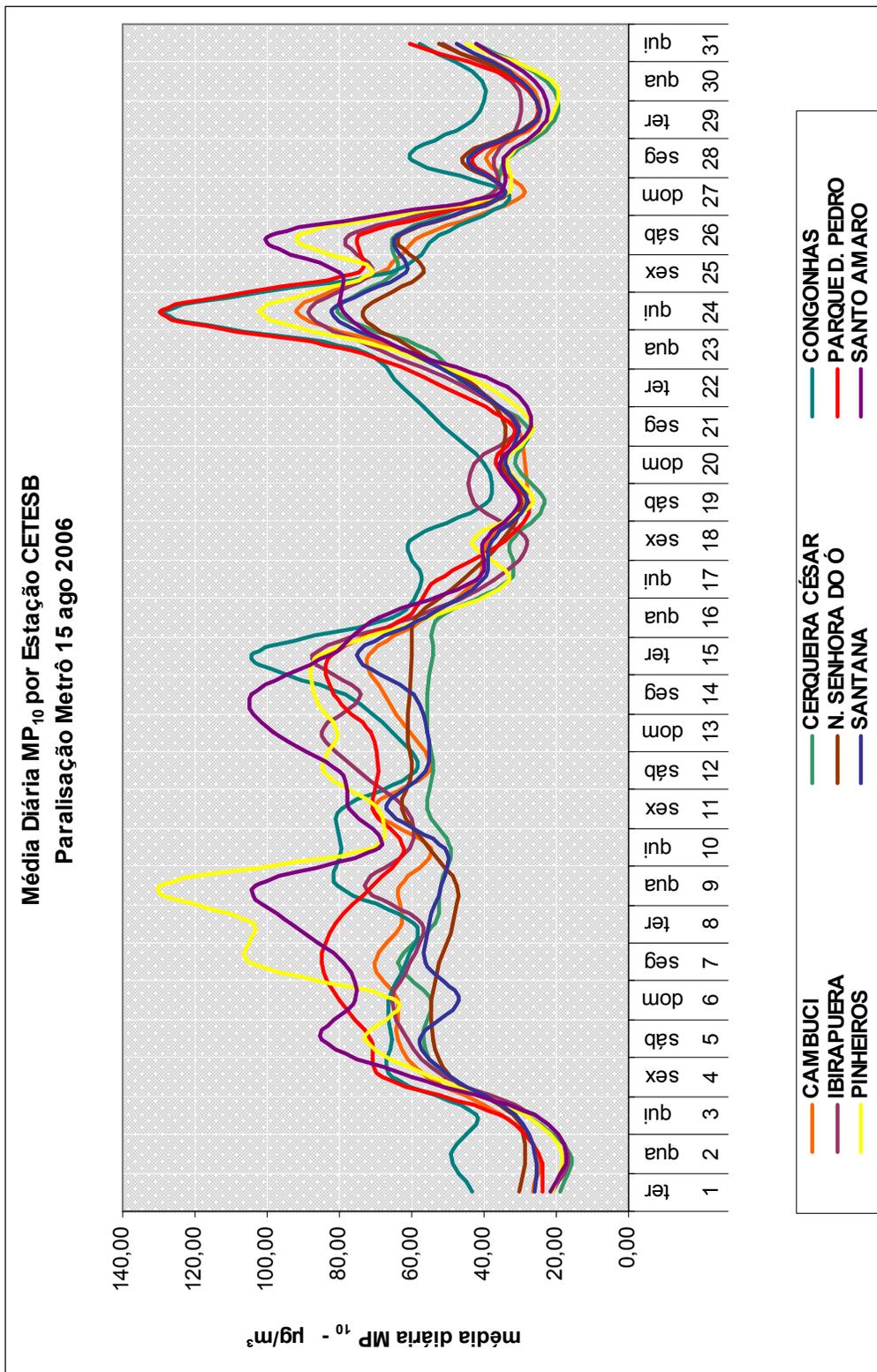


Gráfico 24 - Média Diária de MP₁₀ por Estação da CETESB – Paralisação 15 ago 2006
Fonte: CETESB, 2006.

Tabela 27 - Média Diária MP₁₀ por Estação CETESB – Paralisação 15 ago 2006

ESTAÇÕES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter
CAMBUCI	26,57	25,04	35,13	55,42	63,92	63,83	70,25	62,83	63,46	54,71	71,04	55,04	60,42	67,42	71,67
CERQUEIRA CÉSAR	18,68	16,19	28,73	50,25	56,79	54,71	63,73	53,38	52,13	49,38	55,92	53,96	55,54	55,43	53,96
CONGONHAS	43,04	49,46	42,13	65,29	65,25	66,29	61,42	59,67	80,79	79,25	79,63	58,88	65,63	78,38	104,08
IBIRAPUERA	20,93	16,58	25,91	50,75	61,04	65,29	60,74	57,42	72,89	60,64	61,42	74,38	84,88	74,13	87,38
N. SENHORA DO Ó	30,17	28,71	31,79	49,25	54,13	54,50	52,25	48,75	47,75	55,13	62,71	60,25	61,25	60,75	60,08
PARQUE D. PEDRO	23,70	24,68	35,63	68,10	71,21	80,21	84,79	81,29	70,63	62,17	70,96	69,08	71,29	81,83	82,04
PINHEIROS	20,95	18,41	28,39	54,38	73,13	64,46	104,75	103,83	129,47	70,54	69,17	84,08	80,29	87,17	85,17
SANTANA	26,09	25,88	31,61	48,96	57,58	47,21	56,29	54,92	52,00	51,00	66,83	56,17	55,42	59,29	75,00
SANTO AMARO	21,83	17,47	26,04	60,00	84,96	75,57	78,75	93,54	103,08	69,25	77,22	80,04	98,54	104,08	82,79

Fonte: CETESB, 2006.

Tabela 28 - Média Diária MP₁₀ por Estação CETESB – Paralisação 15 ago 2006

ESTAÇÕES	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui
CAMBUCI	55,42	42,29	39,00	28,63	28,90	30,61	42,78	62,88	92,00	68,58	56,83	29,27	39,27	24,71	28,91	47,83
CERQUEIRA CÉSAR	52,42	33,20	32,35	23,21	31,43	27,84	44,74	55,63	80,48	64,25	64,25	39,05	33,75	20,41	22,75	42,08
CONGONHAS	65,50	57,38	60,38	39,29	40,00	51,42	62,92	75,29	128,58	65,92	52,17	32,83	60,75	43,17	40,58	57,79
IBIRAPUERA	59,38	37,52	28,29	42,79	42,63	30,25	45,50	68,96	88,92	71,04	77,04	38,36	37,04	30,39	32,29	51,57
N. SENHORA DO Ó	58,70	45,90	35,22	29,79	35,35	33,79	42,29	59,25	73,71	56,88	63,04	33,95	45,96	25,87	30,42	52,61
PARQUE D. PEDRO	61,71	52,95	33,88	27,82	36,52	31,79	51,27	78,08	129,67	74,71	74,33	35,48	43,14	25,35	30,96	60,71
PINHEIROS	55,04	33,23	43,41	26,33	34,21	26,29	38,96	65,21	102,28	70,96	91,45	34,40	33,29	22,05	21,13	44,92
SANTANA	56,33	40,42	37,71	28,17	34,21	30,96	43,04	62,08	82,25	61,63	63,63	34,60	44,08	25,60	29,96	47,52
SANTO AMARO	69,17	42,06	39,95	30,18	35,50	27,17	33,71	62,92	79,04	79,75	99,17	36,62	34,82	22,74	26,05	42,33

Fonte CETESB, 2006.

4.1.2.3 Análise da Concentração de MP₁₀ em Áreas Próximas ao Metrô

Foram escolhidas as estações Cerqueira César, Parque D. Pedro e Santo Amaro para a análise da concentração de MP₁₀ em áreas próximas às linhas de Metrô. Entre essas estações, a estação Cerqueira César é a que melhor atende ao critério de escolha por estar localizada em frente à Estação Clínicas da Linha 2 - Verde do Metrô. As outras estações encontram-se próximas às linhas Linha 3 - Vermelha e Linha 5 - Lilás.

Apesar do monitoramento apresentar falhas na medição da concentração em duas das estações durante a série histórica de paralisações, é possível verificar um pico de MP₁₀ na paralisação em novembro de 1990, na região de Cerqueira César, sendo que nas paralisações seguintes esta reduziu significativamente. Após este período, o nível mais alto de concentração foi registrado na região do Parque D. Pedro, embora as curvas de Cerqueira César e Santo Amaro acompanhassem a tendência.

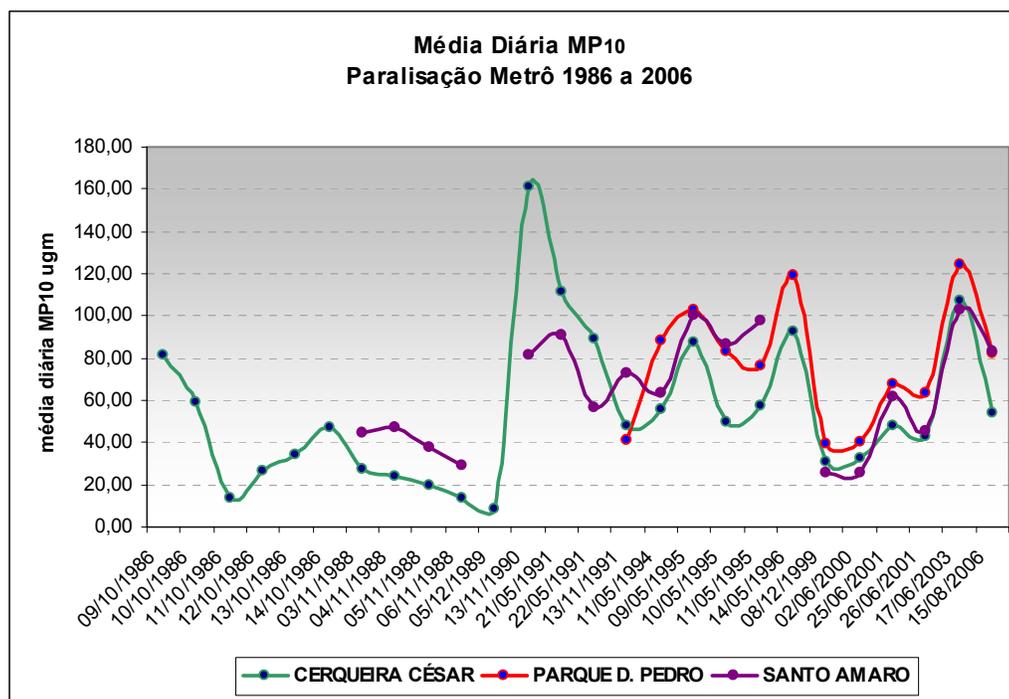


Gráfico 25 - Média Diária MP₁₀ em Áreas Próximas ao Metrô – 1986 a 2006
Fonte CETESB, 1986 a 2006.

Analisando-se as médias anuais verificou-se que Cerqueira César apresentou o nível mais elevado de MP₁₀, de 1989 a 1993, como apresentado no gráfico 26. Após esse período, a região, apresentou níveis mais baixos que das outras duas estações analisadas, acompanhando uma tendência de redução da poluição.

Essa redução indica que além de ter havido uma melhora da qualidade do ar nas regiões mais poluídas da cidade, mostra que a implantação da Linha 2 – Verde também contribuiu para isso.

