UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
(EP - FEA - IEE - IF)

THELMA LOPES DA SILVA LASCALA

EXTERNALIDADES DA SUBSTITUIÇÃO DO DIESEL PELO ETANOL NO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

SÃO PAULO
2011

THELMA LOPES DA SILVA LASCALA

EXTERNALIDADES DA SUBSTITUIÇÃO DO DIESEL PELO ETANOL NO TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica / Faculdade de Economia e Administração / Instituto de Eletrotécnica e Energia / Instituto de Física) para obtenção do título de Doutora em Energia.

Orientadora: Prof[a]. Dra. Suani Teixeira Coelho

São Paulo
2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Lascala, Thelma Lopes da Silva

Externalidades da Substituição do Diesel pelo Etanol no Transporte Público Urbano da Região Metropolitana de São Paulo / Thelma Lascala; orientadora: Prof[a] Dra Suani Teixeira Coelho – São Paulo, 2011.

269 f.: il.; 30 cm.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Energia – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

1. Externalidades 2. Diesel 3. Etanol 4. Emissões 5. Transporte Público Urbano 6. Região Metropolitana de São Paulo

1. titulo

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
(EP / FEA / IEE / IF)

Thelma Lopes da Silva Lascala

Externalidades da Substituição do Diesel pelo Etanol no Transporte Público Urbano da Região Metropolitana de São Paulo

Tese defendida e aprovada em pela comissão julgadora:

_____

Prof[a] Dra. Suani Teixeira Coelho

_____

Prof° Dr. José Roberto Moreira

_____

Prof° Dr. Geraldo Francisco Burani

_____

Prof° Dr. Francisco Nigro

_____

Prof° Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira

DEDICATÓRIA

para Cynthia e Cybele

“as duas metades inteiras do meu coração de mãe”

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo presente da vida.

À minha orientadora Suani Teixeira Coelho, que, apesar das inúmeras atribuições e responsabilidades, sempre esteve disponível para a orientação necessária ao desenvolvimento desta tese.

Ao Professor José Roberto Moreira pelas muitas contribuições valiosas.

Ao Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP, pelo apoio técnico e utilização das instalações.

À amiga Silva Maria Stortini González Velázquez, por tantas atenções e apoio.

À Ivanilda Pegoralli Silva, exímia digitadora, sem a qual este trabalho não seria concretizado.

Ao casal João Carlos de Oliveira e Ivana Moutinho de Oliveira, meus pais, pelas numerosas discussões e sugestões ofertadas para a tese.

Ao meu marido, José Fernando Lascala, e às minhas filhas, dos quais furtei momentos de valiosa convivência.

RESUMO

LASCALA, Thelma Lopes da Silva. **Externalidades da Substituição do Diesel pelo Etanol no Transporte Público Urbano da Região Metropolitana de São Paulo,** 2011. 269 f. Tese (Doutorado em Energia). Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

A Matriz Energética Brasileira é plenamente sustentável tendo em vista as emissões de gases de efeito estufa (GEEs), devido ao fato da eletricidade de origem hídrica, bem como do uso do etanol da cana-de-açúcar utilizado em veículos automotivos leves. A maioria das emissões dos GEEs no Brasil vem do desmatamento da Amazônia. Contudo, o uso do óleo diesel especialmente para o transporte (caminhão e ônibus) ainda é um problema a ser resolvido, não apenas devido à emissão de carbono, mas também, porque o óleo diesel no Brasil ainda apresenta emissões altamente poluentes: material particulado (MP), óxidos de nitrogênio (NO_x) e óxidos de enxofre (SO_x) - as emissões mais importantes, além dos gases de efeito estufa (GEEs). O uso do biodiesel está contribuindo para a redução de tais emissões, mas medidas completares ainda são necessárias. A introdução da Lei Federal de Mudanças Climáticas (nº 12.187) é um destes instrumentos. No Município de São Paulo a Lei de Mudanças Climáticas (Lei Municipal nº 14.933) de 9 de novembro de 2009 estabelece uma redução dos GEEs em torno de 20% até 2020. Para atingir este objetivo, além da necessária redução das emissões locais (GELs) na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com aproximadamente 20 milhões de pessoas, uma perspectiva recente e significante é o uso de ônibus movidos a etanol. Os testes efetuados no Projeto BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável - comprovam tal afirmação e esta é, talvez, a única tecnologia desenvolvida e melhorada para o cumprimento de tais necessidades no curto prazo. O uso do etanol em ônibus já é uma realidade em Estocolmo (Suécia). Além da cidade de São Paulo (pioneira nas Américas), este projeto custeado pela União Européia esta sendo levado adiante em oito cidades da Europa e da Asia. No Brasil, o projeto foi desenvolvido e coordenado pelo CENBIO, Centro Nacional de Referência em Biomassa do Instituto de Eletrotécnica da USP, com a participação de outras instituições. Este projeto tem sido desenvolvido desde 2007 e, atualmente, conta com dois ônibus diesel adaptados para operar com etanol. A prefeitura de

São Paulo decidiu recentemente comprar outros 50 ônibus. Os ônibus atuam tanto na Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos (EMTU) na linha Jabaquara – São Mateus, quanto na São Paulo Transportes (SPTRANS), no corredor Lapa – Vila Mariana. Com vistas a contribuir efetivamente para a introdução do ônibus movido a etanol na RMSP e em todo território brasileiro, bem como efetivar a redução de poluentes de efeito local e global, diminuindo as doenças cardiorrespiratórias, em adição ao cumprimento da lei Municipal de Mudanças Climáticas, esta tese tem como propósito identificar e quantificar as emissões, os benefícios sociais e externalidades do etanol, substituindo o óleo diesel. As externalidades (custos e benefícios ambientais e sociais) ocorrem quando alguém se envolve em qualquer ação que origina impacto positivo ou negativo, no bem estar humano. Quando uma externalidade ocorre, o interesse da sociedade em um negócio tradicional qualquer, vai além do bem estar entre compradores e vendedores; leva em consideração também outras pessoas que possam ser afetadas em qualquer situação. BEST – BioEthanol for Sustainable Transport – surge como uma inovação adequada para o transporte público da RMSP, mas políticas são necessárias para a orientação de tomadores de decisões. As políticas públicas devem estabelecer preços no que tange aos benefícios ambientais (externalidades positivas) e fixar custos (externalidades negativas). Neste contexto, a avaliação dos impactos ambientais e, portanto, as identificações das externalidades são fundamentais para consolidar tal tecnologia como uma solução viável a curto prazo na RMSP.

Palavra-Chave: Externalidades, Diesel, Etanol, Emissões, Transporte Público Urbano, Região Metropolitana de São Paulo

ABSTRACT

LASCALA, Thelma Lopes da Silva. **Externalities of ethanol replacing diesel oil in the Public Urban Transport of São Paulo's Metropolitan Region**, 2011, 269 f. Doctorate Thesis. Graduate Program on Energy, Universidade de São Paulo, 2011

Brazilian energy matrix is quite sustainable regarding GHG (Green House Gas) emissions due to the electricity from hydro-origin and the usage of vehicles. Most GHG emissions in Brazil come from Amazonian (rain forest) deforestation. However, the usage of diesel oil mainly for transporting (trucks and buses) is still a problem to be solved, not only due to carbon emissions, but also because of diesel oil in Brazil still produces highly pollutant emissions: particulate material (PM), Nitrogen Oxide (NO_x) and Sulfur Oxide (SO_x) are the most substantial emissions as well as GHG. Biodiesel's usage is contributing to reduce such emissions but, further steps are even necessary. The introduction of the Federal Climate Change Law 12187 is one of these deeds. The Municipal Climate Change Law 14933, in the city of São Paulo, from November, 9th, 2009, sets up reduction of GHG emissions in 20% by 2020. For reaching such a goal, beyond necessary reduction of local emissions in RMSP – Metropolitan Region of São Paulo (approximately 20 million in habitants), a recent and meaning perspective is the usage of buses powered by ethanol. The tests accomplished by the project named BEST – Bioethanol for Sustainable Transportation – corroborate such fact and this is the only developed and improved technology to the fulfillment of these requirements in a short-term. The usage of ethanol has already been reality for a long time in Stockholm, Sweden. Besides the city of São Paulo (pioneer in the whole American Continent), this project is carried forward in eight plus European and Asiatic cities and is funded by the European Economic Union. In Brazil, this project was developed and coordinate by CENBIO – Brazilian of reference of Biomass from Electrotechnic and Energy Institute of USP – University of São Paulo, with other institute partnership. Such project has been developed since 2007 and, currently, count on two diesel buses adapted to operate with ethanol and the São Paulo mayoralty has just decide to buy 50 more buses.These buses operate both in EMTU – São Paulo Metropolitan Company for Urban Transportation – on Jabaquara-São Mateus bus

corridor and SPTRANS – São Paulo Transportation – on Lapa-Vila Mariana bus corridor. In order to foster effectively the introduction of powered by ethanol in RMSP – Metropolitan Region of São Paulo – and in the whole Brazilian Territory as well as to settle the reduction of global and local air pollutant, decreasing respiratory and cardiovascular diseases, besides the fulfillment of the Municipal Climate Change Law, this thesis focus in identifying and quantifying emissions, social benefits and "externalities" of ethanol replacing diesel oil. "Externalities" (environmental and social costs and benefits) take place when one engages in any case that impacts positively or negatively in human welfare; when "externalities" occurs, society's interest in any tradition business goes beyond buyer and sellers welfare; it takes in to account other people who may be affected in any case. BEST – Bioethanol for Sustainable Transportation – stands for adequate innovation to the public transportation in RMSP – Metropolitan Region of São Paulo – but policies are necessary to guide decision's settlers. Public policies are to set price regarding environmental benefits (positive "externalities") and to set cost (negative "externalities"). Therefore, appraisal of environmental impacts and, thereafter, identification of "externalities" are essential to faster such a technology as a feasible result in RMSP – Metropolitan Region of São Paulo – in short-time.

Keywords: Externalities, Diesel, Ethanol, Emissions, Public Urban Transportation, Metropolitan Region of São Paulo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 - Consequências da Ineficiência do Transporte Público 31
Figura 2. 2 - Região Metropolitana de São Paulo..... 36
Figura 3. 1 - Funcionamento de um motor ciclo Diesel de quatro tempos..... 47
Figura 3. 2- Motor Scania DC9 E02..... 48
Figura 3. 3– Motor cuja taxa de compressão é 28:1..... 51
Figura 3. 4- Pistões de motores ciclo Diesel de mesma potência..... 54
Figura 3. 5 – Configuração do sistema EGR..... 55
Figura 3. 6 - Sistema EGR de duplo estágio..... 56
Figura 3. 7- Consumo de Energia no Mundo 60
Figura 3. 8 – Estrutura, por setor, de consumo final de energia no Brasil 60
Figura 3. 9 - Estrutura de Consumo no Setor de Transporte Brasileiro 61
Figura 3. 10 - Crescimento das vendas de veículos pesados no Brasil entre 2007 e 2008..... 62
Figura 3. 11 - A reação de transesterificação. R representa uma mistura de várias cadeias de ácidos graxos. O álcool empregado para a produção de biodiesel é geralmente o metanol (R'= CH_3)..... 64
Figura 4. 1 - Disposição dos tanques de combustível e do pré aquecedor de combustível..... 75
Figura 4. 2- Pré aquecedor de combustível 76
Figura 5. 1 – Ciclo de Vida do Etanol de Cana-de-Açúcar 89
Figura 5. 2 – Evolução da Urbanização no Brasil 106
Figura 6. 1 – Custo Social da Produção de Óleo Diesel..... 126
Figura 6. 2 – O etanol e o Ótimo Social 127
Figura 6. 3 – Limites de Emissão para Ônibus Diesel..... 175
Figura 7. 1 – Produtividade do Etanol de diferentes matérias-primas..... 180
Figura 7. 2 – Balanço Energético do etanol de diferentes matérias primas..... 180
Figura 7. 3 – Custo de produção do etanol para diferentes matérias-primas..... 181
Figura 7. 4 – Cana-de-açúcar no Brasil 182

LISTAS DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 4. 1 – Ônibus movido a etanol 71
Fotografia 4. 2 – Chassi e motor no porto de Santos..... 72
Fotografia 4. 3 – Fabricação' da carroceria na fábrica da Marcopolo..... 73
Fotografia 4. 4 - Espaço interno ocupado pelos tanques de combustível..... 73
Fotografia 4. 5 - Ônibus movido a etanol aditivado..... 74
Fotografia 4. 6 – Pré –aquecedor com as linhas de retorno inutilizadas 76
Fotografia 4. 7 – Vista superior do tanque em que o desvio da linha de combustível foi instalado..... 76
Fotografia 4. 8 - Monitoramento de pressão e temperatura do combustível 77
Fotografia 4. 9 - Operação simulada com uso de lastro (galões de água) 77
Fotografia 4. 10 - Veículo a etanol aditivado na cidade de Arjelog, Suécia 78
Fotografia 4. 11 - Veículos a etanol aditivado em La Spezia..... 81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2. 1 - Evolução dos Preços e Insumos do Transporte 33
Gráfico 2. 2 - Região Metropolitana de São Paulo - Evolução das Viagens Diárias por Modo 1977 a 2007 39
Gráfico 3.1 - Curva de torque do motor DC9 EO2 50
Gráfico 3.2- Curva de potência do motor DC9 E02 50
Gráfico 3. 3 – Curva de torque do motor DC9 17 50
Gráfico 3. 4 - Curva de potência do motor C9 17 50
Gráfico 3.5 – Eficiência do ciclo Otto e Diesel segundo a taxa de compressão. 52
Gráfico 3.6 – Ciclo ideal padrão Diesel – pressão x volume 53
Gráfico 6. 1 – Emissões Relativas de Poluentes Por Tipo de Fonte - 2009 152
Gráfico 6. 2 – MP_{10} → Concentrações Médias Mensais – (2005 -2009) – RMSP – (todas as estações de medição) 154
Gráfico 6. 3 – MP_{10} – Classificação das Concentrações Médias Anuais - RMSP 154
Gráfico 6. 4 – MP – Evolução das Concentrações Médias Anuais - RMSP 155

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1 - Indicadores Comparativos entre Ônibus, Motocicletas e Automóveis 34
Tabela 2. 2 - Região Metropolitana de São Paulo - Dados Globais: 1967, 1977, 1987, 1997 e 2007 37
Tabela 2. 3 - Região Metropolitana de São Paulo - Distribuição da Frota de Automóveis Particulares por Idade* - 2007 38
Tabela 2. 4 - Região Metropolitana de São Paulo - Evolução das Viagens Diárias por Modo Principal – 1967, 1977, 1987, 1997 e 2007 39
Tabela 2. 5 - Região Metropolitana de São Paulo - Índice de Mobilidade por Modo Principal e Renda Familiar Mensal - 1997 e 2007 40
Tabela 2. 6 – Frota de Veículos – DETRAN - SP 42
Tabela 3.1 - Comparação entre o DC9 E02 e o motor DC9 17. 49
Tabela 3. 2 – Especificação do Etamax D 67
Tabela 4. 1 – Características do ônibus movido a etanol aditivado 74
Tabela 4. 2 – Consumo médio do ônibus a etanol aditivado em São Paulo. 79
Tabela 4. 3 – Consumo médio do veículo “sombra” 80
Tabela 4. 4 - Consumo médio de ônibus a etanol aditivado em Estocolmo 81
Tabela 4. 5 - Consumo médio dos ônibus a etanol aditivado de La Spezia 82
Tabela 4. 6 – Ensaio do motor DC9 E02 a etanol aditivado e limites do PROCONVE 82
Tabela 5. 1 – Demanda por Fertilizantes 91
Tabela 5. 2 – Fatores de Emissão 93
Tabela 5. 3 – Balanço de energia na fase de produção da cana-de-açúcar 95
Tabela 5. 4 – Balanço de energia na fase de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar ... 95
Tabela 5. 5 – Balanço de energia do ciclo de vida do etanol a partir da cana-de-açúcar 96
Tabela 5. 6 – Consumo Energético na fase de produção do etanol de cana-de-açúcar 96
Tabela 5. 7 – Consumo Energético na fase e produção do etanol 96
Tabela 5. 8 – Emissões de CO_2 equivale a partir da produção do etanol de cana-de-açúcar no Brasil 98
Tabela 5. 9 – Consumo Energético e Emissões de Gases de Efeito Estufa na Fase de Produção do Diesel 104
Tabela 5. 10 – Distâncias Percorridas por modo de transporte e divisão modal no Brasil 108
Tabela 5. 11 – Distâncias Percorridas por modo de transporte, por habitante urbano, estimado à partir da ANTP - 2008 109
Tabela 5. 12 – Distâncias percorridas por modo de transporte e divisão modal de transporte motorizado em países europeus 110
Tabela 5. 13 - Emissões Veiculares 112
Tabela 5. 14 - Emissões relativas na cadeia de produção e consumo de combustíveis IEA. . 113
Tabela 5. 15 – Valores Adotados para Emissões Equivalentes – Diesel x Etanol para veículos pesados (*“well-to-wheel)* 114
Tabela 5. 16 – Valores Utilizados e Emissões totais de CO_2 para os cenários propostos 116
Tabela 5. 17 – Valores Utilizados e Emissões totais de CO para os cenários propostos 116
Tabela 5. 18 – Valores Utilizados e Emissões totais de NO_x para os cenários propostos 117
Tabela 5. 19 – Valores Utilizados e Emissões totais de MP para os cenários propostos 117
Tabela 5. 20 – Valores Utilizados e Emissões totais de HC para os cenários propostos 118
Tabela 5. 21 – Consumo de Diesel pelos Ônibus Urbanos na RMSP (por ano) 119
Tabela 5. 22 – Especificações e Índice de Emissão do Diesel 119
Tabela 5. 23 – Fatores de Emissão dos GELs 120
Tabela 6. 1 – Emissão de Gases de Efeito Local – GEL’s do Diesel (t/ano) 134
Tabela 6. 2 – Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Local – $VERA_{ar\ local}$, para o Diesel em Reais (R$) de 2009 134

Tabela 6. 3 – Emissão de Gases de Efeito Local GEL's do Etanol (t/ano) 135
Tabela 6. 4 – Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Local $VERA_{ar\ local}$ para o Etanol, em Reais (R$) de 2009 135
Tabela 6. 5 – Índice PAG dos Poluentes de Efeitos Globais e Locais do IPCC (2001)..... 137
Tabela 6. 6 – Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs) e CO_{2eq} do Diesel (t/ano)..... 138
Tabela 6. 7 - Países em Negociação dos MEs com o Mecanismo MDL..... 140
Tabela 6. 7 - Países em Negociação dos MEs com o Mecanismo MDL..... 141
Tabela 6. 8 – Países do Anexo B e Preferências em Relação ao Mercado de Emissões..... 145
Tabela 6. 9 – Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Estufa ($VERA_{ar\ estufa}$) para o Diesel, em Reais (R$) de 2009..... 146
Tabela 6. 10 – Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Estufa ($VERA_{ar\ estufa}$) para o Etanol, em Reais (R$) de 2009. 147
Tabela 6. 11 – Estimativa da Redução do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico do Efeito Estufa ($VERA_{ar\ estufa}$) na Substituição do Diesel pelo Etanol na Frota de Ônibus na RMSP, em Reais (R$) de 2009. 147
Tabela 6. 12 – Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico ufa ($VERA_{ar}$) para o Diesel, em Reais (R$) de 2009. 148
Tabela 6. 13 – Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico ($VERA_{ar}$) para o Etanol, em Reais (R$) de 2009. 148
Tabela 6. 14 Contribuição Relativa das Fontes de Poluição do Ar na RMSP em 2009..... 152
Tabela 6. 15 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA n° 03 de 28/06/90)..... 153
Tabela 6. 16 – Caracterização da Frota a Diesel 156
Tabela 6.17 – Valor Presente da Produção Futura (VPPF) da Mortalidade Prematura na RMSP (US$ 1997)..... 158
Tabela 6. 18 – Valoração do Custo Evitado da Mortalidade devido à redução do MP_{10} com r = 3% na RMSP 160
Tabela 6. 19 – Valoração do Custo Evitado da Mortalidade devido à redução do MP_{10} com r = 10% na RMSP 161
Tabela 6. 20 – Custo Evitado nas Internações Hospitalares, devido a Redução de 2,79 $\mu g/m^3$de MP_{10} na RMSP..... 163
Tabela 6. 21– Ganho Associado à Redução dos Dias Perdidos, devido a Redução de 2,79 $\mu g/m^3$de MP_{10} na RMSP..... 164
Tabela 6. 22 – Ganhos com a Redução de Morbidades..... 164
Tabela 6. 23 – Resumo das Áreas de Atuação Focadas pelas Usinas Associadas à UNICA. 172
Tabela 6. 24– Público Beneficiado..... 173
Tabela 6. 25 – Etanol em Motores Diesel Poluição Local – Redução de Emissões em Relação a Motor Diesel Equivalente 176
Tabela 6. 26 – Emissões Totais dos Gases de Efeito Local (GELs) e Efeito Estufa (GEEs), para o Cenário 0 (baseline scenario – 2009)..... 176
Tabela 6. 27 – Estimativa das Reduções dos GELs e GEEs devidas ao BEST (2009)..... 177
Tabela 6. 28 – Estimativa das Emissões dos GELs e GEEs devidas ao BEST (2009) 177
Tabela 6. 29 – Emissões do Best Relativamente ao Ônibus Diesel - 2009 177

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
ASTM	*American Society Testing Materials*
BAFF	*Bio Alcohol fuel Foundation*
BEST	*Bioethanol for Sustainable Transport*
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CCEB	Critério de Classificação Econômica Brasil
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CO	Monóxido de Carbono
$\mathbf{CO_{2eq}}$	Carbono Equivalente
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DERSA	Empresa de Desenvolvimento Rodoviário
DOC	*Diesel Oxidation Catalytic*
DPF	*Diesel Particulate Filter*
EEV	*Enhanced Environmental Vehicle*
EGR	*Exhaust Gas Recirculation*
EIA	*Energy Information Administration*
EMTU	Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos
$\mathbf{H_2SO_4}$	Ácido Sulfúrico
HC	Hidrocarbonetos
hp	*Horse Power*
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEE	Instituto de Eletrotécnica e Energia
IPK	Índice de Passageiro por Quilometro
kW	Quilowatt
METRA	Sistema Metropolitano de São Paulo
MTBE	*Methyl-terc-butyl ether*
NC	Número de Cetano
$\mathbf{NO_x}$	Óxidos de nitrogênio
NTU	Associação de Empresas de Transportes Urbanos
$\mathbf{O_3}$	Ozônio

OD	Origem Destino
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PEG	Polietileno Glicol
PITU	Plano Integrado de Transportes Urbanos
PM	Material Particulado
PMI	Ponto morto inferior
PMS	Ponto morto superior
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
PROCONVE	Programa de Controle de Emissões de Veículos Automotores
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SAE	*Society of Automotive Engineers*
SCR	*Selective Catalytic Reduction*
SO_x	Óxidos de enxofre
SPTRANS	São Paulo Transportes
STMSP	Secretaria dos Transportes Metropolitanos de São Paulo
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1. Introdução 21
1.1. Objetivo 24
1.2. Relevância do Trabalho 25
1.3. Organização da Pesquisa 28
2. O Transporte Público por Ônibus 30
2.1. Planejamento Urbano e Transporte 30
2.2. Transporte Público Urbano no Brasil 32
2.2.1. Índices Estatísticos 34
2.3. Transporte Público Urbano na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP 34
2.3.1. Caracterização Regional 35
2.3.2. Características Sócio-Econômicas 37
2.3.2.1. Frota de Automóveis Particulares e Taxa de Motorização 37
2.3.3. Características das Viagens 38
2.3.3.1. Índices de Mobilidade 38
2.4. Infra-Estrutura do Transporte Urbano na Região Metropolitana de São Paulo 41
3. Motores Ciclo Diesel e Seus Combustíveis 45
3.1. Princípios Fundamentais dos Motores Ciclo Diesel 45
3.2. Motor Ciclo Diesel Movido a Etanol Aditivado 47
3.2.1. Taxa de Compressão 51
3.3. Tecnologias que Reduzem Emissões Poluentes 54
3.3.1. Sistema de Recirculação de Gases 55
3.4. Combustíveis para Motores Ciclo Diesel 57
3.4.1. Diesel 57
3.4.1.1. Diesel no Brasi e no Mundo 59
3.4.1.2. Diesel Metropolitano 62
3.4.2. Biodiesel 63
3.4.3. Etanol Aditivado 66
3.4.3.1. O ignitor: polietileno glicol – PEG 68
4. Projeto BEST – BioEthanol for Sustainable Transport 70
4.1. Descrição do Projeto 70
4.2. O Ônibus Movido a Etanol Aditivado 71
4.3. Adaptações Técnicas Executadas no Ônibus a Etanol 75
4.4. Levantamento de Dados em Campo 78
4.5. O Projeto BEST em Outros Centros Urbanos 80
4.5.1. Dados da Cidade de Estocolmo 80
4.5.2. Dados da Província de La Spezia 81
4.6. Ensaio de Emissões do Motor DC9 E02 82
5. Emissões de Gases de Efeito Local e Estufa Emitidas pelo Transporte Público na RMSP 84
5.1. Os Gases de Efeito Estufa – GEEs e GELs 84
5.2. Emissões Oriundas do Biocombustível – Etanol 88
5.2.1. Análise de Ciclo de Vida de Biocombustíveis 88
5.2.1.1. Uso do Solo e Cultivo da Biomassa 90
5.2.1.2. Transporte da Matéria Prima 91
5.2.1.3. Fabricação do Etanol 92
5.2.2. Comparação dos Balanços Energéticos do Etanol 92
5.2.2.1. Balanço Energético do Etanol para Cana-de-Açúcar 93
5.2.2.2. Balanço de massa (CO_2) para o etanol 96
5.2.2.3. Emissões do Etanol de cana-de-açúcar 98
5.3. Emissões Oriundas do Combustível Fóssil-Diesel 101
5.3.1. Tipos de Poluentes Produzidos 101
5.3.2. Análise da Fase “Well-to-Pump” (do Poço à Bomba) para o Diesel 103
5.4. Estimativa das Emissões Atuais e Futuras do Transporte Público Urbano na RMSP 104

5.4.1. O Fenômeno da Urbanização..... 106
5.4.2. Mobilidade Urbana..... 107
5.4.3. Cálculo das Emissões Relativas ao Transporte Público Urbano na RMSP..... 111
5.4.4. Cenários Propostos para Quantificações das Emissões Atuais e Futuras..... 114
5.4.5. Estimativa das Emissões nos Cenários Propostos..... 115
5.4.6. Previsões Decorrentes do Cálculo das Emissões..... 120
6. Externalidades.....124
6.1. Conceito de Externalidade..... 124
6.1.1. Externalidade Negativa..... 125
6.1.2. Externalidades Positivas..... 127
6.2. Aspectos Conceituais do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico ($VERA_{ar}$) – Externalidade da Poluição do Ar Atmosférico..... 128
6.2.1. Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Local – Custo Social da Externalidade Poluição do Ar Atmosférico de Efeito Local..... 134
6.2.2. Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Estufa ($VERA_{ar}$ estufa) – Custo Social da Externalidade Poluição do Ar Atmosférico de Efeito Estufa 136
6.2.2.1. Fatores de Ponderação dos Gases de Efeito Estufa (GEEs) – Potencial de Aquecimento Global (PAG) por poluente pelo IPCC 2001..... 136
6.2.2.2. A Questão Conceitual da Valoração Econômica do Custo da Poluição de Efeito Estufa 138
6.2.2.3. Estimativa do Preço Marginal de $CO_{2eq.}$, segundo o Mercado Internacional de Emissões (MIE) 139
6.2.2.4. Cálculo do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Estufa ($VERA_{ar\ estufa}$), Para o Cenário 0 (baseline scenário) e 4 146
6.2.3. Cálculo da Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico ($VERA_{ar}$), para o Cenário 0 (baseline scenário) e 4 148
6.3. Impactos da Poluição Atmosférica Local Sobre a Saúde Humana – Externalidades Ambientais Locais 149
6.3.1. Material Particulado 151
6.3.2. Emissões de MP_{10}: Diesel x Etanol 155
6.3.3. Valoração dos Custos à Saúde 156
6.3.3.1. Valor Estatístico de Vida: Teoria do Capital 157
6.3.3.2. Estimativa da Mortalidade Evitada com a Troca de Combustível 159
6.3.3.3. Morbidade Evitada 162
6.3.3.3.1. Internações devido a Doenças do Aparelho Respiratório 163
6.3.3.3.2. Dias de Trabalho Perdidos 163
6.3.3.4. Análise de Resultados 165
6.4. Externalidades Sociais 166
6.4.1. Geração de Empregos e Salários 166
6.4.2. Perfil Educacional 169
6.4.3. Manutenção da Mão de Obra no Campo 170
6.4.4. Potencial de Geração de Empregos Devido a Substituição de Combustíveis na RMSP 173
6.5. As Externalidades do Uso do Etanol na Frota de Ônibus Urbanos da Região Metropolitana de São Paulo – Estudo de Caso BEST 175
7. Barreiras Técnico-Econômicas do Uso do Etanol da Cana-de-Açúcar no Motor Ciclo Diesel
7.1. Identificação das Barreiras Técnica Econômicas do Etanol da Cana-de-Açúcar..... 179
7.2. Identificação das Barreiras Tecno-Econômicas do BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável..... 183
8. Políticas Públicas 185
8.1. As Políticas Públicas para o Transporte de Passageiros por Ônibus do Governo Federal Anterior 185

8.2. As Políticas Públicas para o Transporte de Passageiros por Ônibus do Governo Federal Atual 187
8.3. As Políticas Públicas para o Transporte de Passageiros por Ônibus na Visão da Sociedade 188
8.4. Políticas Públicas para o Ônibus a Etanol Aditivado – BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável 189
9. Conclusão 191
10. Bibliografia 198
Anexo I – Índices Estatísticos 220
Anexo II – Características Sócio-Econômicas 227
Anexo III – Dados Complementares 231
Anexo IV – Requisitos de Tecnologia e de Qualidade Ambiental 237
Anexo V – Parâmetros que Afetam as Emissões nos Transportes 238
Anexo VI – Emissões do Poço à Roda 242
Anexo VII – Princípio do Poluído-Pagador 245
Anexo VIII - Lei 14.933/09 247

1 INTRODUÇÃO

Os motores a diesel têm colaborado para movimentar a economia mundial por mais de um século. O motor ciclo Diesel, foi desenvolvido por Rudolf Diesel para aplicações pesadas na agricultura, na construção civil, na indústria, no transporte urbano e rodoviário. A popularidade histórica deste motor pode ser atribuída à sua capacidade de utilizar uma fração do petróleo bruto, anteriormente identificado com resíduo do refino da gasolina. Mais tarde a durabilidade, a capacidade de fornecer alto torque e o consumo eficiente do combustível foram os fatores mais determinantes para a internacionalização da sua aplicação. Por outro lado, apesar de não ser muito utilizado para carros de passeio nos Estados Unidos (menos 1%), o óleo diesel é amplamente aceito na Europa para esta aplicação, respondendo por mais de 33% de todo o mercado (BROGE, 2002).

Considerando-se apenas perspectivas econômicas e operacionais mundiais, há poucas razões para que esse cenário mude. No entanto, a combustão do óleo diesel não gera apenas energia em qualidade, mas também pode gerar poluição de forma significativa. Os veículos a diesel exercem um papel predominante nos problemas mais sérios e severos da poluição do ar, sendo responsáveis pela maior parcela das emissões de NO_x (óxido de nitrogênio), SO_x (óxido de enxofre) e de MP (material particulado) gerada por fontes móveis.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2009), a exposição à poluição atmosférica urbana causa aproximadamente 800.000 mortes a cada ano. A preocupação com a fumaça preta produzida pela queima do óleo diesel e suas consequências na saúda humana está fundamentada em crescentes estudos iniciados há 50 anos, que alertam para os efeitos adversos na população (CONPET, 2008).

Os ônibus movidos a diesel são também, mundialmente, a opção mais utilizada no transporte urbano de passageiros e a RMSP não foge a regra. Baseada nessas premissas esta tese discute a possibilidade de viabilizar o transporte público por ônibus, no ambiente urbano, de forma a reduzir as emissões de gases de efeito local (GELs) e, os gases de efeito estufa (GEES). A pesquisa de dados baseou-se, na literatura nacional e internacional visando valorá-los monetariamente, e consequentemente influenciar e sensibilizar os tomadores de decisões.

É analisada, a implantação de uma frota urbana de ônibus movida a etanol aditivado que, além de apresentar vantagens competitivas ambientais, oferece uma série de benefícios e pontos favoráveis ao modelo econômico que o Brasil procura. Como estratégia analisa-se o

benefício (local e global) da mudança de combustível, considerando-se como hipótese a identificação das possíveis “externalidades” oriundas da adoção do etanol em substituição ao diesel no Transporte Público Urbano da RMSP.

Externalidades (custos externos ou ambientais) são custos e benefícios não incluídos na estrutura de preços (BOLOGNINI, 1996; MASSARAT, 1997, LITTMAN, 1996), mas que acabam sendo pagos de forma indireta pela sociedade, devido à degradação ambiental, de saúde, necessidade de mais impostos, etc (COELHO 1999, OLIVEIRA et al, 1998; TOLMASQUIM, 2000). Quantificar e valorar economicamente as externalidades é fundamental (MÖLLERSTEN, et al, 2002), pois na maioria das vezes os custos ambientais incluídos no preço limitam-se apenas aos necessários para atender alguma legislação específica sobre o tema. Os resultados monetarizados da avaliação de externalidades são comparados aos dos impactos, obtidos na forma de índice de minimização das incertezas, ao processo de valoração de impactos sócio-ambientais.

Foram adotados para a quantificação e monetarização das emissões os índices dos poluentes locais e globais recomendados pela Agência Internacional de Energia (International Energy Agency – IEA), Agência Ambiental Européia (European Environmental Agency – EEA), Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP e Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). A partir de cenários propostos pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (The Intergovernamental Panel on Climate Change – IPCC – 2006), bem como das discussões internacionais entre instituições financeiras que intermedeiam as negociações das emissões, é utilizado o valor econômico de CO_{eq} (carbono equivalente) a ser utilizado como moeda ambiental na aquisição das permissões de poluir no mercado internacional.

Isto implica dizer que a redução da emissão de poluentes, emitidos a menos por um país, pode ser comercializada no mercado internacional. Assim sendo a quantidade reduzida dos GEEs, devido à substituição do diesel pelo etanol, como energético na matriz dos transportes urbanos de passageiros, é utilizada como moeda de troca, alavancando recursos para investimento em frota de ônibus menos poluente nos grandes centros urbanos. Além disso, pode justificar o investimento público em tecnologias mais limpas em função da conceituação legal do papel do Estado na preservação ambiental do recurso econômico do ar atmosférico.

Após a identificação das externalidades e sua monetarização, esta pesquisa também apresenta o Projeto BEST – BioEthanol for Sustainable Transport (Bioetanol para o Transporte Sustentável), uma iniciativa da União Européia cuja missão é incentivar o uso do etanol em substituição à gasolina e ao diesel.

O Projeto BEST no Brasil, pioneiro na América do Sul, foi coordenado pelo CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa, do IEE – Instituto de Eletrotécnica e Energia, da USP – Universidade de São Paulo, em parceria com empresas e União Européia, discutido o modelo econômico de desenvolvimento que o país procura (CENBIO, 2006).

O veículo utilizado nos testes foi monitorado e avaliado para demonstrar a eficiência energética do etanol e, após os resultados a coordenação do projeto BEST juntamente com a União Européia, fornecerão recomendações para a formulação de políticas públicas de incentivo à substituição do diesel pelo etanol. Além de São Paulo, outras oito cidades localizadas na Europa e Ásia, participam do projeto: Estocolmo (Suécia), Madri e País Basco (Espanha), Roterdã (Holanda), La Spezia (Itália), Somerset (Reino Unido), Nanyang (China), Dublin (Irlanda), demonstrando o benefício da substituição do diesel pelo etanol aditivado no transporte público urbano.

O Brasil possui um dos maiores programas comerciais de biomassa do mundo, o PROALCOOL – Programa Brasileiro do Álcool – lançado em 1975 pelo Governo Federal com intuito de produzir etanol e açúcar a partir da cana-de-açúcar para reduzir importações de petróleo. É também o líder no mercado mundial de etanol de cana-de-açúcar (SZWARC, 2007). Possui solo e clima favorável, além do investimento em pesquisas e desenvolvimento, que contribuem para o aumento da produtividade reduzindo os custos de produção.

O Brasil se destaca entre poucos países do mundo com grande capacidade de ampliar a sua produção agrícola (EMBRAPA, 2007). A expansão tem ocorrido principalmente nas áreas de pastagens que deixam de ser extensivas, passando a ser mais eficientes (UNICA, 2010).

A expansão do setor sucroalcooleiro se concentra na Região Centro-Sul do país e gera 700.000 empregos diretos e 3,5 milhões de empregos indiretos (MOREIRA, 2007). Com relação à competição entre a plantação de cana-de-açúcar e alimento no Brasil, não é uma realidade, pois a área plantada é de 5,5 milhões de hectares e a cultura de cana ocupa 2,4% dessa área (MOREIRA, 2007).

Portanto é neste contexto que esta tese procura identificar, analisar, quantificar, valorar e monetarizar as principais externalidades da substituição do diesel por etanol aditivado na frota de ônibus urbanos na RMSP, que fornecerão informações para tomadores de decisões, inclusive com novas políticas públicas que permitam aos órgãos reguladores do setor de transporte público de passageiros de ônibus, adotarem tecnologias menos poluentes e que os investimentos necessários não sejam amortizados unicamente sobre os usuários.

1.1. Objetivo

O objetivo geral da tese é avaliar as externalidades decorrentes da identificação dos impactos ambientais para diferentes cenários, onde se discute as vantagens de uma possível substituição de combustíveis na frota da RMSP.

A conceituação teórica abrange aspectos tecnológicos do diesel e do etanol, incluindo suas emissões e reduções possíveis de serem obtidas pela troca de combustíveis considerando os problemas relacionados à poluição urbana e aos impactos de gases de efeito estufa, ponderados pelo seu potencial de aquecimento global especificado pelo IPCC (2001) e internacionalmente conhecido como Potencial de Aquecimento Global – PAG (Global Warming Potencial – GWP).

Para se atingir tal objetivo, são identificadas as principais externalidades da substituição de combustíveis na frota de ônibus urbanos da RMSP (diesel por etanol), através de metodologias sugeridas na literatura nacional que serão discutidas no desenvolvimento da tese. Após o levantamento das externalidades, procura-se valorá-las, monetarizando-as, o que sempre se constitui em tarefa difícil, como os poucos estudos existentes reconhecem, mas não atribuiu-lhes nenhuma monetarização, significa implicitamente impor que o ambiente não tem valor algum (FANG, 2004).

A tese utiliza os resultados obtidos que, somados ao Projeto BEST (BioEthanol for Sustainable Transport) – Bioetanol para o Transporte Sustentável, avaliarão o uso do etanol aditivado no transporte público urbano visando à redução da poluição atmosférica nos grandes centros urbanos.

Espera-se que o presente estudo possa contribuir para viabilizar a adoção do etanol aditivado em ônibus na RMSP, o que já é uma realidade em Estocolmo na Suécia, onde a tecnologia de ônibus diesel adaptado para operar com o etanol é utilizada desde 1985 com grande sucesso.

1.2. Relevância do Trabalho

A crescente evidência científica da interferência das atividades humanas no equilíbrio do clima do planeta vem a cada dia, sendo confirmada por vários estudos em escala planetária, principalmente, devido a ocorrência de eventos significativos, tais como: a) a redução da calota polar; b) o degelo mais precoce da neve nas montanha; c) a intensificação da seca no semi-árido da América do Sul e da África, em especial na região Nordeste do Brasil; d) catástrofe de enchentes na Europa, na China e no Brasil; e) incêndios de proporções incontroláveis como ocorrem na Califórnia (Estados Unidos da América) e f) os fenômenos El Niño (aquecimento do Oceano Pacífico) e La Niña (esfriamento do Oceano Pacífico), como possíveis consequências das mudanças climáticas.(OLIVEIRA JR., 2006).

O desequilíbrio do clima nestas proporções passou a preocupar a humanidade nas últimas duas décadas e ainda persiste atualmente. Segundo o IPCC (2006), existem conclusões robustas (aquelas que, mediante metodologias, abordagens e modelagens, são menos afetadas pelas incertezas) sobre estas mudanças climáticas e a sua relação com as atividades do homem, tais como:

a) Observações demonstram que a superfície da Terra está de fato sendo globalmente aquecida.

b) A concentração dos gases antropogênicos (CO_2, CH_4 e N_2O) cresceu substancialmente desde o ano de 1750.

c) Alguns gases antropogênicos (CO_2, CH_4, N_2O e o ozônio troposférico – O_3) possuem vida longa.

d) Muito do aquecimento observado nos últimos 50 anos e do aumento da concentração dos gases de efeito estufa, provavelmente são oriundos das atividades humanas.

e) O aumento da concentração do CO_2 sobre o século 21 deverá ser proveniente das emissões dos combustíveis fósseis.

f) A estabilização da concentração de CO_2 na atmosfera nos níveis 450 ou 650 ppm exige que a emissão global de CO_2 caia para os níveis dos anos 90 nas próximas décadas, e que, aproximadamente, nos próximos um ou dois séculos seguintes, continuem regularmente sendo limitados de forma tal que seja apenas uma pequena fração dos níveis atuais. As emissões deverão ter um pico de 450 ppm, nas próximas duas décadas, e quase 650 ppm em um século.

A pertinência temática do problema ambiental dos transportes públicos, considerando o ambiente local e o planetário, torna essa tese de cunho interdisciplinar que se coaduna com a abordagem sistêmica dos problemas de transportes, ainda mais quando se incorpora a análise da dimensão ambiental, social e econômica através das externalidades.

A redução dos gases de efeito estufa (GEEs) e local (GELs) emitidos, apresenta ganhos ambientais com reflexos na qualidade de vida das cidades e na saúde pública em particular na população de idosos e crianças. Os elevados níveis de poluição atmosférica já atingidos em algumas regiões, somados à crescente industrialização do país e elevação do número de veículos automotores em circulação, mostram a urgência de se promover a conscientização dos diferentes setores da sociedade para a necessidade de preservação ambiental.

É dentro desse cenário que esta tese avalia a substituição de combustível fóssil por aquele derivado da biomassa (etanol de cana-de-açúcar aditivado) para o transporte público. Nos combustíveis provenientes da biomassa produzidos na forma sustentável, o CO_2 liberado na reação química da queima do combustível, será reabsorvido no próximo ciclo de vida da planta (fotossíntese). Apenas quando se considera o ciclo completo da biomassa, incluindo o consumo direto e indireto de fósseis, verifica-se a emissão de CO_2 (MACEDO, et al 2008) de forma reduzida.

Na RMSP a partir de ações do Programa de Controle de Emissões Veiculares – PROCONVE, houve uma redução dos níveis de enxofre no diesel para 500 ppm em 2006, assim como existe a possibilidade de uma redução futura para 50 ppm, atingindo índices semelhantes aos europeus. Entretanto, existe a possibilidade de utilização do etanol, combustível renovável e isento de enxofre, em larga escala no transporte público urbano. Segundo MOREIRA (2007), se 15.000 ônibus movidos a diesel, entre os que circulam na região, utilizassem etanol como combustível, ambientalmente, é como se existissem somente 3.000 ônibus em circulação.

A disponibilidade e as perspectivas para a produção do etanol de cana-de-açúcar somadas às suas vantagens competitivas ambientais, como a redução das emissões dos gases poluentes, sugerem que o uso do etanol em motores oferece uma série de benefícios para o Brasil. Entre eles, está a diversificação da matriz energética no setor de transportes, o uso de um combustível nacional, a utilização de infra-estrutura de distribuição compatível com a existente no Brasil.

Entretanto, para que o BEST de fato represente uma inovação no Transporte Publico Urbano na Região Metropolitana de São Paulo, há necessidade de políticas definidas, que orientem os agentes políticos e econômicos e que induzam procedimentos para antecipar resultados. Políticas públicas precisam considerar e valorar às atividades ambientalmente corretas (externalidades positivas); imputar custos (externalidades negativas) às atividades poluidoras e se necessário até restaurar o sistema fiscal. Para tal há necessidade de estudos apurados relativos aos impactos ambientais decorrentes da substituição de combustível fóssil (diesel) por combustível derivado da biomassa (etanol), não focando o meio ambiente homogêneo, mas considerando-se a realidade brasileira, o clima, as necessidades da sociedade, realidades sócio-econômicas e sócio-ambientais. Desse modo a avaliação dos impactos e a posteriori a identificação, quantificação, valoração e monetarização das externalidades, são necessárias e indispensáveis para que o BEST se torne viável na RMSP e sirva de modelo para o restante do país.

Em particular a originalidade desta tese está em:

(I) – Identificar os impactos ambientais resultantes da substituição de combustíveis (diesel por etanol) na frota de ônibus urbanos da RMSP entre outros:

- Quantificação dos gases de efeito local (GELs) e efeito global (GEEs), resultantes da substituição, através de uma cenarização e de uma hipotética frota movida a etanol;
- Estimativa dos empregos diretos e indiretos, devido ao aumento de consumo pela frota;
- Redução dos custos de saúde pública através da diminuição de poluentes.

(II) – Incorporar as externalidades a essa substituição de combustíveis por meio de metodologias sugeridas na literatura, valorando-as e monetarizando-as através dos índices econômicos internacionais.

A originalidade também, se sustenta pelo fato de que o conceito de externalidades amplamente conhecidos (FANG, 2004; BOLOGNINI, 1996; MASSARAT, 1997; COELHO, 1999; TOLSMASQUIM, 2000), já foram aplicados a alguns combustíveis, mas nunca a uma substituição de combustível fóssil por combustível derivado da biomassa, aplicado ao transporte público urbano.

1.3. Organização da Pesquisa

No Capítulo I – Introdução: encontram-se o objetivo da tese, sua relevância, bem como a organização da pesquisa.

No Capítulo II – O Transporte Público por Ônibus: apresenta-se um perfil dos transportes públicos por ônibus no país que, de certa forma confirma a realidade da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Faz-se uma análise das características sócio-econômicas da região através de índices estatísticos fornecidos pela pesquisa Origem-Destino do Metropolitano de São Paulo (METRÔ). Alem disso, comenta-se o plano geral para o transporte público da RMSP, consolidado no Plano de Transportes Urbanos – PITU.

No Capítulo III – Motores Ciclo Diesel e seus Combustíveis: analisa-se as propriedades exigidas pelos motores do ciclo Diesel, descrevendo-se os seus princípios fundamentais, particularmente à luz do tipo de combustível empregado. É feita uma abordagem sobre o motor ciclo Diesel movido a etanol aditivado, comparativamente ao motor diesel convencional, bem como os seus possíveis combustíveis para uso: diesel, biodiesel e etanol aditivado. Apresenta-se também, as principais propriedades do ignitor o Polietileno Glicol-PEG, utilizado como aditivo ao etanol.

No Capítulo IV – Uso do Etanol no Transporte Público Urbano – Projeto BEST – BioEthanol for Sustainable Transport: tem-se como objetivo apresentar o Projeto BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável; que já é uma realidade em Estocolmo, na Suécia, onde a tecnologia de ônibus com motor ciclo Diesel movido a etanol aditivado é utilizado desde 1985. O Projeto foi desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo (USP). A principal meta do projeto é avaliar o uso do etanol aditivado como substituto do diesel mineral no transporte público urbano.

No Capítulo V – Emissões de Gases de Efeito Local e Estufa Emitidas Pelo Transporte Público na RMSP: caracteriza-se o papel do combustível fóssil diesel, bem como o etanol de cana-de-açúcar, focando-se a oportunidade para o uso do etanol em substituição ao diesel no transporte público urbano de passageiros na RMSP. Apresenta-se uma metodologia de cálculo da estimativa das emissões de poluentes locais e globais, por tipo de combustível, sugerida pela metodologia “ASIF”, adaptada pelo Laboratório de Sistema de Transportes da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - LASTRAN. Neste método busca-se estimar as emissões atuais e futuras a partir de uma série de pressupostos e da

utilização de distintos cenários. Faz-se também uma abordagem conhecida como “Well-to-Wheel” (do poço-a-roda), que leva em consideração a Análise do Ciclo de Vida - (ACV), uma das metodologias mais atuais encontradas na literatura.

No Capítulo VI – Externalidades: faz-se a identificação das externalidades ambientais da substituição de combustíveis, diesel por etanol na frota de ônibus urbanos na RMSP. Introduz-se o conceito de Valoração Econômica do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico ($VERA_{ar}$) desagregado em efeito local ($VERA_{ar\ local}$) e estufa ($VERA_{ar\ estufa}$). Obtêm-se os valores monetários dos GELs e GEEs, a partir de referências nacionais e internacionais. Na valoração dos GELs utilizou-se os valores expressos em reais (R$) de 2009 do estudo IPEA 2001, enquanto que para os GEEs utilizou-se o preço internacional da tCO_{2eq}, cotada pelo governo holandês, chegando-se assim, ao valor monetário da poluição atmosférica da frota de ônibus urbanos da RMSP.

Além dos aspectos ambientais, outras externalidades oriundas da substituição de combustíveis foram analisadas como: os empregos gerados, a possibilidade de se contar com a oferta de um combustível alternativo; a sua contribuição positiva para a balança comercial; os efeitos que essa poluição atmosférica tem sobre a qualidade de vida e principalmente para a saúde humana.

No Capítulo VII – Barreiras Técnico – Econômicas do Uso do Etanol da Cana-de-Açúcar no Motor Ciclo Diesel: procura-se identificar possíveis barreiras que venham a se interpor à viabilização desta tecnologia inovadora. A partir do exemplo do BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável, espera-se atrair o interesse de outras regiões do Brasil.

No Capítulo VIII – Políticas Públicas: São apresentadas as principais Políticas Nacionais de Transportes Públicos levadas a termo pelo Governo Federal, representada pela Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República (SEDU/PR) e atualmente pelo Ministério das Cidades. Procura-se tadelinear forças motrizes que possam ser traduzidas como políticas públicas necessárias para a também,ção do etanol da cana-de-açúcar no transporte público.

No Capitulo IX – Conclusão: apresentam-se as conclusões a partir dos cenários propostos, que poderão ser transformados em instrumentos para incentivar novas políticas públicas, bem como a potencialidade de novas linhas de pesquisa. Na bibliografia apresenta-se as referências bibliográficas consultadas a longo de toda a tese.

2 O TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS

Há anos o transporte público nas principais capitais brasileiras encontra-se em crise, apesar da existência de inúmeros projetos e planos de ação para a solução do problema. Esta situação crítica não pode ser ignorada pela sociedade, ainda mais quando as estatísticas denunciam perdas de demanda, aumentos tarifários superiores ao poder de compra da população, má qualidade dos serviços, redução da velocidade comercial decorrente dos congestionamentos, deficiência da mobilidade urbana e degradação do meio ambiente provocada pelo alto nível de emissões dos motores de combustão interna a diesel.

Pretende-se, neste capítulo, apresentar o perfil dos transportes públicos por ônibus no país que, de certa forma, confirma a realidade da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

2.1. Planejamento Urbano e Transporte

O ano de 2009 assinalou a transição para um mundo majoritariamente urbano. Faz-se tal afirmação com base no seguinte dado: mais de 50% da população mundial reside nas cidades. Em apenas uma geração, 140 milhões de pessoas migraram para as cidades. Este fato evidenciou o maior movimento migratório já ocorrido no planeta até os anos 90 e que pôde ser verificado de maneira intensa em países como China e Índia.

O Brasil, por sua vez, não fugiu à regra. Em 1970, alcançou a marca de 90 milhões de habitantes, dos quais 60% fixaram domicílio nas zonas rurais. Hoje, são aproximadamente 200 milhões, dos quais 80% moram nas cidades. Entretando, essa transição da zona rural para a urbana ocorreu de modo acelerado e, em grande parte, com ocupações irregulares, avanços sobre áreas de risco e invasões de áreas públicas, nas quais o Estado manteve-se ausente. Além disso, muitas cidades tornaram-se alvo de especulação predatória sobre as zonas já consolidadas.

Por outro lado, mas de maneira isolada, alguns municípios localizados na região sul do Brasil conduziram de forma satisfatória tal movimento migratório, de modo a garantir melhor qualidade dos parâmetros envolvidos, quais sejam, taxa de urbanização, mobilidade, escolha modal e etc.

Embora as atuais taxas de crescimento urbano tenham diminuído em relação às décadas de 70 e 80, muitas cidades como São Paulo e Rio de Janeiro, ainda não conseguem organizar e atualizar suas redes de serviços públicos essenciais - dentre eles, o transporte público. A maioria dos municípios brasileiros cresceu de forma desordenada e explosiva,

culminando, no que se refere ao transporte público, na formação de um emaranhado de linhas de ônibus que operam com grande desperdício de tempo, recursos financeiros e de combustível – o que de fato contribui para a degradação ambiental.

Diariamente, ocorrem cerca de 200 milhões de deslocamentos motorizados nas cidades brasileiras. O custo destes deslocamentos em termos de tempo, poluição, acidentes e investimento é gigantesco e, em geral, desfavorável à mobilidade da população. Este problema tende a se agravar, refletindo negativamente na produtividade, no meio ambiente urbano e na qualidade de vida.

Sintetizando as questões acima expostas, as consequências da ineficiência do Transporte Público Urbano podem ser resumidas na figura (2.1) abaixo.

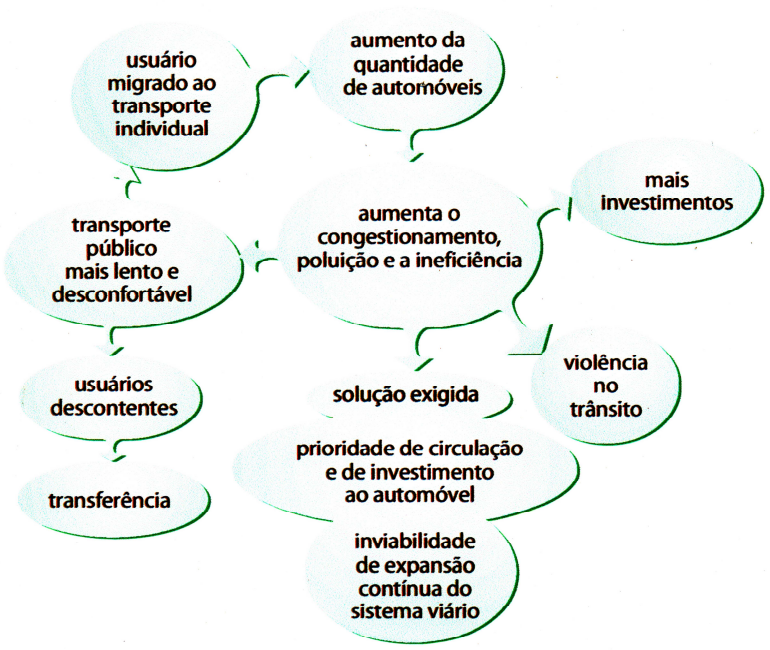


Figura 2. 1 - Consequências da Ineficiência do Transporte Público
Fonte: (NTU – 2009)

O perfil dos deslocamentos tem se modificado significativamente nos últimos anos: antes, havia uma grande concentração de locais de trabalho e estudo nas zonas centrais; hoje, há uma grande dispersão. Mesmo assim, o ônibus é e continuará sendo, por muito tempo, o principal – senão o único, em termos de viabilidade – meio de transporte público para a maioria da população nas cidades brasileiras.

É evidente que a melhoria do transporte urbano por ônibus aumentará o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) [1], hoje, insatisfatório. Para que isso ocorra, é necessário vontade política no sentido de iniciar um processo de reorganização do transporte público. Com isso, as consequências serão as seguintes: economia de tempo de viagem para os usuários, diminuição do custo operacional (ou seja, a tarifa) e possibilidade de utilização de combustíveis menos poluentes e mais adequados à realidade brasileira.

Dessa forma, cresce a busca por alternativas mais eficientes e ambientalmente adequadas, mesmo que sejam soluções temporárias e paliativas para os próximos 15 ou 20 anos. É nesse contexto que a proposta **BEST** – BioEthanol for Sustainable Transport ou "Bioetanol para o Transporte Sustentável" - torna-se uma alternativa importante e altamente provável dentro dos paradigmas nacionais.

2.2. Transporte Público Urbano no Brasil

O setor mundial de transportes sobre pneus utiliza basicamente fontes de combustíveis não renováveis derivados de petróleo. Consequentemente, o setor de transportes é um dos grandes responsáveis pelas emissões dos poluentes atmosféricos, sendo o maior gerador de emissões de gases de efeito estufa (GEEs) – representando 14% do total mundial. Exceção deve ser feita ao uso do álcool no Brasil ou aos derivados de biomassa utilizados em outros países, quais sejam, o metanol nos Estados Unidos da América e o biodiesel na União Européia.

No Brasil, o processo de industrialização concentrou-se nas cidades e propiciou o crescimento de uma classe média com padrão de consumo típico das sociedades industrializadas. Esta nova realidade repercute diretamente no padrão de deslocamentos das viagens urbanas, predominando naquela classe social a utilização do automóvel. Este modal possui baixo índice de ocupação, o que de fato contribui para o declínio do uso dos transportes públicos.

Nesse mesmo sentido, a política atual incentiva à aquisição e uso do automóvel, veículo leve - seja o carro para classe média ou a motocicleta para as populações de baixa renda. O resultado desta política não seria outro: congestionamentos, prejuízos óbvios à

[1] IDH – Índice de Desenvolvimento Humano: é uma medida comparativa, utilizada pela Organização das Nações Unidas – ONU, para analisar a qualidade de vida de uma determinada população. Varia de 0 a 1; quanto mais se aproxima de 1, maior o IDH de um local. De acordo com os dados divulgados pela ONU, o Brasil apresenta IDH de 0,699, valor considerado baixo; atualmente ocupa 73° lugar no ranking mundial. Disponível em: www.brasilescola.com/brasil/o-idh-no-brasil.htm

mobilidade, aumento da poluição, danos nocivos à saúde e à qualidade de vida. Outro resultado da mencionada política é o aumento dos insumos relativos ao transporte público urbano, em especial do óleo diesel. Indubitavelmente, afirma-se que tais implicações refletem diretamente na tarifa cobrada pelas concessionárias e permissionárias, pois, quanto mais lento o trânsito, mais altos serão os custos operacionais dos ônibus convencionais.

A evolução dos preços e insumos do transporte está caracterizada no gráfico (2.1) a seguir:

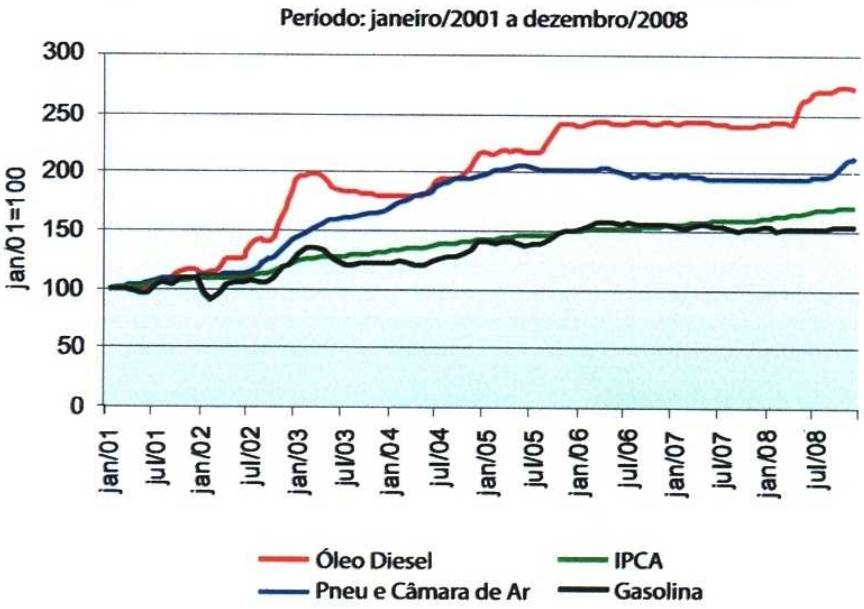


Gráfico 2. 1 - Evolução dos Preços e Insumos do Transporte

Fonte: (NTU – 2009)

Pode-se verificar que os preços relativos ao diesel que, antes, se situavam na casa de 10% do custo total dos insumos, em 2008 (dezembro) chegaram a aproximadamente 25%. A produção de motocicletas de dois tempos – altamente poluidoras – também foi incentivada pela política atual, já que às indústrias de motocicletas foram concedidos benefícios fiscais. Entre 1995 e 2000, as vendas anuais de motocicletas atingiram 500 mil por ano; este número dobrou até 2005; em 2007, atingiu 1,6 milhões de unidades; e, em 2008, alcançou a marca de 2,0 milhões. Consequentemente, mais da metade dos óbitos no trânsito resultaram de acidentes com motos, sendo a grande maioria deles provocados por pessoas do sexo masculino.

Em relação à qualidade do ar, afirma-se que a indústria de ônibus empreende esforços no sentido de produzir motores que emitam menores índices de poluentes. No entanto, a qualidade do óleo diesel ainda não é adequada.

Indicadores comparativos entre ônibus, motocicletas e automóveis estão demonstrados na tabela 2.1. que segue abaixo.

Tabela 2.1 - Indicadores Comparativos entre Ônibus, Motocicletas e Automóveis

MODALIDADE	OCUPAÇÃO PESSOA/MODO	INDICES RELATIVOS POR PASS/KM	
		ENERGIA (1)	POLUIÇÃO (2)
ÔNIBUS	50,0	1,0	1,0
MOTOCICLETA	1,0	4,5	32,3
AUTOMÓVEL	1,3	12,7	17,0

(1) Base calculada em grandes equivalentes de petróleo (diesel e gasolina)

(2) Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarbonetos (HC), Óxidos de Nitrogênio (Nox) e materiais particulados (MP)

Fonte: ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos, 2008

Observa-se que:

- As motocicletas poluem 32 vezes mais e gastam quase 5 vezes mais energia por pessoa transportada;
- Os automóveis poluem 17 vezes mais e gastam, aproximadamente, 13 vezes mais energia por pessoa transportada.