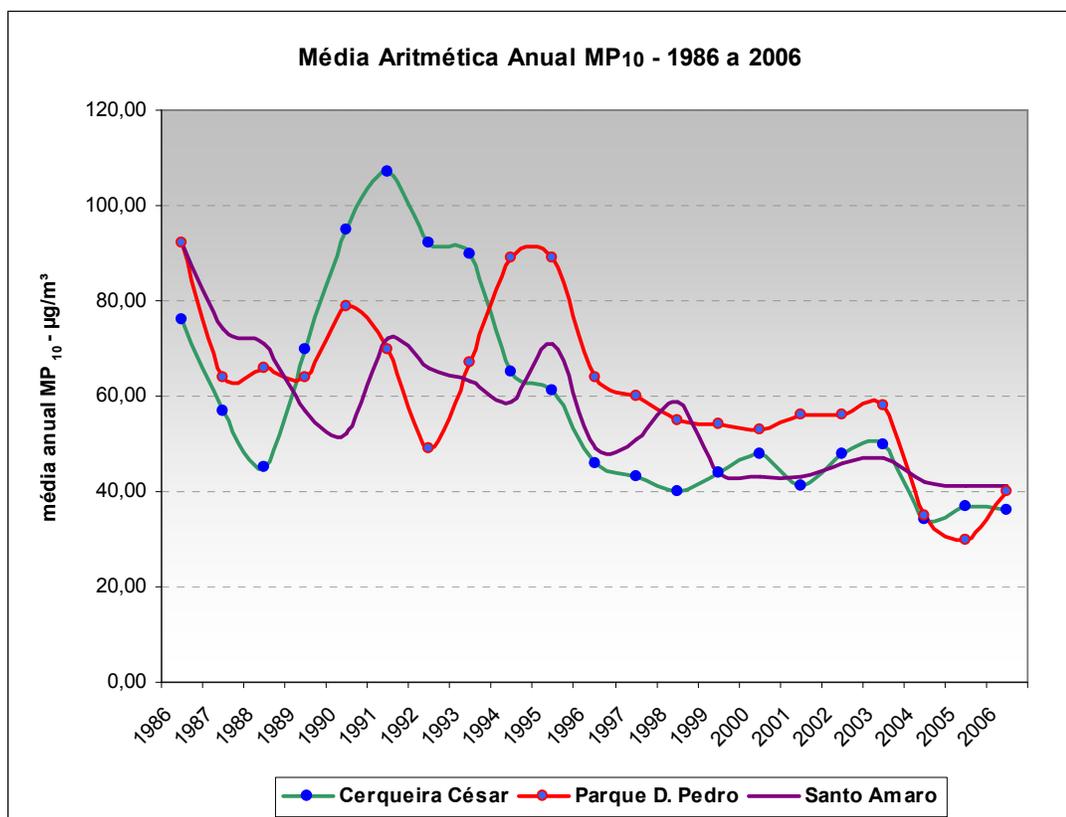


Gráfico 26 - Média Aritmética Anual MP₁₀ – 1986 a 2006

Fonte: CETESB, 2006.

Considerando que essa redução coincide com o período em que a Estação Clínicas da Linha 2 – Verde do Metrô iniciou a sua operação, analisou-se as médias mensais de 1992, quando em 12 de setembro foi inaugurada a estação. A partir do mês de início da operação, os níveis de partículas inaláveis nessa região reduziram significativamente, ficando abaixo da média anual registrada pela

estação Cerqueira César, como mostra o gráfico 27. Nas regiões de Parque D. Pedro e Santo Amaro, ao contrário de Cerqueira César, houve uma tendência de elevação dos níveis de particulado.

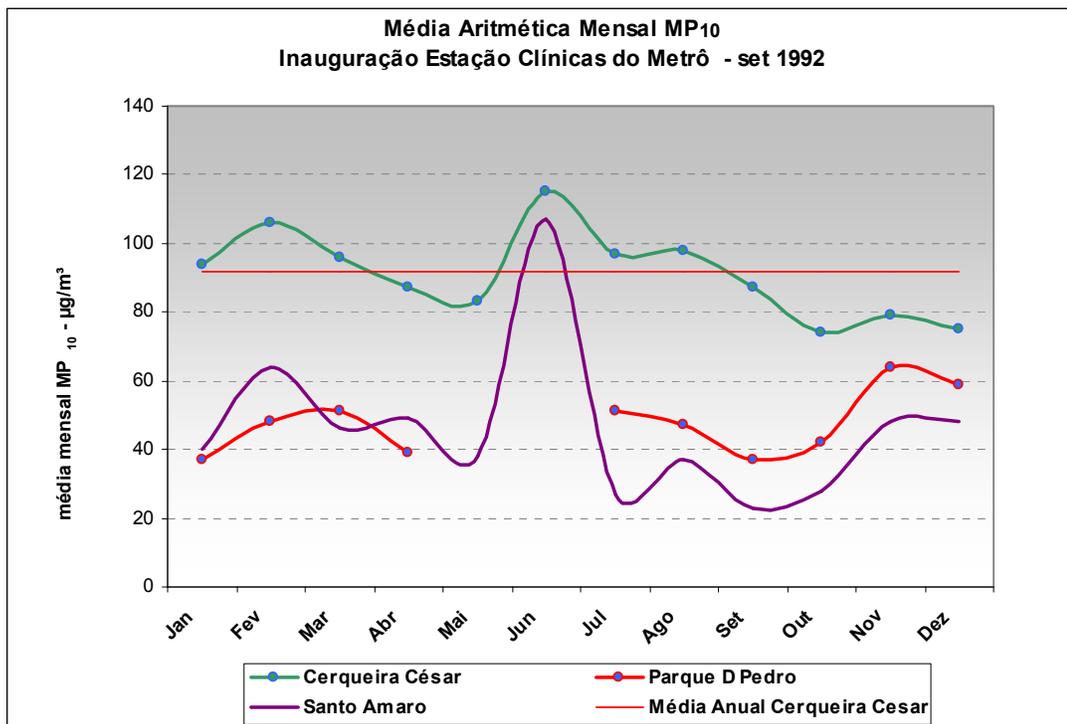


Gráfico 27 - Média Aritmética Mensal MP₁₀ – Inauguração Estação Clínicas
Fonte: CETESB, 1992.

4.1.3 Condições Meteorológicas: Paralisação do Metrô e Dias Similares

As condições meteorológicas em dias das paralisações da operação do Metrô e em dias similares associadas ao fator da sazonalidade (dia da semana e mês) foram levantadas para que se delineasse o cenário de referência (paralisações) e o cenário de controle (dias similares) com parâmetros aproximados de temperatura, umidade relativa e umidade dos ventos.

Para todos os dias das paralisações identificaram-se esses dados e depois foram selecionados dias similares quanto ao mês e dia da semana que apresentassem condições similares nos aspectos meteorológicos, conforme apresentado nas tabelas 29 a 38.

Depois de estabelecidos os dias que mais se assemelhavam ao dia da paralisação do Metrô nos aspectos do clima, identificaram-se os níveis de concentração de material particulado, completando o cenário de controle para a análise dos casos de mortalidade.

Comparando dados de concentração de material particulado nos dias das paralisações e nos dias similares, no período de 1986 a 2006, foram observadas três situações distintas.

A primeira delas mostra concentração inferior ou equivalente de material particulado nos dias de paralisação do Metrô em relação a um dia com condições similares, como observado em 1986, 1995 e em 2000, como apresentado nas tabelas 29, 30 e 31.

Tabela 30 - Dias Similares – 1995

DADOS GERAIS						
1995						
Variáveis	Metrô	Dia Similar	Metrô	Dia Similar	Metrô	Dia Similar
data	9/5	16/5	10/5	17/5	11/5	4/5
dia da semana	ter	ter	qua	qua	qui	qui
média diária MP₁₀ (ug/m3)	88,10	111,34	66,67	84,51	62,67	106,61
temperatura média (graus celsius)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
umidade relativa (%)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
velocidade dos ventos (m/s)	1,0	1,2	1,6	1,6	1,4	1,3

Fonte: CETESB, 1995.

Tabela 31: Dias Similares – 2000

DADOS GERAIS		
2000		
Variáveis	Metrô	Dia Similar
data	2/6	16/6
dia da semana	sex	sex
média diária MP₁₀ (ug/m3)	39,53	94,27
temperatura média (graus celsius)	16	19
umidade relativa (%)	78	72
velocidade dos ventos (m/s)	1,5	1,0

Fonte: CETESB, 2000.

Na segunda situação, não há uma diferença significativa nos níveis de material particulado nos dias em ocorreram as paralisações do metrô, comparando-se com dias similares em temperatura, velocidade dos ventos, umidade e dia da semana, como verificado em 1988, 1989, 1990, 1994, 1996 e 1999, apresentadas nas tabelas 32 a 37.

Tabela 32 - Dias Similares – 1988

DADOS GERAIS									
1988									
Variáveis	Metrô	Dia Similar	Metrô						
data	3/11	17/11	4/11	25/11	5/11	19/11	6/11	20/11	
dia da semana	qui	qui	sex	sex	sáb	sáb	dom	dom	
média diária MP ₁₀ (ug/m3)	53,71	54,70	49,44	59,28	37,36	59,91	35,59	30,10	
temperatura média (graus celsius)	19	17	18	17	19	20	20	19	
umidade relativa (%)	81	79	83	79	89	74	89	82	
velocidade dos ventos (m/s)	2,7	2,5	3,3	2,5	2,7	2,5	1,6	ND	

Fonte: CETESB, 1988.

Tabela 33 - Dias Similares - 1989

DADOS GERAIS 1989		
Variáveis	Metrô	Dia Similar
data	5/12	26/12
dia da semana	ter	ter
média diária MP ₁₀ (ug/m3)	55,38	45,56
temperatura média (graus celsius)	20	19
umidade relativa (%)	80	89
velocidade dos ventos (m/s)	2,3	1,8

Fonte: CETESB, 1989.

Tabela 34 - Dias Similares - 1990

DADOS GERAIS 1990		
Variáveis	Metrô	Dia Similar
data	13/11	20/11
dia da semana	ter	ter
média diária MP ₁₀ (ug/m3)	98,13	95,98
temperatura média (graus celsius)	22	23
umidade relativa (%)	76	75
velocidade dos ventos (m/s)	1,8	1,7

Fonte: CETESB, 1990.

Tabela 35 - Dias Similares - 1994

DADOS GERAIS 1994		
Variáveis	Metrô	Dia Similar
data	11/5	25/5
dia da semana	qua	qua
média diária MP ₁₀ (ug/m3)	72,21	72,05
temperatura média (graus celsius)	ND	ND
umidade relativa (%)	ND	ND
velocidade dos ventos (m/s)	1,6	1,8

Fonte: CETESB, 1994.

Tabela 36 - Dias Similares - 1996

DADOS GERAIS 1996		
Variáveis	Metrô	Dia Similar
data	14/5	7/5
dia da semana	ter	ter
média diária MP ₁₀ (ug/m3)	115,50	106,20
temperatura média (graus celsius)	20	19
umidade relativa (%)	67	67
velocidade dos ventos (m/s)	1,4	1,1

Fonte: CETESB, 1996.

Tabela 37 - Dias Similares - 1999

DADOS GERAIS 1999		
Variáveis	Metrô	Dia Similar
data	8/12	1/12
dia da semana	qua	qua
média diária MP ₁₀ (ug/m3)	37,54	40,29
temperatura média (graus celsius)	21	20
umidade relativa (%)	90	77
velocidade dos ventos (m/s)	1,8	2,5

Fonte: CETESB, 1999.

Já a terceira situação revelada, mostra médias diárias superiores nos dias das paralisações do Metrô ocorridas em 1991 e 2001 e, sobretudo em 2003 e 2006, quando é possível constatar a influência do evento nas médias diárias de MP_{10} , como mostram as tabelas 38 e 39.

Em 1991, aumentou cerca de 23% a concentração de matéria particulado com 10 microgramas na atmosfera nos dois dias em que houve a paralisação do Metrô, comparando-se com os dias similares.

Na paralisação ocorrida em 2001, também com a duração de dois dias, aumentou em torno de 60% a concentração no primeiro dia e apenas 2% no segundo dia.

Tabela 38 - Dias Similares - 1991

DADOS GERAIS					
1991					
Variáveis	Metrô	Dia Similar	Metrô	Dia Similar	Dia Similar
data	22/5	15/5	13/11	27/11	
día da semana	qua	qua	qua	qua	
média diária MP ₁₀ (ug/m3)	60,87	46,77	70,23	53,46	
temperatura média (graus celsius)	ND	ND	ND	ND	
umidade relativa (%)	ND	ND	82	67	
velocidade dos ventos (m/s)	3,2	2,4	2,2	2,0	

Fonte: CETESB, 1991.

Tabela 39 - Dias Similares – 2001

DADOS GERAIS 2001					
Variáveis	Metrô	Dia Similar	Metrô	Dia Similar	Dia Similar
data	25/6	18/6	26/6	12/6	
dia da semana	qua	qua	qui	qui	
média diária MP ₁₀ (ug/m3)	60,14	24,26	50,95	49,90	
temperatura média (graus celsius)	20	13	16	18	
umidade relativa (%)	75	81	82	78	
velocidade dos ventos (m/s)	1,5	1,8	2,3	1,6	

Fonte: CETESB, 2001.

Nos anos de 2003 e 2006, as paralisações do Metrô contribuíram na elevação de cerca de 50% no nível de concentração de partículas inaláveis, resultado apresentado nas tabelas 40 e 41.