2.2.1. Índices Estatísticos

A Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU) publica, regularmente, em seu anuário estatístico informações a respeito do transporte público de passageiro por ônibus. Para tanto, utiliza dados amostrais obtidos a partir de 8 (oito) capitais brasileiras, quais sejam, São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife, Porto Alegre, Salvador, Fortaleza e Goiânia. Vale mencionar que tais dados são recolhidos, geralmente, em abril e outubro - um mês para cada semestre dentro do período de um ano.

Nos gráficos 1 e 2 (Anexo I) são apresentados os valores que abrangem o interregno de 1994 a 2008, delineando o panorama existente no Brasil em relação ao segmento de transporte. Os Índices Estatísticos podem também ser visualizados no Anexo I.

2.3. Transporte Público Urbano na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP

De um modesto núcleo urbano no início do século XX, São Paulo transformou-se na principal cidade da economia cafeeira, contando com indústria, comércio e sistema bancário

ascendentes, além de elevada taxa de crescimento demográfico. As fábricas e os subúrbios residenciais fixaram-se ao longo do Rio Tietê e Tamanduateí, acompanhando as ferrovias e estruturando os principais eixos da futura metropolização de São Paulo.

Com a construção das rodovias, no final dos anos 1940 e início dos anos de 1950, abriram-se grandes canais de comunicação com a metrópole paulista. A Via Dutra ligou São Paulo ao Rio de Janeiro, ampliando mercados; já a Via Anchieta facilitou os fluxos de exportação e importação por meio do Porto de Santos e a Via Anhanguera propiciou o intercâmbio entre o interior do Estado e Minas Gerais.

A configuração espacial da RMSP teve como um dos principais fatores determinantes a infraestrutura de transportes, provocando a instalação de novas fábricas nas suas imediações. As plantas industriais surgidas na década de 1950, notadamente as automobilísticas, se instalaram às margens das rodovias e as antigas fábricas situadas nos eixos ferroviários ou nas regiões centrais da cidade foram, paulatinamente, transferidas para novas áreas industriais.

A implantação de grandes indústrias no ABC e o elevado crescimento populacional de seus municípios alteraram a dinâmica urbana da região. No entanto, a desconcentração do comércio e dos serviços só ocorreria mais tarde, de modo que o acesso e a comunicação com a capital eram essenciais para o desenvolvimento das atividades econômicas.

2.3.1. Caracterização Regional

A RMSP, conforme mostra a figura (2.2), é formada por São Paulo, Capital, e mais 38 municípios[2], que ocupam 8.051 km^2 do território paulista. Em 2008, a população da mencionada região chegou a 19.697.337 habitantes, representando 47,9% do total existente no Estado de São Paulo. A RMSP possuía a maior densidade demográfica se comparada a outras regiões do mencionado Estado (2.479,6 habitantes por km^2, em contraposição à marca estadual de 165,8 hab/km^2). De 1900 a 1950, a população do Município de São Paulo cresceu a uma taxa média de 4,5 % ao ano e atingiu uma taxa de urbanização de 88% no ano de 1950.

[2] Os 39 municípios componentes da RMSP são: Arujá, Barueri, Biritiba Mirim, Caieiras, Cajamar, Carapicuiba, Cotia, Diadema, Embu, Embu-Guaçu, Ferraz de Vasconcelos, Franscisco Morato, Franco da Rocha, Guararema, Guarulhos, Itapecerica da Serra, Itapevi, Itaquaquecetuba, Jandira, Juquitiba, Mairiporã, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Poá, Riberão Pires, Rio Grande da Serra, Salesópolis, Santa Isabel, Santana do Parnaíba, Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São Lourenço da Serra, São Paulo, Suzano, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista.

A partir daí, seu crescimento extravasou para os municípios vizinhos - que cresceram a um ritmo mais acelerado, iniciando o processo de periferização da população.

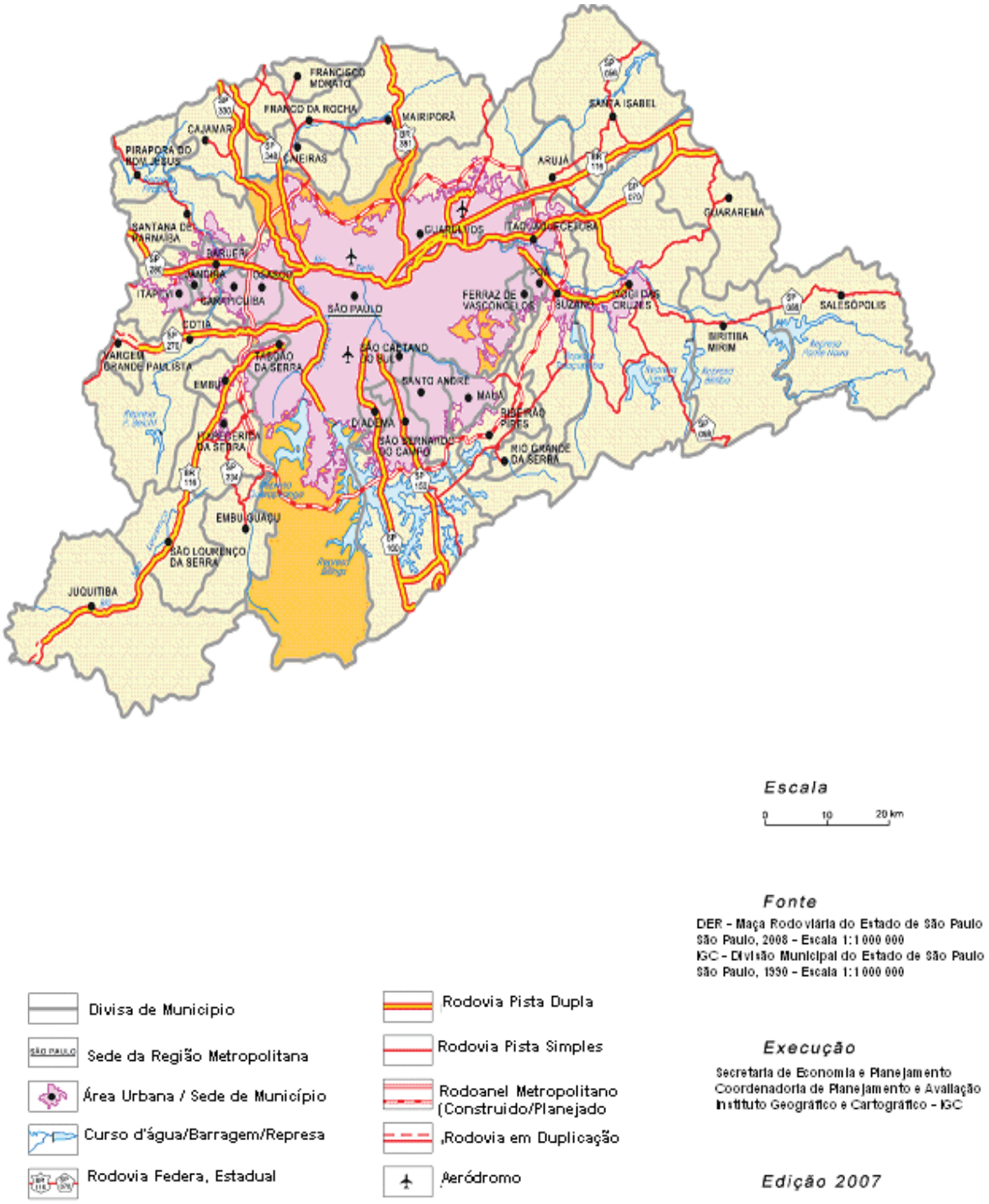


Figura 2. 2 - Região Metropolitana de São Paulo

Fonte: http://www.planejamento.sp.gov.br/des/textos8/RMSP.pdf

2.3.2. Características Sócio-Econômicas

No período de 1997 a 2007, população, empregos, matrículas escolares e frota de automóveis, principais variáveis e indicadores socioeconômicos, tiveram acréscimos de, respectivamente, 16%, 30%, 5% e 16%, que podem ser visualizados na tabela (2.2) abaixo esboçada.

Tabela 2.2 - Região Metropolitana de São Paulo - Dados Globais: 1967, 1977, 1987, 1997 e 2007

VARIÁVEIS	1967	1977	1987	1997	2007
POPULAÇÃO (milhares de habitantes)	7.097	10.276	14.248	16.792	19.535
TOTAL DE VIAGENS (milhares/dia)	-	21.304	29.400	31.432	38.094
VIAGENS MOTORIZADAS (milhares/dia)	7.187	15.263	18.642	20.458	25.167
FROTA DE AUTOS (milhares) [1]	493	1.392	2.014	3.092	3.601
ÍNDICE DE MOBILIDADE TOTAL[2]	-	2,07	2,06	1,87	1,95
ÍNDICE DE MOBILIDADE MOTORIZADA[3]	1,01	1,49	1,31	1,22	1,29
TAXA DE MOTORIZAÇÃO[4]	70	135	141	184	184
EMPREGO (milhares)	-	3.758	5.647	6.959	9.066
MATRICULAS ESCOLARES (milhares)	1.088	2.506	3.676	5.011	5.251

Fonte: Metrô – Pesquisas OD 1967/1977/1987/1997 e 2007

[1] Em 2007 assumiu-se que a distribuição do n° de automóveis particulares das famílias que não declararam este item é a mesma daquelas que o declararam

[2] Índice de Mobilidade Total: Número de viagens totais por habitante

[3] Índice de Mobilidade Motorizada: Número de viagens motorizadas por habitante

[4] Taxa de Motorização: Número de automóveis particulares por 1.000 habitantes

Verifica-se que, em 2007, o número total de viagens realizadas diariamente na RMSP foi de 38,1 milhões, representando um acréscimo de 21% em relação ao ano de 1997. As viagens motorizadas, que contabilizaram 25,2 milhões, tiveram acréscimo de 23% no período. O índice de mobilidade passou de 1,87 para 1,95 viagens diárias por habitante, enquanto o índice de mobilidade motorizada passou de 1,22 para 1,29 viagens diárias por habitante, no mesmo período. As demais características Sócio- Econômicas encontram-se sumarizadas no Anexo II.

2.3.2.1. Frota de Automóveis Particulares e Taxa de Motorização

A frota de automóveis particulares em posse de famílias na RMSP foi de 3,6 milhões em 2007 - esta frota exclui automóveis pertencentes a empresas, taxis e ônibus. A taxa de motorização, no período de 1997 a 2007, não sofreu alteração, mantendo-se com 184 automóveis particulares, por grupo de mil habitantes. Tanto a população, quanto a frota de

veículos particulares, cresceram na mesma proporção – ou seja, 16%, se considerado o período mostrado na tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Região Metropolitana de São Paulo - Distribuição da Frota de Automóveis Particulares por Idade* - 2007

IDADE DA FROTA	N° AUTOS (X 1.000)	%
até 1 ano	320	8,89
2 anos	224	6,22
3 anos	243	6,75
4 anos	187	5,18
5 anos	174	4,83
6 a 10 anos	974	27,05
mais de 10 anos	1.479	41,08
TOTAL	**3.601**	**100,00**

Fonte: Metrô-Pesquisa OD 2007

(*) Em 2007 assumiu-se que a distribuição do n° de automóveis particulares das famílias que não declararam este item é a mesma daquelas que o declararam. Adotou-se ainda, para a frota não declarada, a mesma distribuição etária da frota declarada.

Como se verifica acima, a distribuição da frota, de acordo com o critério etário, indicou que: 27% dos automóveis particulares possuem até 4 anos; 32% dos mesmos têm entre 5 a 10 anos; e 41% mais de 10 anos.

2.3.3. Características das Viagens

O número de viagens realizadas diariamente na RMSP, em 2007, foi de 38,1 milhões, crescendo 21% no último decênio. Do total de viagens, 25,2 milhões foram realizados por modo motorizado, vide tabela 2.4 e gráfico 2.2 abaixo transcritos. O número de viagens motorizadas aumentou 23%, enquanto o número de viagens não-motorizadas - ou seja, por bicicletas e a pé – cresceu 18% no último período.

Tabela 2. 4 - Região Metropolitana de São Paulo - Evolução das Viagens Diárias por Modo Principal – 1967, 1977, 1987, 1997 e 2007

	VIAGENS									
	1967		1977		1987		1997		2007	
MODO	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%
Coletivo	4.894	68,1	9.580	62,8	10,455	56,1	10.473	51,2	13.913	55,3
Individual	2.293	31,9	5.683	37,2	8.187	43,9	9.985	48,8	11.254	44,7
Motorizado	**7.187**	**100,0**	**15.263**	**100,0**	**18.642**	**100,0**	**20.458**	**100,0**	**25.167**	**100,0**
Bicicleta	-		71	1,2	108	1,0	162	1,5	304	2,4
A pé	-		5.970	98,8	10.650	99,0	10.812	98,5	12.623	97,6
Não-motorizado	**0**	**0,0**	**6.041**	**100,0**	**10.758**	**100,0**	**10.974**	**100,0**	**12.927**	**100,0**
TOTAL	**7.187**		**21.304**		**29.400**		**31.432**		**38.094**	

Fonte: Metrô-Pesquisas OD 1967/ 1977/ 1987/ 1997 e 2007

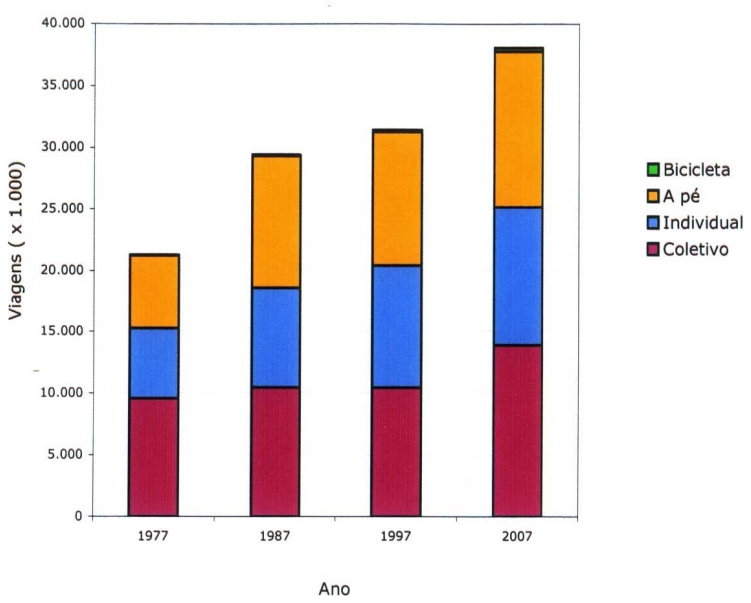


Gráfico 2. 2 - Região Metropolitana de São Paulo - Evolução das Viagens Diárias por Modo 1977 a 2007

Fonte: Metrô-Pesquisas OD – 2007

2.3.3.1. Índices de Mobilidade

A relação entre o número de viagens pelo número de habitantes de determinada área fornece o índice de mobilidade. Tal índice, tanto o total, quanto o motorizado, em 2007, reverteram a tendência decrescente observada desde 1977 (vide tabela 2.2). A mobilidade total antes situada na marca de 1,87 chega a 1,95 viagens por pessoa, no período de 1997-

2007. Nesse mesmo período, a mobilidade motorizada passa de 1,22 para 1,29 viagens por pessoa. Já a mobilidade por modo motorizado sofreu esse acréscimo devido ao aumento da mobilidade por modo coletivo que sai de 0,62 e alcança 0,71 viagens por pessoa. Em relação ao índice de mobilidade por modo individual, percebe-se que de 0,59 diminui para 0,58 viagens por habitante no período considerado. A mobilidade não-motorizada passa de 0,65 para 0,66 viagens por pessoa, conforme mostra a tabela 2.5.

A renda familiar é a principal variável relacionada à mobilidade. Quanto maior a renda familiar, maior o número de viagens diárias realizadas por pessoa. No período entre 1997 a 2007 houve um acréscimo de mobilidade em todas as faixas de renda consideradas. Os índices de mobilidade por modo coletivo, da mesma forma, sofreram acréscimo nas faixas de renda familiar até R$ 3.040,00, permanecendo praticamente inalterados nas faixas acima desse valor. Em relação aos índices de mobilidade por modo individual, percebe-se um acréscimo em todas as faixas de renda familiar. Quanto aos índices de mobilidade não-motorizada, também houve acréscimo nas faixas de renda familiar até R$ 1.520,00, diminuindo a partir desse valor de renda familiar, conforme ilustra a tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Região Metropolitana de São Paulo - Índice de Mobilidade por Modo Principal e Renda Familiar Mensal - 1997 e 2007

1997

Faixa de Renda	**ÍNDICE DE MOBILIDADE (viagens /habitante)**				
(*)	**Coletivo**	**Individual**	**Motorizado**	**Não-motorizado**	**Total**
até 760	0,41	0,13	0,54	0,71	1,25
760 a 1.520	0,61	0,21	0,82	0,76	1,58
1.520 a 3.040	0,71	0,44	1,15	0,73	1,87
3.040 a 5.700	0,72	0,86	1,58	0,57	2,15
mais de 5.700	0,50	1,67	2,16	0,38	2,54
TOTAL	**0,62**	**0,59**	**1,22**	**0,65**	**1,87**

2007

Faixa de Renda	**ÍNDICE DE MOBILIDADE (viagens/habitante)**				
(*)	**Coletivo**	**Individual**	**Motorizado**	**Não-motorizado**	**Total**
até 760	0,56	0,17	0,73	0,80	1,53
760 a 1.520	0,71	0,26	0,97	0,80	1,77
1.520 a 3.040	0,80	0,55	1,35	0,63	1,98
3.040 a 5.700	0,73	1,11	1,85	0,45	2,30
mais de 5.700	0,49	1,85	2,34	0,35	2,69
TOTAL	**0,71**	**0,58**	**1,29**	**0,66**	**1,95**

Fonte: Metrô-Pesquisas OD 1997 e 2007
(*) Em reais de outubro de 2007

2.4. Infra-Estrutura do Transporte Urbano na Região Metropolitana de São Paulo

O transporte público urbano na RMSP, assim como em todo país, é debilmente subsidiado (Biderman, 2008), sendo que, aproximadamente, metade das famílias que residem nas cidades deslocam-se por meio de automóveis particulares.

Até hoje, o gerenciamento de tráfego restringiu-se à circulação de veículos com base no final da placa (rodízio municipal de veículos). Por meio desta limitação, 20% dos automóveis são proibidos de circular no centro expandido da cidade nos horários das 7 às 10 horas e das 17 às 20 horas de segunda a sexta feiras. As autoridades municipais concentram esforços para resolver a questão dos mal afamados congestionamentos de tráfego, mas, embora as propostas oficiais apontem para a correta direção, deve-se priorizar uma mudança mais conceitual a respeito do transporte público, pedestres e ciclistas.

Há atualmente 313 km de linhas de metrô e trem dedicadas ao transporte de passageiros na Região Metropolitana. Isto representa, em termos comparativos, menos da metade daquelas existentes em Londres, Berlim ou Nova Iorque - todas localizadas em regiões metropolitanas menores que São Paulo. Na América Latina, o sistema metroviário da Cidade do México conta com 200 km de linhas, aproximando-se daquele implementado no Município de São Paulo – salienta-se que a construção do mencionado sistema naquela cidade iniciou-se uma década após o início da construção da malha metroviária paulistana.

Para complicar a questão, algumas das linhas de trem metropolitano que transportam usuários disputam espaço com trens de carga. No entanto, no final dos anos 1990 a Secretaria Estadual dos Transportes Metropolitanos de São Paulo (STM), através da Dersa (Empresa de Desenvolvimento Rodoviário), implantou um plano com vistas a segregar o transporte de cargas e de passageiros. Para tanto, iniciou-se a construção de um anel viário (Rodoanel) e ferroviário (Ferroanel) externos, de modo que os usuários de trem não mais dividam as vias férreas com trens de carga.

Em 2002, o Município de São Paulo registrou uma média diária de cerca de 7,4 milhões de viagens por meio do transporte coletivo e 8 milhões de viagens em transporte individual, comparadas a 4,2 milhões de viagens em transporte coletivo e 4,9 milhões de viagens em transporte individual nos outros municípios combinados. Desta forma, o número de viagens em automóveis particulares representou 53% do total diário de viagens motorizadas na Região Metropolitana, um aumento em relação aos 48% obtidos em 1997. No entanto, como já citado anteriormente, a tendência começou a se inverter: dados preliminares

de 2007, 2008 e 2009 mostram que, acompanhando a tendência verificada em todo o território nacional, as viagens em automóveis caíram para 45%.

Considera-se que a introdução do Bilhete Único – que permite aos usuários pagar uma tarifa única, independentemente da distância percorrida ou do número de baldeações - revigorou o uso do transporte coletivo, pelo menos em relação à RMSP. Em paralelo, a melhoria no trem metropolitano, bem como o aumento do preço da gasolina e dos derivados do petróleo e, em algumas ocasiões, até do álcool, induziram a uma redução no uso meio individual.

Hoje, o uso está concentrado em ônibus e, embora o uso de bicicletas seja insignificante, os dados preliminares de 2007, 2008 e 2009 indicaram que 33% das famílias da RMSP possuem ao menos uma bicicleta, fato que justificaria o aumento na oferta de ciclovias exclusivas, elevando consideravelmente o uso de bicicletas, (BIDERMAN, 2008). O transporte na RMSP pode ser visualizado na tabela 2.6, onde se tem um resumo da frota envolvida na dinâmica do transporte urbano.

Tabela 2. 6 – Frota de Veículos – DETRAN – SP

Dezembro de 2009								
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**TOTAL**
RMSP	823.657	658.022	4.969.456	45.187	164.071	69.167	6.167	6.733.100
ESTADO	3.777.764	1.899.768	13.298.992	127.350	689.169	347.449	117.947	20.258.439

Legenda
Coluna 1 : Ciclomoto, motoneta, motociclo, triciclo e quadriciclo
Coluna 2: microônibus, camioneta, caminhonete, utilitário
Coluna 3: automóvel
Coluna 4: ônibus (todos os licenciados em 2009)
Coluna 5: caminhão
Coluna 6: reboque e semi-reboque
Coluna 7: outros
Fonte: Departamento Estadual de Transito de São Paulo 2010

As faixas exclusivas para ônibus na cidade de São Paulo (os corredores de ônibus) são similares ao TransMilenio de Bogotá[3], porém são menos segregadas do tráfico geral.

[3] TransMilenio é um sistema público Metropolitano de veículo leve sobre pneus (VLP) que funciona na cidade de Bogotá, Colômbia. A construção iniciou em 1998, durante a administração do Prefeito Enrique Peñalosa Londono e sua inauguração ocorreu no dia 18 de dezembro de 2000. A rede TransMilenio foi inspirada na Rede Integrada de Transporte de Curitiba, mas com algumas melhorias que permitem uma capacidade de carregamento superior. A principal melhoria é que os ônibus transitam por canaleta segregada, sem cruzamentos em nível, com duas faixas em cada direção, permitindo assim, ultrapassagem entre os veículos, o que possibilita a operação de linhas expressas na faixa adicional conseguindo atingir velocidades de operação maiores que as de Curitiba. (TRANSMILENIO, Urban Mass Transportation System, 2004)

Ademais, poucas estações apresentam faixas de ultrapassagem e embarque em estações elevadas, além de não existir o pagamento antecipado de tarifas, como no TransMilenio.

Operando a velocidades que alcançam a metade daquelas esperadas para um sistema de ônibus expresso (Bus Rapid Transit – BRT), os corredores de ônibus do Município de São Paulo ocuparam, em 2007, apenas 112 km dos 4.300 km de vias cobertas existentes na malha urbana de ônibus.

Recentemente, foi inaugurado na região sudeste da cidade de São Paulo o primeiro estágio de uma nova linha de ônibus, o Expresso Tiradentes. Este liga o centro do mencionado Município ao maior complexo de conjuntos habitacionais da América Latina, denominado Cidade Tiradentes. Quando da sua conclusão, o referido Expresso transportará 50 mil passageiros por dia, sendo o único sistema existente em São Paulo que pode ser comparado a um BRT - já que os veículos trafegam a velocidades acima de 30 km por hora ao longo de faixas exclusivas e demarcadas. Os investimentos atuais acrescentarão em torno de 160 km de corredores (BIDERMAN, 2008).

O plano geral para o transporte público da RMSP foi consolidado no Plano Integrado de Transportes Urbanos – PITU, que incluí projeções para até o ano de 2025. Tal plano não propõe expansões na malha ferroviária urbana, porém espera-se uma considerável melhoria a partir da segregação do transporte de cargas e duplicações de vias. O tempo de espera entre trens deverá cair de 10 para 3 minutos na maioria das linhas. A proposta do PITU contempla a extensão de diversas linhas em direção ao centro, de modo a garantir a convergência entre elas nas estações centrais. Em termos de corredores de ônibus, além de adicionar mais de 300 km à malha existente, o PITU propõe 110 km de ”corredores urbanos” que incluem pontos de ultrapassagem para elevar a velocidade média, deixando-a compatível com o sistema BRT. A proposta prevê um total de 580 km de corredores novos até 2025, incluindo a malha atual e a aquela contida no plano diretor da cidade de São Paulo. Para gerar mudanças significativas, o sistema deve ser altamente integrado - uma das prioridades do PITU 2025, o que demandará a construção de 15 terminais principais interligando os diferentes meios de transporte.

De acordo com BIDERMAN (2008), desde 1950, as políticas de transporte da RMSP, assim como na maioria das outras regiões Metropolitanas brasileiras, têm negligenciado o transporte público, os pedestres e os ciclistas. O resultado é um sistema ineficiente e caótico, com longos intervalos de tempo de deslocamento, especialmente para a população de baixa renda. A solução seria melhorar a oferta do transporte público.

No entanto, somente melhorar a oferta não é suficiente, sendo necessária uma mudança fundamental de paradigma. Para tanto, deve-se buscar: meios de transporte sustentáveis mais justos e que inibam a intensificação das mudanças climáticas; meios de transportes inovadores que alcancem patamares elevados de eficiência energética, reduzindo drasticamente a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera e incentivando a utilização de bioenergéticos renováveis; meios de transporte que preservem o bem-estar das futuras gerações, conciliando anseios sociais, crescimento econômico e a distribuição de renda.

Tal mudança de paradigma inicia-se com a proposta apresentada nesta tese que demonstra as vantagens da utilização do BioEthanol for Sustainable Transport – BEST – na RMSP, criando oportunidades para novos investidores e empreendimentos que farão dos desafios ambientais uma fonte inesgotável de vantagens competitivas.

3 MOTORES CICLO DIESEL E SEUS COMBUSTÍVEIS

O motor diesel tem sido escolhido para aplicações pesadas na agricultura, construção civil, indústria e transporte rodoviário por mais de 50 anos. Sua popularidade histórica é atribuída à sua capacidade de utilizar uma fração do petróleo bruto, anteriormente identificado como resíduo do refino da gasolina. Mais tarde, a durabilidade, a capacidade de fornecer alto torque e o baixo consumo eficiente do combustível foram os fatores mais determinantes para a sua aplicação. Por outro lado, apesar de não ser muito utilizado para carros de passeio nos Estados Unidos e no Brasil (< 1%), o óleo diesel é amplamente aceito na Europa, respondendo por mais de 33% de todo mercado (Broge, 2002). Mas, convém salientar que na União Européia a qualidade do diesel é bem superior, pois, desde 2005, já se aplicava o "Padrão do Euro IV" que especifica 50 ppm[4] (ver anexo IV). Salienta-se que, até 2014, será aplicado o Padrão Euro VI que especifica menos de 5 ppm.

Nos Estados Unidos, veículos de transporte rodoviário equipados com motores diesel consomem mais de 30 bilhões de litros do mencionado combustível por ano - este consumo é devido, praticamente, à frota de caminhões (EIA, 2004) existente no país.

No entanto, na medida em que a localização e prospecção do petróleo tornam-se dispendiosas, aumentam as preocupações com questões ambientais - emissões provocadas pelos motores movidos a óleo diesel e o aquecimento global. É neste cenário que, provavelmente, o etanol oriundo da cana-de-açúcar emergirá como uma possível alternativa para a substituição do óleo diesel.

Com vistas ao entendimento das propriedades dos motores do ciclo Diesel, o presente capítulo descreve seus princípios fundamentais e suas particularidades de acordo com tipo de combustível empregado.

3.1. Princípios Fundamentais dos Motores Ciclo Diesel

Os motores ciclo Diesel são, também, conhecidos como motores de ignição por compressão. No ciclo Diesel o ar é previamente comprimido até que atinja temperatura e pressão suficientes para que o combustível, que é injetado ao final do tempo de compressão,

[4] A Comissão Européia estipula os limites para poluentes nocivos, incluindo os óxidos de nitrogênio NO_x e emissão de partículas (PM), com a legislação Euro IV e V. A legislação é compulsória e limita as emissões de todos os veículos com menos de 3,5 toneladas registradas após a data de implementação. A norma Euro IV foi implementada em outubro de 2006, a Euro V registrados em outubro de 2009, e até 2014 será implementada a Euro VI. Fonte: BOSCH, (2009).

se inflame por auto-ignição. O motor ciclo Diesel não necessita de alguns dispositivos elétricos presentes nos motores ciclo Otto, tais como velas de ignição, distribuidores e cabos das velas de ignição (GRANET, 1995). O ar comprimido no ciclo de compressão permite aos motores de ciclo Diesel uma relação de compressão muito maior que aquela verificada nos motores de ciclo Otto que, por suas vezes, comprimem a mistura de ar e combustível.

A taxa de compressão é definida pela razão entre o volume interno do cilindro com o pistão no ponto morto inferior (PMI) e o volume interno do cilindro com o pistão no ponto morto superior (PMS).

Segundo GRANET (1995) os motores ciclo Diesel, bem como os motores ciclo Otto, são motores de combustão interna de quatro ou dois ciclos (de quatro tempos ou de dois tempos, respectivamente). O funcionamento do ciclo Diesel[5] quatro tempos se processa de acordo com a figura (3.1) na sequência:

1. **Admissão de ar:** A rotação do eixo de manivelas na parte inferior do motor movimenta uma correia síncrona ou engrenagem que movimenta um eixo de cames que, por sua vez, temporiza a abertura e o fechamento das válvulas do cabeçote do motor. Desta forma, o ar é aspirado através da válvula de admissão quando estiver aberta, momento em que o pistão se desloca do **PMS** para o **PMI**.
2. **Compressão de ar:** A segunda fase do ciclo inicia-se quando o pistão e a válvula de admissão se fecham. Neste instante, o pistão inicia o movimento ascendente para comprimir o ar no interior do cilindro. Devido ao fato de motores ciclo Diesel possuírem alta taxa de compressão, a temperatura do fluido atinge uma temperatura muito acima do ponto de inflamação do óleo diesel.
3. **Injeção de combustível e potência:** No momento em que o pistão atinge o **PMS**, uma névoa de combustível é pulverizada no interior de uma antecâmara do cilindro. O ar, previamente aquecido pela compressão, inflama o óleo diesel e a combustão expande os gases no interior do cilindro, empurrando o **PMI** e girando o eixo de manivelas.

[5] Os motores ciclo Diesel funcionam também com Biodiesel (B-2 a B-100). No Brasil em 2004, o governo federal autorizou 2% (B_2) na mistura de óleos vegetais ao diesel. Entretanto só a partir de 2008 este percentual passou a ser obrigatório, devendo aumentar para 5% (B_5) em 2013. Mas a utilização do motor ciclo Diesel com etanol (aditivado) esta se iniciando recentemente conforme será analisado a seguir. Fonte: GEPAI – Grupo de Estudos e Pesquisa Agropecuárias DEP/UFSCAR, 2010.

4. **Escape:** Quando o pistão atinge o **PMI** após combustão, a válvula de escape se abre e o pistão inicia novamente o curso ascendente para retirar os gases produzidos pela combustão localizados no interior do cilindro. Quando o êmbolo chega ao **PMS**, a válvula de escape se fecha e o pistão inicia o curso descendente, reiniciando a admissão de ar; conclui-se, desta forma, o ciclo de quatro tempos.

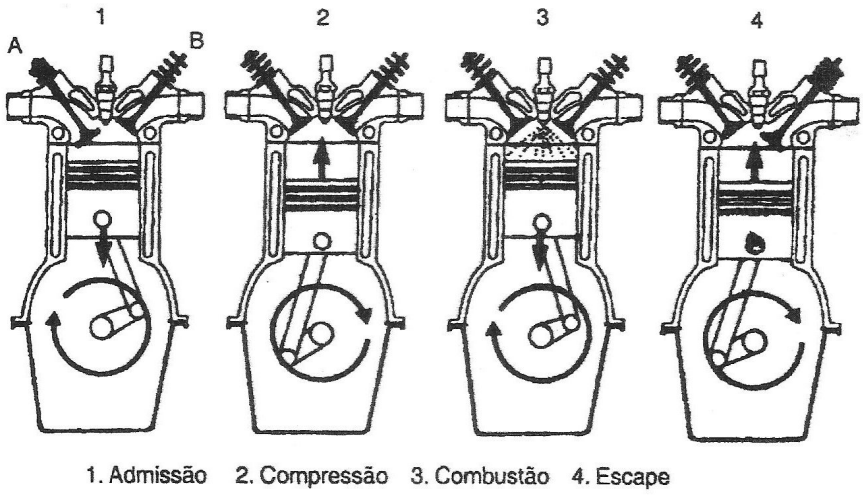


Figura 3. 1 - Funcionamento de um motor ciclo Diesel de quatro tempos
Fonte: RACHE (2004)

3.2. Motor Ciclo Diesel Movido a Etanol Aditivado

A tecnologia de motores ciclo Diesel movidos a etanol aditivado foi aperfeiçoada pela Scania sueca, desde a segunda metade da década de 80. Atualmente, estes motores apresentam alto grau de desenvolvimento tecnológico e de confiabilidade, além de produzirem reduzidas emissões de poluentes. Na União Européia, qualquer motor produzido a partir de outubro de 2009 deverá ser certificado como Euro 5, regulamentação com padrões muito rígidos de emissão de poluentes (CENBIO, 2007).

Os motores ciclo Diesel movidos a etanol aditivado de terceira geração já possuem padrão Euro 5 de emissão, sem qualquer tipo de pós-tratamento dos gases de escape, e também são certificados como Environmentally Enhanced Vehicle (EEV), norma que ainda não possui data para entrar em vigor na Europa e é mais rigorosa que o padrão Euro 5. O motor está disponível no mercado e já é amplamente utilizado na Suécia, onde cerca de 600 ônibus circulam em diferentes cidades do país movidos a etanol aditivado, em especial no Município de Estocolmo (BEST, 2006).

Segundo o fabricante, a adaptação do motor ciclo Diesel ao uso do etanol aditivado não requer mudanças significativas. Entre estas mudanças estão o aumento da taxa de compressão do motor 28:1, enquanto nos motores ciclo Diesel convencionais, a taxa de compressão mais comum é de 18:1; maior capacidade volumétrica dos bicos injetores e o emprego de materiais resistentes ao etanol, devido à corrosão (GREEN CAR CONGRESS, 2008).

O combustível usado em motores ciclo Diesel deve possuir propriedade de auto-ignição por compressão, princípio de funcionamento do motor ciclo Diesel. Entretanto, o etanol não possui tal propriedade. Para que o etanol sofra auto-ignição, além de alta taxa de compressão empregada nestes motores, um aditivo (ver item 3.4.3.1 ignitor-PEG) deve ser misturado ao etanol (SEKAB, 2001a).

O combustível em destaque possui menor conteúdo energético por unidade de volume se comparado ao diesel, por isso, é necessária maior capacidade volumétrica dos injetores. Isto também justifica o maior consumo de combustível por quilômetro percorrido - da ordem de 60% maior que o volume de diesel consumido por um motor equivalente para percorrer a mesma distância (CENBIO, 2007).

Segundo Scania (2007), o único modelo de motor a etanol aditivado disponível comercialmente é o modelo DC9 E02 270, mostrado na figura (3.2) abaixo:

Figura 3. 2 - Motor Scania DC9 E02

Fonte: SCANIA, 2008a.

De acordo com a tabela 3.1 apresentada abaixo, o motor Scania DC9 E02, ciclo Diesel movido a etanol aditivado, possuí as seguintes características quando comparado a outro modelo de motor diesel equivalente:

Tabela 3.1 - Comparação entre o DC9 E02 e o motor DC9 17.

Fabricante	Scania	Scania
Motor	DC9 E02 270 Euro 5	DC9 17 270 Euro 4
Combustível	Etanol	Diesel
Volume deslocado	8.9 litros	8.9 litros
Ordem de Disparo	1-2-4-5-3	1-2-4-5-3
Cilindros	5 em linha	5 em linha
Cabeçotes Individuais	5	5
Válvulas por cilindro	4	4
Diâmetro x curso	127 mm x 140 mm	127 mm x 140 mm
Taxa de compressão	28:1	17:1
Controle de injeção	Scania PDE	Scania PDE
Potência máxima a rev/min	198 kW a 1900 rpm	198 kW a 1800 rpm
Torque máximo a rev/min	1200Nm a 1100-400 rpm	1250Nm a 1100-400 rpm
Capacidade do cárter	37 litros	37 litros

Fonte: Scania, 2007.

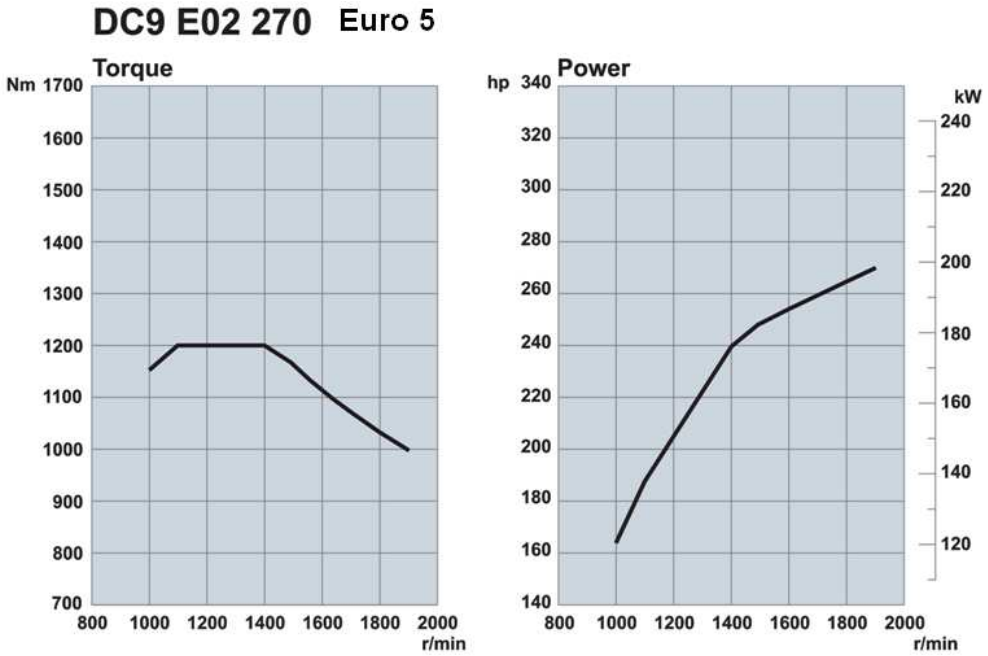
A tabela 3.1 demonstra que o motor ciclo Diesel movido a etanol aditivado é muito semelhante ao motor diesel convencional. Ambos possuem a mesma aplicabilidade em veículos para o transporte público urbano. As principais diferenças mostradas na tabela 3.1 são: o padrão de emissão Euro 5 do motor movido a etanol aditivado contra o padrão de emissão Euro 4 do motor movido exclusivamente a diesel e o aumento da taxa de compressão, de 17:1 no motor diesel convencional para 28:1 nos veículos movidos a etanol aditivado. Os motores possuem poucas diferenças em relação à configuração mecânica, não necessitando, assim, de grandes modificações no layout da fábrica para a sua produção em série.

As curvas de torque e potência do motor ciclo Diesel movido a etanol aditivado são muito semelhantes às curvas de torque e potência de um motor equivalente movido a diesel, o que confere boa dirigibilidade do ônibus movido a etanol aditivado. Faz-se tal afirmação vez que o motor desenvolve alto torque em baixas rotações, como ocorre em um veículo convencional movido a diesel.

As curvas de torque dos motores a etanol e do motor diesel são mostradas pelos gráficos (3.1) e (3.3), respectivamente. As curvas de potência do motor a etanol e do motor movido a diesel são mostradas pelos gráficos (3.2) e (3.4) respectivamente.

Gráfico 3.1 - Curva de torque do motor DC9 EO2

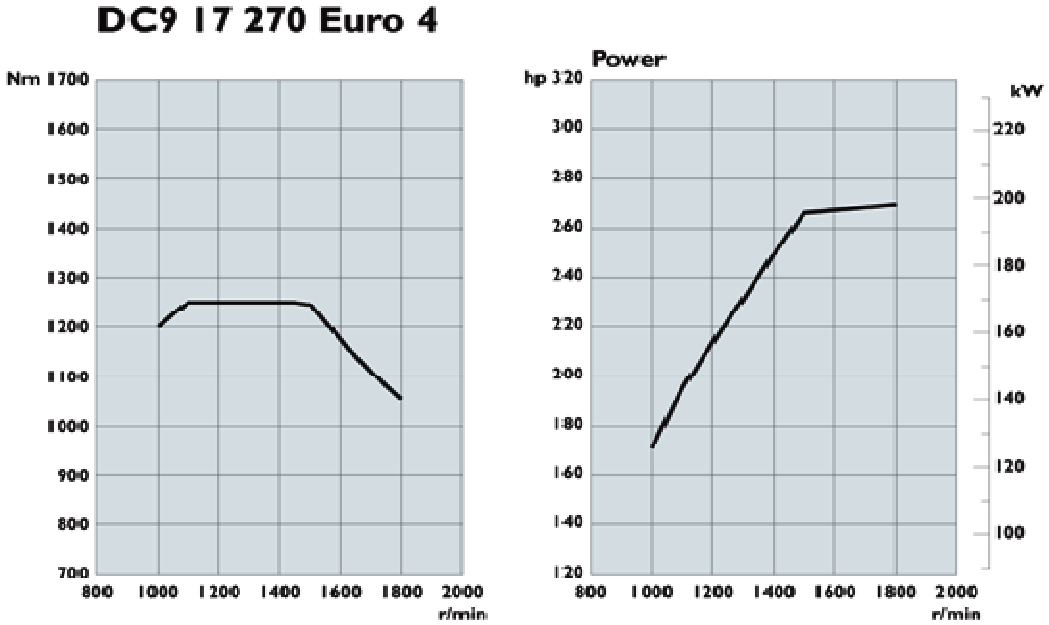
Gráfico 3.2- Curva de potência do motor DC9 E02



Fonte: SCANIA, 2008b.

Gráfico 3. 3 – Curva de torque do motor DC9 17

Gráfico 3. 4 - Curva de potência do motor C9 17



Fonte: SCANIA, 2008b.

As curvas de torque e potência em função da rotação do motor diesel são muito semelhantes àquelas relativas ao motor ciclo Diesel movido a etanol aditivado. Tal fato confere a este último a mesma aplicabilidade dos motores convencionais movidos a diesel.

3.2.1. Taxa de Compressão

A taxa de compressão de um motor é demonstrada por meio da razão matemática entre o volume interno do cilindro com pistão no **PMI** e o volume do cilindro com pistão no **PMS**. A mencionada taxa indica quantas vezes o ar aspirado para dentro do motor é comprimido no cilindro de combustão (figura 3.3).

No motor ciclo Diesel movido a etanol aditivado, cuja taxa de compressão é de 28:1, o ar é comprimido 28 vezes para que se atinja a temperatura de auto-ignição do etanol aditivado, que é igual a 360°C (GREENENERGY, 2000). A alta taxa de compressão do motor ciclo Diesel movido a etanol aditivado justifica-se como uma compensação do baixo número de cetano (NC) do combustível, Etamax D, que é igual a 10, comparado ao do diesel mineral que é de, aproximadamente, 50 (Sekab, 2001a).

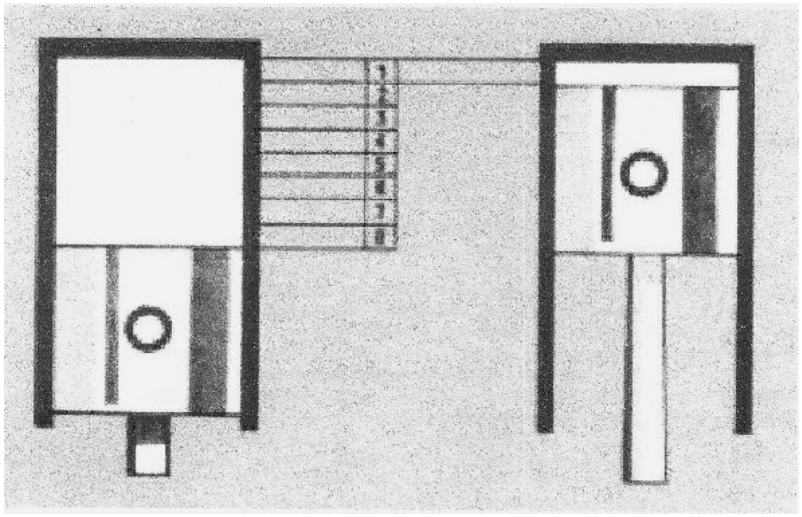


Figura 3. 3– Motor cuja taxa de compressão é 28:1
Fonte: ALMEIDA, 2006.

Do ponto de vista termodinâmico, a taxa de compressão é responsável pelo rendimento térmico do motor, o que significa que o aproveitamento energético do combustível será tão grande quanto à taxa de compressão envolvida no ciclo termodinâmico.

O gráfico (3.5) abaixo compara a eficiência do ciclo Diesel com a eficiência do ciclo Otto.

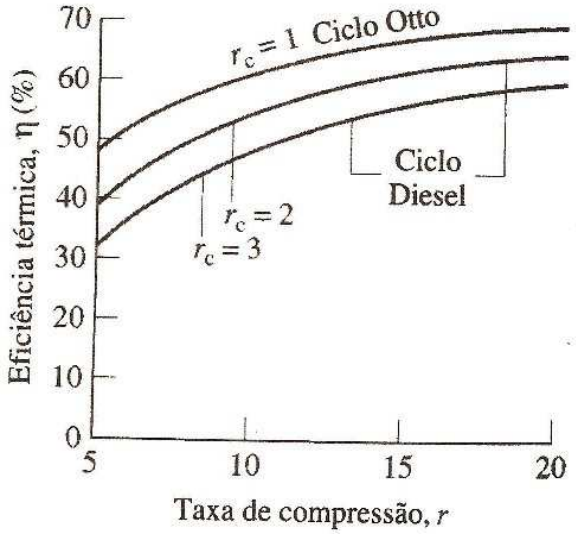


Gráfico 3.5 – Eficiência do ciclo Otto e Diesel segundo a taxa de compressão.
Fonte: MORAN, 2002.

Constata-se pelo gráfico 3.5 que, para a mesma taxa de compressão, o ciclo Otto apresenta melhores rendimentos térmicos quando comparados ao ciclo Diesel. No entanto, a utilização de altas taxas de compressão em motores ciclo Otto é limitada, normalmente até uma relação de 9:1, pois a gasolina - combustível usado em motores ciclo Otto, tende a se inflamar durante o processo de compressão, causando danos ao motor ciclo Otto e a produção de um ruído característico, conhecido como “batida de pino” (MORAN, 2002).

Concluiu-se que, com o uso das altas taxas de compressão em motores ciclo Diesel, taxas acima de 17:1 podem atingir rendimentos térmicos maiores em motores ciclo Diesel se comparados aos motores ciclo Otto. Isto se justifica uma vez que nestes últimos não são utilizadas taxas de compressão muito elevadas.

Tanto no ciclo Diesel, quanto no ciclo Otto, há um aumento da eficiência térmica com o aumento da taxa de compressão, com diferença apenas na taxa de corte (r_c) do motor que, por sua vez, é inexistente em motores ciclo Otto. Esta taxa é calculada a partir da razão entre os volumes da expansão isobárica do motor (MORAN, 2002).

O gráfico 3.6 apresenta o ciclo padrão diesel pressão x volume:

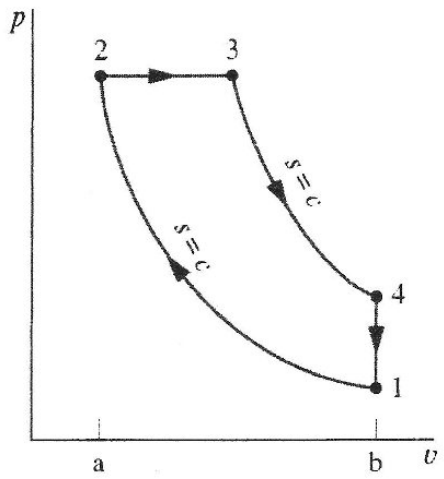


Gráfico 3.6 – Ciclo ideal padrão Diesel – pressão x volume
Fonte: MORAN, 2002.

No gráfico 3.6 a expansão isobárica, ou seja, a expansão dos gases sob pressão constante, se dá entre os volumes V_2 e V_3, momento em que ocorre a combustão. A razão de corte é definida segundo a Equação 1 a seguir:

$$r_c = \frac{V_3}{V_2} \qquad \textbf{(Eq.1)}$$

Onde: r_c: razão de corte do motor

V_2: volume no ponto 2

V_3: volume no ponto 3

A peça interna que se diferencia entre o motor ciclo Diesel comum e o movido a etanol aditivado é o pistão que acomoda o volume não deslocado dentro do cilindro conhecido como “volume morto”, localizado na parte superior do pistão (ALMEIDA, 2006). A figura 3.4 apresenta os pistões do motor Scania DC9 E02 a etanol e do motor Scania DC9 17 a diesel, cujas potências são equivalentes e atingem 240 hp em rotações próximas, porém com taxas de compressão diferenciadas - 28:1 para o motor a etanol aditivado e 17:1 para o motor a diesel.

Figura 3. 4- Pistões de motores ciclo Diesel de mesma potência
Fonte: BAFF, 2008.

3.3. Tecnologias que Reduzem a Emissão de Poluentes

As emissões de poluentes de motores de combustão interna podem ser reduzidas com o emprego de sistemas de pós-tratamento de gases de escapamentos e de sistemas de gerenciamento do motor.

No Brasil, à medida que o Programa de Controle de Emissões de Veículos Automotores (PROCONVE) torna-se cada vez mais exigente quanto aos limites de emissões, o uso de sistemas de pós-tratamento de gases de escapamento, bem como os sistemas de gerenciamento, passam a ser indispensáveis para adequar os motores de combustão interna aos limites impostos pelo PROCONVE.

São exemplos de sistemas de gerenciamento de motores a diesel que impedem a formação dos poluentes: o sistema de recirculação de gases, conhecido como Exhaust Gás Recirculation (EGR) e o sistema de injeção eletrônica que possibilita múltiplos estágios de injeções de combustível com o objetivo de aumentar o desempenho do motor e diminuir as emissões.

Há, ainda, os sistemas de pós-tratamento de gases que neutralizam ou impedem a descarga de poluentes na atmosfera, quais sejam, catalisadores de redução seletiva - Seletive Catalytic Reduction (SRC) - que utilizam uréia para neutralizar o NO_X; catalisadores de oxidação - Diesel Oxidation Catalytic (DOC); e filtros de material particulado - Diesel Particulate Filter (DPF). Os sistemas podem ser utilizados em conjunto para que o motor seja enquadrado nos limites de emissões pré-determinados, como o sistema EGR em conjunto com DPF (BRANCO, 2006).

3.3.1. Sistema de Recirculação de Gases

O sistema EGR, em meados da década de 70, foi incorporado aos veículos com motores ciclo Diesel, objetivando a diminuição da emissão de NO_x. As altas taxas de compressão envolvidas em motores ciclo Diesel de 17:1 ou maiores, chegando até 28:1, como no caso do motor ciclo Diesel movido a etanol aditivado, têm como consequência altas pressões e altas temperaturas de combustão no interior dos cilindros, favorecendo, dessa forma, a formação de NO_x (BRANCO, 2006). Apesar da utilização do sistema EGR também ser possível em motores ciclo Otto, é amplamente utilizado em motores ciclo Diesel, uma vez que as emissões de NO_x destes motores são de maior expressão, inclusive daqueles movidos a etanol aditivado. A figura 3.5 mostra a configuração de um sistema EGR.

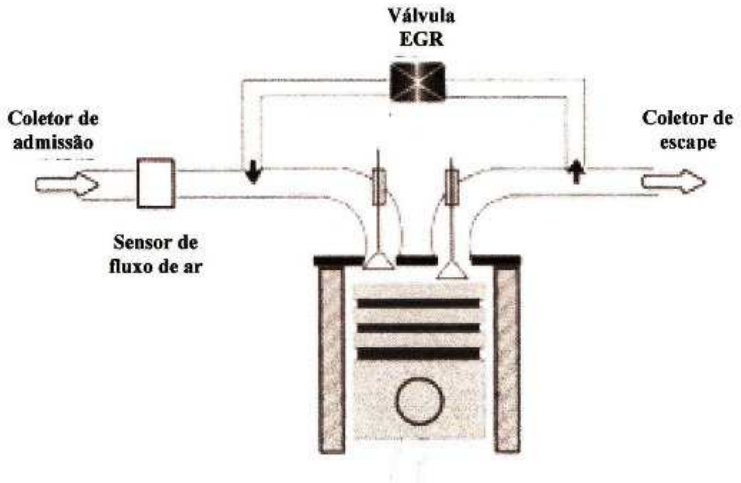


Figura 3. 5 – Configuração do sistema EGR
Fonte: Autospeed (2008)

O conceito do sistema de recirculação de gases baseia-se na utilização de uma parcela dos gases de escape direcionada à admissão do motor, ou seja, de 20% até 30% dos gases inertes de escape são admitidos novamente nos cilindros de combustão. Verifica-se que a recirculação dos gases de escape propicia a diminuição da temperatura e pressão máximas de combustão que tem como principal consequência a diminuição da formação de NO_x. Do ponto de vista termodinâmico, o motor sofre uma redução do seu rendimento térmico, entretanto, as redução da emissão específica de NO_x, em decorrência da utilização do sistema EGR, é da ordem de 25% até 40%. O emprego do EGR requer cuidados especiais no projeto do motor, pois haveria a tendência de aumento do consumo de combustível em virtude da perda de rendimento. Então, para esse controle o EGR é minimizado em regimes de potência e torque elevados (BRANCO, 2006).

O uso de combustíveis com baixo teor de enxofre também é outro cuidado necessário. O enxofre, ao ser queimado, produz óxidos de enxofre (SO_x), provenientes do enxofre contido no diesel, que, ao reagir com água, produz ácido sulfúrico (H_2SO_4). Essa reação química potencializa a deterioração do equipamento e do motor, já que o ácido sulfúrico, além de corrosivo, também possui efeito contaminante no óleo lubrificante (Branco, 2006). O óleo diesel adequado para o uso do EGR é o diesel cujo teor de enxofre é inferior a 500 ppm, o que implica em uma vantagem do etanol aditivado, pois este não possui enxofre na composição.

O sistema EGR é composto por três subsistemas, quais sejam, válvula EGR, circuito de controle, além de dispositivos e métodos de avaliação da quantidade de gases recirculados. A válvula EGR possui a função de regular a vazão de gases de escape readmitidos no cilindro de combustão. A medição dos gases é realizada pelos dispositivos que fazem parte do sistema EGR e o circuito de controle contém o programa que controla o processo em “malha fechada” ou de modo mapeado, ou seja, pré-programado. As válvulas EGR são classificadas segundo o seu acionamento pneumático ou eletrônico. As válvulas de acionamento pneumático são subdivididas em: válvulas de diafragma único, de diafragma duplo, de contrapressão positiva e de contrapressão negativa. As válvulas EGR eletrônicas são subdivididas em: eletrônicas digitais, eletrônicas lineares e como motor de passo (MANAVELA, 2005).

O fabricante Scania sueca utiliza em seus motores um sistema EGR de nova geração, conhecido como EGR de duplo estágio (GREEN CAR CONGRESS, 2008), apresentado na figura 3.6.

Figura 3. 6 - Sistema EGR de duplo estágio
Fonte: GREEN CAR CONGRESS (2008)

No sistema EGR de duplo estágio, uma parcela dos gases de escape é recirculada, resfriada e, finalmente, direcionada ao coletor de admissão ou retorna ao estágio de resfriamento. A vazão da parcela de gases de escape que é direcionada à admissão é regulada eletronicamente pela válvula EGR e pela variação da geometria do turbo compressor, segundo as necessidades de potência do motor. O primeiro estágio consiste no resfriamento por meio de água dos gases de escape ao longo do bloco do motor, enquanto que o segundo estágio consiste no resfriamento por meio de um radiador ar montado sobre o resfriador do ar de admissão (SAE BRASIL, 2008).

A Scania sueca projetou o sistema EGR de duplo estágio ao longo de cinco anos de pesquisa no Centro Técnico da Scania em Södertälje, na Suécia. O objetivo do projeto foi assegurar o controle do fluxo e da temperatura dos gases recirculados para motores de grande potência (SAE BRASIL, 2008).

3.4. Combustíveis para Motores Ciclo Diesel

O óleo diesel ocupa posição de destaque na matriz de combustíveis veiculares do país, mesmo com a proibição de uso em veículos leves. Há, porém, tendência futura de queda da participação do óleo combustível e do gás liquefeito de petróleo para o uso industrial. Inversamente, espera-se que o espaço ocupado pelo etanol e biodiesel nessa matriz aumente significativamente, vez que um dos maiores desafios da sociedade contemporânea é o desenvolvimento de novos combustíveis e fontes de energia que possam substituir esses derivados, independentemente de sua oferta atual e futura. As principais forças mobilizadoras para esse desenvolvimento passam pela racionalização do uso dos recursos naturais disponíveis, seja no seu aspecto energético, econômico, social ou ambiental.

Dentro desse contexto, este capítulo procura caracterizar os combustíveis ou biocombustíveis envolvidos nesse processo de mudança. Inicia-se tratando do óleo diesel mineral, utilizado no território nacional e, em especial, na RMSP. Depois, passa-se a tecer algumas considerações em relação ao biodiesel e, em seguida, ao etanol aditivado, utilizado nos motores ciclo Diesel.

3.4.1. Diesel

O óleo diesel é um derivado do petróleo bruto, composto de hidrocarbonetos, cujas cadeias contêm de 12 até 20 átomos de carbono, predominantemente alifáticos, olefínicos, ciclo parafínicos e aromáticos. Pode conter também uma quantidade indesejável de enxofre,

sendo este prejudicial ao funcionamento do motor e também um poluente atmosférico (SILVA, 2005).

Quando em contato com o ar, submetido a altas temperaturas, contido no cilindro do coletor de admissão, o diesel vaporiza-se, dando origem a reações químicas espontâneas que resultam na auto-ignição. Esta auto-ignição é uma das propriedades mais importantes deste combustível e é medida por meio do teste **número de cetano (NC)**.

Pode-se estimar, experimentalmente, o número de cetano de um combustível pela norma ASTM-D613, Standard Test Mehtod for Cetane Number of Diesel Fuel Oil – como será visto *a posteriori*. O teste é realizado comparando-se a tendência de auto-ignição de uma amostra do combustível com as misturas formadas por dois combustíveis de referência, o cetano (hexadecano) e o heptametilnonano. Combustíveis com altos NC terão pequenos retardamentos de ignição e pequenas quantidades de combustível estarão presentes na fase de combustão em pré-mistura, devido ao pequeno tempo para o preparo do combustível para a combustão. (SILVA, 2005).

Um combustível com baixo NC provoca um funcionamento ineficiente do motor ciclo Diesel, enquanto um combustível cujo NC é próximo de 100 é ideal para o bom funcionamento do mencionado motor (RACHE, 2004).

A energia contida no diesel combustível não é controlada durante a sua obtenção. O valor do seu poder calorífico inferior será variável e dependerá da refinaria na qual é produzido, da época do ano e da fonte de petróleo utilizada como matéria-prima. Todas estas variáveis afetam a composição do combustível. Óleo diesel com altas porcentagens de aromáticos tendem a ter altos conteúdos de energia por litro, ainda que os aromáticos tenham baixos poderes caloríficos por quilograma. Sua alta densidade compensa o seu baixo conteúdo energético quando se leva em consideração a massa do combustível. Isto tem importância especial quando se trata de motores diesel, porque o combustível é fornecido volumetricamente para o motor.

Em condições ideais, todo o carbono combustível diesel queimaria transformando-se em dióxido de carbono e todo o hidrogênio queimaria transformando-se em vapor de água. Em muitos casos, virtualmente, todo o combustível segue este caminho. Contudo, se o combustível tiver enxofre, este será oxidado, transformando-se em dióxido e trióxido de enxofre. Estes óxidos de enxofre podem reagir com o vapor de água, formando ácido sulfúrico e outros componentes sulfatados. Estes sulfatos podem formar partículas na exaustão e elevar o nível de particulados nessa mesma exaustão.

Em 1993, Agência Americana de Proteção Ambiental (EPA) estabeleceu que o diesel americano poderia conter no máximo 500 ppm de enxofre. Isto correspondeu a uma redução de dez vezes o teor da mencionada substância, contribuindo grandemente para a redução de partículas na exaustão. Em 2006, a EPA estabeleceu uma nova redução do enxofre para 15 ppm. Isto eliminará o enxofre como componente fornecedor de particulados na exaustão e permitirá a introdução de tratamentos catalíticos de gases em motores diesel. Portanto, como visto acima, o enxofre é um potente veneno para os catalisadores e limita as opções disponíveis para o controle das emissões dos motores no futuro.

No Brasil, os novos limites de emissão para veículos leves e pesados a serem cumpridos pelas montadoras e que entrarão em vigência a partir de 2012, exigem adequação dos combustíveis e, por essa razão, se discute atualmente com a ANP Agência Nacional do Petróleo, os refinadores de petróleo e as montadoras de veículos, as especificações necessárias ao atendimento dos requisitos ambientais que incluam, no mínimo, a redução dos teores de enxofre na gasolina para 50 ppm (partes por milhão), até o final de 2010, e para 10 ppm no óleo Diesel para 2013.

A popularidade das máquinas a diesel deve-se, principalmente, à eficiência do diesel como combustível em relação a outros mais simples ou misturados. Além disso, o preço do diesel é muito inferior ao de outros combustíveis, o que se reflete na grande utilização do mesmo em caminhões, ônibus urbanos, apesar dos problemas gravíssimos relacionados com a composição de sua emissão e, ainda, com os níveis de poluentes sob regulamentação contidos na mesma.

3.4.1.1. Diesel no Brasil e no Mundo

Segundo o International Energy Outlook – 2009 (IEA/IEO, 2009) publicado pelo Departamento de Energia dos EUA, o consumo de energia no mundo foi de 472 quatrilhões de british thermal units (Btu), em 2006. Ainda, de acordo com o IEO 2009, a previsão de consumo para o ano de 2030 será de 678 quatrilhões de Btu, evidenciando um aumento de 44% na necessidade mundial de energia, se forem mantidas as leis e políticas energéticas atuais.

Os países em desenvolvimento - conduzidos pelos BRICs (Brasil, Rússia, Índia e China) - contabilizarão dois terços do crescimento da demanda de energia, pois necessitam levar para a população condições mínimas de conforto energético. O grande desafio da humanidade é desenvolver a capacidade de gerar energia necessária para o consumo de forma

sustentável. Na figura 3.7 observa-se a evolução do consumo de energia no mundo e a expressiva participação do setor de transportes.

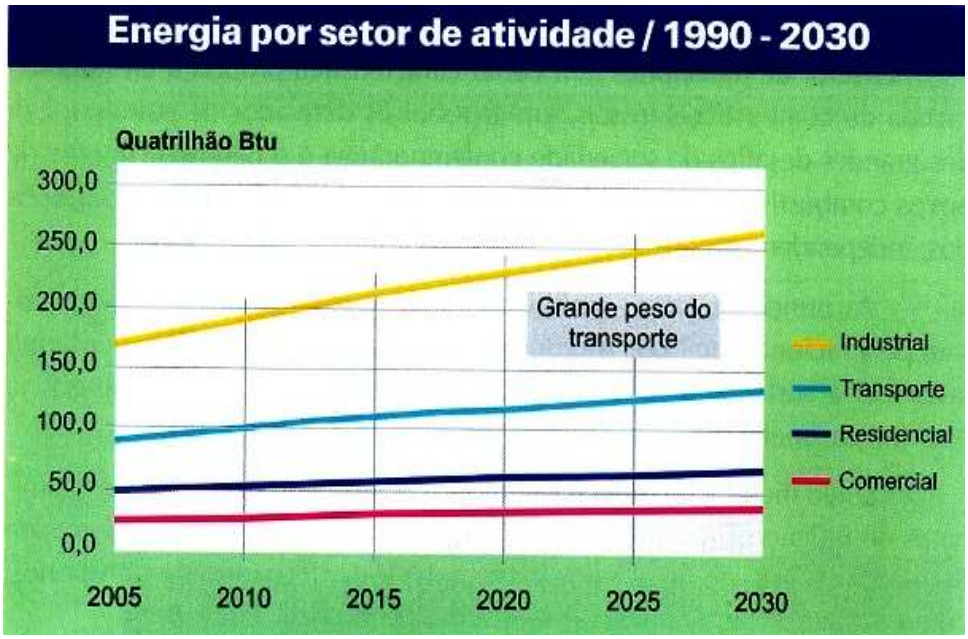


Figura 3. 7- Consumo de Energia no Mundo

Fonte: International Energy Outlook, EIA/DOE, 2009

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) prevê o aumento do consumo de energia também no Brasil, em especial, o aumento da demanda no setor de transportes. Pode-se observar na figura 3.8 que esse setor, atualmente, responsável por 30% do consumo energético do país, deverá ter sua participação incrementada em 4% até 2030.

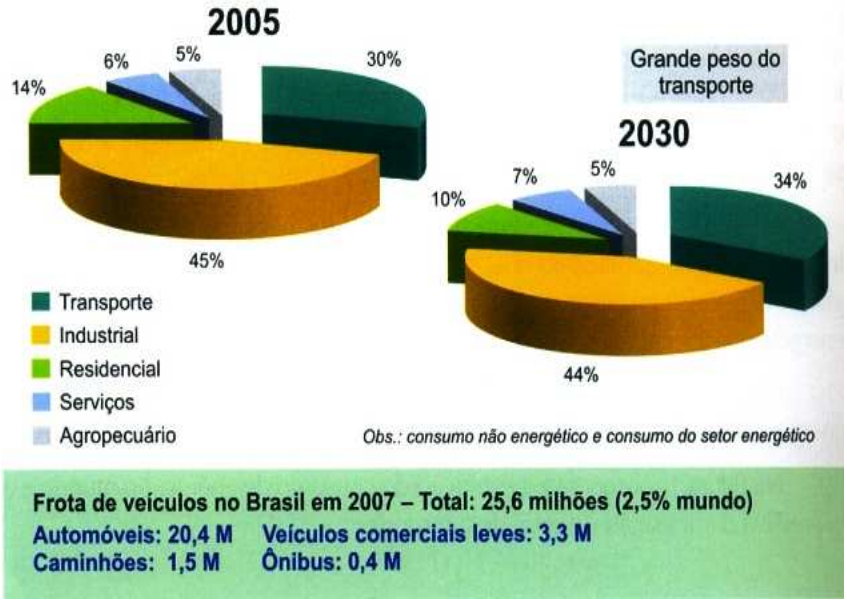


Figura 3. 8 – Estrutura, por setor, de consumo final de energia no Brasil

Fonte: EPE – BEN, 2009

O setor de transporte tem como característica própria a elevada demanda de combustíveis fósseis, em especial, os derivados de petróleo. Um dos grandes desafios da sociedade contemporânea é o desenvolvimento de novos combustíveis e fontes de energia que possam substituir esses derivados, independentemente de sua oferta atual e futura.

O óleo diesel é o combustível mais utilizado no Brasil. Dados preliminares do Balanço Energético Nacional (BEN, 2009) indicam que a demanda do óleo diesel foi de 50,3%, em 2008, apenas no segmento de transportes, demonstrando a importância desse insumo para o país, como indica a figura 3.9.

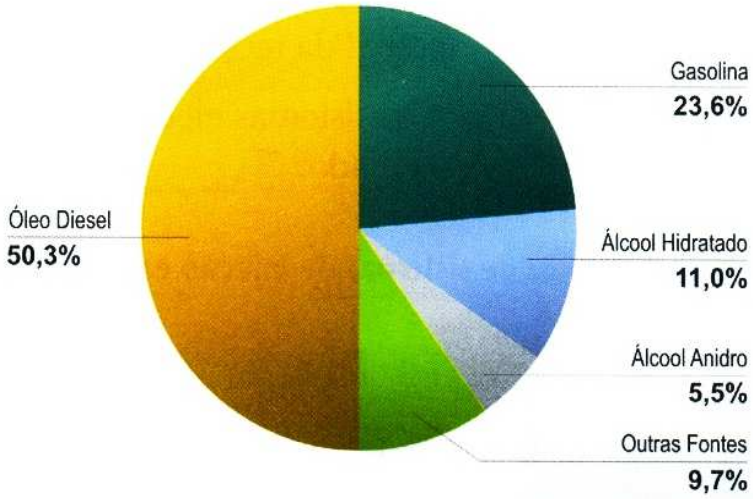


Figura 3. 9 - Estrutura de Consumo no Setor de Transporte Brasileiro

Fonte: Balanço Energético Nacional preliminar 2009.

Contudo, apesar de manter a auto-suficiência na produção de petróleo e derivados alcançada em 2006, o Brasil é tradicionalmente importador de óleo diesel, pois sua demanda se mostra, ao longo dos anos, consistentemente maior que sua produção. Segundo o Anuário Estatístico de 2008 da Agência Nacional de Petróleo (ANP), observa-se que em 2007 o dispêndio com as importações de derivados somou US$ 6,9 bilhões, sendo o óleo diesel responsável por 43,5% do montante. Essa tendência será mantida nos próximos anos, pois se verifica, com a evolução da indústria automobilística brasileira, o crescimento da produção e venda de equipamentos com motores ciclo Diesel, como mostra a figura 3.10.

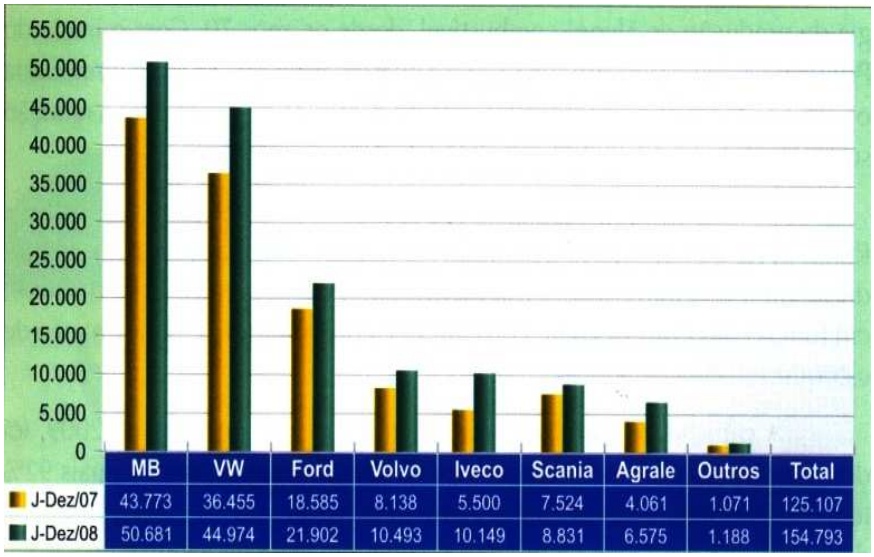


Figura 3. 10 - Crescimento das vendas de veículos pesados no Brasil entre 2007 e 2008

Fonte: Associação dos Fabricantes de Veículos Automotores - ANFAVEA

3.4.1.2. Diesel Metropolitano

Segundo o regulamento técnico da ANP, ANP N° 6/2001, o óleo diesel comercializado em território nacional deve possuir número de cetano (parâmetro que mede a qualidade de auto-ignição) igual ou superior a 42 (ANP, 2001). Normalmente, o NC do diesel comercial varia entre o mínimo estipulado de 42 até 60.

Outro índice que mede a qualidade do diesel é o índice de enxofre presente no combustível. No Brasil são vendidos dois tipos de diesel, segundo o padrão de qualidade estipulado também no regulamento técnico ANP N° 6/2001 (ANP, 2005), quais sejam, diesel metropolitano (óleo diesel tipo D) e diesel interiorano (óleo diesel tipo B).

O diesel metropolitano é comercializado nas regiões metropolitanas estipuladas no anexo da Portaria da ANP N° 310. São as regiões de São Paulo, Campinas, Belo Horizonte, Fortaleza, Belém, Rio de Janeiro, Aracajú (ANP,2001). Este diesel combustível também é conhecido como S500 - referindo-se ao índice de enxofre presente na sua composição que é de, aproximadamente, 500 ppm[6] - que substituiu o óleo diesel metropolitano com 2000 ppm de enxofre, trazendo vantagens ambientais pela retirada de 75% em massa de enxofre contido no óleo diesel e o equivalente potencial de redução na emissão de óxidos de enxofre e de fumaça em todos os veículos a diesel na frota, independente da tecnologia do motor. Por sua

[6] ppm: É uma unidade adimensional. Significa partes por milhão. Para sólidos e líquidos, 1 ppm significa 1g em um milhão de gramas, ou em uma tonelada, ou qualquer forma de pesagem, de modo que haja uma unidade de uma dada substância para outro um milhão de unidades do total. Em gases, esta relação é de volume. Um ppm de CO_2 significa que para cada um milhão de litros de uma mistura gasosa, tem-se um litro de CO_2 nesta mistura. Fonte: (Quimlab – Spectest, 2011).

vez, o diesel interiorano é comercializado nas outras áreas do território nacional e é conhecido como S1800, número relacionado ao índice de enxofre da sua composição que é 1800 ppm.

O diesel metropolitano é naturalmente mais caro que o diesel interiorano, devido ao processo de dessulfurização que sofre antes de ser comercializado (SILVA, 2005). O processo básico para a dessulfurização na maioria das refinarias consiste em provocar uma reação entre a corrente de óleo e o hidrogênio na presença de catalisadores em reatores especiais. O hidrogênio combina com o enxofre para formar gás sulfúrico (H_2S) que é removido. O enxofre é recuperado e qualquer quantidade de H_2 recuperada é reencaminhada ao reator como suprimento de H_2. Na dessulfurização, alguns compostos orgânicos de nitrogênio são convertidos em amônia e os resíduos de metais são depositados nos grânulos do catalisador. Esse diesel mais limpo no que se refere, principalmente, ao teor de enxofre, embora tenha outras características como o número de cetano, a lubricidade, o teor de aromáticos e a densidade – todos afetados pela dessulfurização, é um dos elementos-chave de qualquer estratégia para reduzir a poluição gerada pelos veículos a diesel.

No ano de 2006, a PETROBRÁS introduziu novas melhorias no óleo diesel automotivo como, por exemplo, o lançamento de um óleo diesel com 200 ppm de enxofre, destinado a veículos leves movidos a diesel. Mas outra ação ambiental eficaz será implementada até 2014 pelos refinadores de petróleo, ação que substituirá todo óleo diesel denominado “interior”, com teor atual de 1800 ppm em massa (75% de todo óleo diesel consumido no país), pelo óleo diesel com 500 ppm em massa de enxofre. Isto permitirá grandes ganhos ambientais, pois este óleo diesel com menor teor de enxofre reduzirá em todo país a emissão de material particulado (fumaça), não só em caminhões e ônibus, mas como também em tratores, máquinas agrícolas, de terraplanagem, locomotivas, motores estacionários, etc.

Mas não há como garantir que o uso do diesel metropolitano em caminhões reduza as emissões nas regiões metropolitanas, pois os mesmos podem ser abastecidos fora da mencionada região e, posteriormente, nela circularem; e vice-versa.

3.4.2. Biodiesel

Os maiores componentes de óleos vegetais e gordura animal são os triacilgliceróis (TAG: muitas vezes chamados triglicerídeos). Quimicamente, os TAG são ésteres de ácidos graxos (AG) com glicerol (1,2,3-propanotriol; glicerol é muitas vezes chamado de glicerina). Os TAG de óleos vegetais e a gordura animal contêm diferentes tipos de AG. Assim, diferentes AG podem estar ligados à cadeia do glicerol. Os diferentes AG que estão contidos

nos TAG revelam o perfil de AG (ou como posição em AG) de óleos vegetais e gorduras animais. Como cada AG apresenta propriedades químicas peculiares, o perfil de AG é, provavelmente, o parâmetro de maior influência sobre as propriedades dos óleos vegetais e gorduras animais de onde se originam.

Para que o biodiesel seja produzido, óleos vegetais e gorduras animais são submetidos a uma reação química denominada transesterificação. Nesta reação, óleos vegetais e gordura animal reagem com um álcool (metanol ou etanol) na presença de um catalisador para produzir os alquil ésteres correspondentes (para o caso do metanol,os ésteres metílicos, e, no caso do etanol, os etílicos) da mistura AG que é encontrada no óleo vegetal ou na gordura animal de origem. A figura 3.11 apresenta a reação da transesterificação.

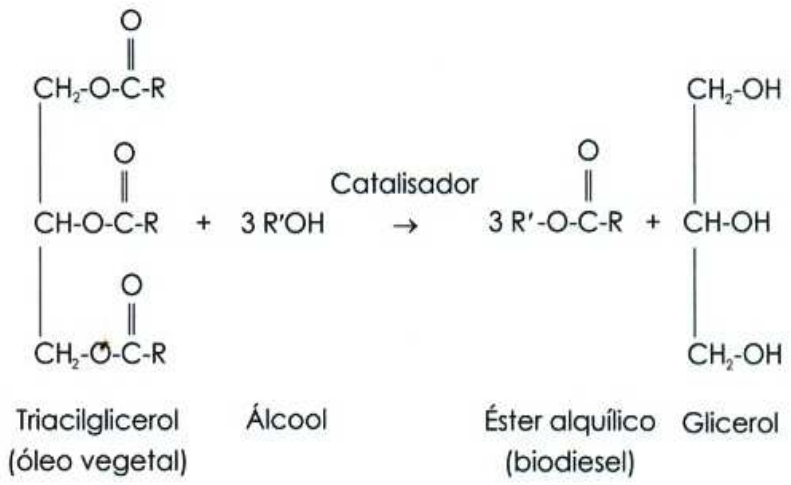


Figura 3. 11 - A reação de transesterificação. R representa uma mistura de várias cadeias de ácidos graxos. O álcool empregado para a produção de biodiesel é geralmente o metanol (R'= CH_3).
Fonte: VAN GERPEN, 1996; KNOTHE et al 1997

O biodiesel pode ser produzido a partir de uma grande variedade de matérias-primas. Estas matérias-primas incluem a maioria dos óleos vegetais (p.ex., os óleos de soja, caroço de algodão, palma, amendoim, colza/canola, girassol, açafrão, coco, pinhão manso), gorduras de origem animal (usualmente sebo), bem como óleos de descarte (p.ex., usados de frituras). A escolha da matéria prima para a produção de biodiesel depende largamente de fatores geográficos. De acordo com a origem e a qualidade da matéria-prima, mudanças no processo podem ser necessárias.

O biodiesel é miscível com o diesel de petróleo em qualquer proporção. Em muitos países esta propriedade levou ao uso de misturas binárias diesel/biodiesel, ao invés do biodiesel puro. Neste sentido, é importante salientar que estas misturas binárias *não podem*

ser caracterizadas como biodiesel. Muitas misturas deste tipo são designadas por acrônimos como B20, que representa a mistura de 20% de biodiesel no diesel de petróleo. Obviamente, óleos vegetais e gorduras de origem animal não transesterificadas também não podem ser denominadas “biodiesel”.

O metanol é muito empregado para a produção de biodiesel, porque é, geralmente, o álcool de menor custo. No entanto, outros álcoois como o etanol ou o iso-propanol podem ser empregados para produzir biodiesel de qualidades superiores. Os produtos da transesterificação metílica são muitas vezes denominadas ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME, “fatty acid methyl esters”), ao invés de biodiesel. Apesar de outros álcoois poderem por definição gerar biodiesel, muitas das especificações hoje existentes foram definidas de tal forma que apenas ésteres metílicos podem ser classificados como biodiesel, pelo menos, nos casos em que todos os limites da especificação devam ser atendidos rigorosamente.

Quanto às características de combustão do biodiesel, pode-se dizer que, em condições heterogêneas da relação ar/combustível no cilindro do motor, que contribuem para a formação de partículas de fumaça, durante o processo - que é um dos maiores desafios dos projetistas de motores ciclo Diesel - o biodiesel reduz significativamente a quantidade de fumaça e isto parece estar ligado ao fato de que o combustível contém oxigênio. Por outro lado, os hidrocarbonetos, chamados de “fração orgânica solúvel”, aumentam, compensando o decréscimo de fumaça.

Muitos tipos de biodiesel têm NC maiores que o diesel de petróleo. O biodiesel produzido com matérias-primas saturadas tem NC mais elevado que aqueles produzidos com matérias-primas menos saturadas (KNOTHE, 1997). O biodiesel de soja tem, normalmente, NC entre 48 a 52, enquanto o biodiesel de gordura amarela (sebo), contendo mais éteres saturados, é, normalmente, entre 60 e 65. (VAN GERPEN, 1996).

O biodiesel não contém aromáticos, mas contém ésteres metílicos com diferentes níveis de saturação. Ésteres insaturados têm baixo conteúdo energético considerando suas massas, mas devido às suas altas densidades, têm mais energia por unidade de volume. O biodiesel é menos energético (poder calorífico inferior de 37,2 MJ/kg para o biodiesel de soja) que o biodiesel n° 2 (42,6 MJ/kg). Com base no peso, o nível de energia é 12,5% menor. Devido a maior densidade do biodiesel, o seu conteúdo energético é apenas 8% menor por galão (32,9 MJ/ℓ vs 36,0 MJ/ℓ). Então, para motores ciclo Diesel com a mesma injeção volumétrica de combustível, quando em operação apresentarão perda de potência da ordem de 8,6%. Em alguns casos, a perda de potência pode ser menor que este valor, devido a maior

viscosidade do biodiesel, que reduz a perda devido a vazamentos no sistema de injeção, aumentando a quantidade de combustível injetado. (VAN GERPEN, 1996)

3.4.3. Etanol Aditivado

O etanol possui baixo NC, o que o impede de ser usado em motores Diesel sem que seja, primeiramente, aditivado com um aditivo ignitor que aumente o seu NC. Na forma aditivada, o etanol passa a ter propriedades de auto-ignição por compressão e, portanto, pode ser utilizado como combustível em motores ciclo Diesel.

Alguns aditivos ignitores conhecidos e pesquisados, inclusive no Brasil, são, normalmente, compostos de nitratos, peróxidos e nitritos. São exemplos: dinitrato de trietileno glicol e dinitrato de etileno glicol. Os melhoradores de NC que apresentaram melhor eficiência nas pesquisas brasileiras, durante a década de 80, foram o dinitrato de trietileno glicol e o dinitrato de polietileno glicol. No entanto, os compostos de nitratos são de difícil manipulação, pois exalam vapores nocivos à saúde humana. A exposição prolongada aos vapores deste tipo de aditivo tem efeito vaso dilatador e pode causar dor de cabeça, náuseas e indisposição (NIGRO, 2008). Os aditivos de nova geração não são mais compostos de nitratos, sendo assim de manuseio mais fácil e menos nocivo que os compostos de nitrogênio usados no passado. No entanto, mesmo assim, são necessárias várias medidas de segurança no manuseio, pois se trata de uma solução composta de polietileno glicol (PEG) e etanol altamente inflamável (GREENENERGY, 2001).

O etanol aditivado utilizado em motores ciclo Diesel movidos a etanol aditivado é composto, em sua maior parte, de etanol hidratado com índice de volume máximo de água aceitável de 5% (BEST, 2006). O etanol aditivado de motores ciclo Diesel recebeu o nome genérico de ED95, em alusão à porcentagem em massa de ignitor no combustível. Na Suécia o único fabricante de ED95 para motores ciclo Diesel é a empresa SEKAB, cujo produto vendido possuí o nome de Etamax D (SEKAB, 2001a). A composição do combustível produzido pela SEKAB é fornecida na tabela 3.2.

Etanol Aditivado

Tabela 3. 2 – Especificação do Etamax D

Componente	% de massa	% em volume
Etanol	92,2%	93,47%
Melhorador de NC	5,0%	3,56%
MTBE	2,3%	2,51%
Isobutanol	0,5%	0,46%
Inibidor de Corrosão	90 ppm	
Coloração	vermelho	

Fonte: SEKAB, (2001a)

A tabela acima mostra a porcentagem em massa e volume de cada componente do combustível que é comercializado na Suécia. A parcela de etanol hidratado corresponde a 92,2% de massa total do combustível, enquanto os 7,8% restantes correspondem à soma das massas dos componentes do aditivo que são: éter metil butil terciário (MTBE), um denaturante, isobutanol, um segundo denaturante, 90 ppm de inibidor de corrosão e corantes de identificação (SEKAB, 2001b).

O etanol hidratado é um álcool que possui dois átomos de carbono e um radical hidroxila na sua composição, além de baixo NC. O melhorador de NC que é adicionado ao etanol é composto por polietileno glicol (GREENENERGY, 2001), que possui a função de promover a auto-ignição por compressão do etanol em motores ciclo Diesel. O MTBE ainda é utilizado na Europa e nos Estados Unidos misturados à gasolina para aumentar a octanagem do combustível. No Brasil foi utilizado até setembro de 1991, sendo seu uso proibido por lei no país desde então. Segundo a SEKAB, fabricante do aditivo, o uso do MTBE (Methyl-terc-bityl ether) é dispensável e, por essa razão, outro derivado do etanol foi utilizado na fabricação do aditivo enviado ao Brasil (CENBIO, 2008). O isobutanol é um álcool com 4 átomos de carbono mais um radical de hidroxila e é utilizado como denaturante (SEKAB, 2001a). O corante vermelho possui a função identificação do produto, sendo somente utilizado na Suécia.

Para a formulação do ED95 no Brasil, o aditivo ignitor foi importado da Suécia para posterior mistura ao etanol hidratado. Por motivos de segurança, o aditivo é transportado diluído em etanol e, por essa razão, para a formulação do combustível ED95, a mistura de etanol e aditivo deve ser de nove unidades de volume etanol hidratado para uma unidade de volume de aditivo na temperatura de 15°C (CENBIO, 2008).

3.4.3.1. O ignitor: polietileno glicol – PEG

Conforme já mencionado anteriormente, o etanol não pode ser utilizado em motores ciclo Diesel, a não ser que seja na sua forma aditivada, pois não possui propriedades de auto-ignição por compressão.

O melhorador de NC utilizado no combustível do ônibus a etanol, como já citado, é o polietileno glicol (GREENENERGY, 2001). O PEG é um polímero sintetizado a partir da reação de polimerização do etileno glicol. Apesar da menor eficiência como melhorador de NC, se comparado aos compostos de nitrogênio (por exemplo, o dinitrato de trietileno glicol), o PEG é de manipulação mais fácil e mais segura que os compostos que contêm nitrogênio em sua fórmula, pois não libera vapores nocivos à saúde humana. Outra vantagem do uso do PEG é sua propriedade de lubrificação do sistema de ignição de combustível, o que diminui a quantidade de lubrificantes adicionada ao combustível (NIGRO, 2008).

O PEG caracteriza-se como um fluido viscoso de coloração branca opaca e sua fórmula química é $HO(CH_2CH_2O)_nH$. É um polímero solúvel na maioria dos solventes orgânicos, como benzeno, etanol e clorofórmio, além de ser solúvel em água. No entanto, a solubilidade pode diminuir conforme o aumento do peso molecular. O PEG degrada em temperaturas acima de 310°C ou por tensões de cisalhamento, podendo reagir quimicamente com os metais alcalinos, metais alcalinos terrosos e cloreto de mercúrio. É inflamável, não é tóxico e na indústria é amplamente usado em alimentos e produtos farmacológicos, como laxantes (CHEMINDUSTRY, 2008).

A produção de PEG inicia-se da molécula de etileno glicol, que é uma molécula de menor complexidade. Na presença de água mais um catalisador, que é, normalmente, um ácido ou uma base, a reação de polimerização do etileno glicol inicia-se conforme a reação química a seguir:

$$HOCH_2CH_2OH + n(CH_2CH_2O) \rightarrow HO(CH_2CH_2O)_{n+1}H$$

O PEG também é utilizado na indústria têxtil, na produção de cosméticos, lubrificantes sexuais, aditivo de alimentos, produtos de higiene pessoal como, por exemplo, pasta de dentes (CHEMINDUSTRY, 2008).

O etanol, ao ser misturado ao PEG, adquire propriedades de auto-ignição por compressão, ou seja, tem seu NC aumentado para ser utilizado em um motor de ignição por compressão. Entretanto, tal motor não é um motor convencional, pois requer algumas modificações como, por exemplo, taxa de compressão elevada.

Este aditivo, também conhecido como Beraid, utilizado no projeto BEST na RMSP, foi fornecido pelo fabricante SEKAB, já diluído em 50% de etanol para que fosse posteriormente misturado à quantidade final de etanol (ver capítulo 4). A decisão de não importar o etanol já aditivado como ED95 objetiva evitar que o etanol - produto facilmente encontrado em território nacional, fosse importado da Suécia. Aliás, o etanol utilizado neste país é de fabricação brasileira. Entretanto, por motivos de segurança, o Beraid somente pode ser transportado já diluído em etanol (HANLON e HINKAMP, 1984).

4 PROJETO BEST – BIOETHANOL FOR SUSTAINABLE TRANSPORT

Neste capítulo, com o objetivo de promover o uso do etanol em substituição ao diesel no transporte público urbano da RMSP, é apresentado o Projeto BEST – BioEthanol for Sustainable Transport ou Bioetanol para o Transporte Sustentável. Tal projeto é uma realidade em Estocolmo na Suécia, onde a tecnologia de ônibus diesel adaptado para operar com etanol é utilizada desde 1985 com grande sucesso, principalmente do ponto de vista ambiental, visando à redução da poluição atmosférica nos grandes centros urbanos.

O projeto foi desenvolvido pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo (USP) e a principal meta é avaliar o uso do etanol aditivado como substituto do diesel mineral no transporte público urbano, comparando o desempenho de um ônibus movido a etanol aditivado com outro movido a diesel equivalente.

4.1. Descrição do Projeto

O Projeto BEST tem como objetivo promover o uso do etanol em substituição ao diesel no transporte público urbano no Brasil e no mundo. Além da Cidade de São Paulo, pioneira e única nas Américas, outras oito cidades da Europa e Ásia participam do projeto, o que de fato demonstra a viabilidade do etanol aditivado como combustível. As cidades são: Estocolmo (Suécia), Madrid e País Basco (Espanha), La Spezia (Itália), Dublin (Irlanda), Somerset (Reino Unido), Roterdã (Holanda) e Nayang (China).

O projeto BEST em São Paulo engloba a participação de 9 parceiros, sendo a Scania fornecedora do chassi e motor, a SEKAB, do aditivo e a União das Indústrias de Cana-de-Açúcar (UNICA), do etanol para os teste de demonstração. A EMTU (Empresa Metropolitana de Transporte Urbano) e a SPTRANS (São Paulo Transportes) tinham a função de indicar o corredor de ônibus para operação do veículo. A Coopersucar importou o primeiro lote de ED95 (item 3.4.3 – Capítulo 3) para os testes iniciais. Já a Marcopolo teve a função de construir a carroceria. A Petrobrás, por sua vez, importou o aditivo da Suécia e empreende esforços no processo de mistura do aditivo e etanol. Por fim, o CENBIO (Centro Nacional de Referencia em Biomassa) idealizou e o coordenou o projeto no Brasil.

A principal meta do projeto BEST é avaliar o uso do etanol aditivado como substituto do diesel mineral no transporte público urbano, comparando o desempenho de um ônibus movido a etanol aditivado com outro movido a diesel equivalente.

O ônibus a etanol utilizado nos testes é monitorado e avaliado para demonstrar a viabilidade do etanol aditivado combustível. Após os resultados, o Projeto BEST e a União Européia fornecerão recomendações para a formulação de políticas públicas que incentivam o uso do etanol no transporte público urbano. Os resultados pretendem identificar barreiras técnicas e econômicas que, eventualmente, possam se interpor à implementação dessa tecnologia no transporte público urbano no Brasil (Hoffmann Melo, 2010).

O lançamento do projeto ocorreu em 23 de outubro de 2007 na Universidade de São Paulo (USP) com a apresentação do ônibus (fotografia 4.1), contando com a presença de inúmeras autoridades municipais e estaduais.

Segundo os pesquisadores do CENBIO, MOREIRA e VELÁZQUEZ, (2010) os ônibus a etanol aditivado têm sua entrega prevista para maio de 2011, momento extremamente gratificante para todos os envolvidos. Este marco configura um ajuste histórico importante: o retorno de um projeto brasileiro que foi aperfeiçoado, adequado e reconhecido longe de suas origens. Agora, o projeto assume seu lugar no cenário nacional – especificamente, na RMSP, objetivando a economia de baixo carbono e a melhoria da saúde da população, algo que poderá ser repetido em outras cidades brasileiras.

Fotografia 4. 1 – Ônibus movido a etanol

Fonte: CENBIO (2007)

4.2. O Ônibus Movido a Etanol Aditivado

Inicialmente, o veículo movido a etanol foi incorporado à frota da operadora METRA – Sistema Metropolitano de São Paulo, da Concessionária EMTU/SP – Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos S.A. Os testes foram realizados no corredor Jabaquara – São Mateus que tem 33 km de extensão e transporta 6 milhões de passageiros por mês. A fim de avaliar a tecnologia desenvolvida para a utilização do etanol em ônibus de transporte público urbano, o

funcionamento do ônibus com motor a etanol foi acompanhado e documentado. Tal veículo circulou em linha específica, sendo comparado a um ônibus similar movido exclusivamente a diesel. Os dados obtidos referem-se ao consumo de combustível, quilometragem percorrida, desempenho e ocorrência de acidentes ou problemas mecânicos que são calculados a partir da Média de Quilometragem Rodada entre Falhas (MKBF – Mean Kilometers Between Failures) e outros.

O único fabricante de motores ciclo Diesel movidos a etanol aditivado é a Scania sueca. Esta iniciou suas pesquisas em 1985 e, no ano de 1989, iniciou a produção dos mencionados motores regularmente. A partir daí, os ônibus movidos a etanol aditivado foram oficialmente incorporados à frota de ônibus urbanos de Estocolmo (CENBIO, 2007). O objetivo do projeto sueco era reduzir a poluição gerada no centro da cidade – local caracterizado pela grande concentração de emissão de poluentes – por meio da substituição da frota a diesel.

Por meio do Projeto BEST, o chassi e o motor Scania embarcaram na Suécia no dia 9 de abril de 2007 e chegaram ao Brasil no dia 2 de maio de 2007, no porto de Santos (fotografia 4.2).

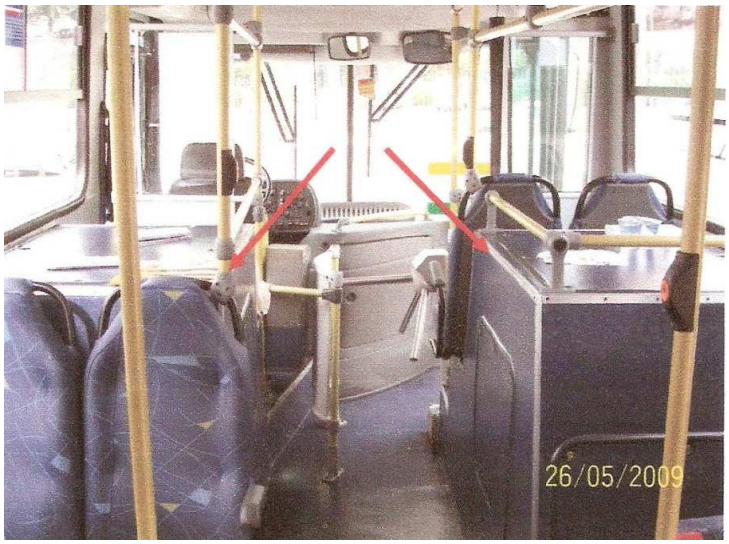
Fotografia 4. 2 – Chassi e motor no porto de Santos.

Fonte: CENBIO (2007)

Após quatro semanas, o chassi e o motor foram enviados à fábrica Marcopolo, em Caxias do Sul, Estado do Rio Grande do Sul, para que fossem produzidas a carroceria do ônibus (CENBIO, 2007). A Fotografia 4.3 mostra a fabricação da carroceria nas dependências da fábrica Marcopolo.

Fotografia 4. 3 – Fabricação' da carroceria na fábrica da Marcopolo
Fonte: CENBIO (2007)

O chassi sueco importado é um chassi padrão Scania que obedece ao padrão europeu de encarroçamento de ônibus urbano. A construção da carroceria foi atípica para os engenheiros da Marcopolo, pois o chassi do ônibus a etanol aditivado se diferencia parcialmente de um chassi de ônibus movido a diesel. Um exemplo de adaptação, foi a acomodação dos tanques de combustível no veículo, como mostra a fotografia 4.4. A capacidade dos tanques de combustível do veículo a etanol deve ser maior para garantir a mesma autonomia de um veículo movido a diesel. Tal fato justifica-se pelo maior consumo de etanol aditivado em comparação ao diesel, vez que aquele possui menor poder calorífico em relação a este. A capacidade do ônibus a etanol aditivado é de 400 litros, dividido em três tanques, enquanto a capacidade de um ônibus a diesel é de 300 litros de combustível (CENBIO, 2008).



Fotografia 4. 4 - Espaço interno ocupado pelos tanques de combustível.
Fonte: CENBIO (2009)

A carroceria do ônibus é a *Padron* 12m 2+2+2. Significa que a carroceria possui 12 metros de comprimento com a disposição de três portas duplas localizadas no lado direito do veículo. O fato do ônibus somente possuir portas de um lado, impede que o mesmo seja utilizado nos corredores de ônibus do Município de São Paulo, pois os veículos que lá circulam devem ter portas em ambos os lados, devido à opção de deslocar os corredores de ônibus para o lado esquerdo da pista. No segundo estágio do projeto BEST, o ônibus irá circular nos corredores do Município de São Paulo. Neste caso, a empresa São Paulo Transportes S.A. (SPTRANS), parceira no projeto BEST, deverá indicar as linhas nas quais os ônibus movidos a etanol poderão circular.

A fabricação da carroceria foi concluída e a pintura foi estilizada, como mostra a fotografia 4.5. A tabela 4.1 indica as características do ônibus movido a etanol aditivado utilizado nos testes do projeto BEST.

Fotografia 4. 5 - Ônibus movido a etanol aditivado.
Fonte: CENBIO (2008)

Tabela 4. 1 – Características do ônibus movido a etanol aditivado

Motor Scania DS19 E01 – Euro 4 (motor não mais produzido);
Capacidade de combustível de 400 litros;
Carroceria 12m 2+2+2 (12 metros com 3 portas duplas no lado direito);
Capacidade de transporte: 63 passageiros (32 em pé, 31 sentados);
Ar condicionado (129 000 BTU/h)
Padron (não articulado)
Low entry (piso baixo – facilita embarque e desembarque);
Sistema de extintor de incêndio na câmara do motor;
Câmbio automático modelo ZF 5HP50CN

Fonte: CENBIO (2008)

4.3. Adaptações Técnicas Executadas no Ônibus a Etanol

O veículo teste do Projeto BEST, em operação nos corredores da EMTU (Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos), passou a apresentar paradas repentinas em marcha lenta. Notou-se, então, que tal problema manifestava-se com mais frequência em dias quentes, quando a temperatura ambiente atingia 26°C ou mais e no final de longos declives do trajeto. O problema foi comunicado aos projetistas da Scania e o veículo foi retirado de operação, sendo, em seguida, encaminhado à Scania para avaliação.

Numa análise mais detalhada, os técnicos constataram condições anormais de temperatura e pressão na linha de combustível. A temperatura na linha de combustível de alimentação do motor chegou a 58ºC e a pressão de linha estava muito abaixo das condições normais - atingindo o valor de 0,5 bar – o que causava a parada do motor. A pressão normal da bomba de combustível deveria ser de, aproximadamente, 3 bar, podendo apresentar pequenas variações. O projeto original do sistema de alimentação desenvolvido na Suécia previa o pré-aquecimento do combustível antes de chegar ao motor e, desta forma, o veículo passaria a apresentar melhor eficiência energética. Para que o combustível fosse pré-aquecido, instalou-se uma micro câmara de pré-aquecimento na saída do tanque de combustível (figura 4.1 e 4.2). O dispositivo reutilizaria, assim, a energia térmica da linha de combustível de retorno do motor para o tanque. (HOFFMANN MELO, 2010).

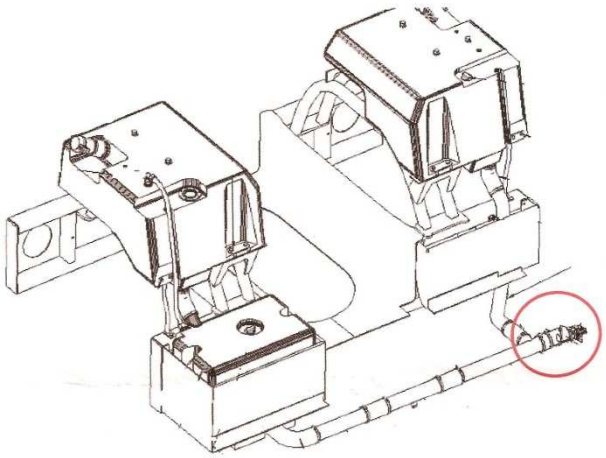


Figura 4. 1 - Disposição dos tanques de combustível e do pré aquecedor de combustível
Fonte: SCANIA (2008c)

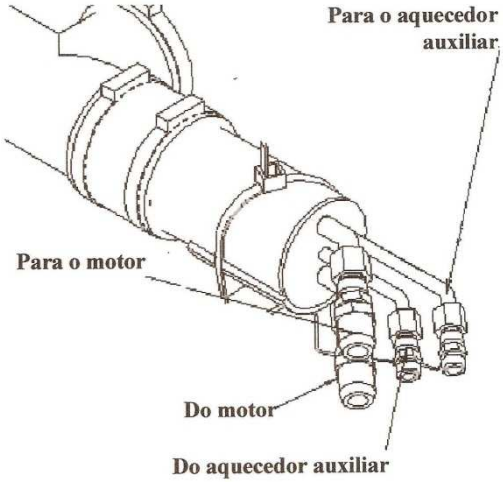
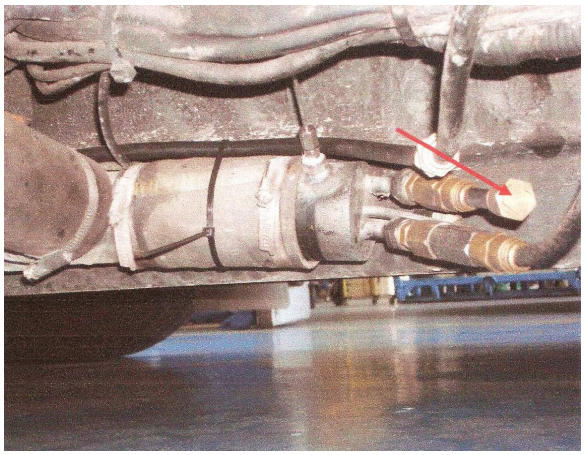


Figura 4. 2- Pré aquecedor de combustível
Fonte: SCANIA (2008c)

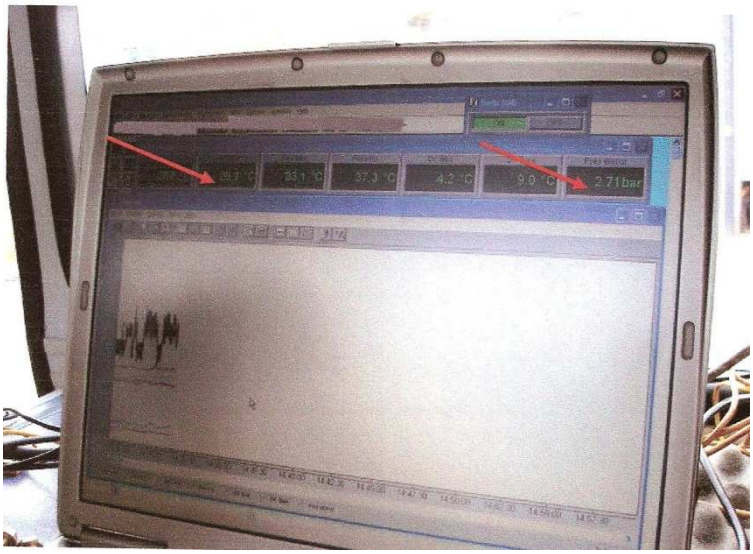
Suspeitando-se de um aquecimento excessivo da linha de alimentação, os projetistas da Scania providenciaram um desvio da linha de retorno do motor diretamente para o tanque (fotografias 4.6 e 4.7). A partir de então, não haveria mais transferência de calor entre a linha de retorno e a linha de alimentação do mesmo (SCANIA, 2008).



Fotografia 4. 6 – Pré –aquecedor com as linhas de retorno inutilizadas
Fonte: SCANIA (2008c)

Fotografia 4. 7 – Vista superior do tanque em que o desvio da linha de combustível foi instalado.
Fonte: SCANIA (2008c)

Após as modificações, novos dados foram coletados: 28°C de temperatura e 2,71 bar de pressão na linha de alimentação de combustível do motor, condições normais de operação. A leitura foi feita por meio de software adequado, como mostra a fotografia 4.8.



Fotografia 4. 8 - Monitoramento de pressão e temperatura do combustível
Fonte: SCANIA (2008c)

O problema de paradas repentinas do motor foi solucionado e durante os testes simulados (fotografia 4.9) não foram constatadas mais paradas do motor nas mesmas condições que antes geravam o problema.

Fotografia 4. 9 - Operação simulada com uso de lastro (galões de água)
Fonte: SCANIA (2008c)

O projeto inicial desenvolvido na Europa previa o funcionamento do veículo em clima temperado, onde a temperatura ambiente média é mais baixa se comparada com as de clima tropical. Em dias mais quentes, no Brasil, a temperatura da linha de combustível chegou a atingir 58°C, temperatura que poderia subir ainda mais quando o motor estivesse em marcha lenta. O aquecimento excessivo estava causando a vaporização do combustível na linha de alimentação do motor.

A solução encontrada foi desviar o retorno do combustível do motor diretamente para o tanque. A manutenção feita consistiu em uma adaptação do projeto às condições brasileiras (tropicalização). A fotografia 4.10 mostra a aplicação dos veículos a etanol aditivado nas condições originais para as quais foram projetados na Suécia. Nas condições brasileiras, o veículo deve passar pela adaptação técnica que não requer mudanças significativas, segundo o fabricante. A Scania já trouxe para o Brasil um motor de nova geração, 269 kW ou 230 Hp, que, entre as modificações efetuadas, apresenta taxa de compressão de 1:28, injeção eletrônica e injetores com maior capacidade volumétrica.

As diferenças encontradas no motor se justificam na medida em que o etanol não possui a propriedade de auto-ignição por compressão, princípio de funcionamento do motor ciclo Diesel. Portanto, para que o motor ciclo Diesel movido a etanol funcione de maneira adequada, além da altíssima taxa de compressão de 28:1, o combustível também deve ser aditivado em 5% (em volume) com aditivo promovedor de ignição (ED-95 – capítulo 3).

Fotografia 4. 10 - Veículo a etanol aditivado na cidade de Arjelog, Suécia
Fonte: SCANIA (2008a)

4.4. Levantamento de Dados em Campo

Os testes em campo tiveram início em novembro de 2007 e o combustível utilizado no primeiro momento foi importado da Suécia, na quantidade de, aproximadamente, 17 m^3. Somente após a importação do lote total do aditivo, também conhecido como Beraid, a Petrobrás pôde realizar o processo de mistura do etanol e aditivo no Brasil, conforme as instruções fornecidas pela empresa fabricante SEKAB. O primeiro fornecimento de etanol aditivado foi entregue nas dependências da EMTU no dia 27 de novembro de 2008, sendo o veículo imediatamente colocado em circulação. Os dados de consumo do ônibus movido a etanol aditivado encontram-se na tabela 4.2.

Tabela 4. 2 – Consumo médio do ônibus a etanol aditivado em São Paulo.

Mês	ED95	Distância	Consumo
	Litros	Km	Km/litro
Dezembro 2008	4.886,0	4.034,9	0,826
Janeiro 2009	6.030,0	5.192,6	0,861
Fevereiro 2009	6.279,7	5.425,2	0,864
Março 2009	6.810,6	5.947,6	0,873
Abril 2009	7.305,5	6.376,6	0,873
Maio 2009	5.361,0	4.973,0	0,928
Junho 2009	2.001,8	1.731,0	0,865
Julho 2009	3.180,0	3.035,8	0,955
Agosto 2009	5.168,6	5.779,2	1,118
Média total	**47.023,2**	**42.496,5**	**0,904**

Fonte: CENBIO (2009)

A partir da tabela 4.2, observa-se uma significante variação do consumo de combustível nos meses de julho a agosto de 2009. No dia 10 de julho de 2009, mês de inverno na RMSP, o sistema de ar condicionado foi desligado para que fosse avaliada sua influência no consumo de combustível do veículo a etanol aditivado. O procedimento de desligamento consiste em desacoplar do motor a correia motriz dos compressores e retirar os fusíveis elétricos de proteção. Verificou-se que, além do ganho de potência constatado pelos motoristas, o consumo do veículo passou de uma média geral de 0,870 km/litro para 0,955 km/litro, o que significa um ganho de 8,95% no consumo de combustível (CENBIO, 2009a).

A seguir, a equipe técnica requisitou a mudança do módulo da caixa de transmissão automática para o econômico. Os módulos da transmissão automática ZF 5HP502CN são pré-programados para cambiar as marchas segundo as necessidades de velocidade e aceleração do veículo, ou seja, rotação e torque do motor. Em ordem decrescente de potência, os módulos são: *power*, normal, econômico e super econômico. A mudança na configuração da transmissão automática é realizada por meio de um *jumper* elétrico no interior do veículo. Após a mudança na configuração da transmissão automática para o módulo econômico, o veículo apresentou um consumo médio de 1,118 km/litro, o que significa um ganho de 22,18% sobre a média geral de 0,87 km/litro (CENBIO, 2009a).

Um veículo a diesel convencional equivalente, também de marca Scania e de carroceria de 12 metros, foi selecionado para ser monitorado junto ao ônibus a etanol e os dados coletados serviram de parâmetro de comparação entre o uso de etanol aditivado e o diesel mineral convencional, acrescido de 3% de biodiesel, conforme a Lei Federal 11.097/05. O motor do veículo a diesel é o modelo DSC9 230 Euro 3 (CENBIO, 2009a), equivalente ao motor a etanol aditivado DSI9 E01 certificado como Euro 4 (motor não mais fabricado pela Scania desde 2006). O veículo a diesel realizou os mesmos itinerários do veículo a etanol e

motoristas treinados para a condução do veículo foram alternados para que não houvesse alguma tendência favorável ao consumo do diesel ou ao consumo de ED95. Devido à similaridade dos itinerários, o veículo a diesel convencional é chamado de "sombra". Os dados de consumo do veículo a diesel encontram-se na tabela 4.3.

Tabela 4. 3 – Consumo médio do veículo "sombra"

Mês	Óleo diesel	Distância	Consumo
	Litros	Km	Km/litro
Dezembro 2008	3.514,0	4.692,2	1,335
Janeiro 2009	2.880,0	3.932,1	1,365
Fevereiro 2009	3.670,0	5.294,6	1,443
Março 2009	5.286,0	7.535,3	1,426
Abril 2009	4.553,0	6.725,2	1,477
Maio 2009	4.499,0	6.753,1	1,501
Junho 2009	3.779,0	5.686,2	1,505
Julho 2009	4.358,0	7.578,8	1,739
Agosto 2009	3.656,0	5.891,7	1,612
Média total	**32.539,0**	**48.197,5**	**1,481**

Fonte: CENBIO (2009)

A tabela 4.3 mostra o consumo médio do veículo "sombra" no decorrer do Projeto BEST, que foi de 1,481 km/litro ao longo de 32.539 km. A configuração da transmissão automática do veículo a diesel é o módulo *power*. Ao contrário do veículo a etanol aditivado, a partir de 10 de julho de 2009, nenhuma experiência foi autorizada pela administração da concessionária no veículo "sombra", nem pela EMTU. Comparando-se os dados de consumo de combustível do veículo a etanol com o veículo a diesel equivalente, conclui-se que o consumo em volume do veículo a etanol aditivado foi de, aproximadamente, 60%, conforme informação do fabricante dos motores.

4.5. O Projeto BEST em Outros Centros Urbanos

Neste item apresentam-se alguns dados obtidos em outros centros urbanos do mundo, onde o Projeto BEST foi implantado. Os dados são referentes à Província de La Spezia e à Cidade de Estocolmo, onde se localiza a coordenação mundial do Projeto BEST.

4.5.1. Dados da Cidade de Estocolmo

Devido ao fato da tecnologia de motores ciclo Diesel movidos a etanol aditivado ter sido desenvolvida na Suécia, os veículos foram incorporados, primeiramente, pela frota de Estocolmo a partir de 1985. Como meio de disseminação da tecnologia para outros locais do mundo, foi idealizado o projeto BEST, cuja coordenação geral é feita pela prefeitura de

Estocolmo. A tabela 4.4 apresenta o consumo médio de etanol aditivado em três veículos que fazem parte do Projeto BEST nesta cidade.

Tabela 4. 4 - Consumo médio de ônibus a etanol aditivado em Estocolmo

Número de Identificação	Distância (km)	ED95 (litros)	Consumo (km/litro)
114	75 505	51 842	1,46
115	68 583	50 086	1,37
119	63 343	42 564	1,49

Fonte: Ethanolbus (2006).

Os veículos em Estocolmo apresentaram baixo consumo de combustível - entre 1,37 km/litro até 1,49 km/litro, atingindo maior eficácia se comparado com o desempenho do ônibus etanol aditivado no Brasil. As razões para tanto residem nos seguintes fatores: desnecessidade de utilização do ar condicionado em virtude de temperaturas amenas; transmissão automática configurada no módulo econômico; capacidade ociosa do sistema; e melhores condições topográficas – terrenos planos.

4.5.2. Dados da Província de La Spezia

O Projeto BEST foi também desenvolvido na província de La Spezia, na Itália (BEST, 2006). Os veículos lá utilizados (fotografia 4.11) foram fabricados em 2005 (IMPERIAL COLLEGE LONDON, 2007), tratando-se, portanto, de motores a etanol aditivado de segunda geração modelo DSI9 E01, idênticos àqueles usados no Brasil.

Fotografia 4. 11 - Veículos a etanol aditivado em La Spezia
Fonte: BEST (2006)

A tabela 4.5 apresenta o consumo de combustível de três ônibus movidos a etanol aditivado que foram testados na província, cujos dados foram coletados entre os dias 05/01/2007 e 18/05/2007.

Tabela 4. 5 - Consumo médio dos ônibus a etanol aditivado de La Spezia

Número de Identificação	Distância (km)	ED95 (litros)	Consumo (km/litro)
2001	15 388	9 310	1,65
2002	17 119	10 458	1,64
2003	13 808	8 051	1,71

Fonte: Imperial College London (2007).

A tabela 4.5 mostra o melhor desempenho dos ônibus na Província de La Spezia em relação às cidades de Estocolmo e São Paulo. Constatou-se um consumo entre 1,64 km/litro e 1,75 km/litro.

O bom desempenho dos ônibus de La Spezia e de Estocolmo ocorreu em razão dos itinerários realizados pelos veículos. Em La Spezia, os ônibus atenderam áreas suburbanas localizadas fora dos grandes centros urbanos. Isto, de fato, favorece as condições de tráfego do veículo, diminuindo o consumo de combustível (IMPERIAL COLLEGE LONDON, 2007).

4.6. Ensaio de Emissões do Motor DC9 E02

O parecer técnico CETESB 006/08 de 14/01/2008 foi emitido segundo dados fornecidos pela Scania sueca. Os testes feitos na Europa foram realizados no Laboratório RDW na Holanda, cujos resultados de emissão do motor DC9 E02 são apresentados na tabela 4.6.

Tabela 4. 6 – Ensaio do motor DC9 E02 a etanol aditivado e limites do PROCONVE

Valores de emissão	CO (g/k Wh)	HC (g/k Wh)	NO_x (g/k Wh)	MP (g/k Wh)
Ensaio no motor(1)	0,0	0,05	1,7	0,01
PROCONVE P-5(2)	2,1	0,66	5,0	0,10
PROCONVE P-6(3)	1,5	0,46	3,5	0,02
PROCONVE P-7(4)	1,5	0,46	2,0	0,02

Fonte: CENBIO (2008).

Notas:

(1) Ensaio realizado em 13/09/2007, no laboratório RDW, na Holanda

(2) Estabelecidos na Resolução CONAMA no 315/02, em vigor desde 01/01/2006

(3) Resolução CONAMA n° 315/02, Art.15, Tabela 1, linha 2, que entraria em vigor em 2009 – o que não aconteceu em virtude da insuficiência tecnológica dos motores e da ausência de combustíveis adequados.

(4) Resolução CONAMA n°403/08, que entrará em vigor em 01/01/2012.

A tabela 4.6 apresenta, na primeira linha, os dados de emissões por poluentes coletados durante o ensaio do motor movido a etanol. As outras linhas indicam os limites impostos, por poluente, pelo Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), aplicados a veículos pesados no Brasil.

O motor DC9 E02 é avançado até para os padrões europeus de emissões, pois atende às especificações EURO 5 - que entraram em vigor na Europa em 2009 - e à EEV (Enhanced Environmentally Friendly Vehicles) - norma ainda não em vigor na União Européia. Tal motor, uma vez homologado no Brasil pela CETESB, é perfeitamente aplicável à realidade nacional, pois suas emissões estão bem abaixo dos limites estabelecidos pelo PROCONVE.

Com a utilização do motor DC9 E02, estima-se a redução de mais de 80% das emissões de gases responsáveis pelo aquecimento global (CO_2), de 90% de material particulado (MP) e 62% de NO_x lançados na atmosfera. Além disso, não há emissão de enxofre (S) que forma o SO_x, responsável pela chuva ácida. A redução das emissões de poluentes locais (MP, NO_x e CO) diminui a ocorrência de doenças cardiorrespiratórias, o que deve ser levado em consideração, principalmente, nas regiões metropolitanas. Nestas a população é numerosa e há grande concentração de veículos e fontes de poluição atmosférica, além das condições de dispersão de poluentes serem desfavoráveis pela topografia e configuração arquitetônica locais. Uma das vantagens da utilização do etanol como combustível no transporte público é o ganho ambiental com a redução de emissões (Velázquez, et al, 2009). O problema reside no alto custo da tecnologia do motor ciclo Diesel a etanol aditivado, quando se analisa a viabilidade do projeto pelo viés econômico convencional. Daí a proposta da tese em avaliar as externalidades da substituição do diesel por etanol na frota de ônibus urbanos na RMSP.

5 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO LOCAL E ESTUFA EMITIDAS PELO TRANSPORTE PÚBLICO NA RMSP.

Este capítulo objetiva estimar as emissões poluentes produzidas a partir do óleo diesel, bem como do etanol de cana-de-açúcar, avaliando a possibilidade do uso deste em substituição àquele no transporte público urbano de passageiros na RMSP.

Para tanto, será demonstrado que as emissões dos gases de efeito local (GELs) e estufa (GEEs), ou simplesmente, dos poluentes, são resultados do uso da tecnologia adotada e da energia contida nos combustíveis. Ainda, será apresentada uma metodologia de cálculo das emissões de poluentes locais e globais por tipo de combustível, principalmente daquelas provenientes da queima do diesel pela frota de ônibus da RMSP e da substituição deste pelo etanol de cana-de-açúcar. Parte-se do pressuposto que as emissões são decorrentes: do nível de atividade dos transportes; da escolha modal; da intensidade energética de cada modal (em litros por pass.km); e da quantidade de carbono dos combustíveis em gramas por litro.

É possível utilizar-se a metodologia "ASIF" (Schipper, et al. 2005) modificada pelo Laboratório de Sistema de Transportes – LASTRAN – da Universidade Federal do Rio Grande do Sul que, pelas limitações em termos de abrangência e dados, adequou a mencionada metodologia à realidade nacional e, consequentemente, à da RMSP. Por este método busca-se estimar variações relativas nas emissões atuais e futuras do transporte público urbano, partindo de uma série de pressupostos e da utilização de distintos cenários, nos quais são discutidos os fenômenos da urbanização e mobilidade.

Ademais, faz-se também necessária a abordagem conhecida como *"well-to-wheel"* (traduzida como "do poço às rodas"), que leva em consideração a Análise de Ciclo de Vida (ACV) para os combustíveis e biocombustíveis envolvidos na substituição do óleo diesel pelo etanol de cana-de-açúcar na RMSP.

5.1. Os gases de Efeito Estufa – GEE_s e GEL_s

Os gases de efeito estufa (GEE_s) possuem também a propriedade de absorver a radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra, pela própria atmosfera e pelas nuvens que os contêm. Os GEE_s servem como armadilhas que prendem o calor no sistema estratosférico do planeta, sendo este fenômeno denominado efeito estufa natural.

A radiação atmosférica é altamente relacionada com o nível de temperatura emitida. Na troposfera, a temperatura se reduz com a altura. A radiação emitida para o espaço origina-se de uma altitude com temperatura média de – 19°C, em balanço com a radiação solar, onde

na superfície da Terra é mantida uma temperatura média mais alta de 14°C. O aumento da concentração dos GEE_s induzirá a redução da emissão de radiação infravermelha em direção ao espaço nas elevadas altitudes e baixa temperatura. Por isso, a força radioativa em desequilíbrio somente poderá ser compensada pelo aumento da temperatura na superfície troposférica do sistema, isto é chamado de efeito estufa intensificado. (IPCC, 2001)

Os GEE_s são gases que constituem a atmosfera do planeta. São de origem natural e antropogênica. Absorvem e emitem radiação em comprimento de onda específico do espectro infravermelho emitido pela superfície da Terra, da atmosfera e das núvens, onde esta propriedade causa o efeito estufa. O vapor d'água (H_2O), o dióxido de carbono (CO_2), o óxido nitroso (N_2O), o metano (CH_4) e o ozônio (O_3) são gases de efeito estufa que compõem a atmosfera, mas as atividades humanas também têm contribuído para o aumento destes gases na atmosfera, devido às produções artificiais e antropogênicas, sendo estes abrangidos pelo Protocolo de Quioto. (IPCC, 2001).