No primeiro evento, em 17 de junho de 2003, o nível de MP_{10} aumentou 59% quando comparado com o dia similar. No segundo evento, em 15 de agosto de 2006, a poluição do ar piorou 44%, se comparado com dia 22.

Tabela 40 - Dias Similares – 2003

DADOS GERAIS 2003		
Variáveis	Metrô	Dia Similar
data	17/6	10/6
dia da semana	ter	ter
média diária MP ₁₀ (ug/m3)	101,49	41,15
temperatura média (graus celsius)	19	21
umidade relativa (%)	75	76
velocidade dos ventos (m/s)	1,1	1,3

Fonte: CETESB, 2003.

Tabela 41 - Dias Similares – 2006

DADOS GERAIS 2006		
Variáveis	Metrô	Dia Similar
data	15/8	22/8
dia da semana	ter	ter
média diária MP ₁₀ (ug/m3)	78,02	43,99
temperatura média (graus celsius)	23	20
umidade relativa (%)	57	65
velocidade dos ventos (m/s)	1,6	1,8

Fonte: CETESB, 2006.

4.1.4 Mortalidade por Doenças Respiratórias e Cardiovasculares

A poluição do ar da cidade de São Paulo, em situações que não houve a operação do Metrô, pode ter levado a um aumento do número de casos de mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares no segmento de idosos, com idade entre 60 e 64 anos e com 65 ou mais anos.

Como estudos científicos já apontaram, a incidência de casos de mortalidade por doença cardiovascular e respiratória é maior no segmento de idosos, principalmente no grupo dos que tem 65 anos ou mais de idade. As mortes relacionadas a problemas como infarto e acidente vascular cerebral são mais frequentes do que por problemas respiratórios.

Os dados de mortalidade ocorridos no mês de junho de 2003, quando ocorreu a paralisação do Metrô, totalizaram a morte de 1730 idosos, sendo 1349 só por motivo de doença cardiovascular, 78% do total registrado. A maioria (89%) dessas mortes foi entre os idosos com 65 anos ou mais, conforme apresentado no gráfico 28.

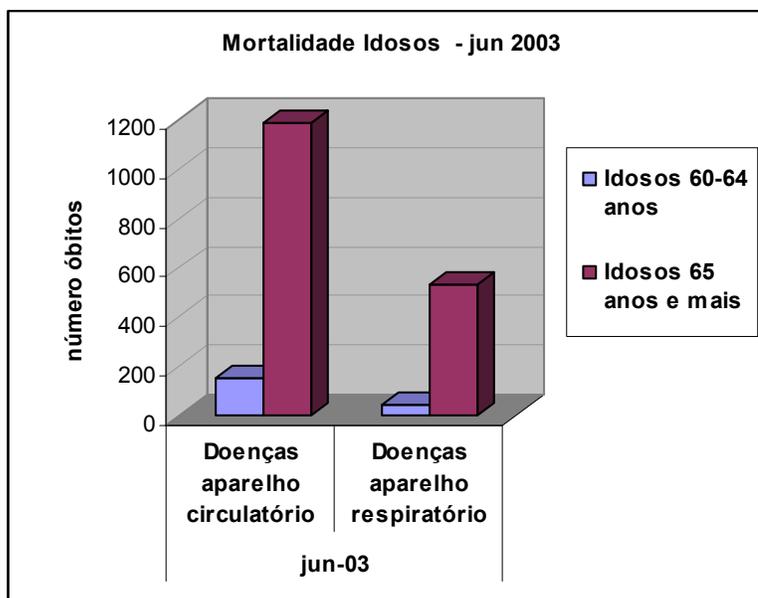


Gráfico 28 - Mortalidade Idosos – jun 2003

Fonte: PROAIM, 2007.

No mês de junho de 2003, a curva dos casos de mortalidade por doenças respiratórias entre os idosos com 60 a 64 anos acompanhou as oscilações da qualidade do ar no começo e final do mês quando se observa uma elevação, conforme gráfico 29.

Já a curva de mortes por doenças cardiovasculares, ao longo do mês, acompanha os picos de MP₁₀, elevando-se no período seguinte ao aumento da concentração, como mostra o gráfico 30. Esses casos de elevação acontecem, em sua maioria, no começo da semana, segunda-feira ou terça-feira, dias da semana em que a incidência de mortes relacionadas ao aparelho cardiovascular é maior.

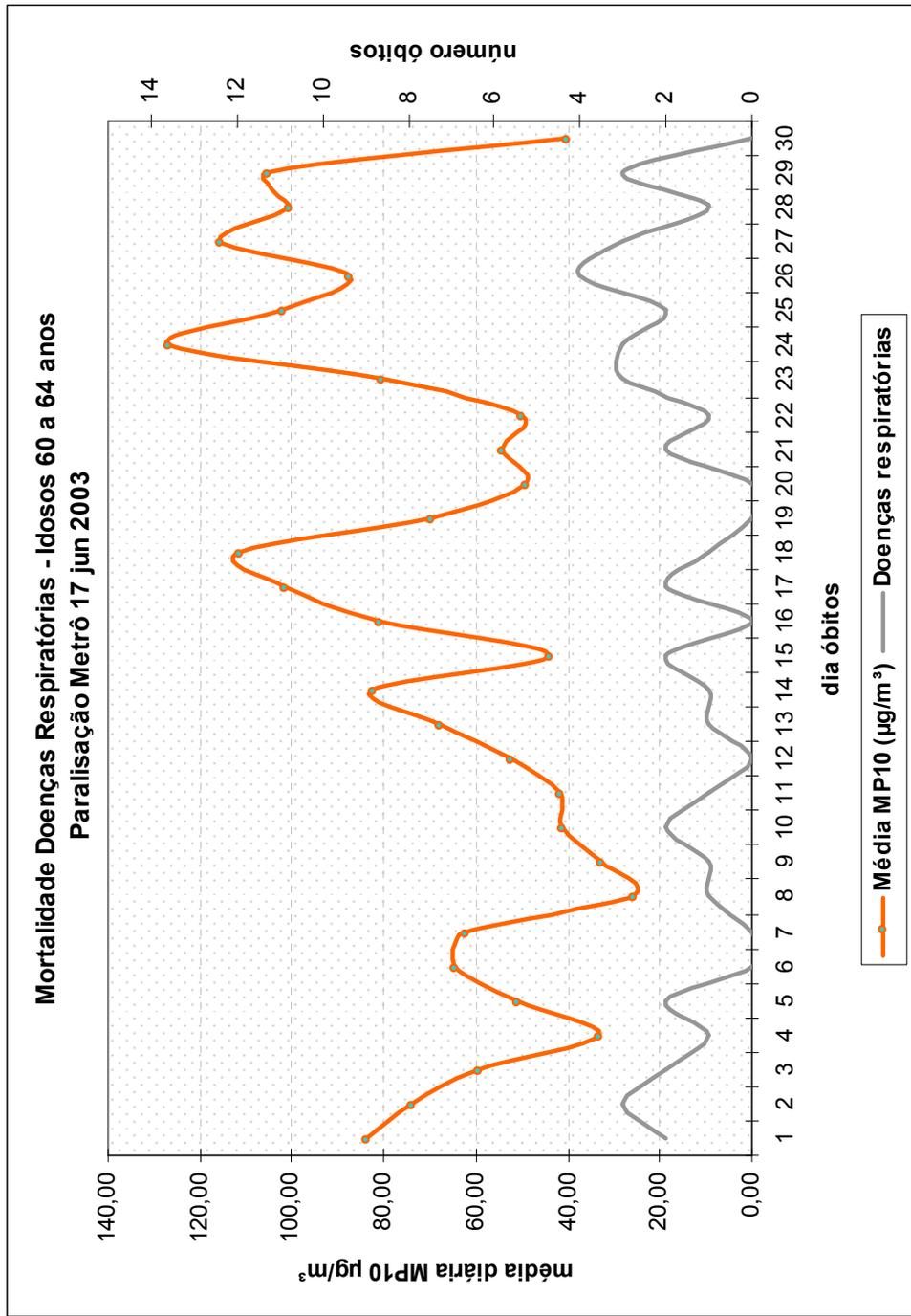


Gráfico 29 - Mortalidade Doenças Respiratórias – Idosos 60 a 64 anos
Fonte: CETESB, 2003 e PROAIM, 2007.

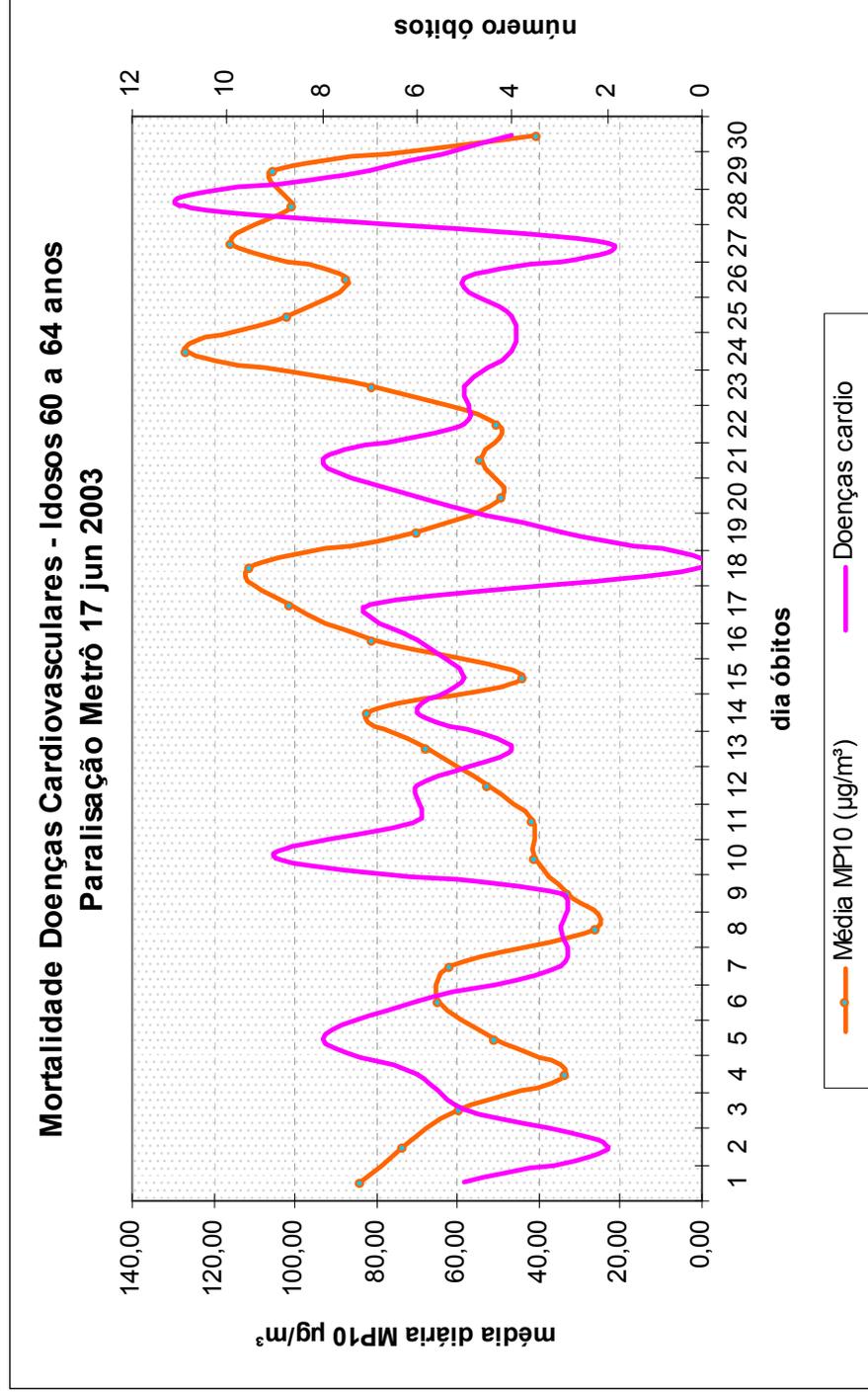


Gráfico 30 - Mortalidade Doenças Respiratórias – Idosos 60 a 64 anos

Fonte: CETESB, 2003 e PROAIM, 2007.

No grupo dos mais idosos, com mais de 65 anos, os problemas respiratórios e cardiovasculares estão associados aos aumentos da elevação de material particulado (MP₁₀).