Segundo RIBEIRO, et al (2001),

> *[...]"os gases da atmosfera podem contribuir para o efeito estufa direta ou indiretamente. Diretamente quando o gás, por si só, é um gás de efeito estufa (gás estufa), ou seja, suas moléculas dificultam a passagem de radiação infravermelha. Indiretamente, quando ocorre uma transformação química de um gás em um outro que contribua para o aquecimento global ou que influencie no tempo de vida dos demais gases estufa na atmosfera".[...]*

De acordo com o Painel Internacional da Mudança Climática (The International Panel on Climate Change – IPCC, 1996), organismo independente, mas credenciado pelas Nações Unidas, através da Conferência das Partes (COP), que é o órgão colegiado que aprova as decisões da Convenção – Quadro sobre Mudança do Clima e do Protocolo de Quioto, pode-se tecer as seguintes considerações sobre as emissões dos poluentes do tipo GEE_s e GEL_s:

a) **Dióxido de Carbono (CO_2):** é o gás mais comum dos gases de efeito estufa oriundos das fontes antropogênicas. A maior fonte das emissões de CO_2 é proveniente da oxidação do carbono quando o combustível é queimado, que contabilizam de 70-90% do total das emissões antropogênicas de CO_2. Quando ocorre a queima, a maioria do carbono é imediatamente emitida como CO_2 durante a combustão. Algum carbono é liberado como CO, CH_4 ou NMVOC, que oxidam CO_2 na atmosfera no período de alguns dias ou de 10 a 11 anos.

b) **Metano (CH_4):** em termos de emissões globais, a contribuição deste é minoritária, mas envolve uma alta incerteza e requer maiores estudos para se conseguir melhor

qualidade nos índices de emissão. Este é produzido em pequenas quantidades quando ocorre a combustão dos combustíveis, mas para os combustíveis usados em fontes móveis, as emissões serão função do metano contido no combustível, da qualidade dos hidrocarbonos não queimados que passam através do motor, bem como o tipo e controle da pós-combustão (sistema de exaustão). Em motores desregulados, as emissões do metano são altas em baixas velocidades e quando o motor funciona com o veículo parado. Motores funcionando fora de tempo emitem, particularmente, muito CH_4.

c) **Óxido Nitroso (N_2O):** também possui uma contribuição minoritária em termos de emissões globais, bem como uma alta incerteza, requerendo estudos para que se melhore a qualidade dos índices de emissão. A sua emissão é oriunda da queima de combustíveis fósseis e varia conforme a temperatura de combustão. (SOETE, 1993 apud IPCC 1996). A emissão antropogênica se torna alta quando os veículos são equipados com catalisador no sistema de escapamento, que também formam o óxido nitroso por processo de redução química.

d) **Óxido de Nitrogênio (NO_x):** é considerado um gás indireto de efeito estufa. Tem sido objeto de políticas ambientais devido ao seu papel na formação de ozônio (O_3) e da contribuição na formação de chuvas ácidas. Sua emissão é proveniente da queima de combustíveis fósseis, principalmente dos setores industriais e de transportes. Nos transportes a sua emissão está relacionada à mistura de ar na queima do combustível e à temperatura da combustão, bem como à existência de equipamentos de controle de poluição (catalisadores). Os veículos leves sem o controle de poluição e movidos a diesel emitem menos poluentes se comparados aos movidos a gasolina. Mas os veículos pesados a diesel emitem mais do que os veículos leves a diesel. Os veículos pesados a diesel contribuem significativamente nas emissões de óxidos de nitrogênio que, por sua vez, são de difícil redução. O IPCC (1996) convencionou que as emissões de NO_x ($NO + NO_2$), oriundas da queima de combustível fóssil, são expressas pela base molecular total e que todas as emissões de NO_x são emitidas como NO_2.

e) **Monóxido de Carbono (CO):** também é considerado um gás indireto de efeito estufa. Majoritariamente, sua emissão é proveniente da queima de combustíveis fósseis no setor transportes. Esta é relacionada à eficiência da combustão e do controle de poluição da emissão dos gases do motor. Quando a mistura de ar-

combustível é rica (com menos oxigênio do que o requerido para a combustão completa), a emissão é alta. Isto ocorre quando o motor funciona com o veículo parado, em baixa velocidade e partida fria em motores de ignição por centelha.

f) **Compostos Orgânicos Voláteis Não Metano (NMVOC) ou Hidrocarbonetos (HC):** são classificados como gases indiretos de efeito estufa. Uma das principais fontes de emissão são os motores de transportes mediante a queima de combustíveis fósseis. Esta é emitida basicamente pela queima incompleta dos combustíveis, sendo ainda relacionada ao tipo de combustível, aos padrões de uso, ao tipo de tecnologia veicular, seu porte e tamanho, à idade dos veículos e as suas condições de manutenção e operação.

As emissões dependem também da quantidade de hidrocarbonetos (compostos que na sua formação contêm somente hidrogênio e carbono) que não são queimados na combustão. Os tipos de veículos, a existência de catalisadores no sistema de emissão dos gases e a forma de dirigir são elementos que influenciam sua emissão. As maiores emissões ocorrem quando o motor funciona com o veículo parado ou desenvolvendo baixas velocidades e naqueles desregulados.

g) **Óxido de Enxofre (SO_x):** As metodologias em geral não apresentam os fatores de emissão do óxido de enxofre (SO_x), mas sim de dióxido de enxofre (SO_2), e não o classifica com gás estufa. Entretanto, sua presença na atmosfera influencia no clima devido às reações fotoquímicas que produzem oxidantes na formação de aerossóis na forma de sulfato. A queima de combustíveis fósseis é responsável por 80% de sua produção (IPCC, 1996).

A emissão de dióxido de enxofre (SO_2) está relacionada diretamente à quantidade de enxofre existente no combustível. Nos combustíveis fósseis variam entre 0,3% a mais de 5%. Os combustíveis leves possuem o menor intervalo (< 0,3%), enquanto os pesados variam entre 3 a 5% de enxofre. A média mundial do óleo cru (petróleo) é de 1,3 %, mas existe grande variação em função do local de origem do combustível. O enxofre contido no etanol é desprezível (IPCC, 1996).

5.2. Emissões Oriundas do Biocombustível - Etanol

5.2.1. Análise de Ciclo de Vida de Biocombustíveis

A análise de ciclo de vida é fundamental na realização dos balanços energéticos e de emissões de GEE, bem como na comparação entre biocombustíveis, de forma a apontar qual deles apresenta maiores vantagens ambientais e energéticas, como, por exemplo, quando se compara o etanol combustível derivado do milho com aqueles derivados do trigo e da cana-de-açúcar. A comparação dos balanços de emissões de GEE entre os ciclos completos de biocombustíveis e de óleo diesel permite a avaliação dos benefícios da substituição entre combustíveis.

Na determinação do equilíbrio dos gases de efeito estufa, associados aos diferentes tipos de biocombustíveis, é essencial considerar-se as emissões ao longo de todo seu "CICLO DE VIDA", desde a alteração da utilização dos solos para a produção agrícola até o processamento e combustão dos combustíveis (AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA).

As análises completas de ciclo de vida de combustíveis abrangem os sistemas de:

- produção da matéria-prima;
- transporte da matéria-prima;
- produção e equipamentos;
- produção de combustível;
- armazenamento;
- nova distribuição até o posto de combustível;
- uso final nos veículos.

A análise que não abrange o uso final do combustível é conhecida como *"well-to-pump"* (do poço à bomba) e a que inclui o uso final é denominada análise *"well-to-wheels"* (do poço às rodas), de acordo com DELUCHI (2006). A análise *"pump-to-wheels"* (da bomba às rodas) pode ser feita separadamente e ser somada à análise *"well-to-pump"* (do poço à bomba), conforme apresentada na figura 5.1 que ilustra o ciclo de vida do etanol de cana-de-açúcar (WANG, *et al.*, 2007). Como as emissões na cadeia de produção – descarte dos veículos (com exceção às emissões do consumo de combustível), são iguais quando da comparação entre biocombustíveis e diesel, as mesmas podem ser desconsideradas em estudos comparativos.

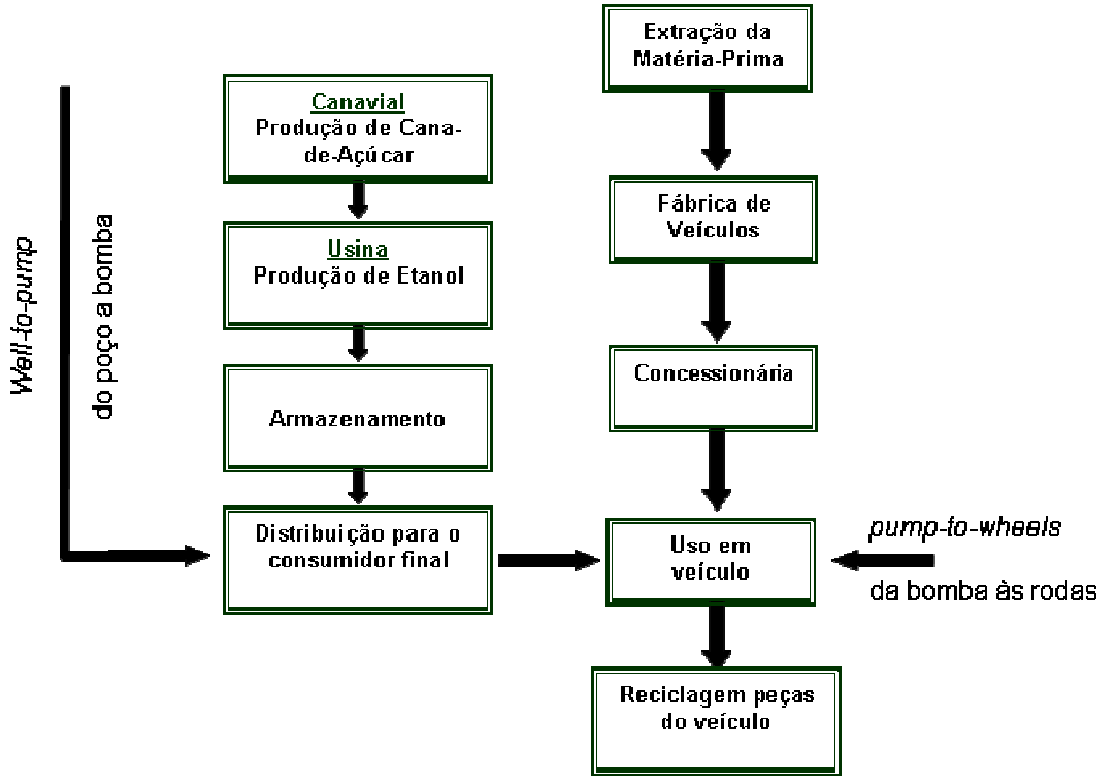


Figura 5. 1 – Ciclo de Vida do Etanol de Cana-de-Açúcar

Fonte: (WANG et al., 2007)

Diante das diversas opções de combustíveis e de tecnologias alternativas, tornou-se necessário o desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão e de avaliação dos impactos sobre o meio ambiente. Assim sendo, diversos softwares foram desenvolvidos e uma norma para Análise de Ciclo de Vida (Life Cycle Analysis) foi estabelecida (ISO 14040).

Entre os softwares mais utilizados encontra-se o GREET desenvolvido pelo Argonne National Laboratory que permite analisar os impactos ambientais ao longo de todo o processo da utilização de um combustível, que é a conhecida "Análise do poço à roda (Well-to-Wheel, ou abreviadamente W2W), já citada acima. O GREET permite analisar a energia consumida nos processos e as emissões associadas a diferentes rotas, visando identificar a que apresenta menor emissão de poluentes. Entretanto, convém salientar que uma limitação foi encontrada na versão do programa GREET e diz respeito à análise do etanol automotivo, que apresentou valores inadequados devido às restrições do programa. (ALMEIDA, *et al* 2006).

Outro modelo computacional utilizado é o GHGenius que possuí a mesma interface do GREET, porém, para o caso do etanol, interage apenas com as plataformas do trigo e milho, cuja base de dados podem ser tomadas do relatório de MACLEAN (2008), em estudo realizado nas atuais condição de produção e uso canadenses.

No Brasil não existe um modelo computacional com uma base de dados que possa ser acessada. Portanto, quando se faz referência ao etanol de cana-de-açúcar, os dados são geralmente extraídos do estudo realizado por MACEDO *et al* (2008), apresentado no item 5.2.1.1 deste capítulo, assim como os compilados no Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) de 2005/2006.

No caso de biocombustíveis não há uma existência direta entre o uso de energia (de fontes distintas) no processo produtivo e as emissões de GEE, pois uma parcela considerável dessas emissões está associada ao cultivo e às mudanças do uso do solo (Delucchi, 2006). Assim sendo, os benefícios potenciais relacionados à redução das emissões de gases de efeito estufa a partir da produção e uso de biocombustíveis, dependem da biomassa utilizada, pois esta determina a extensão de terra para cultivo e do processo de produção. Portanto, faz-se necessária uma análise sobre o uso do solo, cultivo da biomassa, transporte da matéria prima e fabricação para se fazer uma avaliação das emissões dos GEE no ciclo de vida do etanol.

5.2.1.1. Uso do Solo e Cultivo da Biomassa

Atualmente, as principais discussões internacionais é sobre a extensão de terra necessária para o cultivo da biomassa; se essa mesma extensão causa ou causará mudanças no uso do solo; e, em ocorrendo tais mudanças, se estas interferem negativamente no balanço de emissões de gases de efeito estufa. As emissões de GEE dependem de quatro fatores:

- da produtividade agrícola;
- da eventual ocupação de áreas nas quais a produção de biomassa é uma atividade adicional, ou seja, não substituí outras atividades agrícolas;
- da eventual ocupação de áreas nas quais a produção de biomassa substitui atividades agrícolas;
- da eventual ocupação de áreas que causam desflorestamento.

Em relação aos dois últimos itens, a produção de biocombustíveis pode resultar na maior emissão de GEE, se houver modificações no uso do solo. Por outro lado, a demanda por fertilizantes no cultivo da biomassa também influência o balanço de emissões em função das aplicações dos fertilizantes no solo. A tabela 5.1, cujos dados sobre o etanol de trigo e milho resultam do estudo realizado no Canadá por MACLEAN (2008) e do etanol de cana-de-açúcar por MACEDO *et. al*. (2008), mostra a demanda por fertilizantes em cada um dos casos considerados.

Tabela 5. 1 – Demanda por Fertilizantes

Fertilizante	unidade	milho	trigo	cana-de-açúcar
Potássio	kg/ton	7,85	0,95	0,29
Nitrogênio	kg/ton	12,21	19,31	0,87
Fósforo	kg/ton	5,91	11,89	0,31

Fonte: MacLean, 2008; Macedo et al., 2008 – apud Silva (2010)

No Brasil a cana-de-açúcar é cultivada com o uso de fertirrigação[7], na qual a vinhaça e a torta do filtro, co-produtos gerados durante a produção do etanol, são utilizados para irrigação e fertilização do solo. O uso de fertilizantes nos canaviais brasileiros pode ser ainda mais reduzido se parte da palha da cana colhida mecanicamente[8] for deixada no solo. (SILVA, 2010).

5.2.1.2. Transporte da Matéria Prima

O transporte da matéria-prima (biomassa) até as usinas produtoras do etanol resulta no consumo de combustível fóssil (diesel) e, consequentemente, nas emissões de gases de efeito estufa. As principais variáveis neste caso são: a distância entre a plantação e a usina, a eficiência energética dos caminhões e as condições das rodovias. Todos os caminhões envolvidos nos transportes, na prática, são equipados com motores CI (ignição por compressão) – motores de ciclo Diesel (como visto no capítulo 2), porém não se deve deixar de mencionar que esses motores têm eficiência termodinâmica de 15% ou mais acima dos motores SI (ignição por centelha) de mesmo desempenho – motores Ciclo Otto (WEISS *et. al.*, 2003, *apud* LARSON, 2006). Entretanto, quando consideradas as emissões de material particulado, a vantagem dos motores CI, em termos de emissões de GEE, é parcial ou totalmente anulada (DELUCCHI, 2004 *apud* LARSON, 2006).

[7] A aplicação da vinhaça no cultivo da cana-de-açúcar está regulamentada no Estado de São Paulo pela Norma Técnica CETESB P4.231 (versão de janeiro/2005) e dispõe sobre os critérios e procedimentos para aplicação da vinhaça no solo (apud SILVA, 2010).

[8] Protocolo firmado pelo Governo do Estado e a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) garante o selo ambiental (que pode facilitar a comercialização do etanol) para usinas que antecipem para 2014 ou 2017, o fim da queima da palha, respectivamente, nas áreas mecanizáveis e não mecanizáveis. A Lei 11.941/2002 estabelece como prazo para erradicação da queima 2021 (áreas mecanizáveis) e 2031 (áreas não mecanizáveis) (apud SILVA – 2010)

Convém notar que, esses gases são emitidos por motores diesel e, portanto, influenciam e contribuem para o balanço de emissões no ciclo dos biocombustíveis na medida em que os meios de transporte da matéria-prima até as usinas e, posteriormente, até o consumidor final, são movidos por esses motores.

5.2.1.3. Fabricação do Etanol

As emissões de GEE no processo de fabricação do etanol estão relacionadas ao consumo de combustível fóssil para produzir calor e energia, podendo existir outras emissões, como no uso de produtos químicos e emissões fugitivas do processo de fermentação. Entretanto, pelo menos esta última não é computada nas análises de ciclo de vida.

Um dos grandes benefícios da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar é a queima do bagaço, que contém cerca de 35 a 45% da energia contida na cana, nas caldeiras para a geração de calor e energia elétrica. Estes são necessários ao processo de fabricação do etanol. A eletricidade gerada supre toda a demanda da usina, sendo que em algumas delas são geradas excedentes que são vendidos para a rede. Porém, como a matriz energética brasileira tem forte participação das hidrelétricas (BEN – Balanço Energético Nacional, 2008), a geração de eletricidade não traz grandes benefícios ao balanço de GEE das usinas.

Quando se compara a produção de etanol de cana-de-açúcar com a de etanol a partir do milho nos Estados Unidos, nota-se que a eletricidade utilizada nas usinas é a da rede, sendo que a geração termoelétrica é muito significativa. Algumas fábricas de etanol naquele país têm unidades de cogeração (produção combinada de calor e potência) a gás natural, mas com a instabilidade da oferta e preço desse combustível, buscam-se novas alternativas que resultem benefícios também em termos de emissões de GEE (WANG, *et. al.*, 2007). No Canadá, a necessidade de secar o milho com gás natural e propano, também resulta em maior demanda de energia no caso da produção do etanol a partir do milho (MACLEAN, 2008).

5.2.2. Comparação dos Balanços Energéticos do Etanol

Do exposto nos itens anteriores - relativos à Análise de Ciclo de Vida de Biocombustíveis para seu uso no setor de transportes- e com vista a estabilizar e reduzir as emissões de GEE, torna-se de extrema importância o estudo comparativo dos balanços energéticos e de gases de efeito estufa de diferentes rotas de produção. Os resultados podem indicar possíveis melhorias, tanto na etapa de plantio e de cultivo da biomassa, quanto na etapa de produção do combustível.

Assim sendo, a tabela 5.2 apresenta os dados referentes à análise “well-to-pump”, ou seja, do poço ao posto de abastecimento. Estas informações foram obtidas com base no relatório de MACLEAN (2008), que utilizou o modelo computacional GHGenius, e no estudo realizado por MACEDO *et. al.*, (2008). A justificativa para o uso desta metodologia reside na necessidade de conhecer os fatores de emissão em cada etapa do ciclo de vida para que seja possível o estudo comparativo das emissões evitadas de GEE.

Tabela 5. 2 – Fatores de Emissão

Etapas	unidade	Etanol de milho	Etanol de trigo	Etanol de cana-de-açúcar
Insumos Agrícolas	gCO_2eq/MJ	5,327	10,701	2,79
Produção do Combustível	gCO_2eq/MJ	28,949	31,88	1,14
Emissões da Combustão	gCO_2eq/MJ	2,099	2,099	2,099
Outras Emissões[(a)]	gCO_2eq/MJ	20,144	27,535	17,83

Fonte: MacLean, 2008; Macedo et al., 2008 – apud Silva (2010)

(a) Outras emissões são provenientes da queima da pré-colheita da cana; emissões do solo e do transporte da matéria-prima para o caso do etanol de cana-de-açúcar. Para o caso do milho e trigo é a soma das emissões de transporte da matéria prima e recuperação da matéria-prima, distribuição e estoque de combustível.

5.2.2.1. Balanço Energético para o Etanol de Cana-de-Açúcar

O balanço energético para combustíveis como o etanol, estabelece a relação entre o total de energia contida no combustível final e o total de energia investida em todo o processo de produção, incluindo o processo agrícola e industrial. URQUIAGA (2005) apresentou um estudo por meio do qual se comprovou que, no caso brasileiro, o balanço energético é de 0,124 GJ de energia de origem fóssil para cada 1 GJ de energia na forma de etanol derivado da cana-de-açúcar, considerando os gastos energéticos com máquinas agrícolas e transporte à usina, produção de fertilizantes e pesticidas, equipamentos, além dos insumos para as usinas.

URQUIAGA (2005) constatou que, somente nos últimos anos, a produção de etanol a partir do milho apresentou um balanço positivo, ou seja, energia obtida no combustível produzido é maior que aquela dispendida na sua produção. PIMENTEL (2001 *apud*

URQUIAGA, 2005) calculou que são necessários 1,65 GJ de energia fóssil para se produzir 1 GJ e energia na forma de etanol de milho nos EUA, embora Shapouri (2002 *apud* URQUIAGA, 2005) tenha apresentado resultados mais satisfatórios, onde 0,81 GJ de energia fóssil são necessários para a produção de 1 GJ de energia na forma de etanol derivado de milho.

SHAPOURI *et. al.* (1995) estima que durante a fase de pré-produção que compreende a colheita e o transporte da biomassa até as usinas de álcool, devam ser consumidos cerca de 0,35 MJ por litro de etanol produzido a partir do milho. Estima também que numa usina de conversão de etanol derivado do milho gasta-se em média 10,0 MJ de energia térmica para os processos de destilação e outros 2,0 MJ em energia elétrica para outras atividades para se produzir apenas 1 litro de etanol.

Nas usinas de produção de etanol a partir de cana-de-açúcar uma grande parte de energia térmica necessária é gerada a partir da queima do bagaço de cana que emite, por sua vez, uma grande parcela de CO_2 na atmosfera. Entretanto, essa parcela equivalente de dióxido de carbono é reabsorvida na próxima plantação de cana.

De acordo com FURTADO e SCANDIFFIO (2006), o bagaço de cana contém cerca de 45% da energia disponível na cana, porém o rendimento energético de sua utilização como fornecedor de energia é baixo. Mesmo assim, além de gerar energia suficiente para o processo de produção do etanol, as usinas de álcool podem vender às concessionárias de distribuição de energia elétrica cerca de 40 kWh de energia excedente para cada tonelada de cana colhida. Ainda, segundo os mesmos autores, estudos do balanço energético do etanol produzido a partir da cana-de-açúcar estimam que a energia produzida na forma de álcool e de bagaço, corresponde 9,2 vezes o montante consumido diretamente nas chamadas etapas agrícolas (colheita e transporte) e industriais (usina). O balanço energético apresenta-se extremamente favorável, uma vez que a energia obtida através da queima do etanol é entre 8,5 a 10,5 vezes maior que a energia dispendida em todo o ciclo de vida do produto. O resumo do balanço energético para a produção de etanol de cana-de-açúcar é demonstrada nas tabelas 5.3 a 5.7 que seguem:

Tabela 5. 3 – Balanço de energia na fase de produção da cana-de-açúcar

	CONSUMO DE ENERGIA	
Produção de Cana	**Cenário (1)* (MJ/tC)**	**Cenário (2)** (MJ/tC)**
Operações agrícolas	38	38
Transporte	43	37
Fertilizantes	67	63
Insumos agrícolas	19	19
Equipamento	29	29
Mudas	6	6
Total	**196,0**	**186,4**

Fonte: Centro de Tecnologia Canavieira (CTC – 2005/2006)[9]; Macedo (2005/2006)[10]

* cenário (1): média usando tecnologia atual
** cenário (2): usando tecnologia mais avançada

Tabela 5. 4 – Balanço de energia na fase de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar

	CONSUMO DE ENERGIA	
Produção de etanol	**Cenário (1) (MJ/tC)**	**Cenário (2) (MJ/tC)**
Insumos químicos, lubrificantes	6	6
Instalações	12	9
Equipamentos	31	24
Total	**49,4**	**39,8**

Fonte: Centro de Tecnologia Canavieira (CTC – 2005/2006); Macedo et al (2008)

[9] Antiga Coopersucar e disponível em: www.ctc.com.br

[10] Mais recentemente, em artigo científico, o professor Isaías Macedo do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE), da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), demonstrou que com uma unidade de energia fóssil pode-se produzir etanol que gera de 9 a 10 unidades de energia utilizável, um ganho de 10 vezes mais. Esse balanço energético, tão positivo para o etanol de cana-de-açúcar é negativo para o etanol de milho (por exemplo). Produzido nos Estados Unidos, o etanol de milho é menos eficiente, gasta-se uma unidade de energia fóssil para se produzir 1,3 unidades de energia utilizável (Macedo, et al, 2008)

Tabela 5. 5 – Balanço de energia do ciclo de vida do etanol a partir da cana-de-açúcar

Fluxos externos de energia	Cenário (1) (MJ/tC)		Cenário (2) (MJ/tC)	
	Input	Output	Input	Output
Agricultura	196,0	-	186,4	-
Indústria	49,4	-	39,4	-
Etanol Produzido	-	1.922	-	2.052
Bagaço Excedente	-	168,7	-	316,2
Total	**254,4**	**2.091**	**226,2**	**2.368**
Balanço (Output/Input)	**8,5**		**10,5**	

Fonte: Centro de Tecnologia Canavieira (CTC – 2005/2006); Macedo et al (2005/2006)

Tabela 5. 6 – Consumo Energético na fase de produção do etanol de cana-de-açúcar

	Etanol (cana-de-açúcar)	
Energia na Produção	**MJ/MJ de etanol**	**Eficiência Energética**
Colheita / Conversão	0,060	94%
Distribuição	0,010	99%
Total	**0,070**	**93,1%**

Fonte: Centro de Tecnologia Canavieira (CTC – 2005/2006); Macedo et al (2005/2006)

Tabela 5. 7 – Consumo Energético na fase e produção do etanol

	Etanol de Milho		Etanol de cana-de-açúcar	
Energia na produção	**MJ/MJ de etanol**	Eficiência Energética	**MJ/MJ de etanol**	Eficiência Energética
Colheita	0,017	98,3%	0,060	94%
Conversão	0,580	42,0%	0,010	
Distribuição	0,010	99,0%	0,070	99,0%
Total	**0,607**	**40,9**	**0,070**	**93,1%**

Fonte: Macedo, 2005/2006

5.2.2.2. Balanço de massa (CO_2) para o etanol

O balanço de carbono em um processo de produção de etanol compreende, segundo MACEDO, *et. al.* (2008), a liberação de CO_2 durante as queimadas de cana, a oxidação de resíduos não queimados no campo, a liberação de CO_2 durante a fermentação da sacarose, a liberação de CO_2 pela combustão do bagaço e absorção de CO_2 atmosférico pelo processo de

fotossíntese da cana. O balanço desses fluxos é positivo, ou seja, mais CO_2 é retirado da atmosfera pelo processo de fotossíntese que aquele liberado durante a fase de plantio, colheita e produção de etanol.

Segundo MACEDO *et. al.* (2008), quando consideradas também as emissões de CO_2 provenientes dos motores de combustão interna, o balanço de carbono se anula. No entanto, outros fluxos indiretos associados à produção de insumos agrícolas e industriais e ao uso de combustíveis fósseis na lavoura e na indústria devem ser considerados, entre eles: a liberação de CO_2 no uso de combustíveis fósseis nos transportes e tratores; liberação de CO_2 no uso de combustíveis fósseis na produção de insumos agrícolas (mudas, herbicidas, fertilizantes, etc); a liberação de CO_2 no uso de combustíveis fósseis na produção e manutenção dos equipamentos agrícolas, liberação de CO_2 no uso de combustíveis fósseis na produção de insumos industriais (ácido sulfúrico, biocida, lubrificantes, etc); e liberação de CO_2 no uso de combustíveis fósseis na fabricação de equipamentos, construção de prédios e manutenção industrial. Estes fluxos, certamente, contribuem para o aumento do nível de CO_2 na atmosfera.

A cana-de-açúcar é responsável pela absorção de 1/5 do carbono liberado na atmosfera pela queima de combustíveis fósseis no Brasil, o que corresponde à redução de 39 milhões de toneladas de CO_2 ao ano. Até mesmo a poluição e os resíduos gerados nas plantas de produção de álcool estão reduzidos, uma vez que o bagaço de cana é queimado como combustível e outros subprodutos são utilizados como fertilizantes naturais. A ampla disseminação da queima do bagaço de cana tornou cerca de 95% das plantas de processo do Estado de São Paulo auto-suficientes em energia para as distribuidoras locais. As emissões de CO_2 proveniente de combustíveis fósseis no ciclo de vida do etanol estão em torno de 17,7 a 19,2 kg CO_2 por tonelada de cana. Outras emissões de gases de efeito estufa, como o metano e óxido nitroso provenientes da queima da palha, também foram avaliadas e seu valor no ciclo de vida está por volta de 15,3 kg CO_{2eq} por tonelada de cana (MACEDO, *et. al.* 2008).

De OLIVEIRA, *et. al.* (2005) demonstra que o balanço de CO_2 para o etanol de cana-de-açúcar é de 39 kg por tonelada de cana, de acordo com a tabela 4.8. Emissões de CO_2 do processo de produção oriundos das queimadas de cana e da decomposição orgânica de vinhoto (quando aplicado como fertilizante) não foram contabilizadas, pois são reabsorvidas pela cana durante a plantação da próxima safra.

Tabela 5. 8 – Emissões de CO_2 equivale a partir da produção do etanol de cana-de-açúcar no Brasil

Processo	kg/ha	kg/Tc*
Agricultura	2269	28,4
Emissões equivalentes (CH_4 e N_2O)**	626	7,8
Distribuição	227	2,8
Total	**3122**	**39,0**

*considerando uma produtividade de 80 toneladas de cana por hectare
** emissões equivalentes a decomposição orgânica e ao processo de fabricação do fertilizante
Fonte: Macedo (2008)

Segundo FURTADO e SCANDIFFIO (2006), a maior vantagem do etanol a partir da cana-de-açúcar é que seu processo não requer a queima de combustíveis fósseis para sua produção - como no caso do etanol de milho, além de várias etapas de processamento desnecessárias. O balanço de emissões de carbono no processo de produção de etanol a partir da cana é neutro, quando não são consideradas as emissões externas ao processo de plantio e produção.

5.2.2.3. Emissões do Etanol de Cana-de-Açúcar

O etanol proveniente de cana-de-açúcar apresenta largas vantagens em relação aos combustíveis derivados de petróleo no tocante às emissões de gases de efeito estufa. No caso das emissões dos motores a etanol, os compostos orgânicos são, na sua quase totalidade, etanol com 70% e aldeídos com 10% (sendo essa fração composta por 85% acetaldeido e 14% formaldeído), enquanto que, nos motores a gasolina e a diesel, por exemplo, há toda uma família de compostos voláteis e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos com grande potencial tóxico e carcinogênico. Este tipo de abordagem, embora útil como passo inicial, não leva em conta os processos fotoquímicos que podem ocorrer no chamado “mundo real”, ou seja, na atmosfera das grandes cidades. A análise da formação de poluentes secundários, notadamente, o ozônio e outros compostos da família dos oxidantes fotoquímicos, formados a partir da interação dos poluentes primários com a radiação solar, é extremamente importante.

Na verdade, a utilização de etanol como combustível tem como consequência o aumento dos níveis de aldeídos (acetaldeído e formaldeído) na atmosfera. Por outro lado, o formaldeído é o aldeído mais característico das emissões veiculares quando da utilização de petróleo e de seus derivados, notadamente o diesel. Portanto, é importante que se faça uma

análise mais detalhada do comportamento e toxicidade dos aldeídos atmosféricos, tanto sob o prisma da sua toxicidade direta, como também quanto ao seu potencial de formação de ozônio.

Os aldeídos são substâncias orgânicas altamente reativas, que contêm um grupo carbonil (ligação dupla entre átomos de carbono e oxigênio), possuindo alta afinidade com lipídios, proteínas e DNA (COMEAP, 2000). Os aldeídos podem ser divididos em três classes, com base na sua estrutura e reatividade com substratos orgânicos (COMEAP, 2000):

- Aldeídos simples ou saturados
- Aldeídos α,β - insaturados
- Aldeídos halogenados e modificados

Nos ambientes externos às grandes cidades as diferentes classes de aldeídos acima apontados são produzidos pelas emissões veiculares, queima de biomassa ou a partir de reações fotoquímicas (MONTEIRO, *et. al.*, 2001). Nesses grandes centros urbanos, a contribuição relativa das emissões diretas ou processos fotoquímicos para a produção de aldeídos depende da taxa de emissão das fontes antropogênicas e das condições climáticas. Nesses ambientes a emissão de aldeídos é o resultado da oxidação incompleta do combustível veicular, seja este movido a gasolina, gasool (gasolina + álcool), etanol, gás natural ou diesel (MARTINS, *et. al.*, 2008a). Na atmosfera poluída das grandes cidades, os principais precursores dos aldeídos são os hidrocarbonetos, alcoóis, éteres e compostos aromáticos de origem antropogênica submetidos à ação do ozônio ou radicais HO, HO_2 e NO_2 (ANDRADE, *et. al.*, 2002).

Na cidade de São Paulo, carbonilas emitidas pelos veículos predominam no período da manhã, havendo maior participação de processos fotoquímicos no período vespertino (MONTEIRO, *et. al.*, 2001). Em geral, de manhã a concentração de acetaldeído é maior que a de formaldeído, valendo mencionar que esse comportamento se inverte à tarde após os processos fotoquímicos. Além da sua toxicidade direta, os aldeídos atmosféricos podem contribuir para a formação do ozônio, um dos poluentes mais associados com efeitos adversos à saúde humana.

Quando são analisados os efeitos do formaldeído e acetaldeído sobre a saúde humana, a maioria dos estudos provém da área ocupacional ou de contexto de ambientes externos, de pouca valia quando se trata do meio ambiente. O levantamento detalhado da literatura médica não revelou a existência de estudos de base populacional, relacionando concentrações

ambientais de formaldeído ou acetaldeído sobre indicadores de morbidade ou mortalidade (MIRAGLIA, *et. al.*, 2005). Neste cenário, a estimativa do risco dos efeitos adversos do formaldeído e acetaldeído sobre indicadores de morbidade, ou seja, indução ou agravamento de doenças, apresenta como aspectos limitantes o fato de que os sintomas ou alterações observadas em humanos ou animais de experimentação foram observados em concentrações ambientais muito superiores às encontradas no ambiente das cidades brasileiras.

Por outro lado, os aldeídos são importantes precursores da formação de ozônio. Nesse caso, ao contrário do que ocorre para o formaldeído e acetaldeído, há uma sólida massa de informações de cunho populacional relacionando variações ambientais de ozônio com desfechos adversos à saúde. Estudos utilizando inalações controladas em seres humanos indicam que o ozônio tem potencial para provocar efeitos adversos à saúde humana, tais como:

- exposições de curta duração produzem inflamação do trato respiratório, predominantemente, nas vias aéreas superiores, bronquíolo respiratório e alvéolos;
- induz inflamação pulmonar significativa, pois estudos recentes de níveis de ozônio demonstram que nos grandes centros urbanos no Brasil a concentração chega a 160 $\mu g/m^3$, o que provoca a inflamação imediatamente após o término da exposição;
- a inalação de ozônio é capaz de induzir reação inflamatória sistêmica, prejudicar as defesas pulmonares; aumentar a reatividade brônquica; e etc...

A pesquisa efetuada na literatura científica mostra um número bastante reduzido de medida de aldeídos atmosféricos. O conjunto de estudos revela que essas medidas foram resultados de iniciativa de grupos de pesquisa interessados no tema e não parecem revelar um esforço sistemático de monitoramento ambiental, visando o controle da qualidade do ar para fins de preservação da saúde pública. Esse é um aspecto preocupante em um cenário como o do Brasil, onde as fontes móveis movidas a etanol, gás natural e diesel possuem alta potencialidade de emissão de aldeídos.

5.3. Emissões Oriundas do Combustível Fóssil-Diesel

5.3.1. Tipos de Poluentes Produzidos

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2001), as emissões mundiais de CO_2 provenientes da queima de combustível têm crescido nestas últimas três décadas e, consequentemente, as participações dos transportes nestas emissões também aumentaram significativamente. Entre os anos de 1971 a 1997, as emissões no setor de transportes dobraram de valor nos países membros da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) e o percentual de poluição dos transportes cresceu de 19,3% para 22,7%. Assim sendo, segundo ÉLSON (1992) e SQUILLACE (1992) *apud* HUNTER *et al* (1998), é importante conhecer os diversos componentes da atmosfera para compreender os impactos da poluição do ar, uma vez que, alguns poluentes ocasionam problemas nas áreas urbanas (caráter local) e outros causam efeitos-estufa na alta atmosfera (caráter global).

A seguir, são apresentados poluentes atmosféricos relacionados à queima dos combustíveis fósseis, bem como suas causas e consequências de acordo com HUNTER *et al* (1998); DORA e PHILLIPS(2001).

a) **Material Particulado (MP):** são partículas em suspensão maiores que uma simples molécula e menores que 500 μm, emitidas de fontes industriais e oriundas da queima de combustíveis fósseis. Um dos efeitos imediatos de sua alta concentração é a redução da visibilidade atmosférica. Estas causam problemas ao corroer superfícies metálicas e a vegetação - por interações químicas. Do ponto de vista da saúde pública, desencadeiam problemas respiratórios que, em longo prazo, se transformam em bronquites. De acordo com o Banco Mundial, a redução das concentrações aos níveis recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) poderiam salvar de 300.000 a 700.000 vidas por ano. Geralmente, são circunscritas ao ambientes locais e regionais, mas, em alguns casos, se transformam em problemas de fronteiras entre os Estados. O material particulado (PM_{10}) são as partículas menores que 10 μm que podem ser inaladas e se alojarem nos pulmões, provocando gastos com medicamentos e internações hospitalares para o tratamento de doenças respiratórias e cardiovasculares. Além disso, reduzem a função ou capacidade pulmonar e provocam crises de asma e mortes. As exposições cumulativas aumentam a mortalidade e reduzem a expectativa de vida. Estudos recentes indicam que as partículas menores que 2,5 μm ($PM_{2,5}$) são mais danosas se comparadas ao PM_{10}. As chamadas ultrafinas

(menores que 0,1 μm) são associadas aos fortes efeitos da perda de capacidade respiratória e sintomas de crises asmáticas - mais do que o PM_{10} e $PM_{2,5}$. Adverte-se que, atualmente, não estão sendo monitorados, nem avaliados os efeitos desses materiais particulados ultrafinos.

b) **Óxido de Nitrogênio (NO_x):** são também emitidos por fontes fixas industriais e por fontes móveis (transporte rodoviário e de ônibus urbanos). São precursores do **smog** (nevoeiro) fotoquímico, reduzindo a função respiratória e causando crise de asma, irritações na garganta e nos olhos. Quando interagem quimicamente com a água, provocam chuvas ácidas, danificando rios, lagos e florestas, tanto na Europa quanto na América do Norte. Esta substância é objeto do Acordo Bilateral de Qualidade do Ar entre os Estados Unidos e o Canadá (The US – Canadá Bilateral Air Quality Agreement) e do Protocolo LRTAP (The Long-Rangy Transboundary Air Pollution) que dispõem acerca de poluentes origindos numa localidade, mas que ocasionam problemas em outros locais, devido às correntes de ar que os carregam além das fronteiras nacionais.

c) **Dióxido de Enxofre (SO_2):** é também causador da chuva ácida, sendo suas maiores fontes a queima de carvão e óleo combustível usados em termoelétricas, caldeiras industriais e aquecedores residenciais. Os danos ambientais das chuvas ácidas ocorrem na população de peixes, na produtividade do solo pelo carreamento dos nutrientes, acidificação da água, devastação florestal e perda da vegetação natural. Esta substância causa, ainda, danos ao trato respiratório, exacerbam as crises respiratórias e, em longo prazo, causam problemas nos pulmões e bronquites crônicas.

d) **Compostos Orgânicos Voláteis Não Metano (NMVOC) ou Hidrocarbonetos (HC):** são emitidos por atividades industriais e pelo setor de transportes. Quando na presença da luz do sol, se transformam em ozônio (O_3) local, provocando: nevoeiros; crises respiratórias com irritação nos olhos e nariz; náuseas e tosses, dores de cabeça e no tórax; redução da capacidade respiratória das pessoas em atividades físicas. Causam, também, lesões nos pulmões, quando o problema se torna crônico. Ainda, esta substância também é objeto do Protocolo LRTAP e de esforços internacionais de limpeza do ar urbano nos países em desenvolvimento.

e) **Monóxido de Carbono (CO):** estudos recentes indicam que, mesmo em baixos níveis, provoca doenças cardiovasculares, com admissões hospitalares e mortes (DORA e PHILLIPS 2001).

f) **Dióxido de Carbono (CO_2):** é o maior contribuinte antropogênico dos gases de efeito estufa que causam mudanças no clima mundial e geram impactos ambientais, econômicos, sociais e na saúde humana. Tanto as mudanças climáticas, quanto o aquecimento global, são preocupações mundiais abrangidas pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (1992) e pelo Protocolo de Quioto (1997) que a operacionaliza. Juntamente com este gás de efeito estufa, dois outros são abrangidos pela Convenção e o seu Protocolo. São eles: o CH_4 (metano) e o N_2O (óxido nitroso) que, juntos com o CO_2, compõem o CO_{EQ} CO_2 equivalente.

Além da contribuição na mortalidade - devido às doenças cardiopulmonares, os componentes existentes no diesel e na gasolina causam câncer em animais. Existem evidências entre a associação da exposição ao diesel e o câncer em pessoas. Estudos demonstram que se eleva em 40% a chance de desenvolver câncer de pulmão, em razão de exposição, por longo tempo, ao diesel e do exercício de atividades ocupacionais. Em 1998, a Agência de Proteção Ambiental da Califórnia adotou a definição legal para o ar tóxico contaminante proveniente das partículas emitidas pelos motores a diesel. Estudos apontam que a exposição ao ambiente com ar poluído, aumenta o risco de se desenvolver câncer de pulmão e doenças cardiopulmonares na população em geral. Nos fumantes, em particular, este risco se potencializa (DORA e PHILLIPS, 2001).

5.3.2. Análise da Fase "Well-to-Pump" (do Poço à Bomba) para o Diesel

WEISS *et al* (2003) apresenta uma análise sobre os estudos que abordam a eficiência energética para a produção do diesel. Considerando o suprimento de gás natural, energia elétrica e outras fontes de energia na produção, transporte, refino e distribuição dos combustíveis, todos eles chegaram a uma eficiência em torno de 80 a 90% (a eficiência é expressa em MJ consumidos por MJ de energia disponível no combustível a bordo do veículo). Estes valores estão descritos na tabela 5.9.

Tabela 5. 9 – Consumo Energético e Emissões de Gases de Efeito Estufa na Fase de Produção do Diesel

Energia Gasta na Produção	Diesel MJ/MJ de Diesel	Eficiência Energética
Extração de óleo cru	0,040	96,5%
Refino	0,089	91,9%
Conversão	-	-
Distribuição	0,010	99,0%
Total	0,139	87,8%
Emissões de Gases de Efeito Estufa	3,3 C_{eq}/MJ	
	12,1 g CO_2/MJ	

Fonte: Weiss et al., (2003)

Considerando-se que para cada 12 g de carbono, é possível obter 44 g de dióxido de carbono, foi possível converter a massa do carbono na tabela acima (5.9) em massa de dióxido de carbono. Assim, para a produção e distribuição do diesel, há emissão de 12,1 g CO_2/MJ de diesel. Apesar do potencial energético do mencionado óleo, faz-se oportuno lembrar que, além de seu alto poder poluidor, apresenta também riscos na operação e extração.

A exemplo disso, cita-se o enorme vazamento de petróleo provocado pela plataforma Deepwater Horizon operada pela British Petroleum no Golfo do México que, após uma explosão, afundou em 22 de abril de 2010. O vazamento passou de 18 milhões de litros de petróleo bruto. Os custos para barrar a vasta mancha negra passaram de US$ 350 milhões. Em setembro do mesmo ano, outra plataforma operada pela Mariner Energy explodiu perto da costa do Estado Americano da Louisiana. De menores proporções, essa plataforma Vermillion Oil Rig 308 se localizava a apenas 300 quilômetros da Deepwater da British Petroleum, que causou um dos maiores desastres ambientais dos Estados Unidos.

5.4. Estimativa das Emissões Atuais e Futuras do Transporte Público Urbano na RMSP

O movimento de bens e pessoas é crucial para o crescimento econômico e o bem estar social. As melhorias na mobilidade não apenas dão às pessoas o acesso a um espectro amplo de oportunidades sócio-econômicas, mas também impactam firmemente no ganho de renda. Projeções do consumo de energia e de emissões veiculares são realizadas para diferentes países emergentes, como China (Ng e SCHIPPER, 2005), Índia (SCHIPPER *et al*, 2007b) e Turquia (LENTS *et a.*, 2007), na tentativa de:

- Planejar o uso territorial e o transporte regional urbano nas grandes cidades;

- Prever os impactos do crescimento da motorização nos grandes centros urbanos, a partir das emissões globais de carbono ao longo das próximas décadas;
- Quantizar e valorar as externalidades desses impactos nos cenários atuais e futuros (objetivo deste trabalho);
- Influenciar no desenvolvimento de políticas nacionais e regulações apropriadas que possam mitigar essas emissões.

Os desafios ao se estimar os impactos nas emissões decorrentes de alterações no setor de transportes, ainda são muito grandes e desafiadores, pois não existem metodologias consagradas para essas avaliações (SCHIPPER, *et al*, 2007a). Neste estudo, partindo-se do princípio que emissões são decorrentes do nível de atividade dos transportes expresso em pass.km ou ton.km (para o caso da carga), da escolha modal, da intensidade energética de cada modal em litros por pass.km e da quantidade de carbono dos combustíveis em gramas por litro, é possível utilizar-se a metodologia denominada "ASIF" (SCHIPPER, *et al*, 2007a – anexo 5), modificada pelo Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (DA ROSA, 2008), que desenvolveu uma metodologia paralela, na qual é levada em consideração a população urbana, a distância média anual viajada por habitante urbano no transporte coletivo, obtendo-se assim, a distância total viajada por ano, expressa em pass.km. Este valor então é multiplicado pelas taxas de CO_2 ou de outros gases de efeito estufa para o transporte coletivo, resultando na quantidade total de CO_2, por exemplo, emitida ao longo de um ano. A expressão abaixo representa o modelo utilizado:

$$Q = P_t \cdot U \cdot \mathrm{d}_{t_c} \cdot q_{tc}$$

onde: Q = quantidade de CO_2 ou outros gases de efeito estufa, emitidos. [$MtCO_2$/ano ou seja mega tonelada de CO_2/ano]

P_t = população total considerada [hab]

U = taxa de urbanização [%]

q_{tc} = distância média viajada por habitante no transporte coletivo [pass.km/hab.ano]

q_{tc} = quantidade de CO_2 emitida para transportar um passageiro por um km para transporte coletivo individual [gCO_2/pass.km]

A adoção deste método de cálculo justifica-se na medida em que atinge o objetivo do presente estudo, apesar de suas limitações em termos de abrangência e disponibilidade de dados. O esforço também se justifica pelo reconhecimento da importância em contar com políticas e medidas para a redução das taxas de emissão em um contexto otimista de desenvolvimento econômico e social, que deve gerar um aumento da mobilidade aliado ao crescimento populacional. Assim sendo, decorrente da utilização do método adotado, faz-se necessária uma reflexão sobre os fenômenos da urbanização e mobilidade no Brasil que, de certa, forma retratam a RMSP.

5.4.1. O Fenômeno da Urbanização

No Brasil, o fenômeno da urbanização é relativamente recente. O início da urbanização se articula com um conjunto de mudanças estruturais na economia e na sociedade brasileira, a partir da década de trinta do século XX. Segundo Brito (2001), em 1970 os dados do censo apontaram que a população urbana era maior que a rural. Dados do IBGE (2003), também, revelaram que os grandes centros urbanos estavam crescendo mais rapidamente que as demais cidades. Segundo estimativas populacionais, nas cidades com mais de 500 mil habitantes, se concentram 29% da população brasileira (IBGE, 2008). São justamente essas cidades que apresentam problemas de mobilidade, transporte urbano e emissões. A figura 5.2 apresenta o fenômeno da urbanização no país ocorrida no século XX, atingindo um valor de aproximadamente 90% em 2010.

Figura 5. 2 – Evolução da Urbanização no Brasil

Fonte: IBGE (2003) e UNFPA (2007)

As Nações Unidas, por sua vez, projetam uma urbanização de, aproximadamente, 93,5% para o ano de 2050. Verifica-se que essa projeção supera as taxas atuais de países como Noruega (78%), Dinamarca (86%), Reino Unido (90%), Suécia (84%), França (77%) e Alemanha (75%), referenciadas por UNFPA (2007) e Estados Unidos (81%) (FAVARO, 2008). O estudo das Nações afirma que, em países desenvolvidos, o processo de urbanização já se encontra em fase de estagnação e que a maior parte do crescimento ocorrerá nos países em desenvolvimento.

Em relação a RMSP, observa-se que, entre 2000 a 2006, a taxa de urbanização decresceu, passando de 95,75% para 94,97% - provavelmente devido ao incremento da ocupação residencial em áreas formalmente não-urbanas. Nesse período, a taxa de urbanização estadual aumentou de 93,41% para 93,7%; mesmo assim permaneceu inferior à taxa da RMSP. A projeção populacional para 2010 estima um contingente de 20.309.647 pessoas, apresentando uma taxa de urbanização de aproximadamente 95% (EMPLASA, 2009). Ainda, segundo os Indicadores Selecionados da RMSP, estima-se que o crescimento anual ficará em torno de 1,33%. (EMPLASA, 2009)

5.4.2. Mobilidade Urbana

A demanda de mobilidade tem sido relacionada diretamente com o crescimento da população e da renda. Na década passada, a renda média global per capita aumentou, aproximadamente, 26%, e a população mundial, em torno de 20% (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2007), o que leva a um aumento de mobilidade de passageiros. Afetado pelo crescimento populacional contínuo, bem como o crescimento de renda nos países em desenvolvimento, a demanda do transporte público urbano é projetada para continuar crescendo, em uma média de 1,8% ao ano entre 2003 a 2050 (IEA, 2006; SCHAFER and VICTOR 1997; WBCSD, 2004).

O crescimento na demanda de viagens tem grandes implicações quanto ao uso de energia e emissões de gases de efeito estufa. O transporte é o setor dominante em termos de consumo de combustível. Este setor é responsável por, aproximadamente, todo o crescimento de combustíveis ao longo dos últimos 30 anos (FULTON, 2004). Em termos globais, o setor de transporte é responsável por 20% das emissões globais de dióxido de carbono (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2007) e é o maior e mais rápido contribuinte para o aquecimento global.

Como visto anteriormente, o principal objetivo do transporte é prover a acessibilidade, ou seja, possibilitar o acesso a bens, serviços ou atividades. Autores como LITTMAN e BURWELL (2006) classificam a acessibilidade de difícil mensuração, o que justifica a avaliação da mobilidade entendida como habilidade de movimentação de pessoas e bens (VASCONCELLOS, 1996). A mobilidade é expressa através de indicadores, como, passageiro.km e toneladas.km de carga transportada (LITTMAN, 2005). A mobilidade brasileira vem sendo classicamente representada pela quantidade de viagens por habitante e pelas distâncias percorridas, variando bastante com a renda familiar (VASCONCELLOS, 2005), de acordo com o capítulo 2, "O Transporte Público por Ônibus". A tabela 5.10 faz uma síntese das distâncias percorridas por modo de transporte no Brasil.

Tabela 5. 10 – Distâncias Percorridas por modo de transporte e divisão modal no Brasil

Modo	Quilometragem percorrida (bilhões km/ano)	Divisão Modal
Ônibus municipal	140	21,2%
Ônibus Metropolitano	62	4,7%
Trilhos	24	3,5%
Sub-total individual motorizado	**134**	**29,8%**
Bicicleta	8	2,9%
A pé	22	37,9%
Sub-total não motorizado	**29**	**40,8%**
Total	**390**	**100%**

Fonte: ANTP (2008)

Esta tabela exprime as distâncias totais percorridas por modo de transporte no Brasil para cidades com mais de 60 mil habitantes (ANTP, 2008). Nesta estimativa, leva-se em consideração que, nas maiores cidades, as distâncias médias percorridas superam aquelas apresentadas por cidades de menor porte. A população nessas cidades, segundo estimativas da ANTP, somaria 119 milhões de habitantes, equivalente a, aproximadamente, 63% da população total brasileira em 2008 ou, aproximadamente, 75% do total da população urbana.

Convém salientar que, no planejamento de transportes, a modelagem da divisão modal é um processo tradicional, bastante difundido e que propicia dividir a matriz Origem e Destino (O/D) de viagens em matrizes O/D por modos de transporte. Esta modelagem da divisão modal, assim como na maioria dos sistemas urbanos, vem sendo analisada através da aplicação de modelos matemáticos, o que permite a obtenção de resultados com boa precisão.

Para efeito de estimativa de viagens por modo e tempo de viagem, foram realizadas uma série de modelagens utilizando variáveis sócio-econômicas - apresentadas no capítulo 2. A formulação básica foi desenvolvida considerando as viagens por modo obtido na pesquisa de Origem/Destino nas Regiões Metropolitanas, como, São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba, Fortaleza, João Pessoa, Manaus, Campinas, Santos e etc...

Numa primeira etapa da modelagem são calculadas as viagens por modo para cada município em função das variáveis econômicas e sociais e as viagens de ônibus são calculadas em função da quantidade de empregos no comércio e da renda do chefe de família. Numa segunda etapa, são realizados ajustes dos valores obtidos na primeira de forma a se obter valores finais condizentes com a realidade observada em todas as regiões metropolitanas brasileiras. Os ajustes, por suas vezes, referem-se à adoção da quantidade de viagens por transporte coletivo através de respostas de questionários e estimativas feitas pelo Sistema de Informação da ANTP.

A tabela 5.11 apresenta as distâncias médias percorridas por habitantes de cidades com mais de 60 mil pessoas. As distâncias médias resultam da divisão das distâncias apresentadas na tabela 5.10, pelo total da população residente nas cidades com mais de 60 mil habitantes, qual seja, 119 milhões de habitantes. Na ausência de dados de mobilidade para cidades com menos de 60 mil habitantes, este estudo assume que as distâncias apresentadas na tabela 5.11, seriam representativas de toda a população brasileira nas regiões metropolitanas. Entende-se que esta aproximação na representação da mobilidade urbana não venha a comprometer significativamente as análises desenvolvidas.

Tabela 5. 11 – Distâncias Percorridas por modo de transporte, por habitante urbano, estimado à partir da ANTP - 2008

	Distância percorrida (pass.km/hab.ano)
Automóvel	1025
Transporte coletivo	1899
Ônibus municipal	1176
Ônibus metropolitano	521
Trilhos	202
Motocicleta	101
Bicicleta	67
Viagens a pé	185

Fonte: ANTP (2008)

Supõe-se também que o padrão de mobilidade nas regiões metropolitanas brasileiras em 2050, possa se assemelhar ao da Europa Ocidental de hoje, que já muito urbanizada. Esta estimativa tem como lastro duas proposições, a saber:

I. O Brasil se desenvolverá sócio e economicamente

II. As cidades brasileiras estarão especialmente configuradas de forma semelhantes às cidades européias. Os padrões atuais de mobilidade urbana de países da Europa Ocidental (EUROSTAT, 2008), estão representadas na tabela 5.12.

Tabela 5. 12 – Distâncias percorridas por modo de transporte e divisão modal de transporte motorizado em países europeus

Distância média diária por hab (pass.km)			Divisão Modal*(%)	
União Européia - 2004	**Transp. Individual**	**Transp. Público**	**Transp. Individual****	**Transp. Coletivo**
Alemanha	28,8	5,2	84,8	15,2
Áustria	27,6	9,2	75,1	24,8
Bélgica	29,4	7,1	80,8	19,2
Dinamarca	30,6	6,8	81,8	18,1
Espanha	23,0	5,2	81,7	18,3
Finlândia	32,0	6,1	84,1	15,8
França	33,5	5,9	85,1	14,9
Grécia	16,9	6,2	73,3	26,7
Holanda	24,7	4,7	84,3	15,7
Irlanda	17,0	5,7	75,3	24,7
Itália	33,9	7,2	82,5	17,5
Noruega	30,5	4,1	N/D	N/D
Portugal	17,5	4,0	81,4	18,6
Reino Unido	31,1	4,6	87,2	12,8
Suécia	29,6	6,0	83,0	16,9
Suíça	32,4	7,0	N/D	N/D
Valor Mínimo	**16,9**	**4,0**	**60,1**	**12,8**
Valor Máximo	**33,9**	**9,2**	**87,2**	**39,9**
Valor Adotado	**27**	**7**	**N.A.**	**N.A.**

* considerando apenas transporte motorizado

** transporte privado inclui motocicletas, que na média européia correspondem a 2,6% da divisão modal total

N/D = não disponível; N.A = não se aplica

Fonte: EUROSTAT, 2008

Levando-se em conta os valores reportados na tabela 5.12, adota-se, em alguns cálculos deste trabalho, uma distância média de 27 pass.km por habitante por dia, para viagens em transporte individual e 7 pass.km por habitante por dia para viagens em transporte público.

5.4.3. Cálculo das Emissões Relativas ao Transporte Público Urbano na RMSP

Segundo ONURSAL e GAUTAM (1997), a avaliação das emissões relativas ao transporte público têm sido analisadas através de diferentes formas. Estas análises variam desde testes em bancos dinamométricos, onde são definidos os parâmetros de desempenho e emissão de poluentes advindos da queima do óleo diesel em comparação a outros combustíveis, em diferentes ciclos operacionais representativos de casos urbanos, até levantamentos em campo através de veículos monitorados ou do uso de sensores e medidores instalados em pontos estratégicos da via urbana. Estas análises contemplam também o consumo de combustível, de óleo lubrificante, quilometragem acumulada, horas de utilização, dirigibilidade, manutenção e durabilidade dos componentes durante a operação dos veículos para avaliação comparativa dos eventos em frotas cativas.

Os dados de emissões veiculares por pass.km referenciados pela literatura englobam CO_2, CO, HC, NO_x e MP. Na tabela 5.13 apresentam-se valores encontrados em diferentes estudos: IEA (2001), ANTP (2009), ROMILLY (1999), EEA (2004), CETESB (2005 e 2009), para distintos gases de efeito estufa e componentes. Os valores tabelados encontram-se em g/pass.km e se referem a veículos leves a gasolina e a veículos pesados a diesel. Para o cálculo das emissões neste trabalho, as conversões de g/km para g/pass.km, foram feitas utilizando-se as taxas médias de ocupação veicular reportadas em ROMILLY (1999) que consideram uma realidade próxima da européia, que são 1,6 pass/automóvel e 16,2 pass/ônibus.

Tabela 5. 13 - Emissões Veiculares

Emissões de veículos leves – Gasolina (g/pass.km)					
Fonte	**CO_2**	**CO**	**NO_x**	**MP**	**HC**
IEA (2001)	161,3	2,53	0,28	0,00	0,59
ANTP (2009)	122,5	6,77	0,46	0,05	1,95
Romilly (1999)	117,8	1,37	0,11	0,01	-
EEA (2004)	126,2	5,79	0,53	0,02	-
CETESB (2005)	135,8	7,56	0,43	0,05	0,78
CETESB (2009)	-	7,13	0,47	0,05	0,73
Emissões de veículos pesados – Diesel (g/pass.km)					
Fonte	**CO_2**	**CO**	**NO_x**	**MP**	**HC**
IEA (1999)	72,2	0,15	0,96	0,07	0,09
ANTP (2009)	73,9	0,85	0,62	0,03	0,13
Romilly (1999)	64,1	0,16	0,58	0,02	-
EEA (2004)	66,1	0,29	0,92	0,04	-
CETESB (2005)	75,6	0.96	0,69	0,04	0,15
CETESB (2009)	-	0,83	0,61	0,04	0,13

Fonte: IEA (2001); ANTP (2009); Romilly (1999); EEA (2004); CETESB (2005 e 2009)

Para uma avaliação comparativa de cenários com combustíveis alternativos aos fósseis tradicionais, foram utilizados os dados apresentados na tabela 5.14 publicada em IEA (2001-Adaptado); estes se relacionam às emissões ocorridas em toda cadeia de produção e consumo dos combustíveis, **well-to-wheel**, como discutido anteriormente e tomando-se como referência a gasolina para veículos leves (100%) e o diesel para veículos pesados (100%). Deve-se lembrar que para o caso do etanol obtido a partir de cana-de-açúcar, é importante levar em conta a possibilidade do balanço final de emissão de CO_2 se aproximar de zero, pois CO_2 liberado na combustão do etanol é totalmente reabsorvido no processo de fotossíntese (RIBEIRO e MATTOS, 2000; RIBEIRO et al, 2000; MACEDO, 2008). A partir de Gazzoni (2008), onde é feita uma equivalência em termos de emissões entre veículos pesados a diesel e a etanol, decidiu-se por adotar as seguintes equivalências de emissões para o etanol da cana-de-açúcar apresentadas na tabela 5.14 referentes a veículos pesados:

CO_2 = 51%
CO = 119%
NO_x = 103%
MP = 55%
HC = 114%

Tabela 5. 14 - Emissões relativas na cadeia de produção e consumo de combustíveis IEA.

Emissões *"well-to-whell"* – veículos leves (%)

Combustível		CO_2	CO	NO_x	MP	HC
Gasolina		100	100	100	0	100
Diesel		52-74	7-21	130-221	100	15-40
GLP						
	Campo	71-82	25-47	96-110	1	17-71
	Refinaria	78-93	25-47	114-117	1	65-66
Gás natural		65-78	23-25	56-79	0	111-115
Metanol						
	Gás natural	80	101	158	ND	155
	Celulose	30-110	71-102	119-142	11	76-117
Etanol						
	Celulose	10-16	17-24	81-117	ND	27-41
	Açúcar	24-55	22-52	122-154	24-45	32-104
Biodiesel		13-32	8-26	189-346	112-120	12-47
Hidrogênio		5-362	0-12	79-864	0-113	2-339

Emissões *"well-to-whell"* – veículos leves (%)

Combustível		CO_2	CO	NO_x	MP	HC
Diesel		100	100	100	100	100
GLP						
	Campo	94	199-445	22-32	24	69-177
	Refinaria	104-106	200-436	25-32	24	154-177
Gás natural		87	99-530	16-35	15	255-588
Metanol						
	Gás natural	98	405	64	ND	497
	Celulose	3-135	87-434	50-61	28	158-300
Etanol						
	Celulose	16-26	577-1075	94-103	ND	160-256
	Açúcar	34-67	119-891	103-104	55	114-235
Biodiesel		28-44	81-212	118-127	90-98	68-120

Fonte: Adaptado de IEA, 2001 (anexo VI)

Nota-se que a tabela 5.14 acima, apresenta certa disparidade (anexo VI) de dados, os quais poderão ser objeto de consideração de análises futuras caso a equivalência para os componentes CO, HC, NO_x e MP, venham a ser disponibilizados para a realidade brasileira.

A tabela 5.15, gerada a partir das tabelas 5.13 e 5.14 apresenta o valor dos componentes adotados nos cálculos. Ou seja, em relação ao diesel (100%) nos veículos pesados, adotou-se para emissão do gás de efeito estufa (CO_2), a média de valores sugeridos pelos estudos: IEA (2001), ANTP (2009), ROMILLY (1999), EEA (2004), CETESB (2005). Para as demais emissões de gases de efeito local (CO, NO_x, MP e HC), adotou-se os valores propostos pelo Relatório de Qualidade do Ar da CETESB (2009). Quanto a equivalência do diesel (100%) em relação ao etanol (100%), adotou-se os valores já descritos acima de acordo com as emissões well-to-whell.

Tabela 5. 15 – Valores Adotados para Emissões Equivalentes – Diesel x Etanol para veículos pesados (*"well-to-wheel)*

Combustíveis	Valores adotados para emissões equivalentes em g/km.pass				
	CO_2	CO	NO_X	MP	HC
Diesel	70,4	0,83	0,61	0,04	0,13
Etanol *	36	0,99	0,63	0,02	0,15

*Considerando o uso de etanol puro.
Fonte: Própria, elaborada a partir das tabelas 5.13 e 5.14

5.4.4. Cenários Propostos para Quantificações das Emissões Atuais e Futuras

Considerou-se para a quantificação atual e futura das emissões de poluentes atmosféricos na RMSP, diferentes cenários correspondentes dos anos de 2009, 2025 e 2050, sendo todas as estimativas calculadas a partir da equação (1) e utilizando-se os dados das tabelas de 5.10 a 5.15. Os cenários analisados neste trabalho que consideram os combustíveis diesel 100% e etanol 100% (sem mistura com outros combustíveis) são descritos a seguir:

Cenário O (Baseline): Representa-se a opção de "nada fazer" (permanecer na situação atual), apenas calcula-se o total das emissões do transporte público urbano na RMSP para o ano de 2009. Para tanto, foram consideradas a população urbana atual da RMSP e a taxa de urbanização de acordo com os dados dos "Indicadores Metropolitanos" da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S. A (EMPLASA, 2009), que foram de 20.110.724 habitantes e 94,9% respectivamente. Considerou-se também os atuais padrões de mobilidade urbana brasileira, que refletem a realidade da RMSP e os valores das emissões encontrados na literatura, conforme já descrito.

Cenário 1 (Business as usual): Estima-se as emissões para o ano de 2025, meta do Projeto PITU, citado no capítulo 2, considerando-se o pressuposto que a RMSP irá crescer, porém os padrões de deslocamento e as tecnologias veiculares e de combustão se manterão os mesmos

de hoje (2009). Adota-se os dados dos Indicadores Metropolitanos (EMPLASA S.A, 2009), que sugerem uma taxa de crescimento populacional de 1,33% ao ano, estimando-se assim uma população de 24.844.851 habitantes para 2025. Quanto a taxa de urbanização adota-se 95,2% de acordo com a Evolução da Urbanização no Brasil (baseado em IBGE, 2009 e UNFPA, 2007).

Cenário 2 (Business as usual): Faz-se a estimativa das emissões para o ano de 2050, adotando-se uma população de 34.115.318 habitantes (projeção, EMPLASA, 2009) e uma taxa de urbanização de 96% (projeção, IBGE, 2009 e UNFPA, 2007). Supõe-se que os padrões de mobilidade urbana e tecnologias veiculares, permaneçam as mesmas.

Cenário 3: Neste cenário, admite-se que o desenvolvimento social e econômico do país e consequentemente da RMSP irão modificar o padrão de mobilidade em 2050, tornando-se semelhante ao padrão existente hoje na Europa Ocidental com distâncias médias percorridas por habitante de 7 km/dia para viagens em transporte público. Adota-se uma taxa de urbanização de 96% (IBGE, 2009 e UNFPA, 2007), para uma população de 34.115.318 habitantes (EMPLASA, 2009). Supõe-se que as tecnologias veiculares e de combustível permaneçam as mesmas.

Cenário 4: Calcula-se as emissões para o ano de 2009, com as mesmas variáveis do cenário 0, propondo-se a substituição do tipo de combustível utilizado, ou seja, todo o diesel (100%) por etanol (100%) na frota cativa do transporte urbano público.

Cenário 5: Calcula-se as emissões para o ano de 2025, mantendo-se os mesmos parâmetros do cenário 1, considerando a possibilidade da substituição de todo o diesel por etanol.

Cenário 6: Estima-se as emissões para 2050, e mantém-se os parâmetros considerados no cenário 3. Supõe-se que todo o diesel seja substituído por etanol.

5.4.5. Estimativas das Emissões nos Cenários Propostos

As simulações baseadas nos cenários propostos permitem fazer uma análise de fácil visualização, de uma forma mais facilitada e objetiva da previsão das emissões na RMSP. As tabelas de 5.16 a 5.20 apresentam o total de emissões bem como os parâmetros utilizados para os cálculos em cada um dos cenários propostos.

Tabela 5. 16 – Valores Utilizados e Emissões totais de CO_2 para os cenários propostos

Cenários	Cenário 0	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
Ano	2009	2025	2050	2050	2009	2025	2050
Pt(hab)	20.110.724	24.844.851	34.115.318	34.115.318	20.110.724	24.844.851	34.115.318
U%	94,9	95,2	96,0	96,0	94,9	95,2	96,0
$d_{tc}\left(\frac{pass.km}{hab.ano}\right)$	1697	1697	1697	2555	1697	1697	2555
$q_{tc}\left(\frac{gCO_2}{pass.km}\right)$	70,4	70,4	70,4	70,4	36	36	36
Q($MtCO_2$)	2,28	2,83	3,91	5,89	1,17	1,44	3,01

- **Cenário 0:** Emissões para a situação atual; toda frota a diesel (2009) (Baseline)
- **Cenário 1:** Emissões para o ano de 2025; toda frota a diesel.(Business as usual)
- **Cenário 2:** Emissões para o ano de 2050; toda frota a diesel. (Business as usual)
- **Cenário 3:** Emissões para o ano de 2050, supondo que os padrões de mobilidade atinjam os da Europa Ocidental; toda a frota a diesel
- **Cenário 4:** Emissões para o cenário atual (2009), substituindo todo o diesel por etanol.
- **Cenário 5:** Emissões para o ano de 2025, substituindo-se todo o diesel por etanol.
- **Cenário 6:** Emissões para o ano de 2050 todo o diesel substituindo por etanol.

Tabela 5. 17 – Valores Utilizados e Emissões totais de CO para os cenários propostos

Cenários	Cenário 0	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
Ano	2009	2025	2050	2050	2009	2025	2050
Pt(hab)	20.110.724	24.844.851	34.115.318	34.115.318	20.110.724	24.844.851	34.115.318
U%	94,9	95,2	96,0	96,0	94,9	95,2	96,0
$d_{tc}\left(\frac{pass.km}{hab.ano}\right)$	1697	1697	1697	2555	1697	1697	2555
$q_{tc}\left(\frac{gCO}{pass.km}\right)$	0,83	0,83	0,83	0,83	0,99	0,99	0,99
Q(MtCO)	0,027	0,033	0,046	0,069	0,032	0,040	0,083

- **Cenário 0:** Emissões para a situação atual; toda frota a diesel (2009) (Baseline)
- **Cenário 1:** Emissões para o ano de 2025; toda frota a diesel. (BAU)
- **Cenário 2:** Emissões para o ano de 2050; toda frota a diesel. (BAU)
- **Cenário 3:** Emissões para o ano de 2050, supondo que os padrões de mobilidade atinjam os da Europa Ocidental; toda a frota a diesel

- **Cenário 4:** Emissões para o cenário atual (2009), substituindo todo o diesel por etanol.
- **Cenário 5:** Emissões para o ano de 2025, substituindo-se todo o diesel por etanol.
- **Cenário 6:** Emissões para o ano de 2050 todo o diesel substituindo por etanol.

Tabela 5. 18 – Valores Utilizados e Emissões totais de NO_x para os cenários propostos

Cenários	**Cenário 0**	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**	**Cenário 4**	**Cenário 5**	**Cenário 6**
Ano	2009	2025	2050	2050	2009	2025	2050
Pt(hab)	20.110.724	24.844.851	34.115.318	34.115.318	20.110.724	24.844.851	34.115.318
U%	94,9	95,2	96,0	96,0	94,9	95,2	96,0
$d_{tc}\left(\frac{pass.km}{hab.ano}\right)$	1697	1697	1697	2555	1697	1697	2555
$q_{tc}\left(\frac{gNO_x}{pass.km}\right)$	0,61	0,61	0,61	0,61	0,63	0,63	0,63
Q($MtNO_x$)	0,020	0,024	0,034	0,051	0,020	0,025	0,053

- **Cenário 0:** Emissões para a situação atual; toda frota a diesel (2009) (Baseline)
- **Cenário 1:** Emissões para o ano de 2025; toda frota a diesel. (BAU)
- **Cenário 2:** Emissões para o ano de 2050; toda frota a diesel. (BAU)
- **Cenário 3:** Emissões para o ano de 2050, supondo que os padrões de mobilidade atinjam os da Europa Ocidental; toda a frota a diesel
- **Cenário 4:** Emissões para o cenário atual (2009), substituindo todo o diesel por etanol.
- **Cenário 5:** Emissões para o ano de 2025, substituindo-se todo o diesel por etanol.
- **Cenário 6:** Emissões para o ano de 2050 todo o diesel substituindo por etanol.

Tabela 5. 19 – Valores Utilizados e Emissões totais de MP para os cenários propostos

Cenários	**Cenário 0**	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**	**Cenário 4**	**Cenário 5**	**Cenário 6**
Ano	2009	2025	2050	2050	2009	2025	2050
Pt(hab)	20.110.724	24.844.851	34.115.318	34.115.318	20.110.724	24.844.851	34.115.318
U%	94,9	95,2	96,0	96,0	94,9	95,2	96,0
$d_{tc}\left(\frac{pass.km}{hab.ano}\right)$	1697	1697	1697	2555	1697	1697	2555
$q_{tc}\left(\frac{gMP}{pass.km}\right)$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02
Q(MtMP)	0,0013	0,0016	0,0022	0,0033	0,00065	0,00080	0,0017

- **Cenário 0:** Emissões para a situação atual; toda frota a diesel (2009) (Baseline)

- **Cenário 1:** Emissões para o ano de 2025; toda frota a diesel. (BAU)
- **Cenário 2:** Emissões para o ano de 2050; toda frota a diesel. (BAU)
- **Cenário 3:** Emissões para o ano de 2050, supondo que os padrões de mobilidade atinjam os da Europa Ocidental; toda a frota a diesel
- **Cenário 4:** Emissões para o cenário atual (2009), substituindo todo o diesel por etanol.
- **Cenário 5:** Emissões para o ano de 2025, substituindo-se todo o diesel por etanol.
- **Cenário 6:** Emissões para o ano de 2050 todo o diesel substituindo por etanol.

Tabela 5. 20 – Valores Utilizados e Emissões totais de HC para os cenários propostos

Cenários	**Cenário 0**	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**	**Cenário 4**	**Cenário 5**	**Cenário 6**
Ano	2009	2025	2050	2050	2009	2025	2050
Pt(hab)	20.110.724	24.844.851	34.115.318	34.115.318	20.110.724	24.844.851	34.115.318
U%	94,9	95,2	96,0	96,0	94,9	95,2	96,0
$d_{tc}\left(\frac{pass.km}{hab.ano}\right)$	1697	1697	1697	2555	1697	1697	2555
$q_{tc}\left(\frac{gHC}{pass.km}\right)$	0,13	0,13	0,13	0,13	0,15	0,15	0,15
Q(MtHC)	0,0042	0,0052	0,0072	0,011	0,0049	0,0060	0,013

- **Cenário 0:** Emissões para a situação atual; toda frota a diesel (2009) (Baseline)
- **Cenário 1:** Emissões para o ano de 2025; toda frota a diesel. (BAU)
- **Cenário 2:** Emissões para o ano de 2050; toda frota a diesel. (BAU)
- **Cenário 3:** Emissões para o ano de 2050, supondo que os padrões de mobilidade atinjam os da Europa Ocidental; toda a frota a diesel
- **Cenário 4:** Emissões para o cenário atual (2009), substituindo todo o diesel por etanol.
- **Cenário 5:** Emissões para o ano de 2025, substituindo-se todo o diesel por etanol.
- **Cenário 6:** Emissões para o ano de 2050 todo o diesel substituindo por etanol.

O cálculo das emissões relativas na cadeia de produção dos combustíveis diesel e etanol, utilizou como base de dados as tabelas 5.13 e 5.14 que não apresentaram os fatores de emissão, relativos ao óxido de enxofre (SO_x). Entretanto a sua presença na atmosfera, devido as reações fotoquímicas que produzem oxidantes na formação de aerossóis na forma de sulfato, são extremamente significativas para ambos os combustíveis em termos de emissão.

Assim sendo para se estimar as quantidades de óxido de enxofre (SO_x) emitidas pela frota de ônibus a diesel da RMSP, utilizou-se uma outra metodologia de cálculo que considera: a quantidade de ônibus que compõe a frota; o consumo de diesel emitido, supondo que a quantidade emitida, seja linearmente proporcional à quantidade consumida de diesel; e também a distância percorrida pelos ônibus anualmente, na RMSP. A tabela 5.21, mostra que o total de diesel consumido pela frota metropolitana e de aproximadamente 704 milhões de litros por ano.

Tabela 5. 21 – Consumo de Diesel pelos Ônibus Urbanos na RMSP (por ano)

Frota a Diesel (ônibus)	22.000(1)
Distância Percorrida por Ônibus (km)	80.000(2)
Autonomia dos Ônibus (km/ℓ)	2,50(3)
Consumo por Ônibus (ℓ/ano)	32.000(4)
Consumo Total de Diesel pelos Ônibus Urbanos (ℓ/ano)	704.000.000

Fonte: (1) Apesar do DETRAN apontar a quantidade de 45.157 ônibus circulantes na RMSP, adota-se na presente tese 22.000 ônibus dos quais: 15.000 da SPTRANS (concessionárias e permissionárias); 3000 da EMTU e, aproximadamente 4000 das frotas municipais que operam nos demais 38 municípios da RMSP (Junqueira, 2011). Não se considerou os fretados e nem os rodoviários.
(2) e (3) Sarkosy et al., 2008
(4) Monteiro, 2006

O consumo de diesel pelos ônibus urbanos em litro/ano, é calculado em função da quilometragem rodada por cada ônibus (80.000 km), dividida pelo rendimento ponderado da frota (2,50 km), multiplicado pelo número total de ônibus da RMSP (22.000), resultando 704.000.000 litros/ano.

Por outro lado, a metodologia calcula também, a energia produzida referente a queima do diesel, necessária para a estimativa das emissões de SO_x, a partir dos parâmetros do combustível diesel, apresentados na tabela 5.22.

Tabela 5. 22 – Especificações e Índice de Emissão do Diesel

Especificação do Energético	**Diesel**	
	Valor	**Unidade**
Densidade Específica	852(1)	kg/m^3
Capacidade Específica	10.750(1)	kcal/kg
Poder Calorífico Inferior	38.376,21	MJ/m^3
Carbono não oxidado	0,99(2)	%

Fonte: Ribeiro, (2001)[1] e IPCC, (1996)[2]

A energia produzida em MJ é igual ao consumo total de diesel (704.000.000 ℓ/ano), dividido por 1000 para a versão em m^3, multiplicado pelo poder calorífico inferior do diesel (38.376,21 MJ/m^3), multiplicado pela porcentagem de carbono não oxidado (0,99%), resultando $2,68 \cdot 10^{10}$ MJ.

Na medida em que o índice de emissão do SO_x é expresso em função da quantidade de gramas (g) por MJ, de acordo com a tabela 5.23 e como o valor da energia produzida é expressa em MJ, pode-se calcular as emissões.

Tabela 5. 23 – Fatores de Emissão dos GELs

Efeitos	Poluentes	Diesel (g/MJ)
GELs	CO^*	1,0000
	NO_x^*	0,8000
	SO_x^{**}	0,31389
	MP^{**}	0,02778
	NMVOC (HC)*	0,2000

Fonte: *IPCC (1996) e de **Ribeiro, (2001)

Portanto multiplicando-se a energia produzida pela queima de todo o diesel produzido pela frota de ônibus da RMSP ($2,68.10^{10}$ MJ), pelo fator de emissão do óxido de enxofre SO_x (0,31389 g/MJ), obtem-se $0,8412.10^{10}$ g de SO_x, ou seja 8.412 ton/ano.

5.4.6. Previsões Decorrentes do Cálculo das Emissões

Dos cenários propostos e dos cálculos efetuados no item anterior, pode-se chegar às seguintes conclusões preliminares, em relação aos GEEs:

- Quando se compara as emissões atuais (a partir de 2009) de CO_2 (cenário 0 - baseline) com as emissões futuras em 2025 (cenário 1 - BAU), onde se considerou o aumento da população e consequentemente da taxa de urbanização, mantendo-se a mesma mobilidade, tecnologia veicular e combustíveis, há um incremento de aproximadamente 24% nas emissões de CO_2; mas ao comparar-se as emissões atuais (2009) com as emissões futuras de CO_2 para 2050 (cenário 2 - BAU), mantendo-se os mesmos parâmetros com exceção da população e da taxa de urbanização, há um incremento considerável de 72% nas emissões de CO_2, o que é extremamente significativo;

- Comparando-se ainda as emissões atuais (2009) de CO_2 (cenário 0 - baseline) com as emissões em 2050 (cenário 3), onde se considerou o aumento da população e da taxa de urbanização, mantendo-se as mesmas tecnologias veiculares e de combustíveis, mas considerando-se que a mobilidade urbana atinja os padrões da Europa Ocidental (cenário 3), há um incremento de 158% nas emissões de CO_2, comparativamente a situação atual.
- Supondo-se ser possível a substituição de combustíveis ou seja que todo o diesel da frota urbana de ônibus da RMSP possa ser substituído por etanol (cenário 4), comparativamente a 2009 (cenário 0 - baseline) há uma redução de aproximadamente 49% nas emissões de CO_2;
- Se a substituição de combustíveis (diesel por etanol) fosse mantida, em 2025 considerando-se o aumento da população e da taxa de urbanização, mantendo-se a mesma mobilidade urbana e as mesmas tecnologias (cenário 5), há uma redução considerável de 49% nas emissões de CO_2, relativamente cenário 1 (BAU). Analogamente, se a substituição combustível fosse mantida em 2050, efetuando-se o cálculo da nova população e taxa de urbanização, mantendo-se as mesmas tecnologias veiculares, mas supondo-se que a mobilidade urbana na RMSP, atinja a média da Europa Ocidental (cenário 6), há também uma redução de 49% nas emissões de CO_2, quando comparadas com as do cenário 3.

Convém salientar, que para os veículos a diesel, a CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, (Órgão de Referência Nacional Delegado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renovávies – IBAMA, para coordenação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Auto Motores – PROCONVE), somente acompanha os ensaios de emissão realizados pelos próprios fabricantes segundo o “método de 13 pontos”, que não é correlacionável com as condições reais de utilização dos veículos. Daí a dificuldade que se apresenta nos cálculos de inventários de emissões de poluentes por veículos a diesel a partir de fatores de emissão (mais próximos quanto possível da realidade), expressos em unidades de massa/distância percorrida, normalmente em g/km. Para isso seria necessário realizar ensaios específicos para levantamento de fatores de emissão de veículos a diesel pesados sobre dinamômetro de chassis (rolo). Entretanto, atualmente não há no Brasil laboratórios com essa capacitação. Opta-se, então, no caso de veículos a diesel, pelo uso exclusivo de fatores de emissão internacionais baseados em dados bibliográficos (ÁLVARES JR., 2010),

como neste estudo que adotou como base de dados as emissões relativas na cadeia de produção e consumo de combustíveis, proposta e adaptada de IEA (2001) – Emissões "Well-toWheel" – que leva em consideração a realidade européia.

Portanto devem ser sempre levadas em consideração às diferenças entre a composição dos combustíveis automotivos utilizados no Brasil e a dos países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE e Estados Unidos, de onde se originam os fatores de emissão. O diesel, por exemplo, é oferecido na Europa com a especificação de 50 ppm (partículas por milhão) de enxofre, um valor 10/dez vezes menor que o combustível utilizado nas grandes cidades do Brasil, que é de 500 ppm (como visto no capítulo II), chegando a 2000 ppm em locais distantes. Só no princípio de 2011 estará sendo oferecido um combustível equivalente ao europeu, o que afetará os setores fabricantes de motores e montadoras, que deverão adequar seus produtos ao novo combustível para que haja o benefício esperado em termos de emissões.

Por outro lado, quando se compara as emissões locais – GELs – relativas aos hidrocarbonetos (HC), ao monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) do cenário 0 (baseline), comparativamente ao cenário 4 (todo combustível substituído por etanol), mantendo-se os mesmos parâmetros de cálculo e as mesmas tecnologias veiculares, pode-se concluir que:

- Haverá um incremento de 18,5% nas emissões de CO, de 16,7% nas de HC. As emissões de NO_x permanecerão as mesmas. Estes gases contribuem direta e indiretamente com o efeito estufa, porém são mais difíceis de se estimar com relativa precisão. Seus fatores de emissão típicos além de serem extremamente reduzidos quando comparados aos de CO_2, dependem da tecnologia de motorização, das condições de manutenção das diversas características de operação e principalmente do tipo de combustível que possuí suas emissões atreladas a toda cadeia produtiva (Well-to-Wheel) adotada para o cálculo das emissões neste estudo.

  No caso do etanol as emissões dependem da matéria prima utilizada para sua obtenção: trigo, milho, beterraba e cana-de-açúcar. No caso do Brasil dependem também do uso do solo e da água, dos fertilizantes, do maquinário utilizado no campo, dos processos de obtenção, da armazenagem, do transporte até os centros consumidores. Por esse motivo podem ser verificados valores de emissões não condizentes com a realidade local, pois quando se utiliza dados europeus e dos

Estados Unidos (não existe uma base de dados no Brasil para motores diesel movidos a etanol a partir da cana-de-açúcar), estes dados se referem ao etanol produzidos a partir de outras matérias primas, que não o etanol de cana-de-açúcar, produzido em todo território nacional, como por exemplo o etanol a partir do milho, bem mais poluentes, como demonstrado no item 5.2.2 (Comparação dos Balanços Energéticos do Etanol) . Isto pode justificar o incremento nas emissões de CO, NO_x e HC, obtidos nos cálculos, quando se compara as emissões da substituição do diesel por etanol, na frota de ônibus urbanos na RMSP.

Assim sendo os especialistas incentivam o desenvolvimento de fatores de emissões locais sempre que possível, para serem utilizados como alternativa adicional no cálculo de inventário de emissões. Mas na inexistência de fatores de emissões considera-se uma boa prática a estimativa baseada apenas nos dados relativos a CO_2, que sempre apresentam confiabilidade e precisão.

- Quanto ao material particulado (MP), haverá uma redução considerável, ou seja, de aproximadamente 50%, quando se considera a substituição de combustíveis diesel (cenário 0 - baseline) por etanol (cenário 4), o que representa um grande ganho ambiental, principalmente no que tange à saúde pública.

Deve-se também ressaltar que apesar da metodologia não apresentar os índices de emissão do óxido de enxofre (SO_x), mas sim de dióxido de enxofre (SO_2), o mesmo não se classifica com gás de efeito estufa. Entretanto, sua presença na atmosfera influência no clima devido às reações fotoquímicas que produzem oxidantes na formação de aerossóis na forma de sulfato. A queima de combustíveis fósseis é responsável por 80% da sua produção (IPCC, 1996). Entretanto a queima do etanol não emite SO_x, sendo mais uma vantagem ambiental desse combustível que de acordo com o cenário O, (baseline), deixarão de ser emitidos aproximadamente 8.412 ton/ano de SO_x. Por outro lado não se pode omitir que a queima do etanol produz uma quantidade de aldeídos ligeiramente maior que a gasolina e o diesel, mas que são mais fáceis de serem tratados localmente.

Portanto, comparando-se os cenários propostos, foi possível estimar o dano ambiental proveniente da frota de ônibus urbanos da RMSP, tanto utilizando o diesel, quanto na hipótese de emprego do etanol. No próximo capítulo se estimará o valor econômico do recurso ambiental do ar atmosférico desagregado em GEEs e GELs, enquanto externalidade e formulação de políticas publicas.

6 EXTERNALIDADES

A proposta para a substituição de combustíveis na frota de ônibus da RMSP, objeto desta tese, representa uma reação á emissão de gases poluentes locais e globais provocada pelos combustíveis fósseis, que poderá ser reduzida nas próximas décadas, através da mitigação proporcionada pelo etanol de cana-de-açúcar. As externalidades ambientais positivas da sua produção e uso, justificam a adoção de políticas públicas, pois merece atenção especial o fato do etanol ser menos poluente que o diesel no que se refere às emissões de carbono, material particulado e óxido de enxofre, que contribuem para a redução do efeito estufa e da poluição local .

Considerando-se os aspectos técnicos, as externalidades positivas advindas do etanol são falhas de mercado que justificam a presença do Estado através da regulação social. Os preços gerados em ambiente de livre mercado, que não levam em conta as externalidades, podem ser insuficientes para proporcionar o retorno adequado dos investimentos.

Assim sendo este capítulo faz uma análise das externalidades ambientais da substituição de combustíveis na frota urbana de ônibus da RMSP, supondo hipoteticamente a substituição do diesel pelo etanol, introduzindo-se o conceito da Valoração Econômica do Recurso Ambiental (VERA) do Ar Atmosférico, desagregado em efeito local ($VERA_{ar\ local}$) e estufa ($VERA_{ar\ estufa}$). No entanto, além dos aspectos ambientais, outras externalidades da produção e uso do etanol devem ser analisadas como: os empregos diretos e indiretos; a possibilidade de se contar com a oferta de um combustível alternativo aos derivados do petróleo; a sua contribuição positiva para a balança comercial; os efeitos que essa poluição atmosférica tem sobre a qualidade de vida e principalmente para a saúde humana. São estas algumas das externalidades que este capítulo procura analisar.

6.1. Conceito de Externalidade

Segundo MANKIW (2005), externalidade pode ser definida como *"o impacto das ações de uma pessoa sobre o bem estar de outra que não tomam parte da ação"*. Ou seja, uma pessoa se dedica a uma ação que provoca impacto no bem estar de um terceiro que não participa dessa ação, sem pagar nem receber nenhuma compensação por esse impacto. Se o impacto sobre o terceiro é adverso é chamado de **externalidade negativa**; se é benéfico, é chamado de **externalidade positiva**. Quando há externalidades, o interesse da sociedade em um resultado de mercado vai além do bem estar dos compradores e vendedores que participam do mercado; passa a incluir também o bem estar de terceiros que são indiretamente

afetados. Como os compradores e vendedores desconsideram os efeitos externos de suas ações quando decidem quanto demandar ou ofertar, o equilíbrio de mercado não é eficiente quando há externalidades. Ou seja, o equilíbrio não maximiza o benefício total para a sociedade como um todo.(MANKIW,2005)

6.1.1. Externalidade Negativa

Sabendo-se que os ônibus movidos a diesel, objeto deste nosso estudo, emitem GEEs e GELs, ou seja, poluem o ambiente, para cada litro de óleo diesel produzido uma determinada quantidade de *"fumaça poluidora"* entra na atmosfera. Como essa poluição cria um risco para a saúde do homem, além de contribuir para o efeito estufa global e local, é uma externalidade negativa. Esta externalidade afeta o resultado do mercado, pois por causa dessa externalidade, o custo da produção de um litro de óleo diesel para a sociedade é maior do que o custo para as refinarias produtoras de óleo diesel. Para cada litro de combustível produzido, o custo social incluí os custos privados para os produtores, mais os custos das pessoas e do meio ambiente, afetados adversamente pela poluição atmosférica. A figura 6.1 mostra o custo social da produção do óleo diesel. A curva do custo social se localiza acima da curva da oferta, porque leva em consideração os custos externos impostos à sociedade e ao meio ambiente, pelos produtores de diesel. A diferença entre as duas curvas reflete o custo da poluição produzida. (figura 6.1 na seqüência)

Um planejador ou tomador de decisões eficiente quer maximizar o excedente total originado no mercado – o valor do litro de óleo diesel para os consumidores menos o custo de produção dele, mas também entende que o custo de produção incluiu os custos externos da poluição. Este escolheria o nível de produção de óleo diesel em que a curva de demanda cruza a curva do custo social. Essa interseção determina do ponto de vista da sociedade como um todo, a quantidade ótima de diesel a ser produzida. Abaixo deste nível de produção o valor do litro de óleo diesel para os consumidores (medido pela altura da curva da demanda) supera o custo social de sua produção (medido pela altura da curva de custo social). O planejador, então, não produz mais do que esse nível, porque o custo social da produção adicional de diesel excede o valor para os consumidores.

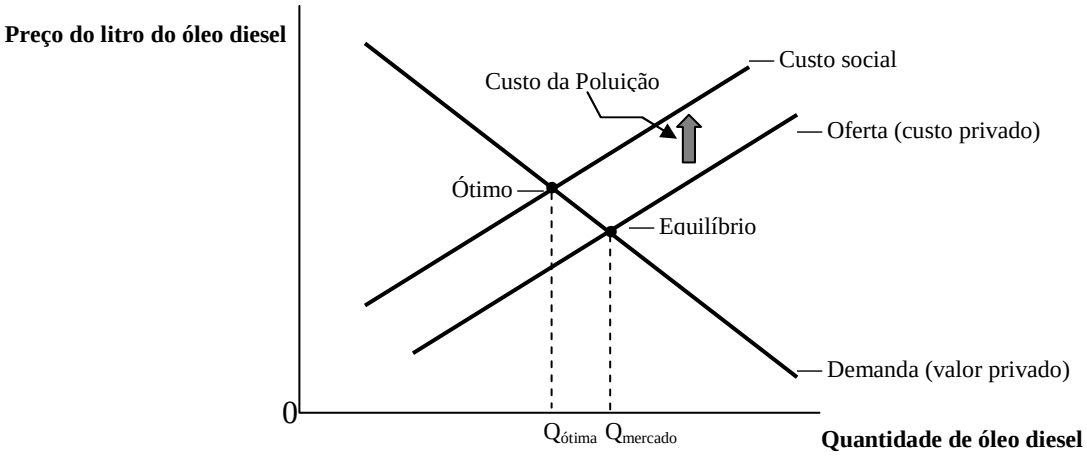


Figura 6. 1 – Custo Social da Produção de Óleo Diesel

Fonte: Própria, adaptada de MANKIW (2005)

Observa-se que a quantidade de equilíbrio do biodiesel, $Q_{mercado}$ é maior que a quantidade socialmente ótima, $Q_{ótima}$. A razão para essa ineficiência é que o equilíbrio de mercado reflete apenas os custos privados de produção. No equilíbrio do mercado, o consumidor marginal atribui ao diesel um valor inferior ao custo social da produção. Ou seja, em $Q_{mercado}$, a curva de demanda está abaixo do custo social. Com isso, reduzir a produção e consumo do óleo diesel deixando-os abaixo do nível de equilíbrio do mercado, eleva o bem-estar econômico total.

O tomador de decisões ou planejador social pode atingir o resultado ótimo. Uma maneira seria tributar os produtores de óleo diesel por litro vendido. O imposto deslocaria a curva da oferta do diesel para cima no montante do imposto. Se o imposto refletisse exatamente o custo social da poluição lançada na atmosfera, a nova curva de oferta coincidiria com a curva de custo social. No novo equilíbrio de mercado, as refinarias produtoras de diesel produziriam uma quantidade socialmente ótima de diesel. (MANKIW, 2005)

O uso de um imposto como esse, é chamado de internalização de uma externalidade; porque dá aos compradores e vendedores de um mercado um incentivo para que levem em conta os efeitos externos de suas ações. Essencialmente, as refinarias produtoras de óleo diesel levariam em conta os custos da poluição atmosférica ao decidir quanto óleo diesel ofertar, uma vez que o imposto faria com que elas pagassem por esses custos externos.

6.1.2. Externalidades Positivas

Embora algumas atividades imponham custos a terceiros, outras geram benefícios. Considere-se a possibilidade proposta deste estudo, que todos os ônibus movidos a diesel, tenham seu combustível substituído por etanol. Como o etanol representa uma alternativa menos poluente, provocando menos danos ambientais e à saúde, tem-se uma externalidade positiva.

A análise das externalidades positivas é semelhante à análise de externalidades negativas. Como mostra a figura 6.2, a curva de demanda não reflete o valor do bem para a sociedade. Com o valor social é maior do que o valor privado, a curva de valor social fica acima da curva de demanda. A quantidade ótima se localiza no ponto em que a curva de valor social e a curva de oferta (que representa os custos) se interceptam.

Novamente, o governo pode corrigir a falha do mercado induzindo os participantes do mercado a internalizar a externalidade. A reação apropriada no caso das externalidades positivas é exatamente oposta ao caso de externalidades negativas. Para deslocarem o equilíbrio de mercado social ótimo as externalidades positivas requerem um subsídio. Na verdade, essa é exatamente a política que o governo deveria adotar sempre.

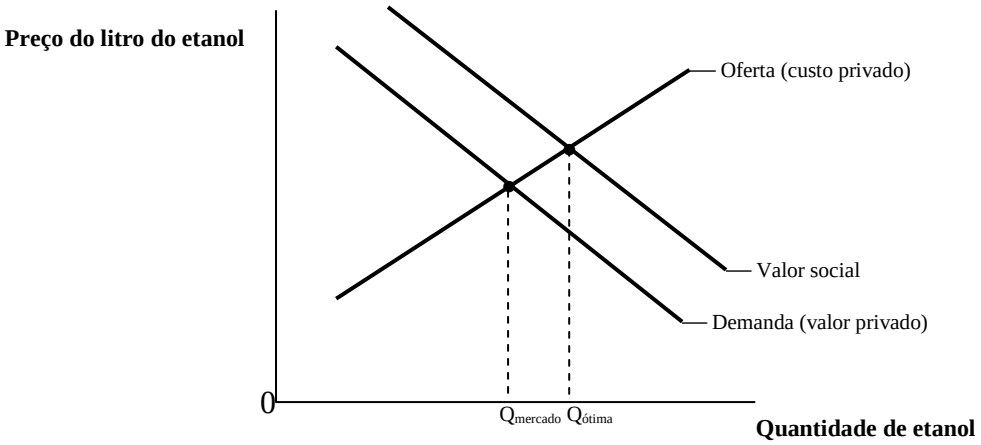


Figura 6. 2 – O etanol e o Ótimo Social

Fonte: Própria, adaptada de MANKIW (2005)

Portanto as externalidades negativas fazem com que os mercados produzam uma quantidade maior do que a socialmente desejável. As externalidades positivas fazem com que os mercados produzam uma quantidade menor do que a socialmente desejável. Para solucionar esse problema, o governo pode internalizar a externalidade tributando bens que trazem as externalidades negativas e subsidiando os bens que trazem as externalidades positivas. (MANKIW, 2005)

6.2. Aspectos Conceituais do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico ($VERA_{ar}$) – Externalidade da Poluição do Ar Atmosférico.

Segundo TOLMASQUIN,. et al (2000):

> *"O valor econômico de um recurso ambiental normalmente não é observado no mercado por intermédio de um sistema de preços; mas como os demais bens e serviços presentes no mercado, o seu valor econômico deriva de seus atributos, com a peculiaridade de que estes atributos possam estar ou não associados a um uso".*

Informa também que na literatura técnica, é comum que se considere o Valor Econômico do Recurso Ambiental – VERA de forma desagregada em Valor de Uso – VU, sendo este composto pelo uso direto, indireto e de opção e, Valor de Não – Uso – VNU, também denominado de Valor de Existência – VE.

MOURA, et al (2003), traz a conceituação de PEARCE, apud in MARQUES, (1997) onde os bens ambientais podem ser classificados em três categorias, quanto ao:

1. **Valor de Uso:** seriam aqueles referentes aos preços dos bens, naturais (madeira, minério, água – que passariam a ser cobrados; alimentos – peixes, frutos e fibras vegetais; ativos de biodiversidade – animais e plantas, animais de caça e produtos agrícolas, etc.), sendo também denominados de uso direto.

   Os de uso indireto seriam os de uso recreacional (um açude ou barragem utilizados para fazer e bem estar), o valor de recipientes de efluentes e resíduos (aterro sanitário, lagoa de depuração de esgoto), o valor de uma floresta como sumidouro de CO_2, como nutriente do solo, controle de erosão e mitigação do efeito estufa; etc.;

2. **Valor de Opção:** está relacionado à preservação do bem ambiental para uso futuro, seja este de forma direta ou indireta, seria um potencial de valor de uso ou um não – uso no presente para ser usado posteriormente; teria a mesma classificação dos de valor de uso, os quais seriam usados posteriormente;

3. **Valor de Existência:** seria um bem intangível ou de difícil mensuração, como a preservação de espécies em extinção, embora não se pretenda fazer uso deste atualmente ou não no futuro.

Ainda segundo MOURA, et al (2003), pode-se argumentar que:

> *"A economia usa a natureza como sua principal fonte de matérias primas e também como depósito (sorvedouro) dos resíduos gerados pelo homem em todas as suas atividades. Esse duplo serviço, é chamado de capital natural. A poluição é portanto, o uso exagerado da natureza como sorvedouro de resíduos e esgotamento dos recursos, ou seja, seu uso exagerado como fonte de matéria prima"*

Tal definição pode bem resumir o conceito de externalidade pela escassez dos recursos naturais, ou a externalidade gerada pelo excesso de poluentes, além da capacidade de depuração da natureza.

Quanto ao enfoque jurídico de valoração ambiental, encontra-se a opinião de PARAÍSO, (1997) apud in LEITE, (2003), onde aquela salienta que o objetivo da avaliação econômica dos recursos ambientais reside na necessidade de: *"se calcular o montante de ressarcimento devido à sociedade pelo dano causado ao meio ambiente ou para poder justificar o montante despendido na sua preservação"*

Tal conceito pode ser utilizado como justificativa econômica ambiental para que o Estado tome a decisão de intervir na provisão dos transportes públicos, com o objetivo de utilizar tecnologias mais limpas, mesmo que tenha de subsidiar tal opção de forma a não produzir iniqüidades em se tratando da tarifa do serviço público de transporte de passageiros por ônibus. Esta apresenta a metodologia sugerida por MACNELLY, apud in LEITE, (2003), que é similar a de TOLMASQUIM,. et al (2000), expressa na equação 6.1.

$$\boxed{VET = VU + VO + VE} \qquad \text{Equação 6.1}$$

Onde:

VET: representa o valor econômico total e é dado pela soma das seguintes variáveis e definições

VU: valor de uso, que é aquele atribuído ao meio ambiente pelas pessoas que fazem uso dos recursos naturais. Costuma ser dividido em uso do produto (valor dos recursos naturais negociados no mercado) e em uso de consumo (valor dos bens consumidos sem passar pelo mercado).

VO: valor de opção, que por sua vez, guarda relação com o risco da perda dos benefícios que o ambiente proporciona às presentes e futuras gerações.

VE: valor de existência, que se reporta a uma dimensão ética e, o valor atribuído simplesmente pelo fato do meio ambiente possuir certas qualidades, ainda que não possuam valor de uso atual e futuro.

De acordo com LEITE, (2003), o direito norte-americano utiliza três parâmetros básicos para a valoração econômica dos poluentes, a seguir:

a) Custo de restauração, reabilitação, recomposição dos recursos naturais ou aquisições dos mesmos;

b) Redução do valor desses recursos naturais considerando-se a recuperação do recurso para linha-base, se o dano não tivesse ocorrido.

c) Custo razoável de avaliação desses danos.

Por outro lado, MOTTA, (1997) introduz o assunto da valoração econômica questionado: *"Quais seriam as razões que geram a necessidade de se valorar as externalidades ou os custos ambientais?"*.

Este justifica argumentando que na medida em que se consegue valorar monetariamente o custo ambiental, permite-se aos tomadores de decisão, compararem este custo, com outros bons e serviços existentes na economia e, portanto auxiliá-los na decisão de alocar recursos, que são escassos, em medidas mitigadoras visando à redução ou eliminação das externalidades. Argumenta ainda que via de regra se faz uso das análises do tipo custo benefício, o que permitiria a quem toma a decisão (poder público), comparar valores similares, enquanto metodologia e valores monetários de forma a decidir por aquela alternativa que representasse os maiores benefícios e menores custos, que no caso de empresas representaria a maximização dos lucros. Entretanto, considera que *"a estimativa destes custos e benefícios nem sempre é trivial, pois requer primeiro, a capacidade de identificá-los e, segundo, a definição, a priori, de critérios que tornem as estimativas destes, comparáveis entre si e no tempo. Se estes custos e benefícios refletem os gastos a preços de mercado dos bens e serviços comprados ou vendidos, o processo de identificação e quantificação é mais simples e objetivo"*.

MOTTA, (1997) expõe que a ótica governamental em relação aos investimentos é proporcionar o bem estar à população através de bens e serviços. Em função da escassez de recursos públicos convém ao tomador de decisão racionalizar os investimentos que segundo MOTTA, (1997), *"podem ser auxiliadas por uma análise social de custo benefício"*, onde tal tipo de análise *"visa atribuir um valor social a todos os efeitos de um determinado projeto investimento ou política. Os efeitos negativos são encarados como custos e os positivos são tratados como benefício.*

Como se pretende comparar custos e benefícios, surge a necessidade de expressá-los em uma medida comum, ou seja, em um mesmo numerário ou unidade de conta. Por isso, estes custos e benefícios são expressos em termos monetários".

Pode-se notar que MOTTA, (1997), se mantém alinhado com os demais autores citados, quanto a caracterização da externalidade, enquanto custo social imposto pela sociedade em favor de poucos em detrimento de muitos, ao afirmar que *"os custos de degradação ecológica não são pagos por aqueles que a geram, estes custos são externalidades para o sistema econômico. Ou seja, custos que afetam terceiros sem a devida compensação. Atividades econômicas são desse modo, planejadas sem levar em conta essas externalidades ambientais e consequentemente, os padrões de consumo das pessoas são forjados sem nenhuma internalização dos custos ambientais. O resultado é um padrão de apropriação do capital natural, onde os benefícios, são providos para alguns usuários de recursos ambientais sem que estes compensem os custos incorridos por usuários excluídos. Além disso as gerações futuras serão deixados com um estoque de capital natural resultante das decisões das gerações atuais, arcando os custos que estas decisões podem implicar".*

Conforme a taxonomia definida para o Valor Econômico de Recurso Ambiental – VERA – este pode ser subdividido em:

- **VU –** Valor de Uso que é composto pelo uso direto, indireto e de opção;
- **VNU –** Valor de Não Uso, também denominado de Valor de Existência VE.

Assim sendo, qual seria a forma mais correta de se considerar o VERA do ar atmosférico?

Este poderia ser classificado como um Valor de Uso Direto ao ser utilizado como insumo não pago no processo de combustão dos combustíveis fósseis, pois sem o ar atmosférico não haveria a queima do combustível. Entretanto para MOTTA, (1997) o oxigênio do ar pode ser considerado como Valor de Uso Indireto, quando trata do recurso ambiental da biodiversidade. Poderia também ser considerado como Valor de Opção, pela necessidade de ser preservado ou, também, como valor de existência, pois sem ele ou fora do padrão de uso salutar, os humanos e animais são sobreviveriam na Terra. Deste modo, verifica-se que em sua classificação, existe uma certa subjetividade que, depende da ênfase, do foco da análise e da hipótese que o analista do estudo queira dar ao ar atmosférico.

Segundo OLIVEIRA JR., (2005), no caso específico, acredita-se que não seja fundamental a pré-classificação do ar, pois basta que se possa estimar o passivo ambiental de poluí-lo, bem como, discutir os mecanismos para que se reduza tal ação danosa, no que diz

respeito ao setor de transporte público de passageiros de ônibus; portanto pode-se buscar suporte na doutrina jurídica, o que pode ser útil no entendimento do seu uso enquanto recurso ambiental a ser valorado. De acordo com CRUZ, (2002), a composição do ar atmosférico *"retrata o padrão ideal. Esse ideal deve ser preservado ou, ao menos, deve servir como nota a ser atingida, uma vez que traduz o conceito de ar atmosférico, como matéria-prima da respiração dos seres vivos. Caso os elementos componentes [...], não guardem as proporções [...], haverá degradação da qualidade deste bem, a qual deverá ser combatida ao ultrapassar os limites de tolerância à contaminação atmosférica"*.

Neste caso os autores estariam subsidiando a classificação do Valor de Uso do Ar, como Valor de Opção ao mantê-lo para uso direto ou indireto em padrões adequados para esta e futuras gerações, em função da sua característica de essencialidade à vida, o que reforça o seu entendimento jurídico como bem ambiental a ser tutelado pelo Estado em conjunto com a sociedade, que segundo LEITE,. (2003) *"não pode ser rotulado como bem público, devendo sim, ao contrário, ser considerado um bem de interesse público, cuja administração, uso e gestão devem ser compartilhados e solidários com toda a comunidade, inesperados em um perfil de democracia ambiental"*. Portanto, acredita-se que não seja relevante classificar o ar atmosférico em sendo valor de uso direto ou indireto, ou valor de opção, o que importa é que se consiga estimar o real impacto da sua poluição para a sociedade de tal forma, que se passa valorar o dano a este bem ambiental de importância vital para os seres vivos e que compete ao Estado a sua tutela no sentido de evitar que o mesmo seja, degradado.

O Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas – IPEA e a Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP, realizaram um estudo denominado *"Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público"* que fornece custos diretos de poluição por tipo de poluente a partir de uma *"proxy"* de custos de poluição, embasados em fontes internacionais e adaptados à realidade brasileira. O IPEA (2001) apresenta os custos da poluição que foram obtidos a partir dos *"estudos elaborados por várias fontes. Os valores originais, expressos em US$ kg de emissão, foram recalculados levando-se em consideração a inflação sofrida pelo dólar americano no período de 2001 a 2009, de acordo com as etimativas do Federal Reserve Bank of St. Louis (2011), que foi de aproximadamente 24,11% e posteriormente transformados em reais. Como estes valores refletem os custos das sociedades européias e norte-americanas – e na ausência de estudos específicos sobre as condições brasileiras – estes foram reduzidos segundo a relação aproximada das rendas per capta brasileira e norte-americana"*. Tais valores foram atualizados para o ano de 2009 e

convertidos para reais por tonelada (R$/t), com o valor médio real frente ao dólar americano para o ano de 2009, de U$$ = R$ 1,73, obtendo-se os seguintes valores:

a) NO_x → US$ 1289,91/t = R$ 2.231,54/$_t$

b) NMVOC/HC → US$ 1.312,95/$_t$ = R$ 2.271,40/t

c) CO → US$ 218,82 /$_t$ = R$ 378,56/t

d) MP → US$ 1.048,05/$_t$ = R$ 1.813,13/t

Assim sendo a equação 6.2, expressa uma das maneiras de se estimar o custo social representado pelo passivo ambiental de sistemas de transportes públicos ou privados, onde será estimado apenas aqueles custos relativos a frota de ônibus na RMSP, que podem ser entendidos como o valor econômico do recurso ambiental do ar atmosférico, que é degradado pela emissão da frota, com efeitos globais e locais.

$$\boxed{VERA_{ar} = VERA_{ar\ local} + VERA_{ar\ estufa}} \qquad \text{Equação 6.2}$$

$VERA_{ar}$: Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico degradado pelas emissões da queima de combustíveis fósseis, da frota de ônibus na RMSP;

$VERA_{ar\ local}$: Parcela do Valor Econômico do Recurso Ambiental do ar atmosférico degradado pelas emissões da queima de combustíveis fósseis de efeito local, da frota de ônibus na RMSP;

$VERA_{ar\ global\ o\ estufa}$: Parcela do Valor Econômico do Recurso Ambiental do ar degradado pelas emissões da queima de combustíveis fósseis de efeito global ou estufa da frota de ônibus na RMSP;

Q_{GEL}: Quantidade de Poluente (Qi) dos Gases de Efeito Local – GEL's; expressa em unidade de medida (tonelada, quilograma ou gramas);

Q_{GEE}: Quantidade de Poluente (Qi) dos Gases de Efeito Global ou Estufa – GEE; expressa em unidade de Medida (tonelada, quilograma ou gramas);

Pr_{GE}: Preço Estimado do Poluente (Qi) dos Gases de Efeito Local – Gel; expresso em unidade monetária (R$ - Reais; US$ Dólares Americanos ou ∈ Euros);

Pr_{GEEi}: Preço Estimado do Poluente (Qi) dos Gases de Efeito Global ou Estufa – GEE; expresso em unidade monetária (R$ - Reais; US$ - Dólares Americanos ou ∈ - Euros);

Com as quantidades dos poluentes por tipo calculadas no capitulo 5 e valorados seus preços, é possível encontrar-se o custo da poluição do ar atmosférico devido a queima de combustível fóssil da frota de ônibus na RMSP bem como o custo dessa mesma poluição se o combustível fóssil fosse substituído pelo etanol.

6.2.1. Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Local – Custo Social da Externalidade Poluição do Ar Atmosférico de Efeito Local

Como visto anteriormente, existe um conjunto de poluentes que não são classificados como gases de efeito estufa – GEE_s – porém podem ser considerados como seus precusores. Para a valoração desses gases de efeito local – GEL_s – foram considerados os custos dos poluentes apresentados pelo IPEA (2001), conforme o apresentado no item 6.2 deste capítulo, atualizados para o ano de 2009, expressos em reais por toneladas ($R\$/_t$). A partir do total de poluentes locais emitidos pela frota de ônibus da RMSP, estimados no capítulo 5 e dispostos na tabela 6.1 que representa a situação em 2009 (cenário 0 – toda a frota movida a diesel), multiplicados de acordo com a estimativa de custo do IPEA (2001) para os poluentes GEL's, excetuando o custo do SO_x, (não disponível), foi estimado para a frota de ônibus a diesel, o passivo ambiental da poluição atmosférica local do modo ônibus, conforme a tabela 6.1.

Tabela 6. 1 – Emissão de Gases de Efeito Local – GEL's do Diesel (t/ano)

Diesel	Emissão de Gases de Efeito Local – GEL's do Diesel (t /ano)				
Ano	**NO_x**	**NMVOC(HC)**	**CO**	**MP**	**SO_x**
2009	20.000	4.200	27.000	1.000	8.412

Fonte: Própria; dados baseados nas quantificações das emissões da frota na RMSP – (2009 – cenário 0 - baseline)

Tabela 6. 2 – Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Local – $VERA_{ar\ local}$, para o Diesel em Reais (R$) de 2009

Diesel	$VERA_{ar\ local}$ para o Diesel, em Reais (R$) de 2009				
Ano	**NO_x**	**NMVOC(HC)**	**CO**	**MP**	**Total**
2009	44.630.800,00	9.539.880,00	10.221.120,00	1.813.130,00	66.204.930,00

Fonte: Própria; de acordo com a estimativa do IPEA (2001), correspondente ao ano de 2009 (cenário 0 - baseline)

Pode-se verificar, conforme o calculo acima (tabela 6.2), que o custo ambiental anual provocado pela frota de ônibus a diesel, em 2009 (cenário 0 - baseline), foi de R$ 66.204.930,00. Isto representa a estimativa do custo social da externalidade poluição do ar de efeito local, que a população da RMSP, reparte de forma equitativa, pois o ar sendo poluído, não existe ainda tecnologia para despoluí-lo, o que se traduziria também em custos, que somados aos externos, não se poderia definir quem estaria sendo mais ou menos penalizado em ter que suportar esses custos.

De maneira análoga, pode-se estimar o custo econômico dos poluentes locais ou o passivo ambiental da frota de ônibus da RMSP, caso o sistema fosse composto por ônibus movidos a etanol, para as condicionantes do Cenário 4, proposto no capítulo 5, explicitados anteriormente e dispostos na tabela 6.3.

Tabela 6. 3 – Emissão de Gases de Efeito Local GEL's do Etanol (t/ano)

Etanol	Emissões de Gases de Efeito Local – GEL's do Etanol (t/ano)				
Ano	**NO_x**	**NMVOC(HC)**	**CO**	**MP**	**SO_x**
2009	20.000	4.900	32.000	650	-

Fonte: Própria; dados baseados nas quantificações das emissões da frota na RMSP – (2009 – cenário 4)

A partir do total de poluentes locais emitidos pela frota de ônibus, supondo-se todo o diesel substituído por etanol em 2009 (cenário 4), pode-se estimar o custo social da externalidade poluição do ar de efeito local, conforme explicitado na tabela 6.4, para o etanol, utilizando-se a estimativa de custo do IPEA (2001) para os poluentes GEL's.

Tabela 6. 4 – Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Local $VERA_{ar\ local}$ para o Etanol, em Reais (R$) de 2009

Diesel	$VERA_{ar\ local}$ para o Etanol, em Reais (R$) de 2009				
Ano	**NO_x**	**NMVOC(HC)**	**CO**	**MP**	**Total**
2009	44.630.800,00	11.129.860,00	12.113.920,00	1.178.534,50	69.053.114,50

Fonte: Própria; de acordo com a estimativa do IPEA (2001), correspondente ao ano de 2009 (cenário 0)

Como era de se esperar a Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Local, para o etanol (cenário 4, toda a frota movida a etanol), pelas próprias emissões estimadas nas tabelas 5.16 a 5.20 do capítulo anterior, resultou num incremento de aproximadamente 4,3%, em relação a Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico para o diesel (cenário 0 – toda a frota movida a diesel - Baseline).

Entretanto deve-se salientar que devido a indisponibilidade, no mercado internacional, do custo da poluição do ar, provocada pelo óxido de enxofre (SO_x), não se estimou a parcela relativa ao Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar, para esse poluente. Logo pode-se deduzir que esse incremento de 4,3% efetivamente pode ser desconsiderado, face ao fato de que a estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Local será significativamente diminuída em relação ao diesel, quando a parcela correspondente ao SO_x, puder ser estimada. O etanol (principalmente o da cana-de-açúcar) apresenta como já visto anteriormente 0% (zero por cento) de emissão desse poluente, o que representa um ganho ambiental considerável.

Portanto, mesmo com os dados apresentados, a substituição dos combustíveis proposta neste estudo, torna-se uma opção interessante para a RMSP.Ainda que não se possua valor de mercado para certos poluentes, seus efeitos serão minimizados pela adoção de soluções menos poluentes.

6.2.2. Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Estufa ($VERA_{ar}$ estufa) – Custo Social da Externalidade Poluição do Ar Atmosférico de Efeito Estufa

6.2.2.1. Fatores de Ponderação dos Gases de Efeito Estufa (GEEs) – Potencial de Aquecimento Global (PAG) por poluente pelo IPCC 2001

No sentido de se padronizar o valor da contribuição dos gases de efeito estufa (GEE's) para o aquecimento global, foi criado pelo IPCC (2001) um índice chamado Potencial de Aquecimento Global – PAG (Global Warming Potencial – GWP) que representa o potencial que um quilograma (kg) de gás estufa possui para reter a radiação infravermelha (direta ou indiretamente) quando se compara com um quilograma (kg) do dióxido de carbono (CO_2). O PAG é calculado em diferentes períodos de tempo, 20, 100 e 500 anos, que demonstram o efeito dos GEE's na atmosfera, ao longo do tempo (IPCC, 2001). Para fins de análise, adota-se o valor referente ao período de 100 anos.

Os primeiros estudos do IPCC (1990), apresentaram valores do índice PAG dos GEE's, tanto para os gases de efeito estufa, quanto para aqueles considerados seus precursores. Mas segundo EMCT (2001) – European Conference of Ministers of Transport – a quantificação dos demais gases precursores (CH_4 – metano e N_2O – óxido nitroso), seria de difícil precisão e as atualizações mais recentes deste valores não consideram mais os PAGs

destes gases. A tabela 6.5 apresenta os valores do PAG do IPCC (2001), onde além dos gases de efeito estufa, aparecem o CO, o NBMVOC (HC) e o NO_2.

Tabela 6. 5 – Índice PAG dos Poluentes de Efeitos Globais e Locais do IPCC (2001)

Gases de Efeitos Locais e Globais	Índice PAG					
Período de tempo	**CO_2**	**CH_4**	**N_2O**	**NO_2**	**NMVOC(HC)**	**CO**
20 anos	1	56	280	30	31	7
100 anos	1	21	310	7	11	3
500 anos	1	6,5	170	2	6	2

Fonte: Ribeiro, et al (2000) e ECMT (2001)

Quando se multiplica o índice de PAG pelas quantidades em gramas (g) ou toneladas (t) dos gases CO (dióxido de carbono) pelo peso igual a 1, o CH_4 (metano) com peso igual a 23 e o N_2O (óxido nitroso) com peso igual a 296, obtêm-se o valor denominado de $CO_{2\ eq}$ (CO_2 equivalente) que é utilizado na compra e venda do direito de poluir (IPCC, 2001). Desse modo, faz-se a distinção entre GEE's e os GELs, os primeiros compreendidos pelo Protocolo de Quioto, os demais não.

De acordo com OLIVEIRA JR. (2006), pode-se afirmar que uma tonelada de dióxido de carbono (CO_2) provocada pela queima do diesel, contém aproximadamente 67,5 g de metano (CH_4) e 8,1 g de dióxido nitroso (N_2O). Desse modo, estima-se que 2,28 $MtCO_2$ (mega toneladas de CO_2), correspondentes às emissões de gases de efeito estufa (GEEs) da frota de ônibus urbanos da RMSP (calculados no capítulo 5, item 5-4-5), para o cenário 0 (baseline scenário), que considera toda a frota movida a diesel, emitam 154 toneladas de CH_4 (metano) e 18,5 toneladas de N_2O (óxido nitroso) anualmente. De posse desses dados e utilizando-se o índice PAG (Global Warming Potencial – GWP), para cada um dos Gases de Efeito Estufa (GEEs), pode-se avaliar o valor denominado de CO_{2eq} (CO_2 equivalente), expresso na tabela 6.6 que é o parâmetro utilizado na compra e venda do "direito de poluir" (IPCC, 2001).(ver anexo VII).

Tabela 6. 6 – Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs) e CO_{2eq} do Diesel (t/ano)

Cenário 0 (baseline scenário)	Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs) e do CO_{2eq} do Diesel (t/ano)			
ano	CH_4	N_2O	CO_2	CO_{2eq}
2009	154	18,5	2.280.000,00	2.289.018,00

Fonte: Própria, de acordo com Oliveira Jr. (2006)

6.2.2.2. A Questão Conceitual da Valoração Econômica do Custo da Poluição de Efeito Estufa

Os mecanismos criados pelo Protocolo de Quioto não podem ser utilizados indiscriminadamente por qualquer país. Existem já delineadas, no próprio documento, algumas regras que se aplicam da seguinte forma:

1°) Mercado Internacional de Emissões – MIE: são permissões de unidades de emissão transferidas ou adquiridas pelos países do Anexo B (Tabela 6.7) Baseiam-se nas metas individuais que cada país se comprometeu em reduzir no período acordado.

2°) Implementação Conjunta – IC (Joint Implementation – JI): são projetos desenvolvidos no âmbito dos países do Anexo B (Tabela 6.7), onde os créditos de emissões gerados nos projetos podem ser deduzidos do país onde o projeto está sendo executado e transferido o crédito ao país que está investindo no projeto, onde as emissões globais do Anexo B não são afetadas pela transação. Para o país-sede do projeto, as vantagens estão na redução da poluição local e na transferência e conhecimento de tecnologia "amiga" do clima. Neste caso, além dos países do Anexo B, suas empresas privadas também podem negociar tal transferência de tecnologia e créditos de emissões dos GEEs.

3°) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (Clean Development Mechanism – CDM): tem semelhança com o mecanismo da implementação conjunta, mas o país-sede do projeto deve ser um país não membro do Anexo B, países em desenvolvimento (não obrigado a reduzir as emissões) e os certificados de emissão somente podem ser obtidos a partir da redução dos GEEs, ou seja, requerem tecnologias "amigas" do clima. Tais créditos de emissões podem ser adquiridos pelos países do Anexo B, utilizados para a redução das suas quantidades de emissões acordadas no Protocolo pelos países membros do Anexo B. Podem participar desse processo as empresas públicas e privadas dos respectivos países.