A curva de mortalidade é elevada durante todo o mês e acompanha a de poluição. No começo do mês, quando a concentração atinge níveis menores do restante do mesmo período, os casos de mortalidade são mais elevados, o que pode ser efeito prolongado de dias antes, do mês de maio, como mostra os gráficos 31 e 32.

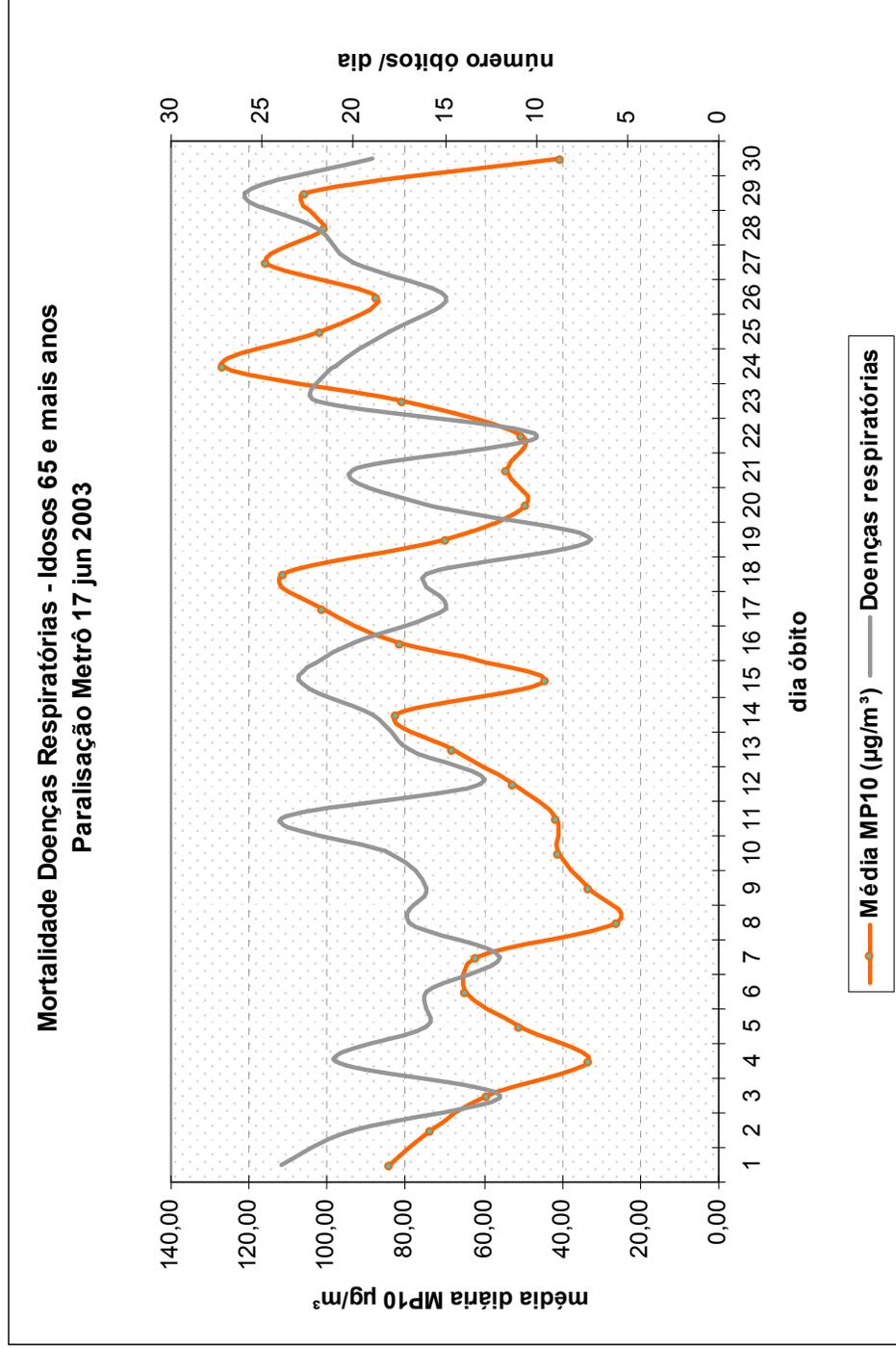


Gráfico 31 - Mortalidade por Doenças Respiratórias – Idosos 65 e mais anos
 Fonte: CETESB, 2003 e PROAIM, 2007.

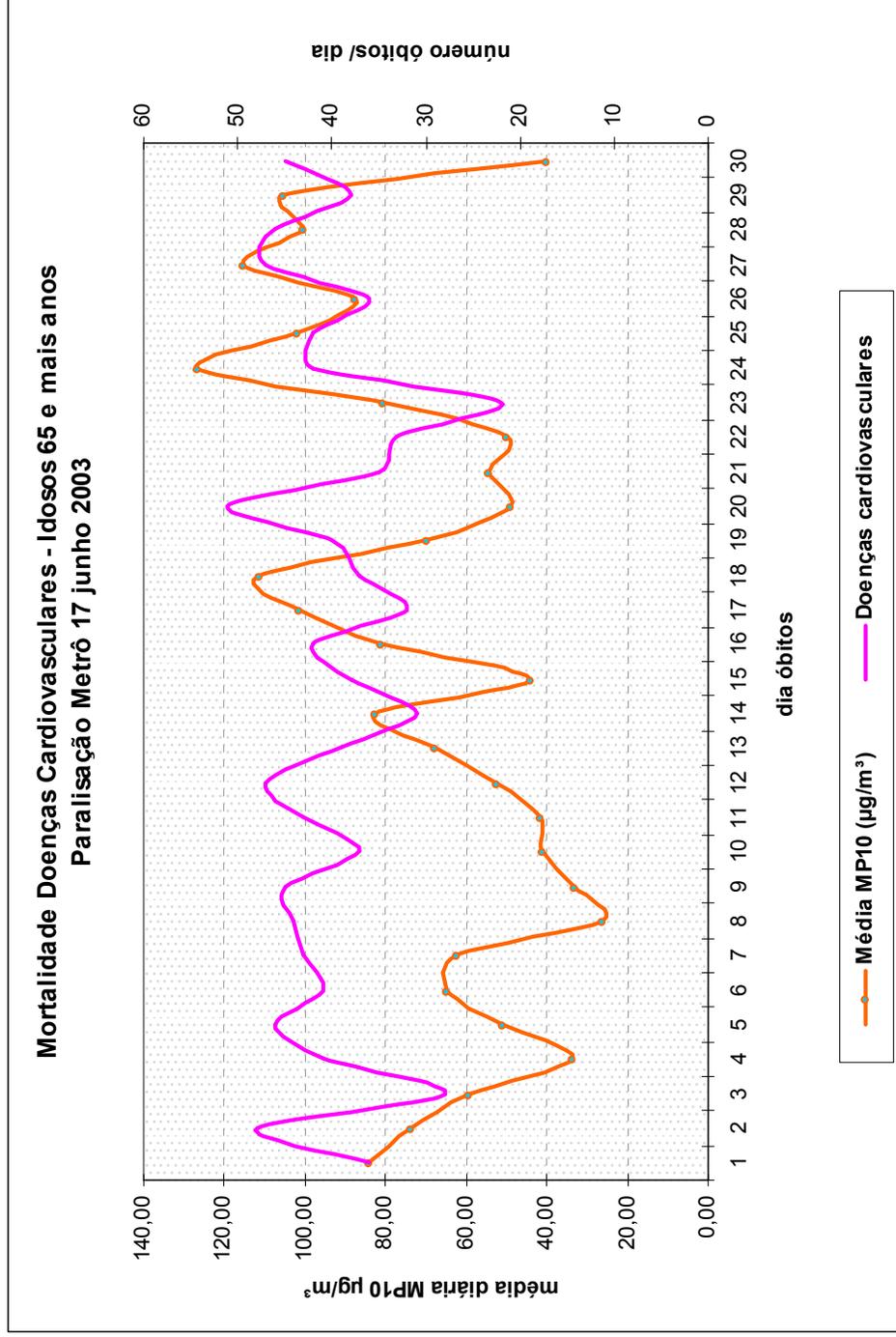


Gráfico 32 - Mortalidade por Doenças Cardiovasculares – Idosos 65 e mais anos
 Fonte: CETESB, 2003, PROAIM, 2007.

Na análise da associação entre poluição do ar e mortalidade entre os idosos considerou-se o princípio do efeito agudo, ou seja, o aumento da dose de poluente na atmosfera, que acontece no dia do evento e até 72 horas depois.

Há um aumento do número de mortes quando aumenta os níveis de concentração e os efeitos podem ocorrer 3 a 4 dias após a piora da qualidade do ar, principalmente nas paralisações que ocorreram nos meses do inverno, período em que as condições para dispersão dos poluentes são desfavoráveis por causa do fenômeno da inversão térmica.

Com base nesse conceito, a mortalidade por doenças respiratórias entre os idosos com idade entre 60 a 64 anos não revela maior incidência de casos em decorrência da poluição no período da paralisação do Metrô, em junho de 2003. Após a paralisação do Metrô há uma elevação de MP₁₀, mas não há no número de mortes, conforme mostrado na tabela 42.

Tabela 42 - Mortalidade jun 2003

DADOS MORTALIDADE/MP ₁₀		Idosos 60-64 anos			Idosos 65 anos e mais		
Dia do Óbito	Média MP ₁₀ (µg/m ³)	Doenças cardio	Doenças respiratórias	Total	Doenças cardio	Doenças respiratórias	Total
10 - Dia Similar 17	41,15	9	2	11	37	18	55
11	41,57	6	1	7	43	24	67
12	52,58	6	0	6	47	13	60
13	67,95	4	1	5	39	17	56
14	82,40	6	1	7	31	19	50
15	44,11	5	2	7	38	23	61
16	81,17	6	0	6	42	20	62
17 - Paralisação							
Metrô	101,49	7	2	9	32	15	47
18	111,30	0	1	1	37	16	53
19	69,72	3	0	3	40	7	47
20	49,03	6	0	6	51	16	67
21	54,48	8	2	10	35	20	55
22	50,13	5	1	6	33	10	43
23	80,71	5	3	8	22	22	44
24	126,88	4	3	7	42	21	63
Total mensal	1054,66	154	44	198	1195	535	1730
Média mensal	35,16	5	2	7	40	18	58

Fonte: PROAIM, 2007.

No mesmo grupo etário, os óbitos por doenças cardiovasculares são mais incidentes no dia da paralisação quando há registro de 7 mortes, duas a mais do que a média mensal (5). 24 horas depois da paralisação do Metrô não houve nenhuma morte, mas 72 horas depois foram 8 mortes, três a mais do que a média.

Entre os idosos com 65 ou mais de idade, há um registro de 32 mortes por doenças cardiovasculares no dia da paralisação, sendo 40 a média mensal, e 15 por doenças respiratórias, 18 na média do mês. Nos dias posteriores, há uma elevação significativa do número de mortes relacionadas aos problemas

cardiovasculares, 5 a mais no dia seguinte, 8 a mais 48 horas depois e 19 em 72 horas. A morte por problemas respiratórios não teve incidência maior entre os mais idosos.

No total, a paralisação do Metrô, em 2003, pode ter causado 26 mortes a mais de idosos com mais de 65 anos, num período de 72 horas, considerando-se o total registrado no dia da paralisação.

Mortalidade – ago 2006

No mês de agosto de 2006, ocorreram 1905 mortes de pessoas idosas. Destas, exatos 80% (1525) dos casos se deram por motivo de doenças cardiovasculares e os demais 20% (583) por doenças respiratórias. Os idosos com 65 anos e mais de idade constituem, em princípio o grupo mais vulnerável a tais oscilações portanto, quando piora a poluição são eles que correm maior risco de morte.