A questão central deste problema está relacionada a que taxa ou valor de mercado poderá se valorar a poluição para que se obtenha um meio ambiente ideal, mesmo num nível subótimo e a um menor custo (IEA, 2001). Por outro lado, o IEA (2001) argumenta que tal limite ótimo de redução das emissões em se tratando da *"mudança climática não pode ser determinado nos dias de hoje devido à incerteza sobre os danos causados pelas mudanças climáticas, sem mencionar a distribuição dos impactos nas regiões do planeta e os efeitos inter-geracionais, que permitam agregá-los num nível global"*.(OLIVEIRA JR., 2006)

Embora se busque um valor futuro de mercado das emissões ou a que valor se deve considerar para os GEEs, sempre se estará trabalhando num nível subótimo e, hipoteticamente, se aceita que este preço represente o menor custo marginal a um menor preço (IEA, 2001). A estimativa a ser considerada nos cenários será o preço do CO_{2eq}, que reflete um valor monetário considerado como o menor custo para o maior benefício, usando-se assim a teoria microeconômica dos custos e benefícios marginais.

6.2.2.3. Estimativa do Preço Marginal de $CO_{2eq.}$, segundo o Mercado Internacional de Emissões (MIE)

Mesmo em época anterior à entrada em vigor do Protocolo de Quioto, vários países e empresas estavam utilizando-se dos seus mecanismos para comercializar os certificados de reduções das emissões. VROLIJK (2003) enumera quais seriam os títulos comercializados no mercado internacional de emissões, onde se aproveita para descrever seus significados, são eles:

a) Reduções Certificadas de Emissões – RCEs (Certified Emission Reductions – CERs): são as permissões produzidas a partir dos projetos na modalidade de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL).

b) Unidades de Redução de Emissões – UREs (Emission Reduction Units – ERUs: são as permissões obtidas nos projetos da modalidade de implementação conjunta (IC).

c) Unidades de Quantidades Especificadas – UQEs (Assigned Amount Units – AAUs): trata-se da quantidade dos GEEs que cada país do Anexo B (tabela 6.7) do Protocolo de Quioto é obrigado a emitir no período de compremetimento de 2008 a 2012, onde a unidade representa uma tonelada de $CO_{2eq.}$

d) Unidades Removíveis – URs/Removal Units – RMUs: são as permissões obtidas a partir dos projetos voltados para o seqüestro e estocagem de CO_2.

Segundo POINT CARBON (2003) os primeiros entendimentos entre compradores e vendedores das Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) com o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) se dão em torno de acordo entre as partes, na forma de um Memorando de Entendimento (MEs), que não obriga a aquisição ou mesmo a venda entre as partes. Simplesmente demonstra uma intenção em adquirir ou vender as RCEs. A existência desses acordos prévios entre as partes geralmente ocorre de forma sigilosa, pois o país investidor deseja deixar de fora outros concorrentes, ou, simplesmente devido ao fato de que os Memorandos de Entendimento (MEs), são parte de uma negociação não concluída. Tal característica, explica em parte a dificuldade em se obter informações sobre o preço de mercado da tonelada de $CO_{2eq.}$ De qualquer forma, a partir de entrevistas realizadas pela POINT CARBON (2003), junto aos países compradores de RCEs que se encontram em processo de negociação dos MEs identificou-se um intervalo de € 3,00 a € 6,50 t/$CO_{2eq.}$. Na tabela 6.7, encontra-se os países do Anexo B do Protocolo de Quioto, potenciais compradores "direito de poluir", utilizando-se o MDL.

Tabela 6. 7 - Países em Negociação dos MEs com o Mecanismo MDL

Países do Anexo B do Protocolo de Quioto	Países em Processo de Negociação dos MEs
Áustria	Discussões com a Bósnia e Herzegovina.
Canadá	Negociações com a Costa Rica, Colômbia, Nicarágua, Tunísia, Coréia do Sul, mas sem indicação dos volumes.
Dinamarca	Negociações com a Malásia, Tailândia. Discussões com a China, Indonésia e Maldávia e possibilidades de entendimentos com o Vietnã, mas sem indicação dos volumes.
Comunidade Européia	Nenhuma informação disponível.
Finlândia	Negociação com a Costa Rica, El Salvador e Nicarágua e cooperação, via MDL, com a Índia e a China, também sem a indicação de volumes.
França	Negociação com a Colômbia e Marrocos, sem indicação dos volumes.
Alemanha	Nenhuma informação disponível, mas a GTZ tem iniciativas com a China, Mali, Jordânia e Colômbia.
Itália	Contratos assinado ou em vias de assinatura com Argélia, China, Cuba, Egito, Israel, Maldávia, Chipre, Marrocos, El Salvador e Sérvia. Em entendimentos com o Brasil

continua..

continuação...

Tabela 6.7 - Países em Negociação dos MEs com o Mecanismo MDL

Países do Anexo B do Protocolo de Quioto	Países em Processo de Negociação dos MEs
Japão	Sem informações disponíveis, mas prioridade é dada aos países asiáticos e à China.
Holanda	Negociações com a Colômbia (25 $MtCO_{2EQ}$), Costa Rica (30 $MtCO_{2EQ}$), El Salvador (5 $MtCO_{2EQ}$), Panamá (20 $MtCO_{2EQ}$), Uruguai (5 $MtCO_{2EQ}$), Bolívia (10 $MtCO_{2EQ}$), Nicarágua (5 $MtCO_{2EQ}$), Guatemala e Honduras. Possibilidades com as Filipinas e contrato em negociação com a Indonésia.
Nova Zelândia	Sem informações disponíveis
Noruega	Sem informações disponíveis
Suécia	Sem informações disponíveis, mas sem descartar tal opção de negociação.
Suíça	Iniciativa com a Costa Rica, mas se encontra paralisada. Iniciativas com a China, mas sem a indicação dos volumes.
Reino Unido	Sem informações disponíveis

Fonte: POINT CARBON (2003)

A primeira versão da vinculação entre o mercado europeu de emissões e os mecanismos do Protocolo de Quioto (IC e MDL) foi através da diretiva da Comissão Européia de 23/07/2003, denominado Diretiva de Mercado de Emissões (Emissions Trading Directive), o que permite que *"as empresas européias convertam créditos a partir das reduções de emissões de projetos em todo o mundo, conforme definido no mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) e da implementação conjunto (IC) do Protocolo de Quioto, dentro das cotas válidas para o mercado europeu de emissões"* (VROLIJK, 2003).

VROLIJK (2003) estima que no primeiro período de abatimento (2008 a 2012) do Protocolo de Quioto, o total de redução anual de emissões seja da ordem de 700 a 800 $MtCO_{2eq.}$. Cerca da metade deste total seria proveniente do setor privado. Entretanto, o POINT CARBON (2003) pondera que os mecanismos ou fontes de financiamento desta redução estariam em competição, o que implica um preço baixo na redução em curso. Os projetos do tipo MDL devem ter baixo custo, enquanto os projetos do tipo IC nas economias em transição, nas ações domésticas e no mercado internacional de emissões, devem ser mais caros. Ambos, o preço e a política irão ditar onde estarão as fontes de redução de acordo com os mecanismos disponibilizados pelo Protocolo de Quioto. Argumenta, também, que devido

ao fato de o preço ser importante atributo do mercado de emissões e em virtude das incertezas de mercado e do período de comprometimento a partir de 2008, os preços deve apresentar-se muito baixos.

Dois outros compradores institucionais de emissões estão negociando as reduções de emissões no âmbito do mercado internacional. O Banco Mundial através do Fundo Protótipo de Carbono – FPC (Prototype Carbon Fund – PCF) e o Governo Holandês, mediante o próprio fundo de Carbono denomiando The Netherlands Clean Development Mechanism Facility (NCDMF). De acordo com VROLIJK, (2003), as duas instituições estão *"construindo um abrangente conjunto de projetos de redução, consequentemente com capacidade de absorver certos riscos associados com o início do mercado de emissões. Entrentanto, ambos os compradores estão comprando na base do pagamento com contra-entrega"*.

Tanto o Banco Mundial quanto o Governo Holandês realizam sondagens do potencial do projeto, no sentido de identificar se ele enquadra-se nas regras de financiamento. O fundo de carbono holandês disponibiliza um formulário denominado Project Idea Note (PIN), onde o propoente expõe a proposta do projeto incluindo informações técnicas e econômicas que permitam uma pré-avaliação. Dentre os tipos de projetos elegíveis pelo fundo do carbono holandês, consta, como exemplo do setor transportes, a utilização do transporte público por ônibus movido a gás natural. Este também limita o preço de compra da tonelada de $CO_{2eq.}$ em € 5,50/t$CO_{2eq.}$ Para valores superiores, deve ser justificada a significativa contribuição do projeto na modalidade MDL, para o desenvolvimento sustentável do país-sede (países não-membros do Anexo B do Protocolo) e de comum acordo com o Governo Holandês (NCDMF, 2004).

No primeiro semestre de 2004, o Projeto TransMilênio (capítulo 2, item 2-4) submeteu ao Protocolo de Quioto uma proposta de metodologia para a obtenção de permissão de emissões, via modalidade MDL, tendo a Holanda como país potencial comprador das Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), mediante o ME.

KAREKEZI, et al (2003) apresentaram o Sistema de Transporte Rápido por Ônibus na cidade de Bogotá, na Colômbia, internacionalmente conhecido como Projeto TransMilênio, como uma estratégia de redução do congestionamento do tráfego e das viagens por automóvel, pelo incentivo ao uso do transporte público por ônibus movido a "diesel**"**. Foi então criada a Empresa Distrital de Transporte do Terceiro Milênio TransMilênio S.A., dotada de personalidade jurídica de direito privado, e, portanto, com autonomia administrativa, financeira e orçamentária (TRANSMILENIO, 2004). A lei de criação da empresa que a

caracteriza como economia mista, onde o Estado detém o controle acionário, é que possibilita a participação de capital privado na firma de cotas e na sua administração.

A Empresa TransMilênio S. A. e a Corporación Andina da Fomento – CAF (uma instituição de financiamento multilateral venezuelana) apresentaram uma proposta metodológica para financiar o Projeto TransMilênio, através da modalidade MDL do Protocolo de Quioto, junto ao órgão executivo de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (Clean Development Mechanism Executive Board – CDM/EB), que é credenciado pela Conferência das Partes (COP) para avaliar as propostas submetidas ao Protocolo, com o objetivo de transacionar as permissões abatidas pelo projeto proposto e de acordo com as regras do MDL.

Na metodologia proposta em TRANSMILENIO (2004), observa-se que foi seguida a Metodologia IPCC (1996) para o cálculo dos quantitativos dos GEEs, obtidos a partir da queima dos combustíveis fósseis pela quantidade de carbono existente nos combustíveis e a sua transformação em CO_2, e ponderados pelo PAG, para a obtenção de CO_{2eq}. Mas esta não atualizou os índices pelo PAG 2001 e usou ainda aqueles referentes ao PAG 1996, bem como para os GEEs utilizou os fatores de emissão do Inventário de Emissões dos GEEs do Canadá (Canada's Green house Gas Inventories) ao invés dos próprios valores sugeridos em IPCC (1996). Esta propunha que os ganhos ambientais se davam em razão da demanda de passageiros do transporte privado, ou seja, a redução no consumo da gasolina pela redução das viagens individuais motorizadas, pelo consumo do "diesel" no transporte público por ônibus, sem tecer comentários quanto à utilização de outro energético no modo ônibus, por exemplo, etanol, biodiesel ou gás natural veicular. Argumentava que a categoria da metodologia sugerida não se enquadrava nas atividades de projetos preexistentes e desta forma recomendou que sua proposta fosse classificada como um projeto em *"eficiência energética e mudança modal no setor de transporte urbano público de passageiro"*. Caso tivesse optado pela de etanol, biodiesel ou gás natural veicular, estaria automaticamente enquadrado dentro dos projetos pré-classificados pelo PIN do Fundo Holandês de Carbono (NCDMF). Entretanto, a proposta não foi referendada pelo órgão executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (Clean Development Mechanism Executive Board – CDM/EB), tendo sido recusado na 15ª reunião ocorrida em setembro de 2004.

Em 2000, a Corporación Andina de Fomento (CAF) criou o Programa Latino-Americano de Carbono na sua estrutura administrativa. É um programa pioneiro no mercado de redução das emissões dos GEEs na América Latina e Caribe. A CAF juntamente com a

empresa TransMilênio S.A., apresentavam-se como empresas proponentes neste projeto MDL do setor de Transportes (Project Activit Host Company) e propuseram a Holanda (Anexo B Project Sponsor The Project Activity) como o país membro do Anexo B do Protocolo de Quioto, através do Ministério da Habitação, Planejamento Espacial e Ambiental do Governo Holandês e do seu Fundo de Carbono (The Metherlands Clean Development Mechanism Facility – NCDMF), com a intenção de adquirir as Reduções Certificadas de Emissões – RCEs (Certified Emission Reductions – CERs) obtidas pelo TransMilênio (TRANSMILENIO, 2004).

> Este argumentava que *"a receita da venda das reduções das emissões pode promover uma fonte adicional de recursos e um esforço na busca de novas fontes de financiamento, diminuindo os riscos da descontinuidade do projeto da falta de recursos municipais. De outro lado, o fato do projeto possuir um adicional de componente ambiental o torna atrativo aos investidores, como a CAF, que avaliou e financiou o projeto, não somente pelos seus aspectos de múltiplos benefícios sociais, mas também, pelo componente do MDL que foi identificado no projeto"*.

Embora quem apresentasse esses argumentos relacionando a compra e venda da redução das emissões, inclusive apontando parceiros, não foi possível identificar na proposta enviada qualquer citação do valor de venda ou preço da tonelada de CO_{eq} ou o montante do negócio que se pretendia transacionar na modalidade MDL (Clean Development Mechanism Executive Board – CDM/EB) aprovasse a metodologia submetida. Mas, por se tratar do Governo Holandês, acredita-se que o valor a ser negociado ficasse em torno de € 5,50 t/CO, o que pode servir de parâmetro para outros projetos do setor de transportes, no âmbito do MDL do Protocolo de Quioto, para países latino-americanos, inclusive quanto à análise do potencial da frota de ônibus urbanos da RMSP, sendo este valor o mais indicado do que qualquer outro valor médio obtido a partir de referências internacionais. Embora tal proposta tenha sido recusada, fica o exemplo de que o setor de transportes poderá participar do mercado de Reduções Certificadas de Emissões – RCEs (UNFCC, 2004) e é isso que se espera com a substituição do diesel por etanol de cana-de-açúcar, proposta neste trabalho, para a frota de ônibus da RMSP.

Na tabela 6.8 disponibilizam-se informações de como se pode negociar neste mercado e quais seriam os potenciais para comprar as emissões abatidas em projetos de MDL nos países em desenvolvimento, inclusive o Brasil.

Tabela 6. 8 – Países do Anexo B e Preferências em Relação ao Mercado de Emissões

Países do Anexo B do Protocolo de Quioto	Quantidade de $MtCO_{2EQ}$ (2008 a 2012)	Mecanismos do Protocolo de Quioto	Projetos Preferenciais	Países Preferenciais
Áustria	20 a 30	IC e MDL	Eficiência energética. Energia renovável, mas sem interesse em sumidouros	Sem preferência declarada, mas preferem a IC e países europeus
Canadá	50	MDL, IC, MIE	Sem preferência Decisão das empresas	Decisão das empresas canadenses, mas na prática a América Latina.
Dinamarca	6,27	MDL e IC	Energia renovável, mudança de combustível e co-geração.	Sem preferências no momento.
Comunidade Européia	Sem definição, vinculada a proposta.	Vinculada a proposta	Vinculada a proposta, mas preferem os sumidouros e grandes projetos hidroelétricos	Sem preferências no momento.
Finlândia	A ser definido	IC	Sem interesse em sumidouros. Foco em baixo preço e larga experiência.	Sem preferência oficial, mais nas Américas e Ásia
França	A ser definido	Sem definição, mas encoraja as empresas a comprarem.	Sem preferência.	Países africanos.
Alemanha	Sem definição, mas encoraja as empresas a comprarem.	Sem definição, mas encoraja as empresas a comprarem.	Eficiência energética, Energia Renovável, mas sem interesse em sumidouros.	América Latina e Ásia
Itália	60	IC e MDL	Energia renovável (biomassa), eficiência energética, gás natural para energia.	Sem preferência.
Japão	95	IC e MDL	Sem preferência, prioriza tecnologia japonesa em eficiência energética e energia renovável.	Países asiáticos e a China.
Holanda	67	MDL	Energia renovável (biomassa), Eficiência energética, Gás natural para energia, com restrições aos sumidouros	Sem preferência oficial, mas na América Latina e Ásia.
Nova Zelândia	Sem definição, mas encoraja as empresas a comprarem	Sem definição.	Sem definição	Sem definição.
Noruega	0 a 13	Sem definição.	Provavelmente com restrições aos sumidouros.	Sem definição.
Suécia	A ser definida em 2004.	A ser definido em 2004	Energia renovável.	Brasil, Ásia, África.
Suíça	5	IC e MDL	Sem definição, mas com foco em energia renovável.	Índia, China e Brasil.
Reino Unido	Sem definição, mas encoraja as empresas a comprarem	Sem definição.	Sem definição.	Sem definição.

Fonte: POINT CARBON (2003).

Como se pode observar, o Brasil desponta como opção de interesse em alguns países ou empresas investidoras na compra de CO_{2eq}, através do mecanismo MDL do Protocolo de Quioto, bem como toda a América Latina, o que representa uma oportunidade de negócios, onde o setor de transportes não pode ficar ausente.

6.2.2.4. Cálculo do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Estufa ($VERA_{ar\ estufa}$), Para o Cenário 0 (baseline scenário) e 4.

No item 6.2.1 deste capítulo, calculou-se o $VERA_{ar\ local}$ para os Cenários 0 (baseline scenário) e 4; na sequência será apresentada a estimativa do $VERA_{ar\ estufa}$ para a frota de ônibus urbanos da RMSP nos mesmos cenários.

Sabe-se que as 2,28 $MtCO_2$ emitidas pela frota no Cenário 0 (avaliadas no capítulo 5 item 5.4.5) correspondem a 2.289.018,00 toneladas de CO_{2eq}; conforme calculado no item 6.2.2.1, deste capítulo de acordo com o índice PAG (Global Warming Potencial – GWP). Em seguida estima-se os custos da poluição atmosférica do efeito estufa do modo ônibus para 2009, a partir de valores monetários em reais (R$), anualizados e com base no valor da tonelada de dióxido de carbono equivalente (t/CO_{2eq}) de € 5,50 t/CO_{2eq}.

Tal valor foi estabelecido como preço de compra definido pelo Fundo Holandês de Carbono (The Netherlands Clean Development Mechanism Facility – NCDMF) para aquisição de Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), tendo a cotação média do euro (€) em relação ao real (R$) valor igual a 1€ = R$2,22 (cotação relativa ao último trimestre de 2009 – Banco Central do Brasil 29/12/2010, conforme apresentado anteriormente).

Pelos motivos elencados no item 6.2.2.2 deste capítulo adotou-se tal valor de referência para a estimativa do passivo ambiental da frota de ônibus urbanos a diesel da RMSP no que tange aos GEEs, multiplicado pelo total de tCO_{2eq}, o que pode ser vizualizado na tabela 6.9, abaixo:

Tabela 6. 9 – Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Estufa ($VERA_{ar\ estufa}$) para o Diesel, em Reais (R$) de 2009.

Cenário 0 (baseline scenário)	$VERA_{ar\ estufa}$ do Diesel em Reais (R$) de 2009
Ano 2009	27.948.909,78

Fonte: Elaboração própria

De maneira análoga, será apresentado o valor estimado do custo econômico dos poluentes de efeito-estufa da frota de ônibus urbanos da RMSP, caso o sistema fosse composto por ônibus movidos a etanol, o que representa o passivo ambiental para as condições do Cenário 4, com o mesmo valor do € 5,50/tCO_{2eq}.

Sabe-se que de acordo com a avaliação das emissões de CO_2 para o Cenário 4 (toda a frota movida a etanol) no item 5.4.5 do capítulo 5, o valor estimado foi de 1,17 Mt de CO_2, que corresponde a 51% da s emissões de CO_2 provocadas pela queima do diesel, assim sendo, pode-se estimar o valor do $VERA_{ar\ estufa}$ para o etanol, conforme a tabela 6.10

Tabela 6. 10 – Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Estufa ($VERA_{ar\ estufa}$) para o Etanol, em Reais (R$) de 2009.

Cenário 0 (baseline scenário)	$VERA_{ar\ estufa}$ do Etanol em Reais (R$) de 2009
Ano 2009	14.253.943,99

Fonte: Elaboração própria

Confrotando-se os dados das tabelas 6.9 e 6.10, pode-se estimar qual seria o ganho econômico possível de se obter pela substituição do diesel pelo etanol, em relação ao Cenário 0 (baseline scenário) e 4, de acordo com o valor de mercado da tCO_{2eq} adotado a partir dos GEEs, resultando a tabela 6.11.

Tabela 6. 11 – Estimativa da Redução do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico do Efeito Estufa ($VERA_{ar\ estufa}$) na Substituição do Diesel pelo Etanol na Frota de Ônibus na RMSP, em Reais (R$) de 2009.

Cenário 0 (baseline scenário)	Estimativa da Redução do $VERA_{ar\ estufa}$ na Substituição de combustíveis em Reais (R$) de 2009
Ano 2009	13.694.965,79

Fonte: Elaboração própria

Em termos absolutos, o valor salvo pela redução da poluição de efeito estufa (tabela 6.11), como se pode observar foi de R$ 13.694.965,79 no valor do $VERA_{ar\ estufa}$, isto representa como visto anteriormente um percentual de redução de 49% no passivo ambiental a favor do etanol, quando comparado ao diesel, no que se refere a CO_{2eq}. Assim sendo, considera-se esse valor anual extremamente representativo e acredita-se que esse montante seja suficiente para isoladamente alavancar recursos para a substituição, mesmo que parcial, do diesel pelo etanol na frota de ônibus da RMSP.

6.2.3. Cálculo da Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico ($VERA_{ar}$), para o Cenário 0 (baseline scenário) e 4

Ao se definir o valor da tonelada do dióxido de carbono equivalente ($tCO_{eq.}$) e estimado o valor correspondente ao $VERA_{ar\ estufa}$, observa-se que em função da cotação adotada de € 5,50 $tCO_{eq.}$ para o ano de 2009 o valor do passivo ambiental dos GEEs, seria de 29,68% do total estimado R$ 94.153.839,78, ou seja, menos de 1/3 do valor estimado. A principal parcela do custo ambiental da poluição atmosférica da frota de ônibus urbanos da RMSP, seria decorrente dos GELs, que corresponderiam a 70,32%. Seus valores absolutos estão dispostos na tabela 6.12.

Tabela 6. 12 – Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico ufa ($VERA_{ar}$) para o Diesel, em Reais (R$) de 2009.

Cenário 0 (baseline scenário)	$VERA_{ar\ local}$	$VERA_{ar\ estufa}$	$VERA_{ar}$
Ano	GELS	GEEs	Total
2009	66.204.930,00	27.948.909,78	94.153.839,78

Fonte: Elaboração própria

No caso do Cenário 4, o valor percentual correspondente ao passivo ambiental dos GEEs, seria menor que o Cenário 0, com valor igual a 17,11% do valor estimado de R$ 83.307.058,49, ou seja, menos que 1/5 do valor global. A principal parcela da poluição atmosférica, também será decorrente dos GELs que corresponderiam a 82,89%. Seus valores absolutos estão dispostos na tabela 6.13.

Tabela 6. 13 – Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico ($VERA_{ar}$) para o Etanol, em Reais (R$) de 2009.

Cenário 4 (baseline scenário)	$VERA_{ar\ local}$	$VERA_{ar\ estufa}$	$VERA_{ar}$
Ano	GELS	GEEs	Total
2009	69.053.114,50	14.253.943,99	83.307.058,49

Fonte: Elaboração própria

Nota-se que quando se compara as tabelas 6.12 e 6.13, a principal mudança dos valores percentuais decorre da alteração dos poluentes reduzidos ou aumentados. Verifica-se que os GEEs têm seu percentual diminuído e os GELs, o percentual aumentado, como já era de se esperar conforme as estimativas das emissões do capítulo 5, discutidas no item 5.4.6.

Mesmo com o aumento do percentual dos GELs, o valor monetário total reduzido do ar atmosférico, resultante da substituição de combustíveis (diesel-etanol) na frota de ônibus urbanos da RMSP, proposta no Cenário 4, resulta num valor menor (R$ 83.307.058,49), quando comparado com o valor monetário total relativo ao Cenário 0 (R$ 94.153.839,78). Uma redução de aproximadamente 11,52%, anualmente correspondendo a um valor monetário de R$ 10.846.781,29, isto só em termos de Valoração do Recurso Ambiental Ar Atmosférico.

Por outro lado tal realidade conjuntural remete ao fato de que somente os GEEs se encontram valorados economicamente, em termos de mercado internacional e com baixo valor de mercado da tonelada de dióxido de carbono equivalente ($tCO_{2eq.}$), neste cenário de início da implementação do Protocolo de Quioto. Ou seja, os valores reduzidos do passivo ambiental refletem as quantidades amortizadas pela troca do energético versus o valor econômico que o mercado de emissões atribuiu ao mesmo. Os GELs no entanto não teriam correspondente econômico no mercado internacional.

De qualquer forma, ao desagregar tais componentes do custo do passivo ambiental atmosférico do setor de transportes, pode-se contribuir para a sensibilização do tomador de decisão, quanto a necessidade de investimentos em tecnologias menos poluentes, ao dispor da informação do custo social, causado pela atividade de transporte público de passageiros por ônibus expresso monetariamente em termos do $VERA_{ar}$ desagregado em seus componentes de efeito local e estufa.

6.3. Impactos da Poluição Atmosférica Local Sobre a Saúde Humana – Externalidades Ambientais Locais

O processo de produção de combustíveis gera poluentes associados a danos significativos à saúde, como já visto anteriormente. No caso da produção do etanol, é necessário incorporar o processo da mecanização na colheita, evitando os impactos adversos das emissões provenientes das queimadas (RIBEIRO, 2009), dados o conjunto de evidências sobre os impactos adversos à saúde dos trabalhadores e da população das cidades circunvizinhas. Tal fato não é imune a críticas e constitui o principal aspecto negativo do combustível: a queima da palha da cana durante o período de colheita.

Felizmente, esse é um problema para o qual a solução está encaminhada, pois em 2007, a UNICA (União da Indústria da Cana-de-açúcar) assinou um protocolo com a

Secretaria do Meio Ambiente (SMA) do Estado de São Paulo que prescreve a redução progressiva da área da queima dos canaviais, com aumento correspondente da área mecanizada. Segundo dados da SMA, na safra 2008/2009, 49,1% da safra no Estado já havia sido colhida sem o uso do fogo e, até 2014, espera-se que praticamente todas as áreas com declividade inferior a 12%, que representam a maioria das áreas cultivadas, abandonem a prática da queima.

No tocante aos produtos das emissões veiculares, a utilização de etanol como combustível de veículos pesados promoveria alterações do perfil das emissões. No que tange a aldeídos, a utilização do etanol significa trocar emissões de formaldeído (característico do diesel) por acetaldeído (etanol). Mais importante, as emissões de ônibus movidos a etanol são inferiores aos atualmente em uso na RMSP, diminuindo consideravelmente as emissões de material particulado.

Este poluente merece análise pormenorizada. A aplicação de análise de filtros contendo material particulado fino, realizada ao longo dos últimos três anos, associada à elaboração de modelos receptores, indica que as emissões de veículos diesel respondem por cerca de 25% da concentrações ambientais deste poluente nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Como as emissões de material particulado pelos veículos pesados movidos a etanol são praticamente nulas, a utilização de etanol como combustível da frota pesada tem significativo potencial de redução de material particulado, como foi demonstrado e calculado no capítulo 5 item 5.4.6 (Cenário 4), onde a substituição de diesel por etanol na frota de ônibus da RMSP, resultou numa redução de aproximadamente 50% na emissão desse poluente.

O material particulado possui uma nítida associação com os efeitos adversos à saúde. No tocante à mortalidade, segundo POPE (POPE e Cols., 2002) um acréscimo de 10 $\mu g/m^3$ de material particulado fino (média anual) leva a um aumento de 6% da mortalidade geral. Já para a morbidade, vários estudos epidemiológicos disponíveis na literatura relacionam efeitos mórbidos tanto respiratórios como cardiovasculares para diversas faixas etárias da população em termos principalmente de internações hospitalares.

Quanto ao ozônio, é um poluente formado pela ação da radiação ultravioleta sobre compostos disponíveis na atmosfera, emitidos pelos veículos automotores. Tanto o etanol como os combustíveis fósseis emitem compostos precursores de ozônio. No entanto o

potencial de geração de ozônio pelos precursores emitidos pelo etanol e bastante reduzidos em relação aos fósseis.

É também importante ressaltar que os resultados deste estudo estão subestimados, pois se considera apenas o material particulado sem se contabilizar os danos à saúde humana provocados por outros agentes tóxicos presentes no óleo diesel, como os metais pesados e alguns hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, que ponderam acrescentar benefícios adicionais ao etanol. Também não foram contabilizados os aspectos relativos ao balanço de CO_2, favorável ao etanol quando do perfil comparativo entre este e combustíveis fósseis.

6.3.1. Material Particulado

O material particulado pode ser de origem natural ou antropogênica. As fontes naturais incluem o solo, cinzas vulcânicas, queimadas, sais marinhos, polens. As fontes antropogênicas incluem plantas termoelétricas, indústrias, instalações comerciais e residências e veículos automotores que utilizam combustíveis fósseis.

As partículas Totais em Suspensão (PTS) são aquelas com diâmetro aerodinâmico menor do que 100 μm. O material particulado maior do que 10 μm de diâmetro resulta de ações físicas com erosão eólica ou operações de moagem e tendem a se assentar próximas de suas fontes. O MP com diâmetro aerodinâmico de 10 μm ou menor é conhecido como material particulado inalável que permanece na atmosfera por longo período de tempo. As partículas inaláveis podem ser classificadas em finas ($MP_{2,5}$ – MP_{10} – 2,5 μm a 10 μm).

A contribuição relativa de cada fonte de poluição do ar na RMSP está apresentada na tabela 6.14 e pode ser facilmente visualizada no gráfico 6.1, onde se observa que os veículos automotores são realmente as principais fontes de monóxido de carbono, hidrocarbonetos totais e óxidos de nitrogênio. Para os óxidos de enxofre as indústrias e os veículos são importantes fontes e, no caso das partículas inaláveis, contribuem ainda outros fatores como a ressuspensão de partículas do solo e a formação de aerossóis secundários. No caso de partículas inaláveis, as estimativas de contribuição relativa das fontes, foram feitas a partir de dados obtidos no estudo de modelo receptor.

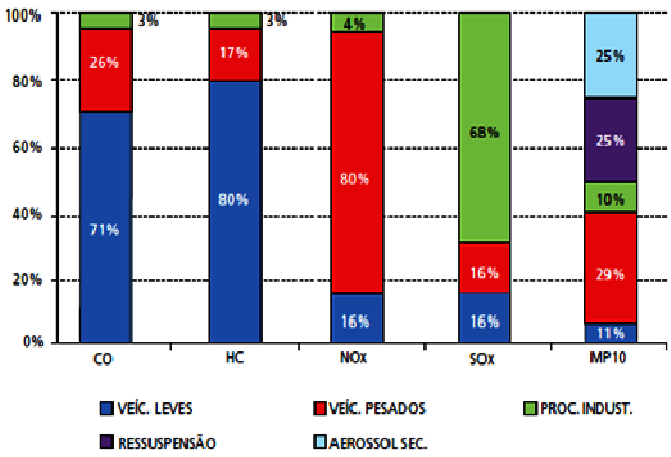
Tabela 6. 14 Contribuição Relativa das Fontes de Poluição do Ar na RMSP em 2009

Fonte de Emissão		Poluentes (%)				
		CO	HC	NO_x	SO_x	MP_{10} [1]
TUBO DE ESCAPAMENTO DE VEÍCULOS	GASOLINA C	41,14	17,35	11,27	14,51	8,91
	ÁLCOOL	13,01	5,94	3,72		
	DIESEL	26,10	16,44	79,88	16,47	28,51
	TÁXI	0,12	0,29	0,58		
	MOTOCICLETA E SIMILARES	17,18	9,55	0,82	1,96	2,57
CÁRTER E EVAPORATIVA	GASOLINA C	-	29,70	-	-	-
	ÁLCOOL	-	5,23	-	-	-
	MOTOCICLETA E SIMILARES	-	8,14	-	-	-
OPERAÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE COMBUSTÍVEL	GASOLINA C	-	3,35	-	-	-
	ÁLCOOL	-	0,86	-	-	-
OPERAÇÃO DE PROCESSO INDUSTRIAL (1990)		2,46	3,14	3,72	67,06	10,00
RESSUSPENSÃO DE PARTÍCULAS		-	-	-	-	25,00
AEROSSÓIS SECUNDÁRIOS		-	-	-	-	25,00
TOTAL		100	100	100	100	100

1 – Contribuição conforme estudo de modelo receptor para partículas inaláveis. A contribuição dos veículos (40%) foi rateada entre veículos a gasolina e diesel de acordo com os dados de emissão disponíveis.

Fonte: CETESB –(2010) – Relatório

Gráfico 6. 1 – Emissões Relativas de Poluentes Por Tipo de Fonte - 2009



Fonte: CETESB – (2010) – Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo

Nota-se na tabela 6.14 e gráfico 6.1., que os veículos a diesel emitem a maior parcela de material particulado inalável (MP_{10}) entre as fontes móveis correspondendo a aproximadamente 29% da concentração total de MP_{10}. Isto significa que se esses veículos reduzissem as suas emissões de MP_{10}, ocorreria uma redução significativa na concentração atmosférica que traria benefícios ambientais e melhoria do bem-estar social, traduzindo-se em externalidades positivas.

Por outro lado, dos padrões de qualidade do ar são determinados níveis de concentração dos poluentes que, se ultrapassados, afetam a saúde, a segurança o bem estar da população, e podem também causar danos à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral (CONAMA n° 003/90). Os padrões de qualidade do ar são divididos em padrões primários, que são as concentrações de poluentes que se ultrapassadas, afetam a saúde da população e os padrões secundários, que são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano

a flora e a fauna, os materiais e ao meio ambiente em geral. A tabela 6.15, a seguir, mostra os parâmetros importantes, de padrões primários e secundários.

Tabela 6. 15 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA n° 03 de 28/06/90)

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário µg/m³	Padrão Secundário µg/m³	Método de Medição
partículas totais em suspensão	24 horas[1]	240	150	amostrador de grandes volumes
	MGA[2]	80	60	
partículas inaláveis	24 horas[1]	150	150	separação inercial/filtração
	MAA[3]	50	50	
fumaça	24 horas[1]	150	100	refletância
	MAA[3]	60	40	
dióxido de enxofre	24 horas[1]	365	100	pararosanilina
	MAA[3]	80	40	
dióxido de nitrogênio	1 hora	320	190	quimiluminescência
	MAA[3]	100	100	
monóxido de carbono	1 hora[1]	40.000	40.000	infravermelho não dispersivo
		35 ppm	35 ppm	
	8 horas[1]	10.000	10.000	
		9 ppm	9 ppm	
ozônio	1 hora[1]	160	160	quimiluminescência

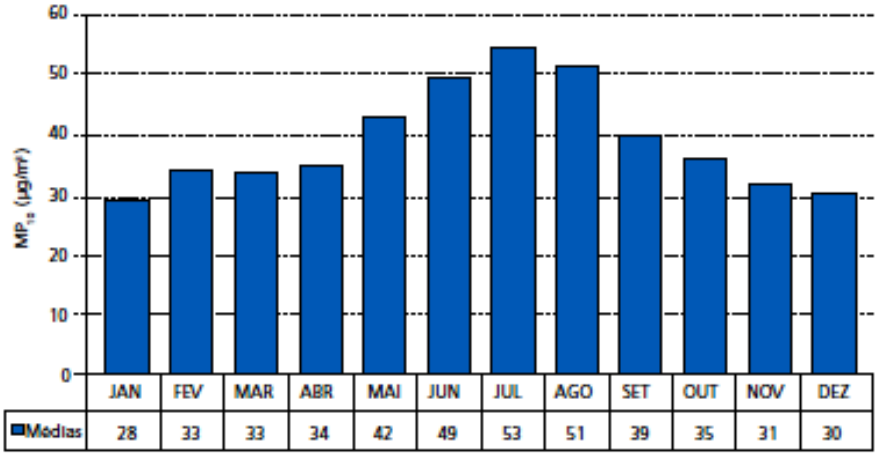
1 - Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano
2 - Média geométrica anual
3 - Média aritmética anual

Fonte: CETESB – 2010 – Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo

Na tabela 6.15, quando se faz referencias às emissões de MP, não se faz distinção entre MP e material particulado inalável, mas na tabela 6.14 é considerado apenas as MP_{10}. Neste trabalho, serão analisadas apenas as partículas inaláveis grossas (MP_{10}), por serem as que mais afetam a saúde humana causando doenças do aparelho respiratório.

Conforme o Relatório de Qualidade do Ar – 2010, as concentrações médias mensais (2005 – 2009) de MP_{10}, têm um aumento nos meses de inverno, com máximas em junho, julho e agosto, período este em que diminuem as chuvas, aumenta a frequência de inversões térmicas em baixos níveis e os ventos na superfície se tornam mais fracos, produzindo condições meteorológicas mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes. O aumento das concentrações médias mensais pode ser visualizado no gráfico 6.2, comprovando que há uma violação ao padrão nacional de qualidade do ar estabelecido pelo CONAMA (tabela 6.15). O que representa uma maior incidência de doenças do aparelho respiratório e maiores gastos que poderiam ser evitados assim como a perda do bem estar social.

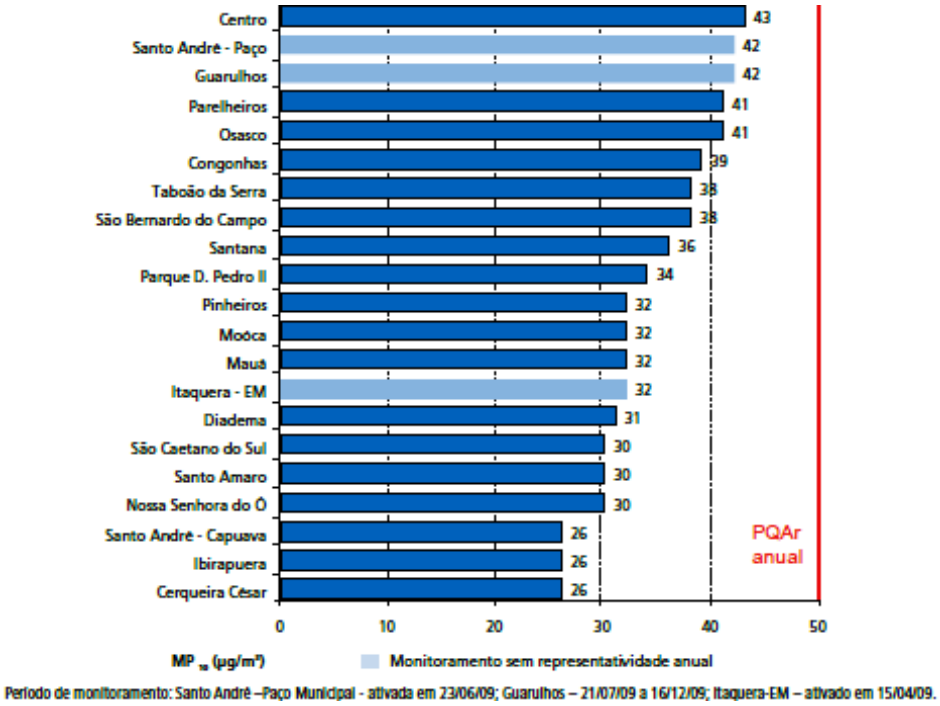
Gráfico 6. 2 – MP_{10} → Concentrações Médias Mensais – (2005 -2009) – RMSP – (todas as estações de medição)



Fonte: CETESB – (2010) – Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo

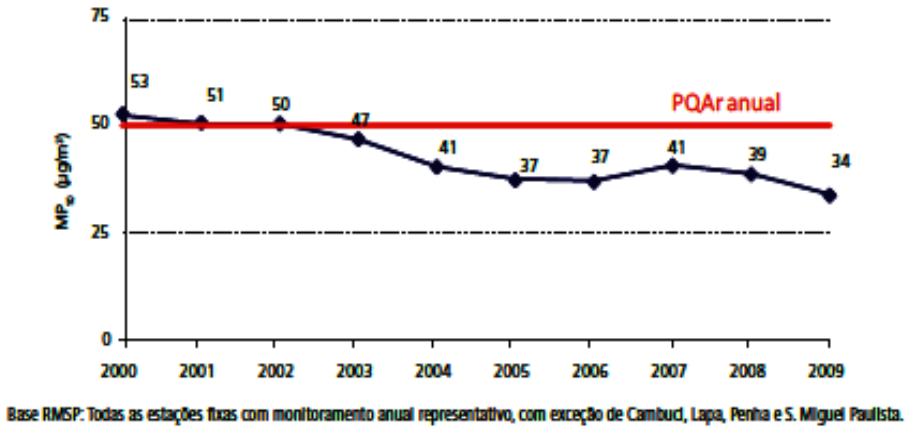
De forma complementar o gráfico 6.2 apresenta a classificação das concentrações médias anuais da MP_{10} na RMSP e o gráfico 6.3 mostra a evolução das concentrações médias anuais de todas as estações com monitoramento representativo.

Gráfico 6. 3 – MP_{10} – Classificação das Concentrações Médias Anuais - RMSP



Fonte: CETESB – (2010) – Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo

Gráfico 6. 4 – MP – Evolução das Concentrações Médias Anuais - RMSP



Fonte: CETESB: (2010) – Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo

Observando-se o gráfico 6.4, nota-se que por ter em grande parte sua origem nas emissões veiculares, houve uma redução de MP_{10} na atmosfera em comparação com os valores que eram encontrados no final da década de 90 e início dos anos 2000, em função da realização dos diversos programas de controle de emissão. Desde 2006, no entanto, houve uma interrupção na tendência de queda que vinha sendo observada, ocorrendo nova diminuição em 2009, que segundo a CETESB (2010), só aconteceu devido a influência das condições meteorológicas favoráveis à dispersão dos poluentes observadas neste ano. Portanto, há necessidade de novas propostas políticas e tecnológicas, caso se deseje reduzir mais efetivamente as concentrações desse poluente.

Ainda analisando-se os gráficos 6.3 e 6.4, pode-se avaliar que a concentração média anual para 2009 na RMSP, foi de aproximadamente 34,33 $\mu g/m^3$, valor que será adotado para análise posteriores.

6.3.2. Emissões de MP_{10}: Diesel x Etanol

De acordo com a tabela 6.14 e gráfico 6.1, observa-se que os veículos a diesel são responsáveis por aproximadamente 29% da concentração de MP_{10} na RMSP. Desse modo se a concentração desse poluente na RMSP é da ordem de 34,33 $\mu g/m^3$ os veículos da frota a diesel são responsáveis pela concentração de 9,96 $\mu g/m^3$.

A frota de veículos a diesel na RMSP, por sua vez, é composta por ônibus, micro ônibus, caminhonetes e caminhões como é apresentado na tabela 6.16, na sequência.

Tabela 6. 16 – – Caracterização da Frota a Diesel

Regiões ou Municípios	Ônibus	Micro ônibus	Caminhões	Caminhonetes
RMSP	45.187(1)	29.230	213.008	554.320
São Paulo	33.570	26.426	118.254	435.501
Campinas	3.053	2.243	12.284	41.509
Sorocaba	1.026	815	5.634	17.332
Estado de São Paulo	94.358	48.367	458.426	1.238.087

(1) Apesar do DETRAN apontar a quantidade de 45.187 ônibus circulantes na RMSP, adota-se na presente tese 22.000 ônibus dos quais: 15.000 da SPTRANS (concessionárias e permissionárias); 3000 da EMTU e, aproximadamente 4000 das frotas municipais que operam nos demais 38 municipios da RMSP (JUNQUEIRA, 2011).Não considerou os fretados e nem os rodoviários.

Fonte: Colombo, (2005)

Conforme calculado no capítulo 5 (item 5.4.5 – tabela 5.21), o consumo dos 22.000 ônibus urbanos na RMSP, conforme especificado na tabela 6.18, consomem 704.000.000 litros/ano, ou seja, 26% do consumo total estimado em 2,7 bilhões de litros para a região (BRANCO, 2006). Assim sendo, se os veículos movidos a diesel são responsáveis por uma concentração de 9,96 $\mu g/m^3$, os ônibus urbanos considerados, serão responsáveis por 26% dessa concentração, ou seja, 2,6 $\mu g/m^3$.

Neste caso a substituição diesel por etanol reduziria consideravelmente a concentração da MP_{10}, pois os ônibus movidos a etanol emitiriam apenas 50% do que emitem os ônibus a diesel, conforme calculado no Capítulo 5, para o Cenário 4 (toda a frota de ônibus urbanos da RMSP movido a etanol). Portanto, a concentração referente aos ônibus a diesel iria declinar para 1,30 $\mu g/m^3$ (0,50 x 2,6 $\mu g/m^3$). Haveria uma redução na concentração de MP_{10} de 1,30 $\mu g/m^3$ que, sobre um total inicial de 34,33 $\mu g/m^3$, representaria uma queda e 3,79% na concentração inicial de MP_{10}, trazendo impactos positivos sobre a saúde da população urbana. Entretanto, outros poluentes igualmente prejudicais à saúde com o SO_x, não puderam ser avaliados por falta de dados disponíveis.

6.3.3. Valoração dos Custos à Saúde

Nos anos recentes, especialistas em saúde internacional e desenvolvimento social, vêm gerando novas formas de configurar a miséria humana resultante do aumento do número de casos de doenças crônicas e incapacidades. Esses especialistas construíram novas formas de medir o sofrimento por doenças crônicas (morbidades).

Apesar de ser louvável o esforço para o desenvolvimento de um indicador objetivo que facilite a escolha da alocação de recursos escassos entre políticas e programas, questionam-se quais os limites e perigos de se configurar o sofrimento social como indicador econômico. Uma boa alternativa para se evitar que os índices econômicos se tornem os únicos parâmetros autorizados para a construção de políticas e programas, seriam a utilização desses índices em conjunto com outras externalidades sociais e ambientais.

A valoração dos custos da poluição ambiental à saúde humana, pode ser efetuada seguindo-se várias abordagens, mas neste estudo serão utilizadas as metodologias de valoração da mortalidade e morbidade, conforme atualmente sugerido pela literatura, elencadas a seguir.

6.3.3.1. Valor Estatístico da Vida: Teoria do Capital Humano

É extremamente difícil estimar valores monetários às diversas perdas causadas por uma morte precoce, mas qualquer estimativa levará em consideração a quantidade de produção perdida pelo falecimento de um trabalhador em idade adulta. Tal estimativa supõe que a perda de uma vida precocemente, pelo menos, representa um custo para a sociedade num montante equivalente ao valor presente da produção futura que se esperaria de tal indivíduo.

Segundo MOTTA et al (2000), o Valor Estatístico da Vida (VEV) é igual ao montante do Valor Presente da Produção Futura (VPPF) de um indivíduo, ponderando-se as probabilidades desse indivíduo estar vivo numa determinada faixa etária, economicamente ativa, estando empregada.

A teoria do Capital Humano é uma das mais sugeridas na literatura para mensurar o valor atribuído a morte prematura. Essa metodologia assume que os indivíduos têm um valor para a sociedade refletido na quantidade de produção que cada um pode gerar e favorecer a sociedade. Em nenhum instante, tal metodologia tem como objetivo mensurar o valor total de uma vida, mas apenas estimar o quanto poderia representar a perda de um indivíduo, do ponto de vista da produção de bens e serviços.

Para se comparar valores de renda do presente com valores possíveis no futuro, ou seja, para se mensurar hoje o que se poderia ganhar amanhã, e saber quanto esse valor representa hoje, é utilizado um parâmetro denominado “taxa de desconto”. Este parâmetro é utilizado porque um valor presente não pode ser avaliado no tempo, sem nenhuma alteração

fazendo-se assim, uma equivalência entre os valores. Quando o futuro é muito valorizado, tende-se a utilizar taxas de desconto mais baixas, pois quando se trouxer um valor futuro par ao presente, deve-se dividir o montante pelo fator que leva a taxa de desconto embutida [renda $/(1+r)^n$] (MANKIW, 2005).

Portanto, maior será a importância do futuro para o agente, quanto menor for a taxa de desconto. E vice versa. Quanto maior a taxa de desconto, o presente se torna mais importante em relação ao futuro, não sendo vantajoso para as pessoas esperarem por ele, pois não se valoriza. Assim sendo, ao se levar o valor presente da renda para o futuro [renda x $(1+r)^n$], ele ficará muito pequeno, comprovando que o presente tem um valor enorme.

Quando se relaciona a taxa de desconto com a expectativa de vida pode-se dizer que, se a taxa de desconto for muito baixa, há uma valorização da vida no futuro, o que eleva o Valor Estatístico da Vida (VEV); mas quando da taxa de desconto é alta o VEV se reduz. O que faz a taxa de desconto variar são as preferências individuais dos agentes. Ao se trabalhar com o conceito VEV é recomendável que se utilize um intervalo que abranja uma parcela satisfatória de indivíduos.

MOTTA et al.(1997), recomenda que sejam adotados, para a taxa de desconto os valores de r = 3% e r = 10%, que são os mais comumente adotados na literatura específica da área. Assim sendo de acordo com o mesmo autor, os resultados para o VEV de acordo com a faixa etária, estão sumarizados na tabela 6.17.

Tabela 6.17 – Valor Presente da Produção Futura (VPPF) da Mortalidade Prematura na RMSP (US$ 1997)

Faixa Etária	VPPF (r = 3%)	VPPF (r = 10%
15 – 17	254.777,08	45.195,16
18 – 24	255.353,99	60.637,59
25 – 29	248.352,34	79.208,47
30 – 39	213.299,45	87.006,73
40 – 49	151.187,64	81.661,27
50 – 59	74.100,64	51.871,67
60 – 64	24.659,93	19.857,08
65	10.959,40	9.325,26

Fonte: Seroa da Motta (2005); apud Knight (2008) e Fernandez et al (2010)

6.3.3.2. Estimativa da Mortalidade Evitada com a Troca de Combustível

Pode-se calcular de maneira aproximada, o custo monetário da mortalidade prematura gerado pela poluição atmosférica. Basta multiplicar-se o número de óbitos por doenças do aparelho respiratório induzido por poluentes atmosférico na RMSP (DATASUS, 2009), pelo Valor Estatístico da Vida (VEV).

Utilizando-se a função dose – resposta de MENDES (2003), poder-se-ia estimar de quanto o custo monetário da mortalidade prematura seria reduzido, se a frota de ônibus urbanos da RMSP (Cenário 0 – baseline scnário – 2009) movido a diesel fosse substituída por etanol (Cenário 4 – BAU).

De acordo com o estudo epidemiológico de MENDES (2003), a concentração do MP_{10} tem uma relação direta que pode ser estimada, com as doenças no aparelho respiratório que levam à morte. A relação estimada pelo estudo epidemiológico assume que a elasticidade entre o número de óbitos e a concentração de MP_{10} é de 0,14, conforme a expressão abaixo:

$$\frac{\delta\, Óbitos}{\delta\, MP10} = 0{,}14$$

De forma complementar, a conversão da frota a diesel para etanol, reduz a concentração do MP_{10} de 50% em relação ao diesel, ou seja, reduz a concentração de 2,6 $\mu g/m^3$ para 1,30 $\mu g/m^3$, de acordo com o estimado no item 6.3.1 deste capítulo. Esse valor de redução (1,30 $\mu g/m^3$) representa 3,79% em relação ao total inicial de 34,33 $\mu g/m^3$, portanto multiplicando 3,79% por 0,14, recomendado no estudo de epidemiológico de MENDES (2003), chega-se a uma redução de 0,53 no número de óbitos. Tendo-se o número de óbitos evitados e o Valor Presente da Produção Futura (VPPF) pode-se calcular o custo da produção sacrificada por mortalidade precoce causada pelo excesso de concentração de MP_{10} no ar da RMSP.

A tabela 6.18, resume a metodologia aplicada, considerando-se uma taxa de desconto (r) de 3%, a qual representa que o futuro tem muita importância, o que deixa os valores associados à mortalidade precoce ou prematura mais alta. Quanto a faixa etária utilizada por Seroa da Motta et al (2005), de 15 a 65 anos, acrescentando-se os intervalos de 0 – 15 anos e de 65 a 80 anos com valores aproximados.

Tabela 6. 18 – Valoração do Custo Evitado da Mortalidade devido à redução do MP_{10} com r = 3% na RMSP

Faixa Etária	**Óbitos (2009)**	**Valor Estatístico da Vida (VEV) r=3%**	**Custo da Mortalidade (US$ 1997)**	**Redução de Óbitos devido à redução na concentração de MP_{10}**	**Redução no custo de Mortalidade (US$ 1997)**
0 – 1	253	254.777,08	64.458.601,24	2	341.630,59
1 – 4	97	254.777,08	24.713.376,76	1	130.980,90
5 – 9	29	254.777,08	7.388.535,32	1	39.159,24
10 – 14	32	254.777,08	8.152.866,56	1	43.210,19
15 – 17	69	254.777,08	17.579.618,52	1	93.171,98
18 – 24	108	255.353,99	27.578.230,92	1	146.164,62
25 – 29	149	248.352,34	37.004.498,67	1	196.123,84
30 – 39	237	213.299,45	50.551.969,65	2	267.925,44
40 – 49	467	151.187,34	70.604.487,78	3	374.203,79
50 – 59	658	74.100,64	48.758.221,12	4	258.418,57
60 – 64	821	24.656,93	20.243.339,53	5	107.289,70
65 – 69	967	10.959,40	10.597.739,80	6	56.168,02
70 – 74	1105	10.959,04	12.109.739,20	6	64.181,62
75 – 79	1221	10.959,04	13.380.987,84	7	70.919,24
80	2569	10.959,04	28.153.773,76	14	149.215,00
TOTAL		**US$**	**441.465.638,60**	**US$**	**2.238.762,74**

Fonte: Elaboração própria com base em Seroa da Motta (2005); Mendes (2003) e DATASUS (2009).

Do mesmo modo, adota-se uma taxa de desconto (r) de 10%, que representa um presente valorizado, e que deixa os valores associados a mortalidade precoce, mais baixos, ou seja, os valores atribuídos à renda gerada no futuro são menores. A tabela 6.19 sumariza os resultados.

Tabela 6. 19 – Valoração do Custo Evitado da Mortalidade devido à redução do MP_{10} com r = 10% na RMSP

Faixa Etária	Óbitos (2009)	Valor Estatístico da Vida (VEV) r=10%	Custo da Mortalidade (US$ 1997)	Redução de Óbitos devido à redução na concentração de MP_{10}	Redução no custo de Mortalidade (US$ 1997)
0 – 1	253	45.195,16	11.434.375,48	2	60.602,19
1 – 4	97	45.195,16	4.383.930,52	1	23.234,83
5 – 9	29	45.195,16	1.310.659,64	1	6.946,50
10 - 14	32	45.195,16	1.446.245,12	1	7.665,10
15 – 17	69	45.195,16	3.118.466,04	1	16.527,87
18 – 24	108	60.637,59	6.548.859,72	1	34.708,97
25 – 29	149	79.208,47	11.802.062,03	1	62.550,93
30 – 39	237	87.066,73	20.620.595,01	2	109.289,15
40 – 49	467	81.661,27	38.135.813,09	3	202.119,81
50 – 59	658	51.871,67	24.131.558,86	4	127.897,26
60 – 64	821	19.857,08	16.302.662,68	5	86.404,11
65 – 69	967	9.325,26	9.017.526,42	6	47.792,89
70 – 74	1105	9.325,26	10.304.412,30	6	54.613,39
75 – 79	1221	9.325,26	11386.142,46	7	60.346,56
80	2569	9.325,26	23.956.592,94	14	126.969,94
TOTAL		**US$ (1997)**	**203.899.902,40**	**US$**	**1.027.669,50**

Fonte: Elaboração própria com base em Seroa da Motta (2005); Mendes (2003) e DATASUS (2009)

Analisando-se as tabelas 6.18 e 6.19, concluiu-se que o benefício social da substituição de combustíveis diesel por etanol, na frota de ônibus urbanos na RMSP, anualmente, é dado pelos valores contidos dentro do intervalo 1,03 a 2,24 milhões de dólares de 1997. Aplicando-se a esses valores o índice de infração sofrido pelo dólar americano no período entre 1997 a 2009, de acordo com as estimativas do Federal Reserve Bank of St. Louis (2011), que foi de aproximadamente 33,88 %, chega-se aos valores de 1,38 e 3,00 milhões de dólares de 2009. Convertendo-se esses valores para reais, com valor médio frente

ao dólar americano para o ano de 2009, de US$ = R$ 1,73, último trimestre de 2009 (cotação Banco Central do Brasil em 29/12/2010), chega-se ao intervalo de 2,39 a 5,19 milhões de reais em 2009, que representa o benefício social com a redução na mortalidade precoce.

Segundo MAC-KNIGHT (2006), que analisou o benefício social com a redução na mortalidade precoce da RMSP, pela troca de diesel por GNV (Gás Natural Veicular), na frota de ônibus urbanos, os valores encontrados acima (2,39 a 5,19 milhões de reais), representam um valor bastante conservador, visto que o VEV (Valor Estatístico da Vida), por indivíduo, nos EUA (Estados Unidos da América) ficam em torno de 2,9 a 4,6 milhões de US$ e no UK (Reino Unido), entre 2,4 a 2,9 milhões de libras, de acordo com PEARCE (1998).

6.3.3.3. Morbidade Evitada

A morbidade consiste na real incidência das doenças. No caso deste trabalho trata-se de doenças respiratórias. Na abordagem de MOTTA et al (1998), os custos da saúde relacionados à poluição atmosférica deveriam ser classificados em quatro categorias, como segue:

a) Gastos médicos associados com tratamento de doenças induzidas pela poluição;

b) Dias de trabalho perdidos resultantes da enfermidade;

c) Gastos para evitar ou prevenir (gastos preventivos) e atividades associadas com tentativas de mitigar a doença;

d) Desutilidade associada com os sintomas e oportunidade de lazer perdidas devido à doença.

Devido à dificuldade de se estimar as parcelas relevantes aos dois últimos itens (c e d), procurar-se-á mensurar o custo de saúde associado à poluição através da soma dos gastos hospitalares por evento com o valor dos dias de trabalho perdidos devido às doenças respiratórias.

Assim sendo pode-se estimar qual seria o impacto na morbidade caso a poluição do ar pelo MP_{10} fosse reduzida. Para tanto utiliza-se a metodologia desenvolvida pelo Banco Mundial por LVOVSKY (2000), apud MAC-KNIGHT (2006), apresentada na fórmula abaixo:

$$\Delta S = b \cdot \Delta C \cdot P$$

onde ΔS = impacto na saúde

b = função dose-resposta

ΔC = variação na concentração do poluente MP_{10}

P = população exposta a tal concentração

6.3.3.3.1. Internações devido a Doenças do Aparelho Respiratório

De acordo com LVOVSKY (2000), a função dose-resposta é dada pelo parâmetro b, e é igual a 0,000012, que significa o quanto as internações hospitalares serão reduzidas, caso a concentração de MP_{10} se reduza em 1 $\mu g/m^3$. Sabendo-se que a população da RMSP é de 20.110.724 habitantes (EMPLASA, 2009), conforme Cenário 4 (toda a frota a etanol), e que a variação na concentração de MP_{10}, calculada anteriormente é de 1,30 $\mu g/m^3$ (item 6.3.2, deste capítulo), segundo a metodologia proposta chega-se ao resultado de 314 internações evitadas.

Multiplicando-se esse número de internações pelo custo médio de cada internação (DATASUS, 2009), chega-se ao custo médio evitado de R$ 197.418,08 que corresponde ao benefício social resultante do uso de etanol que libera menos poluentes na sua combustão, na frota de ônibus da RMSP. Estes dados são sumarizados na tabela 6.20.

Tabela 6. 20 – Custo Evitado nas Internações Hospitalares, devido a Redução de 2,79 $\mu g/m^3$de MP_{10} na RMSP

Redução na Concentração $\mu g/m^3$.	Redução nas Internações	Custo por internação (DATASUS – 2009)	Custo evitado
1,30	314	628,72	197.418,08

Fonte: Elaboração própria a partir de Seroa da Motta et al (2000) e DATASUS (2009)

6.3.3.3.2. Dias de Trabalho Perdidos

Os dias em que as pessoas não puderam comparecer aos seus respectivos postos de trabalho por problemas relacionados à poluição excessiva do ar atmosférico, são chamados “dias de trabalho perdidos”. Os problemas variam desde indisposições até internações por problemas do aparelho respiratório ou cardiovasculares. Ao comparecerem nos consultórios médicos ou aos hospitais para possíveis internações, as pessoas sacrificam dias de trabalho e deixam de ter rendimentos. Isto representa um custo à sociedade que deixa de produzir e gerar lucros, por problemas a saúde associados à poluição do ar.

Novamente utilizando-se a metodologia desenvolvida pelo Banco Mundial, por LVOVSKY (2000), é possível se estimar quanto desses dias de trabalho perdidos por doenças, poderiam ser reduzidos. Utiliza-se a mesma expressão do item anterior, mudando-se apenas o parâmetro b, que passa a ser 0,0575. Mantêm-se a mesma população (20.110.724 habitantes) e a mesma redução na concentração (1,30 $\mu g/m^3$), chegando-se ao valor de 1.503.277 dias perdidos reduzidos.

O custo estimado por dia de trabalho perdido foi calculado com base no rendimento mensal da RMSP de R$ 2739,34 calculado a partir da Pesquisa Origem-Destino para 2009. Dividindo esse valor por 30 dias, chega-se a um rendimento médio diário de R$ 91.31 para se calcular o ganho associado à redução nos dias perdidos, basta multiplicar 1.503.277 dias por R$ 91,31, chegando-se a um montante de R$ 137.264.222,80 o resumo dos dados são apresentados na tabela 6.21.

Tabela 6. 21– Ganho Associado à Redução dos Dias Perdidos, devido a Redução de 2,79 $\mu g/m^3$de MP_{10} na RMSP

Redução na Concentração.	Redução nos Dias Parados	Custo por Dia Perdido	Custo evitado
1, 30 $\mu g/m^3$	1.503.277	R$ 91,31	R$ 137.264.222,80

Fonte: Elaboração própria a partir de Seroa da Motta et al (2000) e DATASUS (2009) e Pesquisa Origem-Destino (2007)

Comparando-se as tabelas 6.20 e 6.21, nota-se que o número de dias perdidos é muito maior que o número de internações, por muitas pessoas deixam de comparecer ao trabalho, devido a problemas respiratórios, não ficando necessariamente internados.

Portanto, levando-se em conta apenas esses dois tipos de impactos na morbidade, internações hospitalares por doenças do aparelho respiratório e dias perdidos de atividade, estima-se um ganho de R$ 137.461.640,80 conforme a tabela 6.22, com a redução dessas morbidades.

Tabela 6. 22 – Ganhos com a Redução de Morbidades

Custo Evitado de Internações Hospitalares	R$ 197.418,08
Ganho Devido a Redução dos Dias Perdidos	R$ 137.264.222,80
TOTAL	R$ 137.461.640,88

Fonte: Elaboração Própria

6.3.3.4. Análise dos Resultados

Os benefícios anuais associados à redução da mortalidade e morbidade segundo os cálculos são da ordem de aproximadamente R$ 3,8 milhões (considerando-se a média do intervalo calculado) e R$ 137,5 milhões respectivamente, totalizando um benefício anual de R$ 141,30 milhões, o que representa o quanto a sociedade paga diretamente pelas externalidades negativas sofridas pelo efeito da poluição do ar pelo uso do diesel quando comparado ao etanol.

No entanto, não se pode afirmar que as doenças respiratórias sejam obrigatoriamente geradas por fatores relacionados à poluição do ar. Sabe-se apenas que há tal relação, porém o presente trabalho não tem como objetivo mensurar a correlação entre emissão de poluentes e as doenças respiratórias.

Por outro lado, existem modelos mais sofisticados de dispersão de poluentes, que levam em consideração variáveis como o vento, relevo, temperatura, insolação etc..., portanto, a relação linear entre emissão e poluentes, assumida neste trabalho pode ser questionada. Assim sendo há necessidade de estimativas mais precisas dos efeitos sobre a saúde humana causados por um determinado poluente atmosférico.

Outros aspectos que necessita de uma análise mais cuidadosa é a estimativa da população afetada pelas emissões; assim como no caso anterior há necessidade de uma modelagem mais sofisticada para tal estimativa. Deve-se também considerar que a função dose-resposta, utilizada na Metodologia do Banco Mundial para estimar-se o impacto sobre a mortalidade retirada de MENDES (2003), pode estar defasada.

Além disso, uma questão bastante complexa, refere-se à utilização de coeficientes técnicos de emissão constantes para veículos a diesel, pois as crescentes pressões ambientais induzem ao aprimoramento tecnológico constante no desempenho dos motores. Portanto, uma nova geração de motores a diesel, bem menos poluentes, já estão disponíveis e sendo utilizados no mercado, reduzindo assim o volume de emissão de material particulado e de outros poluentes.

Mesmo assim, conclui-se que os benefícios sociais com a redução da mortalidade e morbidade, são extremamente significativos (R$ 141,30 milhões-anualmente), apesar de poderem estar subestimados. Enfim, este cálculo mostra o valor que a sociedade paga efetivamente pelas doenças respiratórias, que têm como uma de suas causas principais a

poluição atmosférica. Logo as externalidades negativas podem ser visualizadas de acordo com este montante pago.

6.4. Externalidades Sociais

6.4.1. Geração de Empregos e Salários

Entre os Estados da União Federativa do Brasil, o Estado de São Paulo é o maior gerador de empregos na cana-de-açúcar, contabilizando aproximadamente 143.000 empregos formais em 2007; é também o maior estado gerador na atividade de produção de etanol, cerca de 53.000 empregados formais no mesmo ano de 2007 (MORAIS, 2008; OLIVEIRA, 2009). Segundo Maurílio Biagi Filho[11] o setor gerou mais de 1,2 milhões de empregos, em todo território nacional, em 2008. A geração de empregos agrícolas e industriais tem sido em dos pontos fortes da indústria de cana, que apesar de grandes diferenças regionais, ajuda a reverter a migração para as áreas urbanas e melhorar a qualidade de vida em muitas localidades, representando assim uma externalidade social positiva.

Outra consideração de interesse para a criação e qualidade dos empregos é a sazonalidade. A cana é um produto de safra, que dura de 6 a 8 meses. A duração da safra e o nível de tecnologia agrícola determinam as necessidades relativas à mão de obra para os dois períodos do ano agrícola, safra e antessafra. Esta alta sazonalidade implica geralmente em empregos temporários, gerando alta rotatividade, dificuldade de treinamento e consequentemente salários baixos. Assim sendo o investimento por unidade de trabalho gerado é baixo quando comparado a outras atividades, o que pode ser considerado benefício em um país escasso em capital como o Brasil. O investimento médio por emprego no setor sucroalcooleiro no país é de US$ 23 mil, comparado, por exemplo, a US$ 214 mil no setor químico e petroquímico a US$ 99 mil na indústria mecânica e setor automobilístico e de autopeças.

Em São Paulo a produção de cana-de-açúcar está presente em 397 (61,6%) do total 645 municípios do estado, enquanto que a atividade da produção do etanol está presente em 80 (12,4%) dos municípios. O Estado do Rio de Janeiro, por sua vez é o maior gerador de empregos na atividade de extração de petróleo, 32.171 empregos formais em 2007, atividade presente formais em 2007, atividade presente em apenas 15 municípios do estado,

[11] Maurílio Biagi Filho Membro do Conselho de Estratégias da Associação Brasileira de Infraestrutura e Indústria de Base (ABDIB), do Conselho Nacional da Indústria de Máquinas e do Conselho Superior do Agronegócio da FIESP. Comunicação pessoal, julho 2010.

diferentemente da produção de etanol que possui uma maior capilaridade. Em termos de empregos na atividade de produção de derivados de petróleo, São Paulo é também o maior estado gerador com 5.975 empregos formais em 2007, mas a atividade está presente em 28 (4,34 %) dos municípios do estado.

Quando se observa o panorama nacional, a produção da cana-de-açúcar localiza-se especialmente em 23 unidades federativas, tendo empregado 274.342 trabalhadores formais sendo que 52,1% destes se localizam no estado de São Paulo, enquanto a produção de etanol esteve presente em 24 unidades federativas registrando 190.894 empregados em 2007 (MORAES, 2008). As duas atividades em conjunto geraram 465.236 empregos formais, distribuídos por 1042 municípios, sendo 229 municípios com produção de etanol e 990 com cana-de-açúcar, sendo que em 177 coexistiam a duas atividades.

A extração de petróleo é realizada em 21 unidades federativas e empregou 54.847 pessoas, e a produção de derivados do petróleo se localizava em 23 unidades federativas e gerou 18.228 empregos. As duas atividades em conjunto foram responsáveis em 2007 por gerar 73.075 empregos. A atividade de extração de petróleo localiza-se em 113 municípios, e a de derivados em 100 municípios, que no agregado totalizaram 176 municípios (em 37 municípios coexistem as duas atividades). Comparando-se os totais de empregos gerados em 2007 de forma agregada para as atividades de produção de cana-de-açúcar e de etanol que somaram 465.236 empregos, com totais gerados nas atividades de extração e produção de derivados de petróleo, que totalizaram 73.075 emprego; observa-se que o número de empregos é mais de 6 vezes maior na produção de cana-de-açúcar e de etanol (MORAES, 2008).

A capilaridade das atividades da cana e do etanol é efetivamente comprovada quando se compara o número de municípios produtores de cana-de-açúcar e de etanol de forma agregada (1042 municípios), com o número de municípios envolvidos na extração de petróleo e seus derivados (176 municípios); observa-se então que a primeira (cana-de-açúcar e etanol) é aproximadamente 6 vezes maior que a segundo (petróleo e seus derivados).

De acordo com MORAIS[12] 2008, a base de dados para análise da evolução da remuneração, qualificação e do número de pessoas empregadas em atividades cuja a principal é a lavoura de cana-de-açúcar, produção de álcool, extração e produção de combustíveis fósseis, utilizam-se as informações da Relação Anual de Informações Social – RAIS do

[12] Professor do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da ESALQ, Universidade de São Paulo

Ministério do Trabalho e Emprego – MTE, e os dados da Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios – PNAD do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. A vantagem de se usar PNAD[13] é o fato de também captar os empregados informais, e a de ser utilizar a RAIS[14] é o nível de desagregação geográfica das informações, pois permite a análise por municípios. Desta forma para se analisar os benefícios sociais dos diferentes tipos de combustíveis, seja no cultivo de matérias primas, ou nas áreas de extração e de produção industrial, devem ser utilizados tanto os dados da PNAD (âmbito estadual) como o da RAIS (âmbito municipal).

De forma geral, destaca-se ainda que a idade média do empregado na cana-de-açúcar é menor do que a dos empregados nos ramos industrializados. Mas OLIVEIRA, (2009), mostra em seu trabalho que entre 1992 e 2007, houve uma tendência de elevação da idade média do empregado no setor agropecuário brasileiro como um todo, e em específico na produção agrícola de cana-de-açúcar. Há indicativos de que esse aumento da idade média do trabalhador do setor primário esteja relacionado com a diminuição dos indicadores de trabalho infantil, pois segundo KASSOCAF e FERRO (2004), constataram que entre 1992 e 2001, houve uma redução de trabalho infantil na agropecuária brasileira. Assim sendo a idade média dos assalariados na lavoura canavieira é 33,9 anos, no setor do etanol é de 35,8 anos, na extração do petróleo é de 36,5 anos (MORAIS, 2008).

Apesar da externalidade positiva desse potencial de geração de empregos no setor sucroalcooleiro, não se deve deixar de mencionar que alguns trabalhos apontam que o setor produtor de cana-de-açúcar, no decorrer dos próximos anos, reduzirá a demanda por trabalhadores agrícolas, dada a intensificação da mecanização das mesmas, ao mesmo tempo em que aumentará o nível de qualificação exigido da mão de obra empregada. Não se pode negar que o menor número de empregos e ao mesmo tempo a mudança do perfil do trabalhador são consequências observadas nas economias modernas, mas a diminuição dos empregos diretos e a diminuição da massa salarial é preocupante, pois leva a uma queda nos empregos indiretos e induzidos gerados tanto pela produção de cana-de-açúcar, bem como na produção de etanol. Entretanto, se considera o potencial de geração de empregos num cenário de substituição de combustíveis (diesel e etanol), como proposto neste trabalho, a situação é

[13] A PNAD é um sistema de pesquisas domiciliares implantado pelo IBGE desde 1967. Tem periodicidade anual e investiga diversas características socialeconômicas das famílias e das pessoas em todas as Unidades da Federação. Determinadas variáveis possuem caráter permanente , com as características gerais da população, educação, trabalho, rendimento e habilitação, enquanto outras apresentam periodicidade variável, como as características sobre migração, fecundidade nupcialidade, nutrição e saúde (IBGE, 2006).

[14] A RAIS é um registro administrativo instituído pelo Decreto n° 76.900/75 de responsabilidade do Ministério do Trabalho e Emprego criado com fins operacionais, fiscalizadores e estatísticos. Sua declaração é anual e obrigatória a todos os estabelecimentos existentes no território nacional, independentemente de possuírem ou não empregados. Apresenta uma cobertura acima de 97% do universo formal (MTE, 2000).

outra, pois se espera a possibilidade de criação de novos empregos no Estado de São Paulo, Municípios e na própria Região Metropolitana de São Paulo.

6.4.2. Perfil Educacional

Com relação ao perfil educacional é bastante difundida pela literatura[15] a informação de que o setor agropecuário é um dos únicos setores da atividade econômica que ainda emprega trabalhadores com baixos níveis educacionais, chegando a empregar até analfabetos. A situação educacional dos filhos dos trabalhadores de corte da cana, aliada a baixa remuneração, jornada de trabalho extensa e baixa escolaridade, implica em custos sociais gravíssimos, representando uma externalidade negativa. Não ocorre por parte desses trabalhadores um acompanhamento da vida acadêmica e social de seus filhos, e dessa maneira essas crianças e adolescentes ficam desprovidos de acompanhamento pessoal e educacional e expostos a todo tipo de perigo. A consequência prática disso, é a manutenção de processos de exclusão social para os grupos atrelados a processos produtivos de baixa remuneração (SILVA, 2009).

Apesar da escolaridade média dos assalariados na lavoura canavieira ter crescido 52,0% entre 2002 e 2007, ainda se mantém em patamares substancialmente baixos. Em 2007, a média de anos de estudo dos empregados na cultura canavieira era 4,2 anos de estudos, enquanto que a média obtida para os empregados na produção de álcool era de 7,7 anos, na extração de petróleo era de 11,7 anos, e na indústria de combustíveis fósseis, 11,3 anos de estudos (MORAES, 2008).

Salienta-se que as políticas de incentivos à produção do etanol devem ser acompanhadas por uma preocupação de se enfrentar o problema da baixa escolaridade dos empregados no corte da cana no Brasil. Dado o crescimento das atividades produtivas mecanizadas, a necessidade de trabalhadores mais qualificados é tendência para um futuro próximo na produção de cana-de-açúcar, e se não houver ações públicas e privadas, orientadas para proporcionar a complementação e requalificação do trabalhador, muitos perderão o seu emprego em função do avanço tecnológico, e, terão dificuldades de realocação em outras atividades existentes e que surgirão deste processo.

Por outro lado, os anos médios de estudos dos empregados na cana-de-açúcar frente aos da indústria do álcool e da indústria do petróleo, explicam parte relevante das diferenças

[15] Inúmeros estudos apontam a necessidade emergencial de qualificação desta mão de obra. Ver Morais (2008), Silva (2009), e Oliveira (2009) entre outros.

salariais. Isto tem implicações importantes, pois acredita-se que uma política de redução da heterogeneidade educacional entre trabalhadores da área agrícola e da área industrial do setor sucroalcooleiro, além de proporcional aumento da produtividade do trabalho e dos salários, pode ainda contribuir para o combate à desigualdade de renda e pobreza existente entre esse setores de atividades.

6.4.3. Manutenção da Mão de Obra no Campo

Uma outra externalidade positiva da atividade sucroalcooleira remete à diminuição dos fluxos migratórios para as cidades e o inchaço populacional urbano, com seus aspectos desfavoráveis por causa da ocupação intensa da força de trabalho. Para a sustentabilidade dessa externalidade, o setor sucroalcooleiro procura constantemente construir uma imagem positiva, TETTI (2002, p. 203) comentou que:

> *“´[...] existe a necessidade de um esforço real do empresário, inclusive com o Governo e a Sociedade Civil, em prol da sustentabilidade e no cuidado em assegurar ... a melhoria ambiental e de contribuição ao desenvolvimento do modo geral” (TETTI, 2002, p.203).*

Assim sendo, o setor procura criar uma certa infraestrutura que mantenha a mão de obra no meio rural com qualidade de vida. Segundo o relatório intitulado: “Açúcar e Álcool: responsabilidade social numa história de desenvolvimento sustentável”, elaborado pela UNICA (União da Indústria de Cana-de-Açúcar, 2004), representante do setor empresarial produtor de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do Estado de São Paulo, com 97 usinas associadas, foi criado o núcleo de RSC (Responsabilidade Social Coorporativa), que representa *“alcançar sucesso comercial nas maneiras que honrem valores éticos e respeito às pessoas, comunidades e ambiente natural”*. (BUSINESS FOR SOCIAL RESPONSABILITY, 2006).

No caso específico do setor sucroalcooleiro, RUI (2004) comenta que a temática RSC teve início como uma ação filantrópica num primeiro momento, quando o *“usineiro”* exercia poderes decisórios na vida da comunidade. Com a formação de negócios familiares, por meio da administração de fazendas de cana-de-açúcar, esse modelo faz dessa empresas as principais responsáveis pelo fator social e cultural da região onde estavam localizadas, em especial nas pequenas cidades. Surgia então, o auxílio na construção de igrejas e participação na vida pública (prefeitos e vereadores), a construção de praças públicas e cinemas, a criação e

manutenção de times de futebol, as festas juninas e natalinas nas fazendas e a gratificação espontânea de natal.

Numa época, mas recente, o poder do Estado passa a interferir na política social e filantrópica dos empresários do setor (que até então eram usineiros) e promulgaram a Lei 4.860 de 1965, denominada de Plano de Assistência Social (PAS), obrigando a aplicação de 1% da produção da cana, 1% da produção e comercialização do álcool em benefícios sociais para colaboradores e dependentes.

Nesse contexto o Relatório Açúcar e Álcool: responsabilidade social numa história de desenvolvimento, citado anteriormente, apoiado em dados secundários e primários, aborda uma pesquisa exploratória no contexto das Usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo, e representa uma amostra do trabalho desenvolvido pela UNICA (2002), quando se criou o núcleo RSC, para articular e divulgar as inúmeras ações sociais existentes nas áreas educacionais, meio ambiente, saúde, esporte e cultura promovidas pelas indústrias, com o intuito de melhorar a qualidade de vida do trabalhador do setor sucroalcooleiro, incentivando-o a permanecer no meio rural, mantendo assim a mão-de-obra no local.

A opção pelo uso desse relatório, justifica-se pelo fato de se tratar de um documento oficial e público, e dessa forma, pode ser considerado como uma representação da imagem que o setor deseja que a sociedade construa sobre as usinas de cana-de-açúcar. As informações sobre as ações sociais contidas nesse documento foram classificadas considerando as diferentes áreas de atuação dessas usinas de acordo com os princípios dos sete vetores de Responsabilidade Social Coorporativa (RSC) considerados por MELO NETO e FROES (1999), quais sejam:

1) ao desenvolvimento da comunidade de onde atua;
2) preservação do meio ambiente;
3) investimento do bem-estar dos funcionários e seus dependentes e num ambiente saudável de trabalho agradável;
4) comunicações transparentes;
5) retorno aos acionistas;
6) sinergia com os parceiros;
7) satisfação dos clientes e/ou consumidores

Após esse processo de classificação, os vetores foram agrupados em cinco áreas de atuação: saúde, educação, meio ambiente, esporte e cultura, que deram origem a tabela 6.23, cuja base de dados soma 359 ações sociais desenvolvidas pelo setor-sucroalcooleiro, sendo 143 na área educacional, 29 na área cultural, 90 na ambiental, 33 na esportiva e 64 na área da saúde.

Tabela 6. 23 – Resumo das Áreas de Atuação Focadas pelas Usinas Associadas à UNICA

Vetores de RSC	Áreas de atuação	Número de Projetos	Frequência de projetos (%)	Número de pessoas beneficiadas	Beneficiados (%)
1,2,3,4,5,7	Educação	143	40	35060	45,1
1,3,4,5,7	Cultura	29	8	2075	2,7
1,2,3,4,5,6,7	Meio ambiente	90	25	4058	5,2
1,3,4,7	Esporte	33	9	7740	10,0
1,3,4,5,7	Saúde	64	18	28785	37,0
TOTAL	-	359	100	77718	100,0

Fonte: União da Indústria de Cana-de-Açúcar (2004); Bragato et al (2008)

Segundo BRAGATO et al (2008), foi possível identificar que 32,5% das ações sociais desenvolvidas pela Usinas Associadas à UNICA, beneficiam tanto o público interno, quanto o externo, com participação de 50% para cada público. Os funcionários das unidades produtoras são partes integrantes, atuando como beneficiários ou voluntários dessas iniciativas. O percentual de usinas que foca mais da metade de suas ações sociais no público interno é 21,6%, enquanto que 16,2% das usinas desenvolvem exclusivamente atividades direcionadas ao público interno. Vale ressaltar, que por outro lado aquelas empresa que somente focam o público externo representam um percentual bastante pequeno da amostra pesquisada (5,4 %).

Portanto as ações sociais, de certo modo, têm cunho, compensatório em relação ao público interno, têm como foco as externalidades provocadas nas relações de trabalho, e não necessariamente uma preocupação direta com aquelas que envolvem a comunidade como um todo. Tal fato pode indicar duas situações:

1° ou consideram que o público interno é responsável e significativo pela divulgação da imagem;

2° ou não estão preocupados com o impacto das externalidades na comunidade em que se localizam.

A tabela 6.24 ilustra essa análise que retrata o público beneficiado pelas ações sociais.

Tabela 6. 24– Público Beneficiado

Público Beneficiado	%
50% público interno e 50% público externo	32,5
100% público interno	16,2
100% público externo	5,4
Mais de 50% público interno	21,6
Mais de 50% público externo	5,4
Menos de 50% público interno	5,4
70% público interno e 30% público externo	5,4
30% público interno e 70% público externo	2,7
Não responderam	8,1

Fonte: Bragato et al (2008), dados obtidos em pesquisa de campo

6.4.4. Potencial de Geração de Empregos Devido a Substituição de Combustíveis na RMSP.

Segundo Marcos Sawaya Jank, Presidente da UNICA (União da Indústria de Cana-de-Açúcar), 2009, as usinas faturaram com etanol US$ 12,4 bilhões, contabilizadas as vendas para o mercado externo e interno em 2008. As exportações geraram faturamento US$ 2,36 bilhões (5 bilhões de litros). Desde 2001, as exportações para o exterior cresceram 26 vezes em faturamento e 15 vezes em volume. Os principais compradores foram os Estados Unidos e a União Européia.

A maior parte do etanol hidratado é consumida no mercado interno: em 2008, foram 14,08 bilhões de litros (faturamento para as usinas de US$ 6,6 bilhões). Nesse mesmo ano de 2008, o setor sucroenergético empregou 1,28 milhões de pessoas com carteira assinada, o equivalente a 2,15% dos postos de trabalho no Brasil. Este montante inclui os empregados gerados no cultivo de cana-de-açúcar, fábricas de açúcar em bruto e no refino e moagem de açúcar e na produção de etanol. A maior parte foi gerada pelo cultivo da cana (481.662 funcionários), fixos e sazonais, e nas fábricas de açúcar (581.292). A produção de etanol envolveu 226.513 empregados. E o refino e moagem de açúcar, 13.791. Os dados mostram que o índice de formalidade de empregos no setor canavieiro de empregos em São Paulo, chega a 95,05% segundo o IBGE (2007).

Sabe-se que o consumo de diesel da frota de ônibus urbanos da frota de ônibus urbanos da RMSP, calculado no capítulo 5 (item 5.4.4), em função da quilometragem rodada por cada ônibus (80.000 km), dividida pelo rendimento ponderado (2,50 km), multiplicado pelo número total de ônibus (22.000), resultou 704.000.000 litros/ano. (Cenário 0 – baseline). Propondo-se a utilização do ônibus movido a etanol aditivado do Projeto BEST (BioEthanol for Sustainable Transport), descrito no Capítulo 4 (item 4-2), que utiliza 92,2% de etanol hidratado e 7,8% de componentes aditivos (Capítulo 3, item 3.4.2.), calcula-se o montante de 649.088,00 litros/ano, necessários para manutenção da mesma frota. A esse valor acrescenta-se 60%, uma vez que cada ônibus consome aproximadamente 60% a mais de etanol do que o diesel para percorrer a mesma distância, chegando-se ao valor de 1.038.540.800 litros/ano.

De acordo com a UNICA a safra 2008/2009 foi record até então, com quase 570 milhões de toneladas de cana produzida numa área de 8,5 milhões de hectares, que originou 55% de etanol e 45% de açúcar, empregando cerca de 1.283.258 pessoas com carteira assinada. Nesse total, sendo a parcela correspondente ao etanol de 55%, estima-se que para sua produção, que em 2008/2009 foi de 14.080.000 m^3/ano de etanol, tenham sido gerados 705.792 empregos formais. Assim sendo para um incremento de 1.038.541 m^3/ano de etanol necessários para a substituição de combustíveis proposta neste estudo, seria necessária a geração de 50.059 novos empregos formais. Considerando-se que para cada emprego direto são gerados dois indiretos, estima-se que para esse incremento, haveria aproximadamente 150.177 pessoas trabalhando na cadeia do etanol. Considerando-se apenas os empregos formais 50.059 novos empregos, poder-se-ia estimar que para cada emprego gerado o governo federal deixaria de pagar o benefício da Bolsa Família, atualmente num valor médio de R$ 67,00, pagos a crianças até 15 anos. Assim sendo, ter-se-ia um custo evitado para a sociedade de aproximadamente R$ 3,4 milhões sem se considerar os empregos indiretos, mensalmente. Além do mais, sendo o salário médio de um trabalhador na cadeia do etanol próximo de R$ 850,00, o governo federal arrecadaria 20% desse valor (R$ 170,00) de cada trabalhador como contribuição ao Instituto Nacional de Seguridade Social (INSS), recolhendo aos cofres públicos a quantia de aproximadamente R$ 8,5 milhões mensalmente. E ainda sem pagar o seguro desemprego ao trabalhador solicitante.

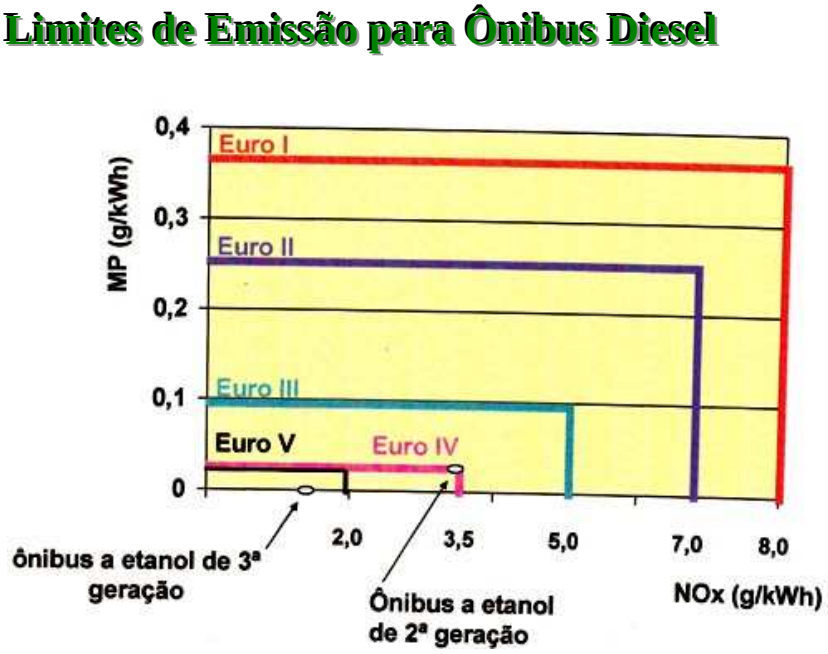
6.5. As Externalidades do Uso do Etanol na Frota de Ônibus Urbanos da Região Metropolitana de São Paulo – Estudo de Caso BEST

A lei 14933/09, em seu artigo 50, prescreve com relação aos atos e contratos da administração relativos a transportes públicos:...*"redução progressiva do uso de combustíveis fósseis, ficando adotada a meta progressiva de redução de, pelo menos, 10% (dez por cento) a cada ano..."* Sendo que em 2018 a frota municipal não deve mais contar com veículos movidos a combustíveis fósseis.

Para atender à Lei de Política Estadual de Mudanças Climáticas de 9 de novembro de 2009, que prevê a redução de 20% das Emissões de CO_2 até 2020, o ônibus movido a etanol aditivado – BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável (Capítulo 3), é uma das tecnologias mais viáveis, já desenvolvida e aperfeiçoada que pode atender à Lei no curto prazo.

O motor é avançado até para os padrões europeus de emissões, pois atende as especificações EURO 5, que entraram em vigor na Europa em 2009 (figura 6.3) e, também, à Enhanced Environmentally Friendly Vehicles (EEV) que ainda não tem prazo para entrar em vigor na União Européia.

Figura 6. 3 – Limites de Emissão para Ônibus Diesel



Fonte: SEKAB: Etamax D Fuel Composition (2001a)

As emissões do motor atendem e superam os limites impostos pelas fases P-5 e P-6 do PROCONVE (Programa de Controle de Emissões Veiculares) conforme especificado no Capítulo 4 (item 4.6). A fase P-6 é o limite de emissões brasileiro mais rigoroso para a fabricação de motores de combustão interna e entrou em vigor em 2009, embora não possa ser atendida devido à falta de disponibilidade de combustível e motores adequados no Brasil. Quando em 2012, entrar em vigor a fase P-7, equivalente ao padrão de emissão Euro 5 (vide figura (6.3) o ônibus movido a etanol já estará atendido devido às suas exigências.

Com o BEST, de acordo com o parecer técnico CETESB 006/08 de 14/01/2008, estima-se a redução de mais de 80% das emissões de gases responsáveis pelo aquecimento global (GEEs), de 90% de material particulado (MP), 60% de óxido de nitrogênio (NO_x), 75% de monóxido de carbono (CO), 82% de hidrocarbonetos (HC), além de não haver emissão de enxofre (S), que origina o dióxido de enxofre (SO_x) responsável pela chuva ácida. Os dados acima podem ser visualizados na tabela 6.25 abaixo:

Tabela 6. 25 – Etanol em Motores Diesel Poluição Local – Redução de Emissões em Relação a Motor Diesel Equivalente

Etanol em Motores Diesel Poluição Local	
Redução de emissões em Relação a Ônibus Diesel equivalente (CONAMA Fase 5)	
CO: 75%	**MP: 90%**
HC: 82%	**NO_x:60%**
SO_x: ~ 100%	**CO_2: ~ 90%**

Fonte: UNICA – União das Indústrias de Cana-de-Açúcar (2010)

Considerando-se o Cenário 0 (baseline-scenario) proposto no Capítulo 5, item 5-4-5 (toda a frota de ônibus da RMSP movida a diesel – 2009) em termos de emissões quantificadas, encontrou-se os valores disposto na tabela 6.26 na sequência:

Tabela 6. 26 – Emissões Totais dos Gases de Efeito Local (GELs) e Efeito Estufa (GEEs), para o Cenário 0 (baseline scenario – 2009)

Cenário 0 (baseline – scenario) 2009					
CO_2 (Mt CO_2)	**CO (Mt CO)**	**NO_x (Mt NO_x)**	**MP (Mt MP)**	**HC (Mt HC)**	**SO_x (Mt SO_x)**
2,28	0,027	0,020	0,0010	0,0042	0,0084

Fonte: Elaboração própria

Se hipoteticamente considerar-se que toda a frota de ônibus urbanos da RMSP, pudesse ter seus 22.000 ônibus movidos a diesel, substituídos pelo BEST, as emissões do Cenário 0 – Baseline diminuiriam drasticamente conforme os índices de emissões explicitados na tabela 6.25 para a poluição local e global, em relação a ônibus Diesel equivalente. A redução da quantificação estão expressa na tabela 6.27.

Tabela 6. 27 – Estimativa das Reduções dos GELs e GEEs devidas ao BEST (2009)

Emissões Reduzidas pelo BEST 2009					
CO_2 (Mt CO_2)	**CO (Mt CO)**	**NO_x (MT NO_x)**	**MP (Mt MP)**	**HC (Mt HC)**	**SO_x (Mt SO_x)**
2,052	0,0203	0,0120	0,00090	0,0034	0,000

Fonte: Elaboração própria

Assim sendo o BEST emitiria apenas os valores tabulados abaixo, de acordo com a tabela 6.28.

Tabela 6. 28 – Estimativa das Emissões dos GELs e GEEs devidas ao BEST (2009)

Emissões Reduzidas pelo BEST 2009					
CO_2 (Mt CO_2)	**CO (Mt CO)**	**NO_x (MT NO_x)**	**MP (Mt MP)**	**HC (Mt HC)**	**SO_x (Mt SO_x)**
0,228	0,0067	0,0080	0,001	0,0008	0,000

Fonte: Elaboração própria

Sumarizando-se os dados das tabelas, 6.26 e 6.28, pode-se identificar a grande vantagem do etanol como combustível no transporte público urbano, que é o ganho ambiental com a redução das emissões. A tabela 6.29 ilustra a vantagem ambiental do BEST relativamente ao ônibus a Diesel.

Tabela 6. 29 – Emissões do Best Relativamente ao Ônibus Diesel - 2009

Emissões Comparativas						
Mt (mega toneladas)	**CO_2**	**CO**	**NO_x**	**MP**	**HC**	**SO_x**
Cenário 0 (baseline-scenario) 2009	2,28	0,027	0,020	0,0010	0,0042	0,0084
BEST Ônibus a Etanol	0,228	0,0067	0,0080	0,001	0,0008	0,000

Fonte: Elaboração própria

É dentro deste contexto que o BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável representa o esforço de São Paulo em busca da economia de baixo carbono e da melhoria da saúde da população, algo que poderá ser viabilizado em muitas outras cidades brasileiras.

Além das externalidades ambientais, sociais e dos ganhos em saúde pública, discutidas neste capítulo, identificadas pela substituição de diesel por etanol, na frota de ônibus da RMSP, ou seja, dos ônibus movidos a diesel por aqueles movidos a etanol (BEST), outras externalidades podem ser identificadas porem não monetarizadas, a seguir:

- A disponibilidade e as perspectivas para a produção do etanol, pois o Brasil é líder mundial na produção em larga escala de etanol de cana-de-açúcar;
- A diversificação da matriz energética no setor de transporte;
- A utilização de um combustível nacional, além da infraestrutura de distribuição compatível com a já existente.

7 BARREIRAS TÉCNICO-ECONÔMICAS DO USO DO ETANOL DA CANA-DE-AÇÚCAR NO MOTOR CICLO DIESEL

O uso do etanol em motores ciclo Diesel oferece uma série de benefícios ao modelo do Brasil. A partir do exemplo do BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável, em São Paulo, espera-se atrair o interesse de outras regiões do Brasil para esta tecnologia. Para tanto, este capítulo procura identificar barreiras que se interponham à viabilização da mencionada tecnologia inovadora.

7.1. Identificação das Barreiras Técnica Econômicas do Etanol da Cana-de-Açúcar

A disponibilidade e as perspectivas para a produção do etanol somadas às vantagens competitivas ambientais, sociais e econômicas, sugerem que o etanol em motores ciclo Diesel tem potencial econômico atraente no transporte urbano de passageiros e cargas.

Mesmo assim, torna-se necessário algumas reflexões no intuito de identificar possíveis barreiras técnico-econômicas que, eventualmente, se interponham à viabilização dessa tecnologia no transporte público do Brasil.

O País possui um dos maiores programas comerciais de Biomassa do mundo, o PROÁLCOOL – Programa Brasileiro de Álcool, lançado em 1975 pelo Governo Federal com intuito de produzir etanol e açúcar a partir da cana-de-açúcar que tem como finalidade a redução de importações de petróleo.

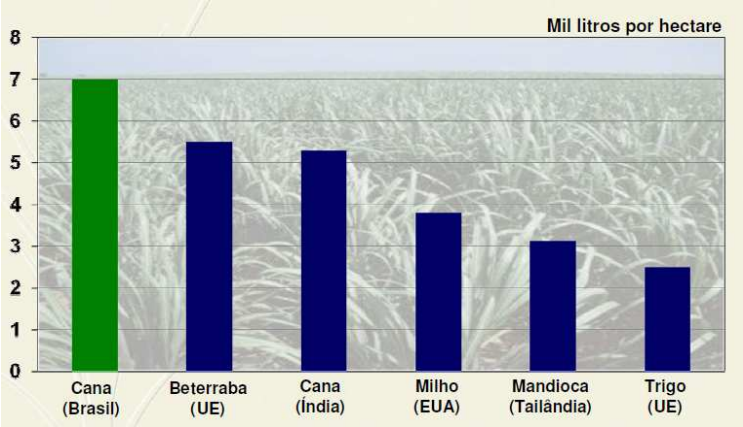
No Brasil, o etanol é compulsoriamente adicionado à gasolina, em porcentagem definida pelo Governo Federal, que varia de 20 a 25% em volume, produzindo o chamado gasohol. O etanol misturado à gasolina substituiu o chumbo tetra etila e o MTBE – éter metil-terciário butílico (Methyl Tertc Butyl Ether), que eram misturados à gasolina para aumentar sua octanagem.

O Brasil é líder no mercado mundial de etanol de cana-de-açúcar, com produção atual de 22 bilhões de litros (SZWARC, 2007), sendo que 2/3 desse volume é produzido no Estado de São Paulo. O solo e clima favoráveis, além do investimento, contribuem para um aumento significativo da produtividade do etanol, reduzindo os custos de produção.

Em relação as outras matérias primas para produção do etanol, a cana-de-açúcar no Brasil tem a vantagem de possuir maior produtividade, aproximadamente 7.000 litros por hectare, enquanto que o etanol produzido a partir do milho, nos EUA, apresenta produtividade

de 3.000 litros por hectare. A figura 7.1 mostra a produtividade do etanol a partir de diferentes matérias primas cultivadas.

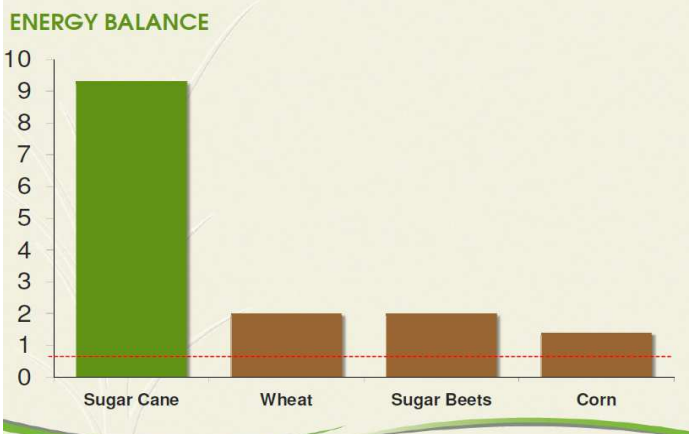
Figura 7. 1 – Produtividade do Etanol de diferentes matérias-primas



Fonte: UNICA[2], 2008

Para cada unidade de energia fóssil consumida na produção de etanol de cana são produzidas de 8,5 a 10,5 unidades de energia renovável (vide capítulo 5, item 5.2.2.1), enquanto é produzida, aproximadamente, 1 unidade do etanol de milho conforme mostra a figura 7.2.

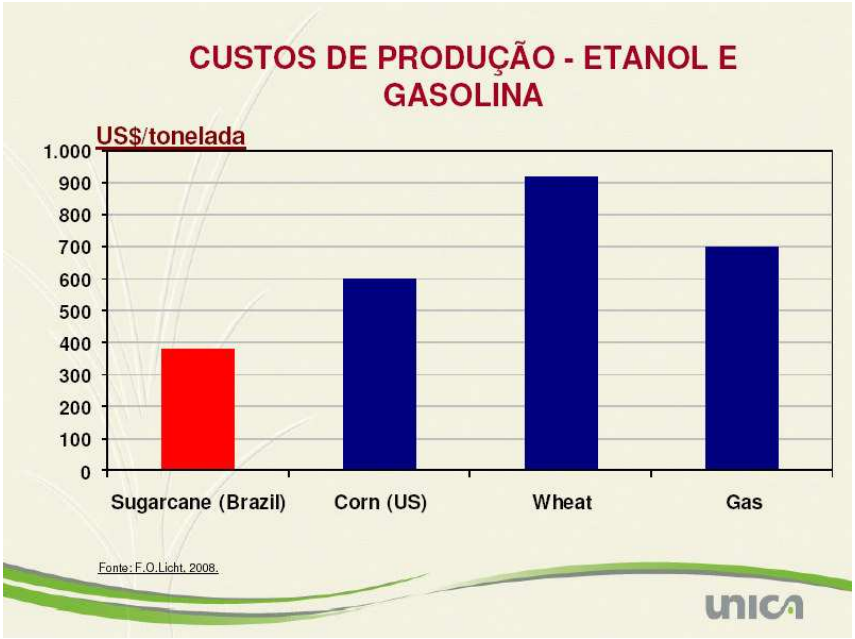
Figura 7. 2 – Balanço Energético do etanol de diferentes matérias primas



Fonte: UNICA[3], 2008

Além disso, os custos de produção do etanol brasileiro são menores, de acordo com a figura 7.3.

Figura 7. 3 – Custo de produção do etanol para diferentes matérias-primas.



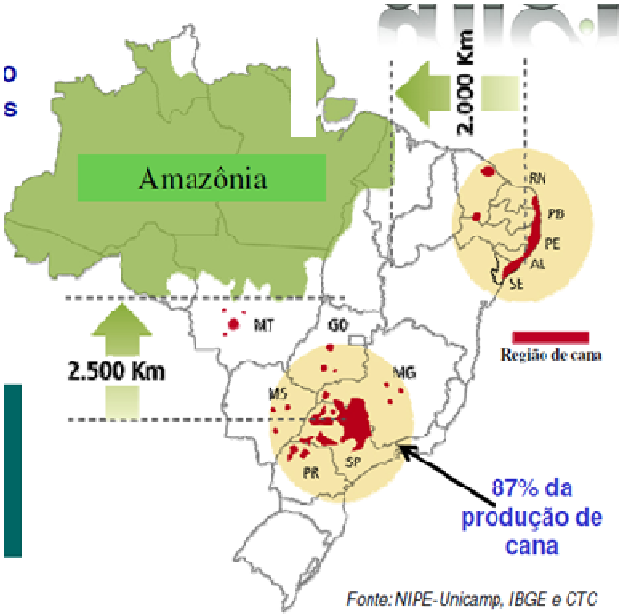
Fonte: UNICA[2], 2008

A expansão do setor sucroálcooleiro concentrado na Região Centro-Sul do país investirá entre os anos de 2007 a 2012 US$ 14 bilhões (SZWARC, 2007). Atualmente, existem mais de 86 novos projetos em fase de implantação.

O setor gera cerca de 700.000 empregos diretos e 3,5 milhões de empregos indiretos em todo o Brasil (MOREIRA, 2007).

Aos pessimistas que sustentam discussões em relação a competição entre plantação de açúcar e alimentos; cabe esclarecer que no Brasil não é uma realidade.A área plantada é de, aproximadamente, 5,5 milhões de hectares e a cultura de cana ocupa somente 2,4% dessa área (MOREIRA, 2007). Dos 90 milhões de hectares, 22 milhões estão aptos à plantação de cana-de-açúcar (SZWARC, 2007). A expansão dessa produção tem ocorrido, principalmente, nas áreas de pastagens que deixaram de ser extensivas.Tais áreas passaram a ser mais eficientes (CENBIO, 2006), o que demonstra que a expansão do setor não está invadindo o cerrado e nem a Amazônia (figura 7.4), como o veiculado pela na mídia.

Figura 7. 4 – Cana-de-açúcar no Brasil



Inexistem barreiras em relação aos resíduos industriais da produção do etanol e do açúcar. Resíduos como a vinhaça e a torta de filtro são utilizados como fertilizantes orgânicos. Além disso, o uso da palha da cana deixada sobre o solo após a colheita, principalmente, nas áreas mecanizadas (vide Capítulo 5, item 5.2.1.1) representam, em termos de reciclagem, recaptação de nutrientes e proteção do solo.

Em relação ao uso de inseticidas na cana-de-açúcar, no Brasil é baixo e o fungicida é praticamente nulo. As principais pragas da cana são combatidas através do controle biológico de pragas e com a seleção de variedades resistentes em grandes programas de melhoramento genético (UNICA, 2008).

A cultura da cana no Brasil é reconhecida por apresentar uma pequena perda de solo (cerca de 12,4 toneladas por hectare). Esta situação melhora com o aumento da colheita sem queima da palha de cana e com técnicas de preparo reduzido, levando a perdas e valores muito baixos, se comparáveis ao plantio direto em culturas anuais (UNICA, 2008).

Quando se questiona o uso de água na cultura da cana, esclarece-se que praticamente não é irrigada. As necessidades hídricas na fase agrícola são sanadas, naturalmente, pelo regime de chuvas das regiões produtoras e pela adição da vinhaça (sub-produto da produção do etanol que é rica em água e nutrientes orgânicos).Esse processo é denominado fertirrigação (Capítulo 5, item 5.2.1.1). Os níveis de captação e lançamento de água para o uso industrial foram substancialmente reduzidos nos últimos anos, ou seja, cerca de 5 metros cúbicos de água por tonelada de cana processada (UNICA, 2008).

Toda energia utilizada no processo industrial da produção de etanol e açúcar no Brasil, é gerada dentro das próprias usinas a partir da queima do bagaço da cana. Esse processo é conhecido como cogeração, que produz energia térmica e elétrica de forma simultânea a partir do uso da biomassa. Essa cogeração é capaz de suprir as necessidades da usina e prover energia excedente para rede pública de energia elétrica.

Com o exposto, pode-se entender porque a agroindústria de cana-de-açúcar é retratada mundialmente com contornos de modernidade e desenvolvimento, tendo "expertise" para auxiliar outros países que optem por trilhar o mesmo caminho. No país não existem barreiras internas, pois o etanol da cana-de-açúcar já tem seu uso consagrado.

O Brasil tem efetivamente muitas lições a serem ensinadas e aprendidas através de sua curva-de-aprendizagem do etanol (COELHO et al, 2005). Portanto apenas as barreiras externas de importação, impostos pelos países desenvolvidos, constituem um fato desfavorável para o sucesso do etanol.

7.2. Identificação das Barreiras Tecno-Econômicas do BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável

A identificação dos impactos derivados da substituição de combustíveis (diesel por etanol) na frota de ônibus urbanos da RMSP, traduzidos através da quantificação, valoração e monetarização das externalidades (Capítulo 6), aliados à infraestrutura e logística oferecida pela agroindústria do etanol de cana-de-açúcar, justificariam a adoção da tecnologia do ônibus movido a etanol aditivado (BEST), como solução a curto prazo, para a redução dos poluentes na forma de gases de efeito local (GELs) e estufa (GEEs), que causam danos à saúde pública e, por consequência, degradam a qualidade de vida na Região Metropolitana de São Paulo.

Entretanto, apesar das externalidades positivas decorrentes da substituição de combustíveis, o motor ciclo diesel a etanol aditivado (Capítulo 4) apresenta algumas barreiras a serem transpostas:

- O motor ciclo Diesel a etanol aditivado tem um custo ligeiramente superior ao motor a Diesel convencional, cerca de US$ 10 mil mais caro, justamente por ainda não ser fabricado em larga escala (MOREIRA, 2008);
- Os custos para manutenção tendem a ser superiores aos motores convencionais, uma vez que é necessário realizar a troca do filtro do motor e do óleo a cada

10.000 km, enquanto nos ônibus a diesel a troca é realizada a cada 20.000 km (ITDP – 2008);

- No motor ciclo Diesel a etanol aditivado há necessidades de maior frequência na limpeza dos bicos injetores (ITDP – 2008).

É evidente que com o aumento na produção do motor ciclo Diesel a etanol aditivado a diferença entre os custos diminuirá consideravelmente. Além disso, a troca dos filtros e limpeza dos bicos injetores acabam por se diluir, quando se considera toda a operação de veículo (ITDP – 2008).

Porém, o maior entrave para a utilização do etanol nesses motores se refere à necessidade da adição do aditivo ao etanol, que não tem a propriedade de auto ignição por compressão, tecnologia inerente aos motores ciclo Diesel (Capítulo 3). A adição do aditivo é necessária para que a combustão interna ocorra mais rapidamente e com maior eficiência energética (BENTO, 2007). Esse aditivo é produzido pela empresa sueca SEKAB (Svensk EtanolKemi AB).

Embora o aditivo seja importado num primeiro instante, deverá ser produzido no país, com redução do custo já deduzido o imposto de importação. Além disso, já existem empresas brasileiras desenvolvendo aditivos alternativos ao da SEKAB, com o propósito de reduzir o custo operacional e viabilizar tecnologia nacional nesse campo.

Na medida em que as externalidades negativas decorrentes da utilização do óleo diesel nos motores ciclo Diesel, associadas a emissão de gases de efeito local (GELs) e do efeito estufa (GEEs) forem sendo internalizadas nos custos, certamente esta tecnologia será uma das mais competitivas no país.Um aspecto a ser considerado é que os ônibus a etanol aditivado serão produzidos no Brasil, portanto, será deduzido o imposto de importação.

Outra barreira a ser transposta, será a de superar a insegurança do setor de transportes em adquirir uma nova tecnologia nunca antes utilizada em larga escala no país. A implantação dessa inovação tecnológica no transporte público urbano, dependerá de incentivos fiscais promovidos pelo setor público brasileiro, pelo menos até que a tecnologia atinja economia de escala, diminuindo o custo inicial.

8 POLÍTICAS PÚBLICAS

Busca-se neste capítulo, identificar as forças motrizes que possam servir de lastro na formulação de políticas públicas de transporte pró-etanol aditivado.

Resgata-se as prioridades definidas pelas últimas gestões federais, assim como as discussões da comunidade técnica e da sociedade organizada.

Discute-se também, políticas públicas e incentivos para produção em escala dos ônibus movidos a etanol aditivado.

8.1. As Políticas Públicas para o Transporte de Passageiros por Ônibus do Governo Federal Anterior.

No Governo anterior, a Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República (SEDU/PR) criou o Grupo Executivo de Transporte Urbano (GTRAN), em agosto de 2000, *"com o intuito de promover a articulação institucional, desenvolver estudos e coordenar os programas e projetos do setor de transporte urbano"*.

Dentre os projetos a cargo do GTRAN, destacou-se a coordenação do projeto que visava à definição de diretrizes gerais da Política Nacional para o Transporte Urbano (PNTU). Essas diretrizes contemplavam cinco objetivos: a melhoria da qualidade do transporte coletivo e do deslocamento de pedestres e ciclistas, o aumento dos índices de satisfação dos usuários e da população urbana em geral com os serviços de transportes e as facilidades de deslocamento oferecidas (BRASIL, 2001, apud OLIVEIRA JR., 2006).

As discussões promovidas pelo SEDU/PR concluíram que as propostas sugeridas somente seriam exeqüíveis se houvesse financiamento. Tal assertiva levou à criação do "Comitê de Financiamento do Transporte Coletivo Urbano" que tinha por objetivo identificar "os principais fatores legais, institucionais e operacionais restritos ao financiamento do transporte coletivo urbano". Apontaria também "as principais fontes de recursos que poderiam dar suporte aos investimentos necessários para concretizar as ações estratégicas propostas", envolvendo a participação de "entidades de fomento, bancos privados e de especialistas no tema financiamento do transporte urbano" (BRASIL, 2002; apud OLIVEIRA JR., 2006).

A Política Nacional para o Transporte Urbano, elaborada pela SEDU/PR, tinha objetivos:

a) "Aumentar a atratividade do transporte coletivo, tornando-o mais rápido, confortável, acessível, módico, seguro e adequado às necessidades da população;

b) Reduzir os impostos negativos (econômicos, sociais e ambientais) das viagens urbanas, por meio da diminuição do tempo gasto com deslocamento, dos custos operacionais do transporte coletivo, dos acidentes de trânsito, especialmente com pedestres e ciclistas e, da poluição ambiental acima dos níveis admitidos;

c) Estimular a modernização tecnológica e gerencial, pública e privada, do transporte coletivo urbano;

d) Garantir recursos para suportar a implementação das ações com prioridade para o transporte coletivo" (BRASIL, 2002a; apud OLIVEIRA JR., 2006)

A única menção à questão dos impactos ambientais negativos do setor foi no sentido de reduzir a poluição quando esta já se encontra em níveis intoleráveis, a exemplo do que ocorre em São Paulo, particularmente na Região Metropolitana, mas sem qualquer citação quanto a uma estratégia preventiva no sentido de mudança para uma tecnologia menos poluente.

Afirmava que "esses objetivos foram selecionados como prioritários, dado o efeito multiplicador que poderão ter na busca de equidade no uso do espaço urbano, na redução da pobreza, na melhoria da qualidade ambiental e na sustentabilidade energética" (BRASIL, 2002a). Entretanto, não apresentava como obter a referida qualidade sustentável dos transportes do ponto de vista ambiental e energético; a não ser a estratégia mínima e limitada de se reduzir o consumo de combustíveis (OLIVEIRA JR., 2006).

Na busca das prioridades do Governo para tecnologias mais limpas existentes na Política Nacional do Transporte Urbano, somente a médio prazo, encontrou-se a citação: *"estimulo à adoção de tecnologias veiculares e equipamentos de gestão da oferta e da demanda, que privilegiem o meio ambiente, o conforto e a rapidez dos serviços de TPCU"*. Instituiu-se então o programa de "tecnologias limpas" (Programa 1) que privilegiava os projetos de "Pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de combustíveis, equipamentos e construções de reduzidos impactos ambientais (Projeto 1)", além da "Implantação de sistema de avaliação do uso de veículos não poluentes (Projeto 1.2)" (BRASIL, 2002a apud OLIVEIRA JR., 2006). Tais projetos foram apresentados sem detalhadamento dos objetivos e

orçamentos, demonstrando que não passa de uma simples intenção do governo e não de fato uma decisão política destinada à utilização de ônibus menos poluentes nas cidades brasileiras. A preocupação voltou-se apenas para a redução do preço da passagem dos ônibus com tecnologia diesel.

8.2. As Políticas Públicas para o Transporte de Passageiros por Ônibus do Governo Federal Atual

Foi criado o Ministério das Cidades (MC), com atribuição da definição da política de transportes urbanos, inclusive tendo na sua estrutura a Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana (SNTMU). Mas somente em agosto de 2003, o Ministério das Cidades divulgou o documento intitulado "Motivações que Regem o Novo Perfil de Deslocamento da População Urbana Brasileira – Pesquisa de Imagem e Opinião sobre os Transportes Urbanos" (BRASIL, 2003), contratado no governo anterior pela SEDU/PR, constituindo um diagnóstico do perfil do usuário e da demanda e não de políticas públicas.

Segundo BRASIL (2004), apud OLIVEIRA Jr., o transporte público de passageiros passa por uma crise que pode ser caracterizada por: a) redução da demanda; b) tarifas elevadas; c) problemas institucionais; d) diminuição da qualidade; e) redução da velocidade comercial devidos aos congestionamentos; f) queda da mobilidade urbana com redução no número de viagens por habitante nas cidades. Afirma que *"existem várias frentes de atuação para a revisão deste quadro"*, mas destaca apenas uma delas *"o investimento em infra-estrutura nos corredores segregados para o transporte, terminais, pontos de parada, abrigos e obras de acessibilidade"*, o que justificaria a existência do PRÓ-TRANSPORTE.

Conclui que tais investimentos proporcionariam os seguintes benefícios:

a) melhorias na qualidade de transporte;

b) aumento da velocidade comercial;

c) maior conforto e segurança nos terminais e pontos de parada qualificados;

d) maior acessibilidade ao sistema;

e) aumento na eficiência e redução de custos.

Por essas razões, destaca a importância do PRÓ-TRANSPORTE e elege como público alvo as prefeituras, governos estaduais, órgãos gestores ou empresas concessionárias de serviços de transporte coletivo urbano (BRASIL, 2004).

Na opinião de Renato Boareto, ex-Diretor da Mobilidade Urbana da SNTMU/MC, a criação do Ministério das Cidades representou *"um avanço no tratamento das questões urbanas [...] com a mudança do foco no trato da cidade, ampliando uma visão do transporte e trânsito para uma visão integrada de mobilidade urbana sustentável. A nova abordagem do Governo trata também da inclusão social e da necessidade da atualização da regulação dos serviços de transporte público"* (BOARETO, R., 2003)

Conclui afirmando que *"a criação do Ministério das Cidades recoloca o Governo Federal, como articulador das políticas públicas que contribuem para o aumento da qualidade de vida dos municípios brasileiros. Sua atuação será fundamental na difusão dos conceitos, na formação de pessoal e no fomento de projetos de mobilidade urbana sustentável"*.

Neste sentido, o Ministério das Cidades apresentou, em junho de 2004, a visão preliminar da Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável (PNMUS) contendo princípios, objetivos e diretrizes gerais, com vistas a subsidiar o Comitê Técnico de Trânsito, Transportes e Mobilidade Urbana do Conselho das Cidades, na formulação de políticas públicas (BRASIL, 2004a).

Pode-se dizer que os princípios, objetivos e diretrizes PNMUS, propostos pelo Ministério das Cidades, parecem mais uma lista de boas intenções. Embora válidas e necessárias, carecem de ações concretas que possam ser materializadas. Executa-se a linha de financiamento do PRÓ-TRANSPORTE, que é restrita a infra-estrutura física, estudos e projetos, sem contemplar investimentos em renovação da frota, que utilize tecnologia mais limpa, como a criação de um FINAME Verde para renovação da frota de ônibus e microônibus movidos a etanol aditivado.

8.3. As Políticas Públicas de Transportes de Passageiros por Ônibus na Visão da Sociedade

Na inexistência de ações concretas do Poder Público, a sociedade organizada se mobiliza no sentido de exercer uma "pressão democrática", como classifica o ex-Ministro Olívio Dutra, em relação às ações proposta. Pelo Movimento Nacional pelo Direito ao Transporte Público de Qualidade para Todos (MDT), criado em 25 de setembro de 2003. Tem como um dos principais membros a Associação Nacional dos Transportes Públicos (ANTP), que reúne mais de 500 entidades da sociedade civil (AFFONSO, N. S., 2004).

As propostas do MDT (2004), enquanto ato político, objetiva "inserir na agenda social e econômica do país, o transporte público (um serviço essencial), como um direito para todos,

visando à inclusão social, à melhoria da qualidade de vida e, o desenvolvimento sustentável com geração de emprego e renda", tornando-se amplas o suficiente para que se possa enquadrá-las em alguns critérios. Estas abrangem aspectos variados, desde ações gerenciais, operacionais e institucionais, ações eminentemente de caráter político, outras que envolvem aspectos tributários e constitucionais e outras que podem ser consideradas como de estímulo ao uso de tecnologias mais limpas. Mas enquanto proposta para viabilizar tal alternativas as referências seriam muito vagas.

Finalmente, pode-se concluir que as principais forças impulsionadoras para o delineamento de políticas públicas voltadas ao transporte de passageiros por ônibus, segundo OLIVEIRA JR., (2006), seriam:

a) A necessidade de financiamento ao setor de transporte público;

b) A revisão do ordenamento jurídico de ordem tributária visando à desoneração dos tributos incidentes na tarifa de ônibus, tornando-o mais barato;

c) A desoneração tornaria a tarifa módica, permitindo a inclusão social e a distribuição de renda utilizando-se a política tarifária como política pública, possibilitando maior mobilidade urbana da população;

d) O desenvolvimento das cidades com conservação ambiental, que embora minimamente tratada pelo atores públicos e privados, não se encontra descartada enquanto política pública de transporte de passageiros por ônibus;

e) A redefinição do modelo de custeio dos serviços públicos de transporte de passageiros, possibilitando inclusive o subsídio direto, indireto e cruzado.

8.4. Políticas Públicas para o Ônibus a Etanol Aditivado – BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável

O modelo de transporte público movido a etanol aditivado representa uma externalidade positiva para a RMSP (Capítulo 6 item 6.1.2). Assim sendo, necessita receber incentivos do Poder Público, ou seja, para o equilíbrio de mercado social ótimo, as externalidades positivas requerem um subsídio. Na verdade essa seria exatamente a política que o governo deveria adotar sempre (MANKIW, 2005). Estudos indicam que o ônibus a etanol aditivado consome aproximadamente 60% a mais de etanol que diesel para percorrer a mesma distância. Além disso, nesta fase inicial de implantação,o ignitor para promover a auto-ignição é importado da SEKAB sueca. (Capítulo 4).

Portanto, a implantação desta nova tecnologia no transporte público urbano depende de incentivos fiscais promovidos pelo setor público brasileiro até que, a tecnologia tenha seu custo diminuído quando atingir fabricação em escala. As proposta de políticas públicas para o ônibus a etanol aditivado envolveriam todas as esferas do governo quais sejam: municipal, estadual e federal.

No âmbito federal, a proposta seria de uma linha de financiamento diferenciado do Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) para aquisição de novos veículos. A diferenciação de crédito poderia ser feita por meio de taxas de juros menores que as taxas para aquisição de veículos convencionais. Haveria, portanto, uma preferência das concessionárias de ônibus pelos veículos movidos a etanol aditivado, uma vez que a taxa de juros do financiamento se mostraria mais vantajosa (CENBIO, 2009b).

No âmbito estadual, a proposta de política pública seria a isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), incidente sobre o etanol combustível para o transporte público urbano. A alíquota do ICMS é diferenciada nos diversos Estados da Federação Brasileira, por exemplo, no Estado de São Paulo, cuja alíquota incidente sobre o etanol hidratado é de 12% sobre o valor do produto para transações dentro do Estado de São Paulo.

No âmbito municipal na cidade de São Paulo, é oportuno lembrar que em 5 de julho de 2009, foi promulgada a Lei 14.933, também conhecida como Lei das Mudanças Climáticas de São Paulo. Tal lei tem como meta a redução das emissões de gases de efeito estufa em 30% até o ano de 2012 por meio da utilização de tecnologias mais limpas a partir de combustíveis renováveis (PMSP, 2009). O ônibus a etanol aditivado, por sua vez se constitue, numa alternativa viável para o cumprimento dessa meta de redução de emissões de gases de efeito estufa, no curto prazo.