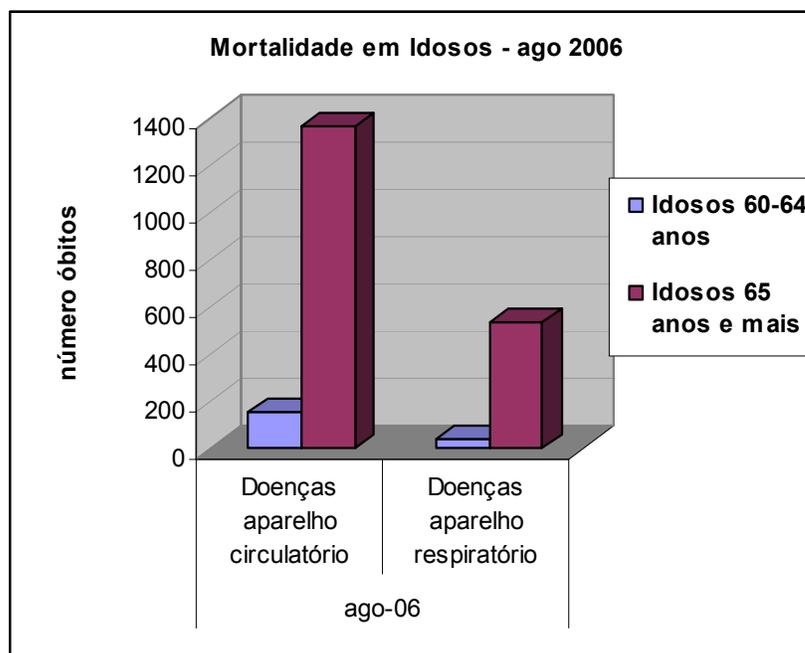


Gráfico 33 - Mortalidade Idosos – ago 2006

Fonte: PROAIM, 2007.

Assim como em 2003, a curva de mortalidade de idosos por problemas respiratórios acompanha a de material particulado, mas não há elevação atípica por conta da paralisação do Metrô, como apresentado no gráfico 34.

No começo do mês, foram vitimados mais idosos de 60 a 64 anos com a curva de elevação de particulado, e caiu depois desse período voltando a subir depois da paralisação do Metrô. No gráfico 34, pode se observar que ao final do mês reduziram-se significativamente o número de mortes, apesar do pico de concentração.

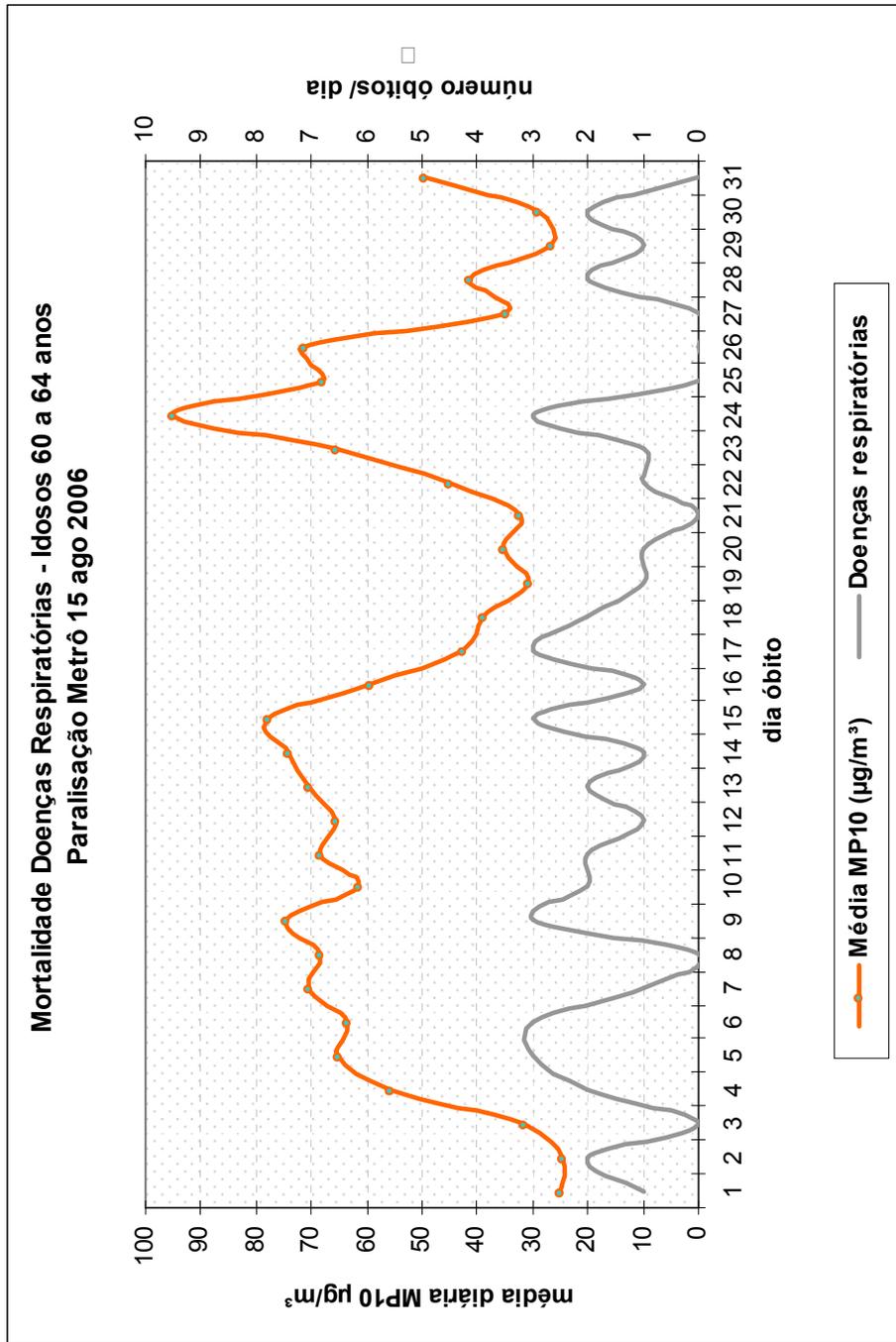


Gráfico 34 - Mortalidade Doenças Respiratórias – Idosos 60 a 64 anos

Fonte: PROAIM, 2007.

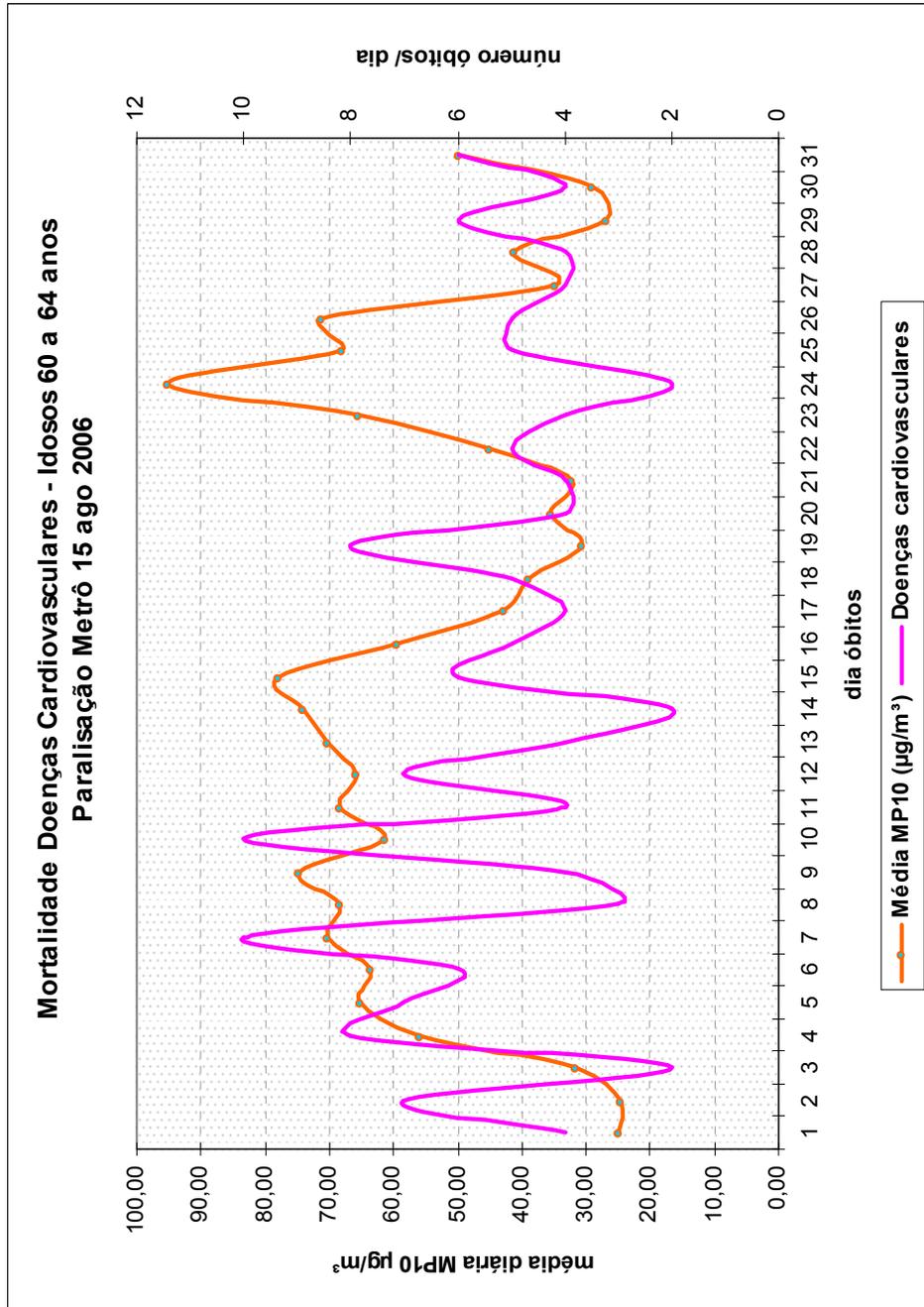


Gráfico 35 - Mortalidade Doenças Respiratórias – Idosos 60 a 64 anos

Fonte: PROAIM, 2007.

No grupo com idade de mais de 65 anos, em 2006, ocorreram 9 mortes a mais 24 horas após a paralisação do Metrô comparado com o total registrado (62) no dia do evento, como apresentado na tabela 43. Entre esses, 5 por problemas respiratórios e 4 por cardiovasculares. Cerca de 72 horas depois da paralisação, ocorreram 47 casos, cinco a mais que no dia em que o Metrô não operou.

No total, ocorreram 15 mortes a mais se considerarmos os três dias subseqüentes à paralisação em relação ao número de casos registrados no dia da paralisação.

Tabela 43 - Mortalidade Idosos 65 anos e mais – ago 2006

DADOS MORTALIDADE/MP ₁₀		Idosos 65 anos e mais		
Dia do Óbito	Média MP ₁₀ (µg/m ³)	Doenças cardiovasculares	Doenças respiratórias	Total
8	68,40	58	19	77
9	74,69	36	9	45
10	61,34	50	20	70
11	68,32	39	7	46
12	65,76	38	25	63
13	70,36	46	22	68
14	74,28	50	23	73
15 - Paralisação Metrô				
	78,02	42	20	62
16	59,29	46	25	71
17	42,77	39	26	65
18	38,91	47	18	65
19	30,69	45	11	56
20	35,42	32	22	54
21	32,24	37	17	54
22	45,02	45	15	60
Total mensal	846	650	279	929
Média mensal	27,27	21	9	30

Fonte: CETESB, 2006 e PROAIM, 2007.

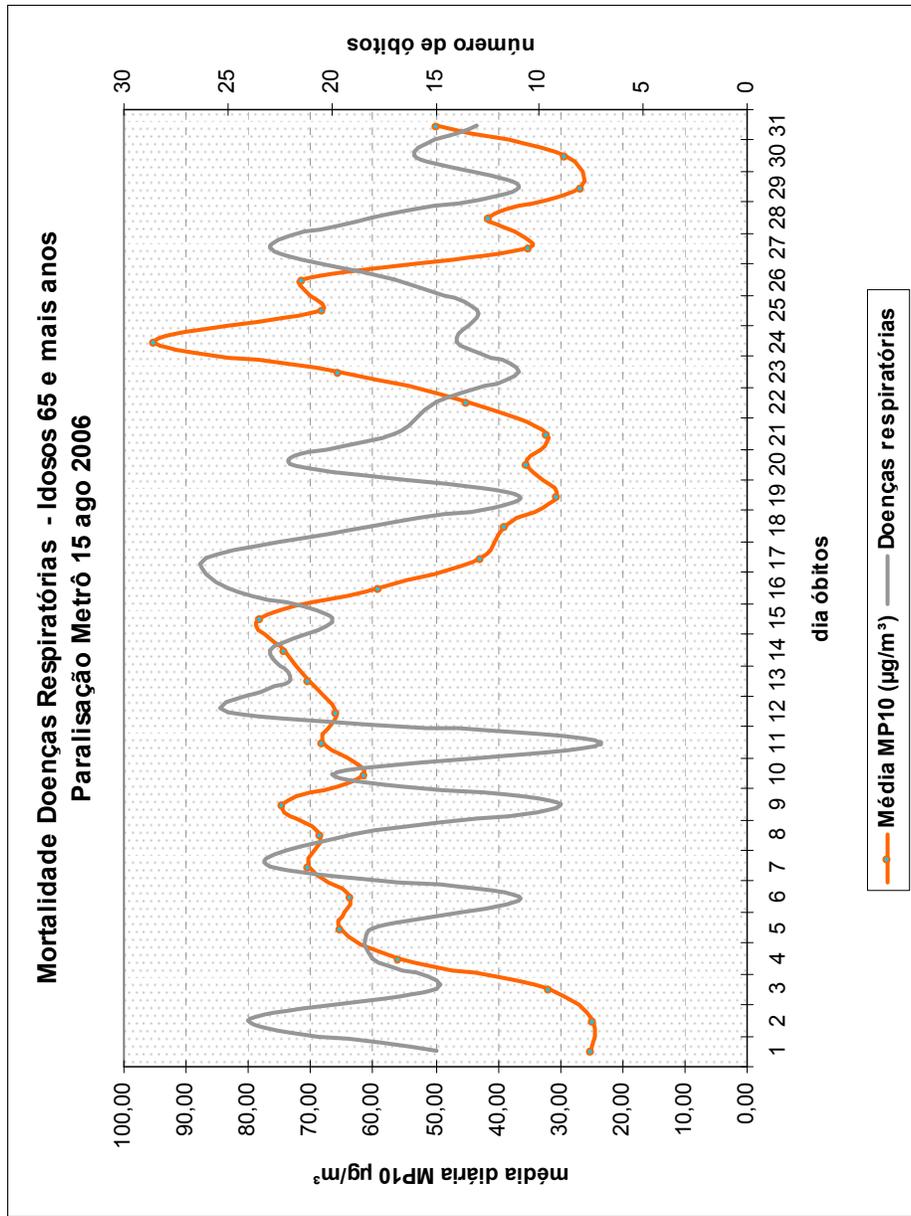


Gráfico 36 - Mortalidade Doenças Respiratórias – Idosos 65 e mais anos

Fonte: PROAIM, 2007.

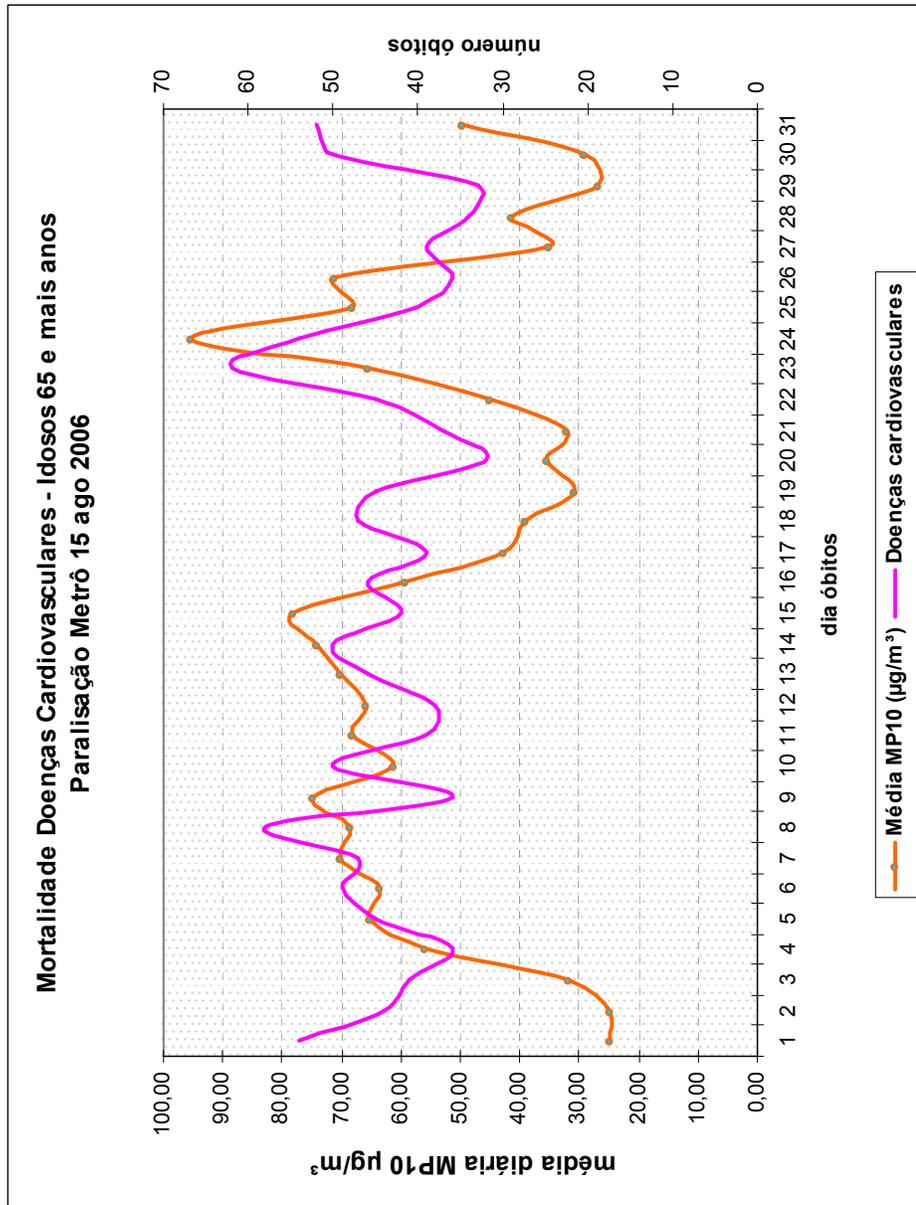


Gráfico 37 - Mortalidade Doenças Respiratórias – Idosos 65 e mais anos

Fonte: PROAIM, 2007.

4.2 Valoração dos Benefícios do Metrô para a Qualidade do Ar e a Saúde Pública

A estimativa dos benefícios do Metrô para a qualidade do ar e a saúde pública considerou a premissa de que na ausência da operação do serviço de transporte aumentam os casos de mortalidade em decorrência do aumento da concentração de material particulado (MP₁₀). Adotando-se as mortes excedentes à média diária no período de 72 horas como indicador de efeito à paralisação do serviço, pode-se dizer que as mortes evitadas com a operação correspondem ao benefício do Metrô para a saúde pública.

Os resultados do estudo de caso obtidos, em 2003 e 2006, apontaram forte correlação do trinômio **paralisação x MP₁₀ x mortalidade**. No total, ocorreram 41 mortes de idosos com 65 anos e mais de idade relacionadas a esses fatores, sendo 26 em decorrência da paralisação de 2003 e 15 da ocorrida em 2006.

Adotando-se o Valor de Vida Estatístico (VVE) proposto por Dillingham (1979) que atribuiu o valor de US\$ 550.000 mil como sendo o valor atribuível a cada vida perdida, as mortes relacionadas à paralisação do Metrô em 2003, representam um valor anual estimado de US\$ 5,219 bilhões na moeda americana e de R\$ 15.076 bilhões de reais. Em 2006, o valor anual estimado foi de US\$ 3,011 bilhões, ou seja, R\$ 6.435 bilhões.

Esses valores convertidos em moeda nacional – reais – e ajustados à cotação do dólar vigente em dezembro dos anos considerados, somariam R\$ 21.511 bilhões, conforme apresentado na tabela 44.

Tabela 44 - Valoração Benefícios Metrô para Saúde Pública

Paralisação Metrô	Mortalidade Idosos 65 anos e mais	Valor Vida Estatística VVE	Custos Saúde Ano	Benefícios Metrô/Ano
	Total Mortes Relacionadas (72 horas)	*US\$ 550 mil	US\$ (bilhões)	R\$ ¹ (bilhões)
2003	26	14.300 milhões	5,219	15.076
2006	15	8.250 milhões	3,011	6.435
Total	41	22.550 milhões	8,230	21.511

Fonte: ¹ Banco Central do Brasil, 2009. Cotação dólar americano em 30/12/2003 (1R\$ = US\$ 2,8884) e em 29/12/2006 (1R\$ = US\$ 2,1372).

Para se chegar a esse valor, as mortes ocorridas no ano de 2003 e 2006, foram valoradas aplicando-se o VVE para valorar a perda de cada uma delas e depois estimadas para um total anual, conforme expressão abaixo:

$$\text{CSP} = (\text{Mr} \cdot \text{VVE}) * a$$

CSP = Custo da Saúde Pública associado à poluição do ar gerada com a paralisação do Metrô.

Mr = número de óbitos relacionados à paralisação do Metrô

VVE = Valor de Vida Estatística (US\$550.000 mil)

a = 365 dias

O valor de vida estatística aplicado na valoração dos custos representa a realidade americana, portanto diferenciada quando comparada à realidade brasileira no que se refere às taxas salariais e aos riscos de morte, base conceitual que deu origem ao indicador. Na ausência de um indicador brasileiro e até regional que caracterize a maior cidade brasileira, é possível que os valores estejam superestimados, porém não há referência brasileira para a estimativa de valor de vida, associado ao risco de poluição atmosférica.

5. DISCUSSÃO

Os resultados do estudo mostram claramente que, sem o Metrô, a poluição do ar na cidade de São Paulo se agrava em função do incremento de veículos circulando nas ruas, formando uma condição desfavorável à saúde pública.

A análise das paralisações da operação do Metrô foi fundamental para caracterizar esse cenário, com o propósito científico, e por isso não teve seu uso motivado por ordem política.

No início da série analisada, o evento da paralisação da operação do serviço serviu para mostrar que uma atividade impactante como essa, pode alterar o ritmo da mobilidade da população a ponto de diminuir a poluição do ar, provavelmente em função da dinâmica econômica ou pela falta de alternativa de transporte. No decorrer dos outros períodos, esses efeitos na poluição do ar foram se modificando, conforme foi se ampliando a extensão da rede do Metrô e conseqüentemente a sua participação no total de viagens no MSP.

Já nos eventos mais recentes, 2003 e 2006, a qualidade do ar nos dias de paralisação é agravada, aumentando os níveis de concentração em cerca de 50%. Essa alteração representou um aumento de mortes, como outros estudos mostraram que, em São Paulo morrem de 12 a 14 pessoas diariamente, sendo 2 desses óbitos de idosos. Isto significa maior risco e mais vidas perdidas, em função das alternativas de transporte, dependendo das variações meteorológicas.

É possível que esse resultado não seja atribuível só ao Metrô, pelo estudo não ter estabelecido uma relação de causa-efeito, entre outros fatores como frota, quilometragem percorrida e adicional, e congestionamento nos dias das paralisações, no entanto, as variáveis de controle como condições meteorológicas, sazonalidade, dia da semana e a longa série histórica adotada, aufere credibilidade ao dado.

A subdivisão dos 20 anos analisados em quatro períodos, conforme as fases estabelecidas pelo PROCONVE, permitiu avaliar a efetividade das medidas de controle das emissões veiculares. No início do programa, 1986 a 1991, os níveis médios de concentração de MP_{10} atingiam patamares acima de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A partir de 1994, quando foram introduzidas melhorias tecnológicas no parque automotivo como o do sistema de injeção eletrônica, as médias ficavam em torno de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No terceiro período, de 1999 a 2001, as médias diárias de MP_{10} variaram em torno de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e só aumentavam em função dos eventos da paralisação da operação do Metrô, por exemplo.

No quarto e último período analisado, que corresponde à fase atual cujo foco é justamente o de redução da concentração de MP_{10} , os resultados do estudo apontaram a elevação das médias diárias, ficando em torno de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o que pode estar relacionado ao crescimento da frota de veículos na cidade.

A análise regionalizada da concentração de MP_{10} , tendo como base as médias obtidas em cada estação medidora, pontuou níveis mais críticos em determinadas regiões da cidade, como Cerqueira César, Congonhas, Ibirapuera, Parque D. Pedro, Pinheiros, Santo Amaro e São Miguel Paulista. Fazendo um recorte no conjunto de estações e selecionando três estações próximas a uma linha de Metrô foi possível verificar o efeito positivo da implantação da Linha 2 – Verde, na região da Estação Clínicas. As médias mensais de concentração registradas a partir do mês de início da operação caíram significativamente em relação à média anual registrada nessa região.

A análise permitiu avaliar os impactos e as conseqüências sobre a saúde da população vivendo em uma área urbana desprovida de um transporte com tecnologia potencialmente mais limpa, o que pode ser o caso de certas porções da cidade de São Paulo ainda não atendidas por transporte com tecnologia de baixo potencial poluidor.

Esses resultados apontaram que a poluição do ar é uma questão complexa e deve ser encarada como de prioridade pública, seja na adoção de medidas de controle e restritivas, bem como na definição de políticas de energia ou transporte. Esta preocupação deve ocorrer no planejamento urbano de sistemas de transporte quanto ao uso e ocupação do solo, principalmente quando são realizadas grandes intervenções nas rotas de tráfego que afetam regiões residenciais, como corredores de transporte sujeitos a maior geração de poluentes.

Áreas vizinhas a grandes corredores de tráfego sujeitas a maior geração de poluentes, baixadas urbanas e regiões sujeitas a constantes congestionamentos são pontos que condicionam maior risco aos seus habitantes, quando associadas a condições climáticas e meteorológicas desfavoráveis à dispersão.

Os efeitos da poluição por partículas inaláveis na mortalidade após a paralisação revelaram também o efeito deletério do aumento da concentração quando se observa o incremento de casos mesmo com níveis menores de concentração de material particulado. O acréscimo de mortes, após a paralisação da operação do Metrô, corrobora para os achados de que a mortalidade de idosos aumenta 12% em dias mais poluídos (Miraglia, 1997), uma vez que após 24 horas da paralisação do Metrô, tanto em 2003 como em 2006, aumentou respectivamente 11% e 13% o número de óbitos, em relação ao registrado no dia da paralisação.

O crescimento do número de mortes por doenças cardiovasculares e respiratórias como efeito agudo do incremento de partículas na atmosfera já poluída da cidade em decorrência da ausência do Metrô é alarmante e indica a necessidade de se utilizar um indicador de mortalidade como sentinela para avaliação do transporte metropolitano.

Isto porque os casos de doenças e mortes associadas à poluição do ar geram custos diretos e indiretos ao poder público. Esses gastos analisados como deseconomias, poderiam estar sendo investidos em transporte coletivo e em

medidas de controle da poluição. O planejamento deve se valer ainda da valoração ambiental como uma ferramenta importante para avaliar impactos e benefícios socioambientais de um determinado investimento e subsidiar as definições de prioridades, trazendo a análise da efetividade para o contexto da sustentabilidade.

Na abordagem transdisciplinar entre transporte, meio ambiente e saúde, a alternativa de transporte passará a ser avaliada economicamente sob outro ângulo.

A viabilidade econômica de uma linha de metrô, a um custo médio histórico de US\$ 100 milhões o quilômetro, será avaliada como um investimento sustentável ao se contabilizar e internalizar esses benefícios ambientais e sociais ao custo final. O valor do impacto da ausência do Metrô na poluição do ar e na saúde pública na cidade de São Paulo obtidos neste estudo, considerando o ano de 2003 e 2006, equivalem à implantação de 215 km de linhas. Considerando-se uma análise conservadora, metade dos custos médios por Km seria internalizado por conta dos benefícios em termos de saúde pública advindos da operação desse sistema.

Apesar dos valores representarem uma estimativa que considera uma base imprecisa e envolve questões éticas complexas como é o caso do valor da vida, é importante que se faça esse exercício para a análise econômica dos impactos sócio-ambientais de projetos.

É verdade que essa análise já vem sendo realizada pela Cia. do Metrô desde 1994, adotando metodologia de cálculo que considera os impactos da rede e de cada linha de metrô na hipótese da não existência do sistema. Os benefícios sociais são estimados em contraposição aos custos empreendidos com a sua operação, porém não incluem até hoje a dimensão da saúde pública.

Na matéria da valoração ambiental, no entanto, ainda não existem referências regionalizadas para as cidades brasileiras relacionando esses parâmetros aos aspectos socioeconômicos da população, e por isso as estimativas de custos representam uma situação pouco condizente com a realidade. No entanto, eles se justificam por que indicam ganhos e perdas em bem-estar social.

Com base nesses resultados, fica difícil imaginar uma grande cidade como São Paulo sem um transporte de alta capacidade como o Metrô, não só pelos benefícios mais diretos ou tangíveis como a melhoria da mobilidade, como outros benefícios intangíveis como um ambiente mais limpo e uma vida mais saudável.

O estudo não tem a pretensão de esgotar a análise sobre os benefícios sociais do Metrô, mas é um ponto de partida importante para a análise de sustentabilidade desse sistema, num contexto em que os transportes nas grandes cidades se tornaram vilões sob o prisma do desenvolvimento sustentável.

A partir deste momento, é interessante que se institua a análise e monitoramento dos impactos das novas linhas na qualidade do ar e na saúde adotando-se os indicadores utilizados nesse estudo, caracterizando-se as situações ex-ante e ex-post à implantação.

6. CONCLUSÃO

Os benefícios do Metrô para a saúde pública foram valorados em R\$ 10,755 bilhões anuais como contribuição deste sistema de transporte na redução da poluição atmosférica em São Paulo.

O efeito do investimento em linhas de metrô em termos ambientais e sociais pôde ser obtido logo após à sua implantação, tomando como referência o caso da operação da estação Clínicas da Linha 2 – Verde que atende a região de Cerqueira César, uma das mais poluídas de São Paulo. Logo no início da operação dessa estação, o nível de concentração médio mensal de material particulado (MP₁₀) diminuiu cerca de 19% quando comparado com o período que antecedeu ao investimento.

A ausência dessa alternativa modal no contexto de transporte, como mostrou o estudo ao analisar os impactos das paralisações da operação, pode agravar a poluição atmosférica em São Paulo e conseqüentemente as condições de saúde. Com as paralisações dos anos de 2003 e 2006, o incremento de MP₁₀ nos níveis de concentração foi de 50% comparando-se com os níveis de dias similares em condições meteorológicas. Já nos dias que precederam essas paralisações houve um incremento médio de 31% ou 30 µg/m³, analisando-se apenas as médias registradas.

Assim, o estudo evidenciou os benefícios do Metrô como uma alternativa sustentável num contexto em que o transporte motorizado inviabiliza cada vez mais as condições de vida nas grandes cidades. Nos meios técnico e científico, a presente pesquisa traz uma contribuição importante por existirem poucos estudos que avaliam os benefícios do transporte público para a saúde.

7. REFERÊNCIAS

ANFAVEA. **Tabelas de estatísticas da produção de veículos**. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>>. Acesso em 10 jun 2008.

ANDRÉ, P.A.; BRAGA, A.L.F.; LIN, C.A.; CONCEIÇÃO, G.M.S.; PEREIRA, L.A.A.; MIRAGLIA, S.G.E.K.; BOHM, G.M. Environmental epidemiology applied to urban atmospheric pollution: a contribution from the Experimental Air Pollution Laboratory (LPAE). **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, vol.16, n.3, jul./set. 2000.

BELLEN, H. M. van. **Indicadores de sustentabilidade uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: FGV, 2008.

BRANCO, G.M. e BRANCO, F.C.; **Inventário de Fontes Móveis: Benefícios do Proconve**. Relatório elaborado para o Ministério de Meio Ambiente com o apoio da Fundação Hewlett, mai 2006.

BRAGA A.L.F, PEREIRA L.A.A, MIRAGLIA S.G.E.K, CONCEIÇÃO G.M.S, SALDIVA P.H.N, BÖHM G.M. **Integrated environmental strategies in the Metropolitan Region of São Paulo: the impact of PROCONVE on air pollution health effects in São Paulo: 1991-1994 and 1997-2000**. Disponível em <<http://www.epa.gov/ies/documents/brazil/brazilfinalreport.pdf>>. Acesso em: 21 mai 2007.

BRAGA, A.L. F.; SALDIVA, P. H. N. Poluição e Saúde. **Jornal de Pneumologia**, p. S10-S16, 2001.

BRAGA, A. L. F. et al. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. **Cad. Saúde Pública**, vol.23 (suppl.4), Rio de Janeiro 2007

CANEPA, E. M. et al. **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

CET. Companhia de Engenharia de Tráfego. **Trânsito**. Disponível em: <www.cetsp.com.br/>. Acesso em: 14 set. 2007.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 1986**. São Paulo, 1987.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 1987**. São Paulo, 1988.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 1988**. São Paulo, 1989.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 1989**. São Paulo, 1990.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 1990**. São Paulo, 1991.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 1991**. São Paulo, 1992.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 1992**. São Paulo, 1993.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 1993**. São Paulo, 1994.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 1994**. São Paulo, 1995.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 1995**. São Paulo, 1996.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 1996**. São Paulo, 1997. 86p. il.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 1997**. São Paulo, 1998. 98p. il.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 1998**. São Paulo, 1999. 53p. il.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 1999**. São Paulo, 2000. 53p. il.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 2000**. São Paulo, 2001. 124p. il.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 2001**. São Paulo, 2002. 124p. il.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 2002**. São Paulo, 2003. 131p. il.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 2003**. São Paulo, 2004. 137p. il.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 2004**. São Paulo, 2005. 137p. il.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 2005**. São Paulo, 2006. 137p. il.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 2006**. São Paulo, 2007. 167p. il.

_____. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no estado de São Paulo 2007**. São Paulo, 2008. 284p. il.

CIFUENTES, L.; BORJA A. V.H.; GOUVEIA, N. ; THURSTON, G. & DAVIS, D. L. Assessing the health benefits of urban pollution reductions associated with climate change mitigation (2000 – 2020): Santiago, São Paulo, México City and New York. **Environmental Health Perspectives**, vol. 109, n. 3, p. 419-425, jun. 2001.

CONCEIÇÃO, G.M.; MIRAGLIA, S. G. E. K.; KISHI, H.S.; SALDIVA, P.H.; SINGER, J.M. Air pollution and child mortality: a time-series study in São Paulo, Brazil. **Environ Health Perspect**, vol.109, n. 3, p. 347-350, jun. 2001.

CONCEIÇÃO, G. M. S.; SALDIVA, P. H. N. ; SINGER, J. M . Modelos MLG e MAG para Análise da Associação entre Poluição Atmosférica e Marcadores de Morbi-Mortalidade: Uma Introdução Baseada em Dados da Cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 4, n. 3, p. 206-219, 2001

DETRAN. **Frota de Veículo**. Disponível em: www.detran.sp.gov.br/frota/frota.asp. Acesso em 10 jan 2008.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**. São Paulo: Editora Signus, 2000.

DILLINGHAM, A. **The Injury Risk Structure of Occupations and Wages**. Dissertation, Cornell University, Ithaca, NY, 1979.

DOCKERY, D.W et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. **N Engl J Med**, vol. 329, p. 1753-1759, abr. 1993.

DOCKERY, D.W.; POPE, C.A. Acute respiratory effects of particulate air pollution. **Annu Rev Public Health**, vol. 15, p.107-132, mai. 1994.

ESCOBAR, H. Sem Ar. **Caderno Megacidades do Jornal Estado de São Paulo**. Disponível em <http://busca.estadao.com.br/jSearch/CBQM!CBQM.action?e=&s=ESCOBAR%2C%20Herton>>. Acesso em 11 jan. 2009.

FARHAT S.C. et al. Effect of air pollution on pediatric respiratory emergency room visits and hospital admissions. **Braz J Med Biol Res**, vol. 38, n. 2, p.227-35, fev. 2005.

FARIAS, T. A. A.T.L. Problemática Ambiental e Energética nos Transportes. **Apresentação 6º Congresso Nacional da ADFER**, Lisboa, 2005. Disponível em: <http://www.antrop.pt/04_notic_info/04_Intervencoes/outras/ADFER_Tiago_Farias_IST.pdf>. Acesso em 1 nov 2008.

FREITAS, C. et al. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. **Rev. Saúde Pública**, v. 38, n. 6, p. 751-757, 2004.

GONÇALVES, F.L.T. ; CARVALHO, L. M. ; CONDE, F.C. ; LATORRE, M.D.R.D.O. ; SALDIVA, P. H. N. ; BRAGA, A.L.F. The Effects of Air Pollution and Meteorological Parameters on Respiratory Morbidity During the Summer in São Paulo City. **Environment International**, v. 31, n. 3, p. 343-349, 2005.

GONZALES, D. **Frota maior põe em risco controle da poluição** . Disponível em: <<http://www.nossasaopaulo.org.br/portal/node/709>>. Acesso em 18 abr 2008

GORHAM, R. Air Pollution from Ground Transportation. An assessment of causes, strategies and tactics, and proposed actions for the international community. The Global Initiative on Transport Emissions. **A Partnership of the United Nations**

and the World Bank, Division for Sustainable Development, Department of Economic and Social Affairs. 181p., 2002.

GOUVEIA, N.; FLETCHER, T. Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in São Paulo, Brazil: a time series analysis. **Occupational Environmental Medicine**, vol. 57, p.477–483, jan. 2000.

GOUVEIA, N.; FLETCHER, T. Time series analysis of air pollution and mortality: effects by cause, age and socioeconomic status. **J. Epidemiology Community Health**, vol. 54, p.750-755, out. 2000.

GOUVEIA, N.; MENDONÇA, G.A.; LEON, A.P.; CORREIA, J.E.; JUNGER, W.L.; FREITAS, C.U. et al. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. **Epidemiol Serv Saúde**, vol.12, p.29-40, 2003..

GOUVEIA, N. et al. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. **Epidemiol. Serv. Saúde**, vol.12, n.1, p.29-40, mar. 2003.

IBGE. **Estimativas de população por município**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2006/estimativa.shtm>>. Acesso em 5 set 2008.

IPEA. **Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público**. Brasília: ANTP/IPEA, 1998. 375 p.

KOZERSKI, G. R. & HESS, S. C. Estimativa dos poluentes emitidos pelos ônibus e microônibus de Campo Grande/MS, empregando como combustível diesel, biodiesel ou gás natural. **Nova Técnica**, vol.2, n.2, p.113-117, abr./jun. 2006.

LICHTENFELS, A. J. et al. Increased Level of Air Pollution and a Decrease in the Human and Mouse Male-to-Female ratio in SP. American Society for Reproductive

Medicine, Published by Elsevier Inc. **Brazil Fertility and Sterility**. Vol. 87, n°1. jan 2007.

LIN, C.A.; MARTINS, M.A.; FARHAT, S.C.L.; POPE, C.A.III.; CONCEIÇÃO, G.M.S.; ANASTÁCIO, V.M.; HATANAKA, M.; ANDRADE, W.C.; HAMAUE, W.R.; BOHM, G.M. et al. Air pollution and respiratory illness of children in São Paulo, Brazil. **Pediatr Perinat Epidemiol**, vol.13, n.4, p.475-488, out. 1999.

LIN, C.A.; PEREIRA, L.A.A.; CONCEIÇÃO, G.M.S.; KISHI, H.S.; MILANI JR, R.; BRAGA, A.L.F.; SALDIVA, P.H.N. Association between air pollution and ischemic cardiovascular emergency room visits. **Environmental Research**, vol. 92, n.1, p.57-63, mai. 2003.

LOMBARDO, M. A.. **Ilha de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Ed. Hucitec 1985. p.244.

MARTINS, L.C., LATORRE, M. R. D., SALDIVA, P.H.N., BRAGA, A. L. F. Relação entre Poluição Atmosférica e Atendimentos por Infecção de Vias Aéreas Superiores no MSP: Avaliação do Rodízio de Veículos. **Revista Bras. Epidemiol**, vol.4, n.2, p.220-229, nov. 2001.

MARTINS, M.C.; FATIGATI, F.L.; VESPOLI, T.C.; MARTINS, L.C.; PEREIRA, L.A.; MARTINS, M.A.; SALDIVA, P.H.; BRAGA, A.L. Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in Sao Paulo, Brazil. **J Epidemiol Community Health**, vol.58, n.1, p.41-46, 2004.

MATTOS, A.; MATTOS, K.M.C. **Valoração econômica do meio ambiente: uma abordagem teórica e prática**. São Paulo: Rima Editora, 2004.

MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C. ; VINHA, V. **Economia do Meio Ambiente : teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

MEDEIROS, A.; GOUVEIA, N. Relação entre baixo peso ao nascer e a poluição do ar no Município de São Paulo. **Rev. Saúde Pública**, vol.35, n.6, p.965-972, 2005.

METRÔ. **Pesquisa Origem e Destino na RMSP**. Disponível em: <<http://www.metro.sp.gov.br/empresa/pesquisas/shtml>. 2007

MIRAGLIA, S. G. E. K.; SALDIVA, P. H. N.; BÖHM, G. M. An Evaluation of Air Pollution Health Impacts through DALY in São Paulo, Brazil. In: **International Society for Ecological Economics**, 2002.

MIRAGLIA, S.G.E.K Health. Environmental, and economic costs from the use of a stabilized diesel/ethanol mixture in the city of São Paulo, Brazil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 23 sup. 4: S559 – S569, 2007.

MIRAGLIA, S.G.E.K.; SALDIVA, P.H. An Evaluation of Air Pollution Health Impacts and Costs in São Paulo, Brazil. **Environmental Management**, vol. 35, n.5, p.667-676, 2005.

MIRAGLIA, S. G. E. K. **Análise do Impacto do Consumo de Diferentes Combustíveis na Incidência de Mortalidade por Doenças Respiratórias no Município de São Paulo**. 1997. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.

MIRAGLIA, S. G. E. K. Health, environmental, and economic costs from the use of a stabilized diesel/ethanol mixture in the city of São Paulo, Brazil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, vol. 23, n.4, p.S559-S569, 2007.

NEWMAN, P. W. G.; KENWORTHY, J. R. **Sustainability and cities overcoming automobile dependence**. EUA: Island Press, 1999.

PETROBRÁS. **Meio ambiente.** Disponível em:
<http://www2.petrobras.com.br/portugues/ads/ads_MeioAmbiente.html>.
Acesso em 9 jun 2007.

POPE C. A. Epidemiology of Fine Particulate Air Pollution and Human Health: Biologic Mechanisms and Who's at Risk? **Environ Health Perspect**, vol.108, n.4, p.713-723, ago. 2000.

POPE, C.A.; SCHWARTZ, J.; RANSOM, M.R. Daily mortality and PM10 pollution in Utah Valley. **Arch Environ Health**, vol.47, n.3, p.211-217, may./jun. 1992.

POPE, C.A.; THUN, M.J.; NAMBOODIRI, M.M.; DOCKERY, D.W.; EVANS, J.S.; SPEIZER, F.E.; HEATH, J.C.W. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. **Am J Respir Crit Care Med**, vol.151, n.3, p.669-674, 1995.

POPE, C.A.; BURNETT, R.T.; THUN M.J.; CALLE, E. E.; KREWSKI, D.; ITO, K.; THURSTON, G. D. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. **JAMA**, vol.287, n.9, p.1132-1141, 2002.

POPE, C.A.; BURNETT, R.T.; THUN M.J.; CALLE, E. E.; KREWSKI, D.; ITO, K.; THURSTON, G. D. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. **JAMA**, vol.287, n.9, p.1132-1141, 2002.

Prefeitura da Cidade de São Paulo. **São Paulo em movimento.** Disponível em:
<<http://www9.prefeitura.sp.gov.br/spMovimento/>>. Acesso em 18 ago 2008.

PROAIM. **Dados de Mortalidade.** Disponível em:
<<http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/cgi/deftohtm.exe?secretarias/saude/TABNET/SIM/obito.def>>. Acesso em 17 nov 2008.

RANSOM, M.R. AND POPE, C.A.. Elementary school absences and PM10 pollution in Utah Valley. **Environ Res**, 58, pp. 204–219, 1992.

ROMIEU, I.; LUGO, M.C.; VELASCO, S.R.; SANCHEZ, S.; MENESES, F. and HERNANDEZ, M.. Air pollution and school absenteeism among children in Mexico City. **Am J Epidemiol**, vol.136, pp. 1524–1531, 1992.

SALA, Janaína Francisco. **Valoração dos Custos Ambientais Relacionados à Saúde - Estudo de Caso: Setor de Transportes da Cidade de São Paulo**. 1999. 153 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético, Engenharia), COPPE/UFRJ. 1999.

SALDIVA, P. H. N. ; MARTINS, Lurdes C ; LATORRE, Maria Do Rosário Dias O ; CARDOSO, M. R. A. ; GONÇALVES, Fábio L T ; BRAGA, Alfésio Luiz F . Poluição Atmosférica e Atendimento por Pneumonia e Gripe em São Paulo, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n. 1, p. 88-94, 2002.

SALDIVA, P. H. N. ; SIMÕES, Silvia M. ; SANTOS, Mario Adriano dos ; FERNEZLIAN, Sandra M.; GARIPPO, Ana Lúcia ; MARTINS, Milton de Arruda ; MAUAD, Thaís ; DOLHNIKOFF, Marisa . Inflammatory Cell Mapping of the Respiratory Tract in Fatal Asthma. **Clinical and Experimental Allergy**, v. 35, n. 5, p. 602-611, 2005.

SALDIVA, P. H. N. Fatores Ambientais e Ressecamento Nasal. Rio de Janeiro: **Revista Brasileira de Medicina**, v. 2, p.32-33, 2007.

SALDIVA, P.H.; KING, M.; DELMONTE, V.L.; MACCHIONE, M.; PARADA M.A.; DALIBERTO, M.L.; SAKAE, R.S.; CRIADO, P.M.; SILVEIRA, P.L.; ZIN, W.A. Respiratory alterations due to urban air pollution: an experimental study in rats. **Environ Res**, vol.57, n.1, p.19-33, feb. 1992.

SALDIVA, P.H.; POPE, C.A.; SCHWARTZ, J.; DOCKERY, D.W.; LICHTENFELS, A.J.; SALGE, J.M.; BARONE, I.; BOHM, G.M. Air pollution and mortality in elderly

people: a time-series study in Sao Paulo, Brazil. **Arch Environ Health**, vol.50, n.2, p.159-163, mar./apr. 1995.

SALDIVA, Paulo Hilário. **Transporte, sustentabilidade e cidadania**. Disponível em:

<<http://www.nossasaopaulo.org.br/portal/files/transportesustentabilidadecidadania.pdf>>. Acessado em: 25 jun. 2008.

SINDICATO DOS METROFERROVIÁRIOS DE SÃO PAULO. **Publicações**. Disponível me: <<http://www.metroviarios-sp.org.br/>>. Acesso em 16 Jul 2007.

SCHWARTZ, J. Particulate air pollution and daily mortality in Detroit. **Environ Res**, vol.56, n.2, p.204-213, dec.1991.

SCHWARTZ, J. Total suspended particulate matter and daily mortality in Cincinnati, Ohio. **Environ Health Perspect**, vol.102, p.186-189, 1994.

SCHWARTZ, J. What are people dying of on high air pollution days? **Environ. Res**, vol.64, n.1, p.26-35, jan. 1994.

SCHWARTZ, J. Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of deaths or hospital admissions. **Journal of Epidemiology and Community Health**, 50(Suppl 1):S3-11, 1996.

SCHWARTZ, J.; DOCKERY, D.W.; NEAS, L.M. Is daily mortality associated specifically with fine particles? **J air Waste Manage Assoc**, vol.46, n.10, p.927-939, oct. 1996.

SEADE. **Perfil municipal**. Disponível em: <www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfil.php>. Acesso em 4 fev 2008.

SEROA DA MOTTA R.; MENDES, F. E. Instrumentos econômicos na gestão ambiental: aspectos teóricos e de implementação - Economia Brasileira em Perspectiva. Rio de Janeiro: **IPEA/DIPES**, 1996.

SEROA DA MOTTA, R. Manual de valoração econômica de recursos ambientais. Brasília: **IPEA/MMA**, 1997

SPTRANS. **Indicadores**. Disponível em: <<http://www.sptrans.com.br/new05/>>. Acesso em 22 mai 2008.

UITP. **3 Steps to Sustainable Mobility**. Disponível em: <www.uitp.com>. Acesso em 20 jun 2006.

UITP. **Bringing quality to life**. Disponível em: <www.uitp.com>. Acessado em: 20 jun. 2006.

Vasconcellos, E. A. **Mobilidade, equidade e sustentabilidade**. I Curso Internacional de Transporte e Sustentabilidade. ANTP, 2005

VASCONCELLOS, E. A. **Transporte e Meio Ambiente - conceitos e informações para análise de impactos**. São Paulo: Edição do autor, 2006

VITTE, C. D.; IMAEDA, R. Transportes Coletivos e Urbanização na Cidade de São Paulo na Primeira Metade do Século XX: Aspectos Político-Institucionais, Atores, Alianças e Interesses. São Paulo: **GEOUSP – Espaço e Tempo**, n° 21, p. 67 – 84, 2007.

WHO. **Statistical Information System 2005**. Disponível em: <<http://www.who.int/whosis/en/index.html>>. Acesso em 29 dez 2008.

WHO. **WHO air quality guidelines global update 2005**. Report on a Working Group meeting, Bonn, Germany, 18-20 october 2005. (Relatório)