Há também em trâmite na Câmara dos Deputados de São Paulo, o projeto de Lei 293/2009, que de forma semelhante à lei municipal de São Paulo, propõe a substituição dos ônibus intermunicipais movidos a diesel por ônibus movidos a etanol, num prazo de dez anos.

9 CONCLUSÃO

A análise dos últimos 60 anos de planejamento estatal dos transportes públicos na RMSP, permite concluir que a questão ambiental não tem sido objeto consistente enquanto parte do problema dos transportes urbanos. O foco do planejamento se deu em termos de ampliação da capacidade, pelo redimensionamento da frota e da frequência, bem como das condições de circulação do sistema.

O Plano Integrado de Transportes Urbanos – PITU – elegeu como principal objetivo em termos de ônibus urbanos, a adição de mais de 300 km à malha existente e a proposta de 110 km de "corredores urbanos" que incluem pontos de ultrapassagem para elevar a velocidade média, focando apenas os aspectos construtivos da infra-estrutura (Capítulo 1).

Em nenhum momento aborda a estimativa de emissões de poluentes com a tecnologia diesel existente ou da reestruturação proposta. Também não considerou a possibilidade de substituição do diesel pelo etanol ou por qualquer outro combustível menos poluente.

Entretanto, com a promulgação da Lei de Mudanças Climáticas de São Paulo, Lei 14933/09, ficou evidente a preocupação em termos de emissões relativas à frota de ônibus urbanos da Região Metropolitana de São Paulo, bem como a necessidade de alternativas para a substituição dos ônibus movidos a diesel, tornando-se prioridade.

Para cumprir a legislação vigente, a administração pública diminuiu o uso de combustíveis fósseis em pelo menos 10% ao ano. Dessa forma, os ônibus do sistema de transportes públicos do Município deverão ser movidos por combustíveis renováveis, não fósseis, até 2018.

É dentro deste contexto que o ônibus movido a etanol aditivado do Projeto BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável, representa o esforço de São Paulo na busca da economia do baixo carbono e da melhoria da saúde da população, algo que poderá ser aplicado em muitas cidades brasileiras.

Reconhecendo-se que as externalidades (negativas), ou custos ambientais, representam o ônus social suportado pela população em favorecimento de poucos e que a poluição atmosférica oriunda da queima de combustíveis fósseis não se encontra internalizada nos preços, esta tese identificou, quantificou e monetarizou as principais externalidades da substituição do diesel por etanol na frota de ônibus urbanos da RMSP.

Espera-se, portanto, que com a incorporação das externalidades ao projeto BEST, tal inovação tecnológica se torne uma das alternativas mais viáveis para a região a curto prazo.

A tese concluiu que:

1° Quanto às estimativas e valoração dos poluentes atmosféricos de efeito local (GELs) oriundos da substituição de combustíveis diesel por etanol na RMSP - Custo Social da Externalidade Poluição do Ar Atmosférico Local

- De acordo com os índices de equivalência propostos na cadeia de produção e consumo de combustíveis emissões Well-to-Wheel (Capítulo 5), quando se compara o cenário 0 - baseline (toda a frota a diesel em 2009) com o cenário 4 (toda a frota a etanol-2009), houve um incremento de 18,5% nas emissões de CO (monóxido de carbono) e de 16,7% nas de HC (hidrocarbonetos), sendo que as emissões de NO_x permaneceram as mesmas (Capítulo 5 item 5.4.5)
- As emissões desses gases dependem também da tecnologia de motorização. Assim sendo, o ônibus movido a etanol - BEST – pode promover reduções de 75% de CO, 82% de HC e 60% de NO_x (Capítulo 6 – item 6.5), devido a tecnologia do seu motor Euro5 e EEV, de acordo com o parecer técnico CETESB 006/08 de 14/01/2008.
- Em relação ao material particulado haverá uma redução de 50% quando se compara o cenário 0 - baseline com o cenário 4, utilizando-se as emissões Well-to-Wheel. Mas, quando se considera a utilização da tecnologia do motor Euro5, as emissões se reduzem de 90% (Capítulo 6 item 6.5);
- Quanto as emissões de óxido de enxofre (SO_x), deixarão de ser emitidas 8.412 toneladas, quando se compara o cenário 0 - baseline com o cenário 4 (toda a frota a diesel), pois o etanol tem emissão nula em termos de SO_x. Utilizando-se para os GELS os valores sugeridos de IPEA (2001) atualizados para 2009, de acordo com as estimativas do Federal Reserve Bank of St. Louis (2011) e do Banco Central do Brasil (2011), segundo a relação aproximada entre a renda per capta brasileira e norte-americana, novamente, considerando-se o cenário 0 – basilene e o cenário 4, estimou-se o Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico de Efeito Local em 2009. Para o diesel estimou-se em R$ 66.204.930,00 e para o etanol R$ 69.053.114,50, sendo que o $VERA_{ar\ local}$ para o etanol resultou 4,3% maior que o $VERA_{ar\ local}$ para o diesel. Isto porque não se levou em consideração o $VERA_{ar\ local}$ do SO_x por não apresentar cotação no mercado de emissões. (Capítulo 6 item 6.2.1).

2° Quanto às Estimativas e Valoração Econômica dos Poluentes Atmosféricos de Efeito Global (GEEs) Oriundos da Substituição de Combustíveis Diesel por Etanol na RMSP - Custo Social da Externalidade Poluição do Ar Atmosférico de Efeito Estufa:

- De acordo como os índices de equivalência propostos na cadeia de produção e consumo de combustíveis Well-toWheel (Capítulo 5 item 5.4.5) quando se compara o cenário baseline (toda a frota a diesel em 2009) com o cenário 4 (toda a frota a etanol em 2009), houve uma redução de 49% nas emissões de CO_2 (Capítulo 5, item 5.4.5);
- Quando se compara o cenário 0 - baseline com o cenário 1 – BAU (toda a frota a diesel em 2025), há um aumento de 24% nas emissões de CO_2, mas quando se compara o cenário baseline como o cenário 2 – BAU (toda a frota a diesel em 2050) há um aumento de 72% nas emissões (Capítulo 5, item 5.4.5);
- Se a taxa de urbanização da RMSP atingir índices de mobilidade semelhantes aos índices europeus (cenário 3) haverá um incremento de 158% nas emissões de CO_2, em relação ao cenário baseline (Capítulo 5 item 5.4.5);
- Em relação ao ônibus movido a etanol aditivado – BEST – pode-se dizer que seu motor (Euro5), promoveria uma redução em aproximadamente 90% de CO_2;
- Utilizando-se o valor da moeda ambiental do CO_{2eq}, após consultas à bibliografia internacional quanto a cotação de tonelada de CO_{2eq} (Capítulo 6 item 6.2.2.3) optou-se pelo valor sugerido pelo Governo Holandês mediante o próprio fundo de carbono denominado The Mechanism Facility (NCDMF), que limita o preço de compra da tonelada de $CO_{eq.}$ em € 5,50 /t CO_{2eq}. Atualizando-se esse valor para 2009, o Valor Econômico do Ar Atmosférico de Efeito Estufa para o diesel resultou em R$27.948.909, 78 e para o etanol, em R$14.253.943,99, uma redução de 49% no passivo ambiental a favor do etanol, relativamente ao diesel, no que se refere a CO_{2eq}., quando se compara o cenário 0 – baseline com o cenário 4;
- Para a obtenção dos índices de emissão de poluenes de efeito estufa, utilizou-se a ponderação do Potencial de Aquecimento Global (PAG) de 2001 dos GEEs para a obtenção de $CO_{2eq.}$.

3° Quanto à Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico – para o cenário 0 (baseline scenário) e cenário 4.

- Ao se definir o valor da tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2eq}), observa-se que, em função da cotação adotada para o ano de 2009, o cenário 0 (baseline) o valor do passivo ambiental dos GEEs para o diesel resultou um R$ 27.948.909,78, ou seja, 29,65% do total estimado de R$ 94.153.839,78 (Tabela 6.12);
- No caso do cenário 4 (toda a frota a etanol) encontrou-se R$ 14.253.943,99, ou seja, 17,11% do total estimado de R$ 83.307.058,49 (Tabela 6.13);
- Houve uma redução de 11,52% ao ano, correspondendo a um valor monetário de R$10.846.781,09 em termos de valoração do Recurso Ambiental Ar Atmosférico a favor do etanol (Tabelas 6.12 e 6.13).

4° Quanto à Externalidade da Poluição de Efeito Local sobre a Saúde Humana.

- Analisando-se apenas as partículas inaláveis grossas (MP_{10}), por serem as que mais afetam a saúde humana, causando doenças respiratórias, estimou-se que o benefício social anual associado a redução da mortalidade são de aproximadamente de 3,8 milhões, considerando-se a média do intervalo acumulado (Tabelas 6.20 e 6.21);
- Quanto aos ganhos com a redução da morbidade, devido ao custo evitado de internações hospitalares, estimou-se R$ 197.418,08 e, devido ao ganho com a redução dos dias de trabalho perdidos, o valor de R$ 137.264.222,80. Um montante de R$ 137.461.640,80 de benefícios anuais associados a redução da morbidade (Tabela 6.22)
- O valor total pago diretamente pela sociedade em razão das externalidades negativas sofridas pelo efeito da poluição do ar pelo diesel, quando comparado ao etanol, será de R$ 141,30 milhões.

5° Quanto às externalidades sociais oriundas da susbstituição de combustível na frota da RMSP.

- Estimou-se que serão gerados 50.059 novos empregos formais;
- Como para cada emprego formal são gerados dois empregos indiretos teriam-se 150.177 empregos gerados na cadeia do etanol;

- Considerando-se apenas os empregos diretos haveria um custo evitado de R$ 3,4 milhões relativo ao não pagamento do Benefício Bolsa Família aos desempregados.
- O governo federal arrecadaria mensalmente R$ 8,5 milhões, relativos aos 20% de contribuição ao Instituto Nacional de Seguridade Social, calculados com base no salário médio do trabalhador na cadeia do etanol.

6° Quanto às Barreiras Técnico – Econômicas do Uso do Etanol de Cana-de-Açúcar no Motor Ciclo Diesel:

- Quanto ao BEST (ônibus com motor ciclo Diesel movido a etanol da cana-de-açúcar aditivado), apesar das externalidades positivas sugeridas acima, existem algumas barreiras a serem transpostas (Capítulo 7, item 7-2);

  a) o motor ciclo Diesel a etanol aditivado tem um custo superior, além de necessitar manutenção e limpeza mais frequentes, quando comparado ao motor diesel convencional;

  b) o maior entrave, no entanto, refere-se à necessidade do aditivo PEG (Capítulo 3) para promover a auto-ignição, por compressão, do etanol. A adição do aditivo é necessária para que a combustão interna ocorra rapidamente e com maior eficiência energética. Esse aditivo é produzido pela empresa sueca SEKAB. Embora o aditivo necessite ser importado num primeiro momento, será produzido no Brasil com redução de custo e sem imposto de importação.

  c) Será necessário superar a insegurança do setor de transportes em adquirir uma nova tecnologia nunca antes utilizada em larga escala.

7° Quanto às Políticas Públicas

- Conclui-se que não se pode afirmar que a Política Nacional para o Transporte Urbano (PNTU), definido como prioridades a adoção da tecnologia etanol aditivado em substituição ao diesel (Capítulo 8, item 8.1). A única menção do PNTU quanto à questão dos impactos ambientais negativos do setor, foi no sentido de reduzir a poluição quando esta já estiver em níveis insuportáveis, mas sem qualquer citação em relação a uma estratégia preventiva no sentido de mudança para uma tecnologia menos poluente, como o etanol para o transporte público;
- Que a Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável (PNMUS), ora em vigor, elaborada pela Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana

(SNTMU), do Ministério das Cidades (MC), necessita de ações concretas que possam ser materializadas (Capítulo 8, item 8.2). Excetua-se a linha de financiamento do PRÓ-TRANSPORTE que é restrita à infra-estrutura física e a estudos e projetos, sem contemplar investimentos em renovação da frota, que utilize tecnologia mais limpa, a exemplo do etanol, como criação de um FINAME Verde para ônibus;

- Quanto ao BEST, ônibus movido a etanol aditivado (Capítulo 8, item 8.4) pode-se dizer:

a) Necessita receber incentivos do Poder Público, pelo menos na fase inicial, pois estudos indicam que o ônibus a etanol aditivado consome aproximadamente 60% a mais de etanol do que diesel, além de necessitar do aditivo. Portanto, políticas públicas são necessárias, envolvendo níveis governamentais, municipal, estadual e federal. O BEST representa uma externalidade positiva que requer um subsídio;

b) No âmbito Federal a proposta seria uma linha de financiamento diferenciado do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDS) para aquisição de novos veículos com crédito diferenciado;

c) No âmbito estadual a isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços (ICMS);

d) No âmbito municipal em atendimento a Lei 14933/09 (Lei das Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo), o ônibus a etanol aditivado representa uma alternativa viável para o cumprimento da Lei em curto prazo.

A tese também conclui que, além das externalidades ambientais, sociais e dos ganhos em saúde pública, discutidas neste estudo, identificadas pela substituição do diesel pelo etanol na frota de ônibus urbanos da RMSP, outras externalidades poderiam ser identificadas como:

- A disponibilidade e as perspectivas para produção do etanol, pois o Brasil é líder mundial na produção em larga escala de etanol de cana-de-açúcar;
- A diversificação da matriz energética no setor de transportes;
- A utilização de um combustível nacional, além da infra-estrutura de distribuição compatível com a já existente.

Concluiu-se que há necessidade de pesquisas que poderiam ser desdobradas a partir deste trabalho como:

- Estudar o efeito das partículas ultrafinas em se tratando de material particulado emitidos por veículos a diesel;
- Estudar os efeitos da poluição do ar dentro dos veículos e quando se está a pé ou de bicicleta, oriundos das emissões do diesel;
- Avaliar os efeitos cancerígenos do diesel na população no caso brasileiro, etc;
- Avaliar os efeitos de SO_x quantificando-o e monetarizando-o.

Embora alguns métodos de valoração monetária e análise de viabilidade de políticas de redução de poluição sejam complexos, dispendiosos e nem sempre possíveis de se utilizarem por falta de dados disponíveis, espera-se que do ponto de vista da pesquisa acadêmica, possa ser abordada essa temática.

Espera-se também, que as informações levantadas nesta tese sirvam de substrato ao delineamento de políticas públicas de transportes para ônibus urbanos e que o financiamento da melhoria ambiental e de que forma a sociedade pode, ou não, pagar para degradar o meio ambiente, sejam questões que possam ser respondidas pelos tomadores de decisão, a partir dos cálculos efetuados e dados obtidos nesta tese.

10 BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, S. C. A. **Máquinas Térmicas – [s.n].** Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2006. Disponível em: http://www.mecanica.ufrj.br. Acesso em 10/11/2009.
- _____FRANCHINI, R. M. **Análise do Consumo Energético e de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Veículos Leves.** Paper CIT06 – Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering – ENCIT – 2006.
- ANFAVIA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Disponível em <http://www.anfavia.com.br/index.html> acesso fevereiro de 2011.
- ANDRADE, J. B., PEREIRA, P. A. P., MIGUEL, A. H. **Measurements of semivolatile polycyclic aromatic hydrocarbons in a bus station and an urban tunnel of Salvador, Brazil.** Journal of Environmental Monitoring, Inglaterra, v.4, p. 558-561, 2002.
- ANP - Agência Nacional de Petróleo **Portaria N° 310, de 27 de dezembro de 2001.** Rio de Janeiro, 2001.
- _____**Regulamento Técnico ANP Nº 6/2001**. Rio de Janeiro, 2001.
- _____**Óleo Diesel**: preços e custos. Palestra Ministrada na Câmara dos Deputados em Audiência pública: Comissão Especial – PL 1.927/03 e apensados. Brasília – DF. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em 20/08/2009.
- _____**Associação Nacional de Transportes Públicos** – Relatório Geral de Mobilidade – 2009.
- ANTP – Associação Nacional de Transporte Público 2001 – **Gerenciamento de Transporte Público Urbano** – Instruções Básicas, volume I – São Paulo.
- ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos – **Relatório Geral de Mobilidade Urbana** – São Paulo, 2008.
- AUTOSPEED. Site especializado em autopeças e veículos. Why And how gás recirculation is again lig news. Victória – Austrália, 2008. Disponível em: http://autospeed.com. Acesso em 10/09/2009.
- BEN - Balanço Energético Nacional 2008. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme> Acesso julho 2010.
- _____Balanço Energético Nacional 2009 – Disponível em: <http//ben.epe.gov.br> acesso fevereiro de 2011

- BENTO, 2007. **Etamax D – Combustível para Motor Diesel a partir de Etanol**. 1º Workshop Scania – Ônibus Movido a Etanol. São Paulo. Outubro 2007.
- BERMANN, C. **Energia no Brasil: para quê?** São Paulo: Livraria da Física Editora, 2002.
- BEST - Bioethanol for Sustainable Transport. **The Bioethanol bus.** Suécia, Estocolmo, 2006. Disponível em: http://ww.best-europe.org – Acesso em: 18/03/2009.
- BIDERMAN, C. – **Infra-Estrutura de Transporte Urbano em São Paulo** – Newspaper Essay – South América – December, 2008. Disponível em: < http//: www.urban-age.net> acesso 23.dez.2009
- Bio Alcohol Fuel Foudation (BAFF). **Sustainable Ethanol 2008**. Disponível: http://www.baff.info. Acesso em 27/09/2009.
- BOARETO, R., 2003. **A Mobilidade Urbana Sustentável.** Revista dos Transportes Públicos, nº 100, PP.45-46, Associação Nacional dos Transportes Públicos – ANTP, São Paulo.
- BOLOGNNI, M. F. **Externalidades na Produção de Álcool Combustível no Estado de São Paulo.** (Dissertação de Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 1996.
- BRAGATO, I. R., et al. **Produção de açúcar e álcool vs responsabilidade social corporativa: as ações desenvolvidas pelas usinas de cana-de-açúcar frente às externalidades negativas.** Gestão de Produção, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 89-100, 2008.
- **_____Percepções de agentes sociais sobre as práticas de responsabilidade social corporativa em usinas de açúcar e álcool.** 2008. p.143. Dissertação (Mestrado em Administração) – Faculdade de Gestão e Negócios – Universidae Metodista de Piracicaba, Piracicaba.
- BRANCO, G. M. **Redução das emissões do transporte público através de melhores tecnologias e combustíveis**. Biannual Conference and exhilit of the clean air initiative for Latin American Cities. São Paulo, 2006.
- _____; WALSH, M. P. **Controle da poluição dos veículos a diesel: uma estratégia para o programa do Brasil.** Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. São Paulo, 2005.
- BRASIL. **Política Nacional para o Transporte Urbano,** Presidência da República, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Grupo Executivo de Transporte Urbano, 2ª ed., Brasília, DF,. 2000a

- _____**Condições das Concessões do Transporte Público Coletivo Urbano no Brasil,** In: Relatório Técnico, Módulo Concessões, Presidência da República, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Grupo Executivo de Transporte Urbano, Brasílilia, DF. 2002.
- _____**Financiamento do Transporte Coletivo Urbano,** In: Relatório Técnico do Comitê de Financiamento, Presidência da República Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Grupo Executivo de Transporte Urbano, Brasília- DF. 2001.
- _____**Lei nº 10.336 de 19 de dezembro de 2001,** Instituiu Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico incidente sobre a importação e a comercialização de petróleo e subderivados, gás natural e seus derivados, e álcool etílico combustível (Cide), e dá outras providências. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 27 dez 2001a.
- _____**Balanço Energético Nacional 2003**. Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF. 2003a.
- _____**Programa de Financiamento de Infra-Estrutura para o Transporte Público (PRÓ-TRANSPORTE)**, Ministério das Cidades, folder, Disponível em <http://www.cidades.gov.br>,Brasília, DF. 2004.
- _____**Balanço Energético Nacional 2008,** visão eletrônica do ano-base de 2008, Ministério de Minas e Energia, Brasília – DF. Acesso em Julho 2009.
- BRITO, F. – **A Urbanização Recente no Brasil e as Aglomerações Metropolitanas.** XXIV IUSSP – General Conference, 2001, Salvador. Anais XXIV IUSSP General Conference, 2001, v.1, p.168-184.
- BROGE, J. L. "**Revving Up For Diesel", Automotive Engineering International**. V. 110, n° 2, Fevereiro de 2002, pp. 40-49.
- BURANI, Geraldo Francisco; VELÁZQUEZ, José Ramón; BRANCO, Idáro de Camargo. **Testes Comparativos em Ônibus Híbridos para a Cidade de São Paulo.** 2005.
- CCEB - Critério de Classificação Econômica Brasil. Observador Brasil (2009). Disponível em: <http://www.elap.com.br/estudo_detalhe.asp?varcadest=21>. Acesso em 12.dez.2009.
- _____Observador Brasil; Principais Indicadores Socioeconômicos Brasileiros (2008) – Pesquisa Cetelem-Ipsos. Disponível em: <http://www.revistafatorbrasil.com.br. Acesso 13.dez.2009

- CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa.**Cana de Açúcar no Brasil.** CENBIO – USP, São Paulo. Disponível em: <http://www.infoener.iee.usp.br/cenbio/biomassa.htm>.Acesso em julho 2008.
- _____Centro Nacional de Referência em Biomassa –. São Paulo – **Projeto de Expansão da Cana no Estado de São Paulo - SMA**: Secretaria do Meio Ambiente, 2006.
- _____**Relatório do Projeto Best.** São Paulo. 1º Relatório BEST. 2008
- _____**Segundo relatório de atividades do Projeto BEST**. São Paulo, 2008.
- _____**Relatórios de consumo de combustível Projeto BEST.** São Paulo, 2009.
- _____**Primeiro relatório de atividades do Projeto BEST**. São Paulo, 2007.
- _____**BEST Report on Guidelines, Requirements and Barriers**. São Paulo, 2009.
- _____**Terceiro relatório de atividades do Projeto BEST.** São Paulo, 2009.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do ar no Estado de São Paulo – CETESB: 2005.** São Paulo:2004 [Série Relatórios] [Environmental Protection Agency of São Paulo – Air Quality Report for the State of São Paulo, 2005]
- CHEMINDUSTRY. Site especializado em produtos de indústrias químicas. **Polyethylene Glycol**. Disponível em: http://chemindustry.ru. Acesso em: 10/04/2009.
- COELHO, S. T. **Biofuels – Advantages and Trade Barriers.** Material apresentado na United Nations Conference on Trade and Development; Genebra 2005. Disponível em: <http://www.datagro.com.br>. Acesso em julho, 2009.
- _____**Mecanismos para implementação da Cogeração de Eletricidade a partir da Biomassa** – Um modelo para o Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- _____et al.**Paper preparado para STAP Workshop em Biocombustíveis Líquidos.** Nova Delhi (agosto/setembro, 2005)
- COLOMBO, O. F. **As possibilidades da evolução do uso do gás natural como combustível veicular no Brasil.** ABGNV, 2002. Acessado em 10/1/2008 disponível em: www.gasenergia.com.br/portalge/port/te/download/possibilidades_p1.pdf

- _____Diretor Geral Executivo. Associação Brasileira do Gás Natural Veicular – Abgnv. Membro do Comitê GNV do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP. **As possibilidades da evolução do uso do gás natural como combustível veicular no Brasil,** 2005. Disponível em: http//www.ambientebrasil. com.br – aceswso em novembro/2010.
- COMEAP - Committee on The Medical Effects of Air Pollutants, 2000. **The Quantification of the Effects of Air Pollution on Health in The United Kingdom**. Disponível em: http://www.doh.gov.uk/hef/airpol .7htm

- CONPET – Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural – **Programa Economiz AR – O Mundo do Diesel e a Saúde de seus Habitantes (2008).** Disponível em: Conpet_diesel_saúde.indd3. Acesso em 2/01/2011.
- CRUZ, A. P. F. N., **A Tutela Ambiental do Ar Atmosférico**, 1ª Ed., Rio de Janeiro, Editora Esplanada LTDA., 2002.
- CTC. Centro de Tecnologia Canavieira – disponível em: <http://www.ctc.com.br> Acesso em 06/07/2010.
- DA ROSA, M. V. F., et al **Estimando as Emissões Atuais e Futuras do Transporte Urbano no Brasil**. Laboratório de Sistema de Transportes – LASTRAN – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.
- DELUCCHI, Mark A. **Lifecycle Analyses of Biofuels.** California. Institute of Transportation Studies (Relatório Técnico UCD-ITS-RR-06-08), 2006. 78pp.
- _____**Overview of the Lifecycle Emissions Model (LEM).** ITS-Davis, Publication No. UCD-ITS-RR-02-2, August 2002.
- DIEESE, 2006. **- Combustíveis e seus reajustes.** Nota Técnica número 19. Abril de 2007.
- DORA, C. e PHILLIPS, M., 2001, **Transport, Environment and Health**, 1ª edição, Austria, World Health Organization – WHO, In: WHO Regional Publication, European Series, nº 89.
- ECMT - European Conference of Ministers of Transport, 2001, Vehicle Emission Reductions, 1ª Ed., França.

- EEA - European Environment Agency**. Overall energy efficiency and specific CO2 emissions for passenger and freight transport.** 2004. TERM 2003 27 EEA 31.. Disponível em: <http://themes.eea.europa.eu/sectors_and_activities/transport/indicators/technology/TERM27%2C2003.09> . Acesso em 2010.
- **EIA - Energy Information Administration,** 2004. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov>. Acesso em: 22/09/2009.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - 2007. – Disponível em: <http://www.embrapa.br.> . Acesso em novembro de 2007.
- EMPLASA - Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A**. Indicadores Metropolitanos,** 2009 – Disponível em: http://www.emplasa.sp.gov.br/portalemplasa/.../RMSP-indicadores%selecionados.pdf . Acesso 3/1/2010.
- EMTU – Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo S.A. – **Apresenta informações sobre transporte público da RMSP**. Disponível em: <http://www.mtu.sp.gov.br/artigos/menu.htm?arq=3> Acesso em 22.dez.2009.
- **Energy Information Administration (EIA).** "International Energy Outlook 2009 – World energy demand and economic Outlook". Disponível em: http://www.eia.doe.gov/oiaf/uo/world.html . Acesso em: 13/11/2009.
- ETHANOL BUS, 2008. **Ethanol buses costs per km compared to diesel buses.** Site da Prefeitura de Estocolmo, Suécia. Acesso em maio de 2008.
- ETHANOLBUS. Site especializado em transporte público. Ethanol busses-diesel Total cost estimation. Suécia, Estocolmo, 2006. Disponível em: http://www.ethanolbus.com. – Acesso em 18/03/2009.
- EUROTAST (2008). **Panorama of Transport –** Edition 2007. Statistical Office of the European Communities. Luxemburgo.
- FANG, Jeffrey, M. Et Paul S. Galen. **Issues and Methods in Incorporating Environmetal Externalities into the Integrated Resource Planning Process.** 94pp.; NREL Report n° Tp-461-6684, 2004.
- FAVARO, T. – **O Planeta Urbano**. Revista Veja, São Paulo, n° 2056, p.107-108, abril 2008.
- FULTON, L. **Reducing Oil Consumption in Transport.** Paris: IEA/OECD, 2004.

- FURTADO, A. T., SCANDIFFIO, M. I. G. **Álcool no Brasil – uma longa história**, Revista Scientific American Brasil, nº 53, ano 5, Edição Especial, Duetto Editorial, Outubro de 2006.
- GAZZONI, D. L. (2008). **Balanço de emissões de CO_2 utilizando etanol ou gasolina como combustível.** Revista Biodiesel BR, ano 1, n. 5, jun/jul 2008.
- GEPAI – Grupo de Estudos e Pesquisas Agropecuárias DEP/UFSCAR; **Biodiesel – Situação Atual, Perspectivas e Tendências.** São Paulo, 2010.
- GOLDEMBERG, J. **BEST – Poluição Local e Global**. São Paulo, agosto de 2008.
- _____**Energia e Desenvolvimento.** Revista Estudos Avançados do Instituto Estadual de Estudos Avançados e Universidade de São Paulo. V. 12, nº 33, p. 7-15. São Paulo, 1998.
- _____**Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- _____COELHO, S. T. **Why Alcohol Fuel? The Brazilian Experience.** Material apresentado no CII Industry Joint Seminar on Technology Diffusion of Energy Efficiency in Asian Countries, Beijing, 2005.
- GRANET, I. **Termodinâmica e Energia Térmica**. 4ª edição . Editora LCT. Rio de Janeiro, 1995.
- GREENENERGY. Site especializado em energias renováveis. **E95 Material Safety Data Sheet**. Commission Decision 2000/352/EC. Londres, 2000. Disponível em: <http://greenenergy.com/products/MSDS/E95.pdf.> Acesso em 15/09/2009.
- GRENN CAR CONGRESS. Site especializado em tecnologias de transporte e biocombustíveis. XcelPlus Acquires Rights to E95 Ethanol Blend for Use in Diesels.2008 Disponível em: http://www.grencarcongress.com> Acesso em 10/04/2009.
- GUARDABASSI, P. M. **Panorama do Setor Sucroalcooleiro.** Material da disciplina Biomassa como Fonte de Energia – Conversão e utilização do Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – USP, 2005. Disponível em: <http://www.cenbio.org.br> Acesso em 10/6/2008.
- HANLON, J.V; HINKAMP, J.B. **Desentized cetane improvers.** Patent 4473378. Estados Unidos da América, 1984. Disponível em: <http://www.freepatenteonline> Acesso em: 10/09/2009.

- HUNTER, D., SHILZMAN, J. e ZAELKE, D., 1998, **International Environmental Law e Policy**, 1ª edição, University Casework Series, New York, Foundation Press.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (2003) – **Estatísticas do Século XX.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/século XX/estatisticas_populacionais.shtm> Acesso em 10.jun.2009.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (2007) – **Síntese de indicadores sociais, uma análise da condições de vida da população brasileira.** Rio de Janeiro.
- _____(2008) – **Contagem da população 2007.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/população/contagem2007/default.stm> Acesso em 24.jun.2009.
- _____**Pesquisa Nacional por Amostra por Domicílio**. Rio de Janeiro, 2007.
- IEA – International Energy Agency**. Energy Technologies Perspectives – Scenarios and Strategies to, 2050,** Paris: OECD/IEA, 2006.
- _____**Indicators of Energy and Human Activity.** Paris: IEA, 1997.
- _____**Automotive fuels for the futures – The search for alternatives.** International Energy Agency. Disponível em: <http://www.iea.org/texbse/nppdf/free/1990/autofuel99.pdf> Acesso 1/6/2010
- _____**Energy Technologies Perspectives – Scenarios and Strategies to 2050.** Paris: OECD/IEA, 2006.
- _____**International Emission Trading – from concept to reality**, 1ª ed., Paris, IEA Publications, 2001.
- _____**The Cost and Benefits of Lowering the Sulphur Content of Petrol & Diesel to Less than 10 ppm**, 2001a. IEA/DGE/SDUANY, 1ª ed., Paris, IEA Publications.
- _____**Oil and Energy after 30 Years.** Paris: IEA, 2004.
- Imperal College London. **Relatóris de consumo de combustível do projeto BEST da Província de La Spezia – Itália.** Londres, 2007
- Instituto de Pesquisa e Tecnologia. **Apresenta informações referentes a pesquisa sobre tecnologias em transporte público.** Disponível em: <http://www.ipt.br/areas/cetae/letmce> . Acesso em 25.jun.2009
- IPCC - The Intergovernment Panel on Climate Change. **Policies for Promotion of New and RenowableSources of Energy**: Material apresentado no 5º Workshop of Latin Americam BiomassNetwork; MORELIA, 2003; Disponível em:

<http://www.cenbio.org.br> Acesso em 10 de junho 2006.

- _____The Intergovernment Panel on Climate Change. **National Greenhouse Gas Inventories.** Volume 1 – General Guidance and Reporting, 2006. Disponível em: <http://ipcc-mggip.iges.or.jp/public/2006gl/vo1/html>
- _____**Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**: Workbook, IPCC Unit for GHG Inventories, IPCC/OECD/IEA, Vol. 3, France. 1996
- _____**Synthesis Intergovernmental Panel on Climate Change.** [Watson, R. T. and Core Writing Team (eds.)], 1ª ed., New York, Cambridge, University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, 2001
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - **Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público**, In: Revista de Transportes Públicos, ano 21, nº. 82, pp. 35-92 – Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP, São Paulo: IPEA, 2001.
- ITDP – Institute for Transportation & Development Policy – Relatório produzido pelo Instituto de Políticas de Desenvolvimento e Transporte – São Paulo, 2008.
- JUNQUEIRA, L. Superintendente da SPTRANS, São Paulo Transportes. **Informações obtidas por meio de comunicação pessoal.** Em 31/05/2011. Local: SPTRANS. São Paulo, 2011.
- KAREKEZI, S. M.; JONHSON, T. M., 2003, **Climate Change Mitigation in the Urban Transport Sector** – Priorities for the World Bank.
- KASSOUCAF, A. L.; FERRO, A. **O Trabalho Infantil no Ramo Agrícula Brasileiro.** Brasília, Organização Internacional do Trabalho. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0103...script... Acesso em 28/12/2010
- KNOTHE, G., BAGBY, M. O., RYAN, T. W. **III "Cetane Numbers of Fatty Compounds: Influence of Compound Structure and Various Potentials Cetane Improvers"** SAE Paper 971681, (SP-1274), 1997.
- LARSON, E. D. **A Review of Life-Cycle Analysis Studies on Liquid Biofuel Systems for the Transport Sector.** Energy for Sustainable Development. Vol. X, nº 2, June 2006. 18 pp.
- LEITE, J. R. M. **Dano Ambiental: do individual ao coletivo extrapatrimonial,** 2ª Ed., São Paulo, Editora ão Paulo, Editora Revistas dos Tribunais, 2003.
- LENTS, J. et al – **A Study of the Emissionas from Diesel Vehicles Operating in Istanbul**, Turkey, 2007. Disponível em:

<http://www.sensors-inc.am> - Acesso 04/01/2010.

- LITTMAN, T. **Measuring transportation – traffic mobility and accessibility,** 2005. Disponível em: <http://www.vtpi.org/measure.pdf> Acesso em 10 de junho 2010.
- _____BURWELL, D.**Issues in sustainable transportation.**Int, J. Global Environmental Issues, v. 6, n. 4, p. 331-347, 2006.
- _____**Transportation Cost Analysis: Techines, Estimates and Implications**, Vitoria Transport Policy Institute, Canadá, 1996.
- LVOVSKY, K. et al. **Environmental Costs of Fossil Fuel.** Paper n° 78 da Pollution Management Series. Banco Mundial, 2000. Disponível em: <http://inweb18.worldbank.org/SAR/sa.nsf/Countries/India/729C363672AE053E85256C27007ACF62?Open Document> Acesso em 07/07/2010.
- MAC KNIGHT, V. **Análise, Custo e Benefício da Substituição do Diesel pelo Gás Natural Veicular em Ônibus na Região Metropolitana de São Paulo**. Rio de Janeiro. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MACEDO, J. C. **A produção de etanol carburante e o mecanismo de desenvolvimento limpo,** material apresentado no XV Simpósio Nacional de Bioprocessos, Recife, agosto de 2005. Disponível em: <http://www.nipeunicamp.org.br/proalcool/palestras> Acesso em 02 de fevereiro de 2006.
- _____**Aspectos da sustentabilidade da produção da cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil.** Campinas. Workshop Etanol Combustível – Balanço e perspectivas. UNICAMP 16-17 nov 2005. Diponível em: <http://www.nipeunicam.org.br/proalcool/palestras> acesso 02 de fevereiro 2006.
- _____SEABRA, J. E. A., SILVA, J. E. A. R. **Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil:** The Biomassa e Bioenergy (2008), doi: 10.1016/j.biombie.2007.12.006. 13 pp.
- MACLEAN, H. **Sensitivity Analysis of Bioethanol LCA Models to Determine Assumptions with the Greatest influence on Outputs.** Canadá. CHEMINFO, 2008. 163pp.
- MANAVELA, H. José. **Sistema EGR – Válvulas de Controle**. São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.hmaurotron.eng.br> . Acesso em 21/11/2009.

- MANKIW, N. G. **Introdução à Economia – Princípios de Micro e Macroeconomia.** 3ª ed.. Editora Campus, São Paulo, 2005.
- MARQUES, J. F. e COMUNE, A. E. **Economia do Meio Ambiente**, 1ª Ed., São Paulo: Ed. UNICAMP, 1997**.**
- MARTINS, L. C.; et al. **The Effect of Air Pollution on Cardiovascular Diseases:** Lag Structures. Efeitos da Poluição do Ar nas Doenças Cardiovasculares: Estruturas de Defasagem. Revista Saúde Pública / Journal of Public Health 2006, V. 40, nº 4, p. 677-683.
- _____ANDRADE, M. F. **Ozone formation potentials of volatile organic compounds and sensitivity to their emission in the megacity of São Paulo, Brazil.** Water, Air and Soil Pollution; V. 195, p. 201-213, 2008a.
- MASSAGARDI, M. BOSCH/SINDIPEÇAS – **A evolução do PROCONVE – Influência na tecnologia do diesel e na competitividade dos produtos produzidos no Brasil.** Associação de Engenharia Automotiva. São Paul, 28/5/2009.
- MASSARAT, M. **Sustainability through cost internalization: Theoretical rudiments for the analysis and reform of global structures.** In: Ecological Economics, Vol. 22, nº 1, pp. 29-39, Elsevier, New York, 1997.
- MELO NETO, F. P.; FROES, C.. **Responsabilidade social & cidadania empresarial: administração do terceiro setor.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.
- MELO, E. H. **Ônibus movido a etanol –** Um estudo de caso. Escola de Engenharia Universidade Presbiteriana Mackenzie (Trabalho de Conclusão de Curso). São Paulo, 2009.
- _____**Ônibus movido a etanol: um estudo de caso** (Trabalho de Graduação Interdisciplinar – TGI – Universidade Mackenzie) São Paulo, 2009.
- MENDES, A. P. F. **Uma avaliação do Impacto Ambiental no Brasil: Poluição do ar e mortalidade, 2003.** Dissertação de mestrado em Planejamento Energético. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- METRÔ - Companhia Metropolitana de São Paulo — **Apresenta Informações de Pesquisa Origem e Destino 2007** – Síntese das Informações da Pesquisa Domiciliar – Dezembro de 2008. Disponível em: <http://www.metro.sp.gov.br/empresa/pesquisas/origem/teorigem.shtml> . Acesso em: 22.dez.2009.

- MME - Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2008:** Ano base 2007. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, Brasil, 2008.
- _____**Balanço Energético Nacional 2009:** Ano base 2008. Resultados Preliminares. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, EPE 2008.
- _____**Balanço Energético Nacional 2009:** ano base 2008. Resultados Preliminares. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, EPE, 2008.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE. **Mobilidade Hospitalar do SUS** – por local de internação. São Paulo. Disponível em: <http://tabnet-datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/misp.def> Acesso em 22/11/2010.
- MIRAGLIA, S. G. E. K., SALDIVA, P. H. N., BÖHM, G. M. **Evaluation of Ar Pollution Health. Impacts and Costs in São Paulo, Brazil.** Environmental Management, V.35, n. 5, p. 667-676, 2005.
- MÖLLERSTEN, K.; YAN, J. MOREIRA, J. R. **Potencial market niches for biomass energy with CO, capture and storage Biomass & Bionergy,** 2002.
- MONTEIRO, L., et al. **Measurements of Atmospheric Carboxylic Acids and Carbonyl** Compouds in São Paulo City, Brazil. Environmental Science and Technology (Washington), Estados Unidos, V.35, p. 3071-3081, 2001.
- MONTEIRO, A. G. **Estratégia de reducção de emissões de poluentes no setor de transportes por meio da substituição modal da Região Metropolitana de São Paulo – 1998.** 187p. Dissertação de mestrado em Planejamento Energético. COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ppe.ufri.br/pp2/production/teses/amonteiro.pdf>. Acesso 02/11/2009
- MORAES, M. A. F. D., **Determinantes do Rendimento dos Empregados da Lavoura da Cana –de – açúcar e das indústrias do açúcar e do álcool das regiões Norte** – Nordeste e Centro – Sul do Brasil, 2008, Relatório de Pesquisa CNPq.
- _____SIKIDA, P. F.A. **Agroindústria Canavieira no Brasil – Evolução, Desenvolvimento e Desafios.** 1ª ed., São Paulo:Editora Atlas, 2008.
- MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. **Princípios da Termodinâmica para Engenharia.** 4ª Edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2002.
- MOREIRA, J. R. **Questões Sócio-econômicas Relacionadas ao Etanol.** 1º Workshop Scania – Ônibus Movido a Etanol, São Paulo, Outubro de 2007.
- _____**BEST – Poluição Local e Global.** São Paulo, agosto de 2008.

- _____**Biomass as a Source of Energy in Brazil**, material apresentado na Internacional Energy Agency, Task 38 meeting; Utrech, 2002; disponível em: <http://www.cenbio.org.br>acesso 10 de junho de 2006.
- _____**Energia Alternativa – Biomassa.** Material apresentado no Seminário de Expansão do Setor Elétrico promovido pelo Instituto ABAMEC – NE, Fortaleza, Dezembro de 2002. Disponível em: <http://www.sfiec.org.br/palestras/energia/energia alternativabiomassa091202.htm> . Acesso em 24 de maio de 2006.
- _____**Policies for Promotion of New and Renewable Sources of Energy.** Material apresentado no 5º Workshop of Latin American Biomass Network; Morelia, 2003. Disponível em: <http://www.cenbio.org.br> Acesso em 10/4/2008.
- MOREIRA, J. R.; VELÁZQUES, S. M. S. G. **O Projeto BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável –** UNICA, 2010. Disponível em: <http://www.unica.com.br/opinião/show.asp?msgCode=%7B33<B7066-DEOB-4194-B8D4-2 . Acesso:15.fev.2011.
- MOTTA, R. S. da e MENDES, A. P. F. **Health costs Associeted With Air Pollution in Brazil.** Chaper 5 In: May, P., Motta, R. S. da (orgs). Pricc The e arth: Columbia Press., 1996.
- _____**Manual de Valoração Econômica de Recursos Ambientais.** Rio de Janeiro, IPEA/NMA/PNUD/CNPq.,1997
- _____**Padrão de Consumo, Distribuição de Renda e o Meio Ambiente no Brasil.** Texto para Discussão nº 856, Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas. Rio de Janeiro: IPEA, 2002.
- _____; ORTIZ, R. and FREITAS, R. **Health and economic values for mortality and morbidity cases associated with air pollution in Brazil**, in: Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation, OECD/RFF, Paris, 2005.
- _____; YOUNG, C. E. F. Projeto Instrumentos Econômicos para a Gestão Ambiental. **Relatório Final**. Rio de Janeiro. Dezembro, 1998.
- MOURA, L. A. A. **Economia Ambiental: Gestão de Custos e Investimentos.** 2ª Edição, São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2003.

- NCDMF, The Netherlands Clean Development Mechanism Facility, 2004. **Project Idea Note – PIN, Ministere of Housing, Spatial Planning and The Environment.** Disponível em: <http://www.worlbank.org> Nethenlands. Acesso fevereiro/2011.
- Ng, W e SCHIPPER, L. **China Motorization Trends: Policy options in a world of transport challenges.** In Growing in the Greenhouse: Protecting the Climate by Putting Development First, edited by Bradley, Band Baumert, K. Work Resources Institute, Washington, DC, USA, 2005.
- NIGRO, F. E. B. Professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Informações obtidas por meio de comunicação pessoal em 17/09/2008. Local: Espaço de Eventos Milenium, XVI Simpósio Interncional de Engenharia Automotiva – SIMEA 2008. São Paulo, 2009.
- NTU – Associação Nacional de Empresas de Transportes Urbanos, 2009, Anuário 2008/2009, Brasília, DF.
- O HID no Brasil – **Geografia Humana no Brasil**. Disponível em: <http://www.brasilescola.com.br/brasil/o-idh-no-brasil.htm>. Acesso em 24/1/2011.
- Oficina Brasil – Disponível em www.oficinabrasil.com.br. Acesso em 24/01/2011.
- OLIVEIRA, F. C. R. **Ocupação, empregro e remuneração na cana-de-açúcar e em outras atividades agropecuárias no Brasil, de 1992 a 2007.** 167 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- OLIVEIRA JR. J. A. **O Uso do Gás Natural no Transporte Público.** Edições Livro Técnico, 2006.
- _____AZEVEDO FILHO, M. A. N. **The brazilian motorcycle taxi phenomenon,** In: The Third International Conference on Traffic and Transportation Studies (ICTT's 2002). China, 2002.
- _____**Planejamento, Políticas de Transportes e Desenvolvimento Regional,** 1ª Ed., Fortaleza, Fundação IPLANCE, 1996.
- _____**Questões Conceituais do Prazo de Delegação dos Serviços Públicos de Transporte de Passageiros**, Revista Cearense Independente do Ministério Público, Ano IV, Nº 13/Abril/Nº 14/Julho/2002.

- _____**Questões Conceituais do Prazo de Delegação dos Serviços Públicos de Transporte de Passageiros,** In: 14º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito – 14º ANTP, 13 a 17 de Outubro de 2003, Vitória ES.
- _____**Planejamento de Transportes e Desenvolvimento Regional.** 1ª Edição – Fortaleza, Fundação IPLANCE, 1996.
- _____**Regulamento Técnico ANP N° 6/2001**. Rio de Janeiro, 2001.
- OLIVEIRA, M. D.; VAUGHAN, B. E.; RYKIEL JR., E. J. **Ethanol as fuel energy, carbon dioxide balance and ecological footprint.** BioScience, Whashington, DC, V 55, p. 539-602, 2005.
- OMS – Organização Mundial da Saúde (2009). **Air Quality Guidelines –** Global Update 2008 . Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen, Denmark. Chapter 7:153-171.
- ONURSAL B.; GAUTAM, S. P. **Vehicular Air Pollution: experiences from seven latim american urban centers.** World Bank Technical Paper n. 373. Washington, DC, USA.
- PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of Natural and the Environment, Baltimore, The John Hopkins Univ.** 2008.
- PIGOU, A. C.**The Economics of Welfare,** Londres.
- POINT CARBON, Carbon Price Forecasting, Annex I Parties' Current and Potential CER Demand, In: Southeast Asia Forum on GHG Mitigation **Mechanisms and Sustainable Development, PointCarbon.** International Emissions Trading Association (IETA), Asian Development Bank (ADB) Filipinas. 2003.
- _____Carbon Price Forecasting, 2003a, **CDM Monitor,** Disponível em: <http://www.pointcarbon.com>out. 2003.
- _____Carbon Price Forecasting, 2003b, **CDM Monitor,** Disponível em: <http://www.pointcarbon.com>nov. 2003.
- _____Carbon Price Forecasting, 2003c, **CDM Monitor,** Disponível em: <http://www.pointcarbon.com>dez. 2003.
- POPE, A. C. **Epidemiology of Fine Particulate Air Pollution and Human Health: Biologic Mechanisms and Who's at Risk?** Environ Health Perspect 108 (suppl 4):713-723. 2000b
- _____et al **Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution.** 3rd JAMA; 287:1132-41. 2002

- PMSP - Prefeitura Municipal de São Paulo – **Apresenta informações sobre a cidade de São Paulo e dados da Secretaria de Transportes.** Disponível em: <http://www2.prefeitura.sp.gov/secretarias/transportes/organização/0008>.Acesso 15.set.2010.
- **_____São Paulo tem lei de mudanças climáticas.** São Paulo, 2009. Disponível em: <http://portal.prefeitura.sp.gov.br>. Acesso em: 15.set.2010.
- Quimlab Química & Metrologia 2009. Disponível em: <http://www.quimlab.com.br/publish/pub/spectest.htm> Acesso fevereiro 2011.
- RACHE, M. **Mecânica Diesel**. 1ª edição, Editora Hemus. São Paulo, 2004.
- RIBEIRO, H. **Queimadas de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos à saúde respiratória.** Revista Saúde Pública [online], 2009, v.42, n. 2, pp.370-376. São Paulo.
- RIBEIRO, S. K. E MATTOS, L. B. R. **A importância do setor de transporte rodoviário no aquecimento global: o caso do Rio de Janeiro.** Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Gramado, p. 291-299, 2000
- **_____Estudo das Vantagens Ambientais do Gás Natural Veicular**: o caso do Rio de Janeiro**.** 1ª ed., Rio de Janeiro, Ed. COPPE/UFRJ, 2001
- **_____Transporte Sustentável alternativas para ônibus urbanos.** 1ª ed., Rio de Janeiro, Ed. COPPE/UFRJ, 2001a.
- **_____Transporte e Mudanças Climáticas.** 1ª ed., Rio de Janeiro, Ed. COPPE/UFRJ, Mauad, 2000
- ROMILLY, P. **Substitution of bus car travel in urban Britain: na economic evaluation of bus and car exhaust emission and other costs.** Transportation Research Par D, v. 4, n. 2, p. 109-125, 1999.
- RUI, J. D. **A responsabilidade social no setor sucroalcooeiro.** Jornalcana, Ribeirão Preto, dez. 2004. Disponível em: <http://www.jornalcana.com.br>.Acesso em 22/02/2010
- SAE BRASIL. **Solução Euro V da Scania deixa o pós tratamento para trás.** Revista Engenharia Automotiva e Aeroespacial. Ano 7, número 32. São Paulo, 2008.
- SALDIVA, P. H. N. **Transporte Sustentabilidade e Cidania.** Boletim DNA Brasil. São Paulo, 2008 – Disponível em: <http://www.dnabrasil.org.br> Acesso em 4.mar.2008.
- SCANIA (2008a) **Banco de Imagens**. Disponível em:

<http://imagebank.scania.com . Acesso em 31.ago.2009.

- _____(2008b). **Engine Diagrams**. Disponível em: <http://www.scania.co.uk. Acesso em 20.abr.2009.
- _____(2008c). **Reunião entre técnicos da Scania do Brasil e CENBIO**. Realizada na Scania Latin América São Bernardo do Campo_SP. <http://imagebank.scania.com> Acesso em 22.abr.2009.
- _____Bodybulding Information. Disponível em: <http://www.scania.com>. Acesso em 31.ago.2009.
- _____**O Etanol é agora.** Folder de lançamento do Projeto BEST em São Paulo. Evento de 27 de outubro de 2007.
- _____**Declaração.** Parecer técnico CETESB B006/08/ETEA de 14/01/2008.
- SCHAFER, ANDREAS, VICTOR, DAVID. **"The past and future of global mobility",** Scientific American 00368733, vol. 277, Issue 4, October 1997.
- _____et al. **Electric Power in Brazil, Development Countries & Global Climate Change.** Arlington, The Pew Center on Global Climate Change, 2000.
- SCHIPPER, L., GOLUB, A. **Transportation and Environment in Mexico City.** Reviving a Bus System or Giving in to the Auto? In: Proc. of 6th ECEEE Summer Study. Paris: ECEEE, 203
- _____MARIE-LILLIU, C. **Transport and CO2 Emissions**. Washington, DC: World Bank. Disponível em: <http://www.cleanaimet.org/lac_en/1415/article-41318.html> (website), 1999.
- _____TAX, W. **Yet Another Gap? Transport Policy**, 1994.
- _____CORDEIRO, M., W. Ng. **Measuring the Carbon Dioxide Impacts of Urban Transport Projetcs in Developing Countries.** Proceedings of the Transportation Research Board Conference. Washington, DC, USA, 2007a.
- _____et al. **Mind the Gap: The Vicious Circle of Fuel Use and Fuel Economy.** Energy Policy, 1993.
- _____W.Ng S. Parakh **CO_2. Emissions from Land Transport in India.** Prepared for the Japan International Transport Institute (JIT) by EMBARQ, the World Resources Institute Center for Sustainable Transport, 2007b
- _____MARIE-LILLIU, C.; GORHAM, R. **Flexing the Link between Transport and Greenhouse Gas Emissions: A Path for the World Bank.** Washington, DC: World Bank. Disponível em:

www.iea.org/texbase/npdf/free/2000/flex2000.pdf, June 2000.

- SEKAB. **Sales Specification Ethanol Fuel Etamax D**. 2001b. Disponível em: <http://www.miljobilar.stockholm.se.> Acesso em: 22.set.2009.
- **_____Etamax D Fuel Composition**. Suécia, Estocolmo, 2001a . Disponível em: http://www.sekab.com. Acesso em: 17/03/2009.
- SHAPOURI, H. et al. **Estimating the Net Energy Balance of Corn Ethanol.** U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Office of Energy. Agricultural Economic Report Nº 721, 1995.
- SILVA, C. R. U.; WALTER, A. C. S. **Balanço de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Ciclo de Vida do Etanol Combustível**. Planejamento de Sistemas Energéticos – UNICAMP, 2010.
- SILVA, E. J. **Equilíbrio líquido-líquido em mistura hidrocarbonetos+alcoóis: comportamento de fases e desenvolvimento de aditivos para aumentar a miscibilidade de misturas óleo diesel+etanol.** (Tese de doutorado pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP). Campinas, 2005. Disponível em: http://www.biq.iqm.unicamp.br. Acesso em: 31.ago.2009.
- SILVA, I. M. **"Ou Trabalha ou Come Ou fica com Fome e Estuda": o trabalho e a não-permanência de adolescentes, jovens e adultos na escola em Goiânia.** 2009. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia.
- SIRVINSKAS, L. P. **Maual de Direito Ambiental**. 3ª ed. rev. e atualizada. São Paulo: Saraiva, 2005.
- SPERLING, D.; SALON, D. **Transportation in Developing Countries – An Overview of Greenhouse Gas Reduction Strategies.** Arlington, The Pew Center on Global Climate Change. 2003
- SPTRANS - São Paulo Transportes S/A — **Apresenta informações de indicadores do transporte de São Paulo.** Disponível em: <http://www.sptrans.com.br/new05/conteudos/indicadores/numLinhas/> Acesso em: 22.dez.2009.
- STMSP - Secretaria de Transportes Metropolitanos. **Pesquisa Origem Destino da RMSP.** São Paulo, 2008. Disponível em: http://www.sptrans.com.br. Acesso em 09.ago.2009.
- SZWAC. **Potencial Energético do Etanol e suas Vantagens Ambientais.** Aula ministrada no Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor

Energético. Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. Setembro de 2007.

- TETTI, L. M. R. **Protocolo de Kyto: oportunidades para o Brasil com base e seu setor sucroalcooleiro: um pouco da história da questão "mudanças climáticas e efeito estufa".** In: MORAES, M. A. F. D., SHIKIDA, P. F. A.(Coord.). Agroindústria Canavieira do Brasil: Evolução, Desenvolvimento e Desafios. São Paulo : Atlas, 2002. p.202 a 2006.
- TOLMASQUIM, M. T.; SZKLO, A. S. **A Matriz Energética Brasileira na Virada do Milênio.** 1ª ed., Centro de Estudos de Energia – ENERGE, Rio de Janeiro, Ed. COPPE/UFRJ, 2000.
- _____et al. **Metodologias de Valoração de Danos Ambientais Causados pelo Setor Elétrico.** 1ª ed., Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro, Ed. COPPE/UFRJ, 2000a.
- TRANSMILENIO. **Urban Mass Transportation System**. Clean Development Mechanism – Project Design Document (CDM-PDD), Corporation Andina de Fomento – CAF, TransMileniun S.A. Bogotá, 2004.
- TULPULÉ, V., et al. **An Economic Assessment of the Kyoto Protocol using the Global Trade and Environment Model,** Paris, OECD, 1998.
- UNFPA – Relatório Situação da População Mundial 2007 – **Desencadeando o Potencial do Crescimento Urbano**. Fundo de População das Nações Unidas, Nova Iorque, 2007.
- UNICA – União da Insdústria de Cana-de-Açúcar. **Opinião – O Projeto Best – BioEtanol para o Transporte Sustentável.** Disponível em: www.unica.com.br/opiniao/show.asp?msgCode – Acesso em 10/01/2011.
- UNICA[1], 2008. **Cotações Diárias dos Mercados de Açúcar e Álcool.** Diponível em: <http://www.unica.com.br/multimedia/apresentação>. Acesso em abril de 2008.
- UNICA[2], 2008. **"Alimentos versus Combustíveis: O Falso Dilema".** 1st International Symposium of Fuels, Biofuels and Emissions. São Paulo. Disponível em: <http://www.unica.com.br/multimedia/apresentação>. Acesso em maio de 2008.
- UNICA[3], 2008. **Brazil's Sugarcane Ethanol Industry.** International Fuel Ethanol Workshop & Expo. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.unica.com.br/multimedia/apresentação/>.Acesso em maio de 2008.

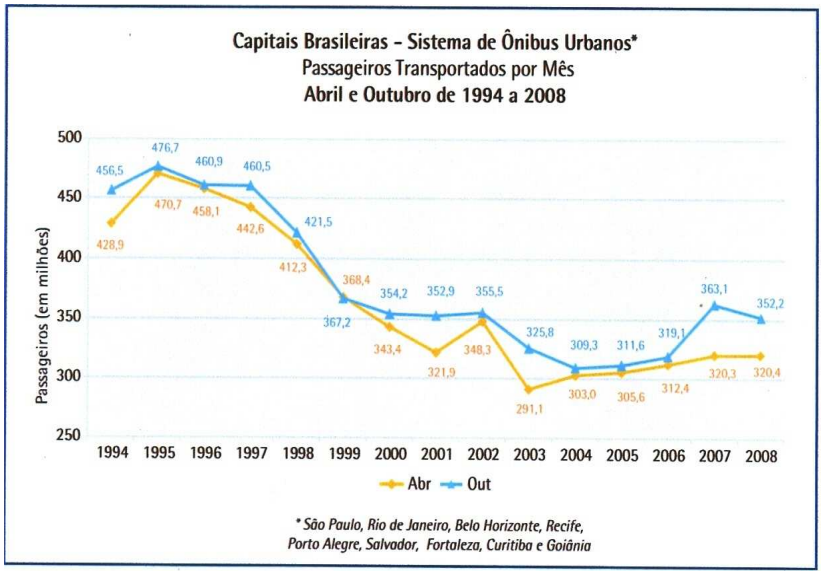
- URQUIAGA, S. et al. **Produção de Biocombustíveis – A Questão do Balanço Energético**. Revista de Política Agrícola, Ano XIV nº 1, jan/fev/mar de 2005. Disponível em: <http://www.agronegocios.com.br/agrd/down/artigos/pol_agr_1_2005_ast06.pdf>. Acesso em março 2007.
- U.S. Department of Labor: Bureau of Labor Statistics – Consumer Price Index. 2010. Federal Reserve Bank of St. Louis. Disponível em: <https://reserch.stlouisfed.org/> Acesso em: 20/05/2011
- VAN GERPEN, J. H **Cetane Number Testing of Biodiesel, Liquid Fuels and Industrial Products from Renewable Resources**. Proceedings of Third Liquid Fuels Conference, Marshville Tenn., 15-17 de September, 1996.
- _____ HAMMOND, E. H.; YU, L., MANYEM. A. **Determining the Influence of Contaminants on Biodiesel Properties.** SAE Techn. Pap. Ser. 971685, SAE, Warrendale, PA, 1997.
- VASCONCELLOS, E. A. **Transporte urbano, espaço e equidade: análise das políticas públicas.** Editoras Unidas, São Paulo, 1996
- _____**A Cidade, o Transporte e o Trânsito**. São Paulo: ProLivros, 2005
- _____LIMA, I. M. O. **Quantificação das Deseconomias do Transporte Urbano: uma resenha das experiências internacionais.** Série Texto para Discussão, nº 586, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, DF, 1998.
- VROLIJK, C.,.**Private Sector Demand for CDM Projects.** In: Southeast Asia Forum GHG Mitigation Mechanism Sustainable Development, Natsource Tullett Europe Ltd., International Emissions Trading Association (IETA), Asian Development Bank (ADB), Filipinas, 2003.
- WALTER, A. **As Mudanças Climáticas e a Questão Energética.** Multiciência (www.multiciencia.unicamp.br), edição nº 8, 1º semestre de 2008, PP 40-41.
- _____**Is Brazilian biofuels experience a model for other developing countries?** Bioenergy, agriculture e rural development 2/2007; pp 40-41.
- WANG, M. Q.; WU, W.; HUO, H. **Life-cycle Energy and Greenhouse Gas Emission Impacts of Different Corn Ethanol Plants Types.** Environmental Research Letters. (2007). 024001. 13pp.
- _____ **Development and Overview of GREET 1.6 Fuel-Cycle Model of Transportation Fuels and Vehicle Technologies**. ANL/ESD/TM-163, 1999.

- WBCSD – **“Mobility 2030 Meeting the Challenge” The Sustainable Mobility Project,** Geneva: World Business Council for Sustainable Development, 2004.
- WEISS, M. A.; HEYWOOD, J. B.; DRAKE, E. M.; SCHAFER, A.; AUYEUNG, F. F. **On the Road in 2020: A life-cycle analysis of new automobile techonologies.** Energy Laboratory Report # MIT EL 00-003, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2003.
- WORLD BANK - The World Bank, 2001.**International Experience with CNG Vehicles.** In: South Asian Urban Air Quality Management Briefing Note, nº 2, pp.1-4, UNDP/World Bank Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP), Washington, DC.
- _____The World Bank, 2004. **Carbon Fund Community Development.** Disponível em: <http://www.carbonfiance.org>, Washington, D.C. acesso 20/11/2010.
- WRI (World Resources Institute) **Climate Analysis Indication Toll** (CAIT), Washington, DC: WRI, 2007.
- WRIGHT, L. e FULTON, L. (2005). **Climate Change Mitigation and Transport in Developing Nations.** Transport Reviews, 25(6), 691-717.
- WRIGT, C. L., 1993. **Fast Wheels, Slow Traffic.** Philadelphia, Temple University Press.

ANEXOS

ANEXO I – Índices Estatísticos

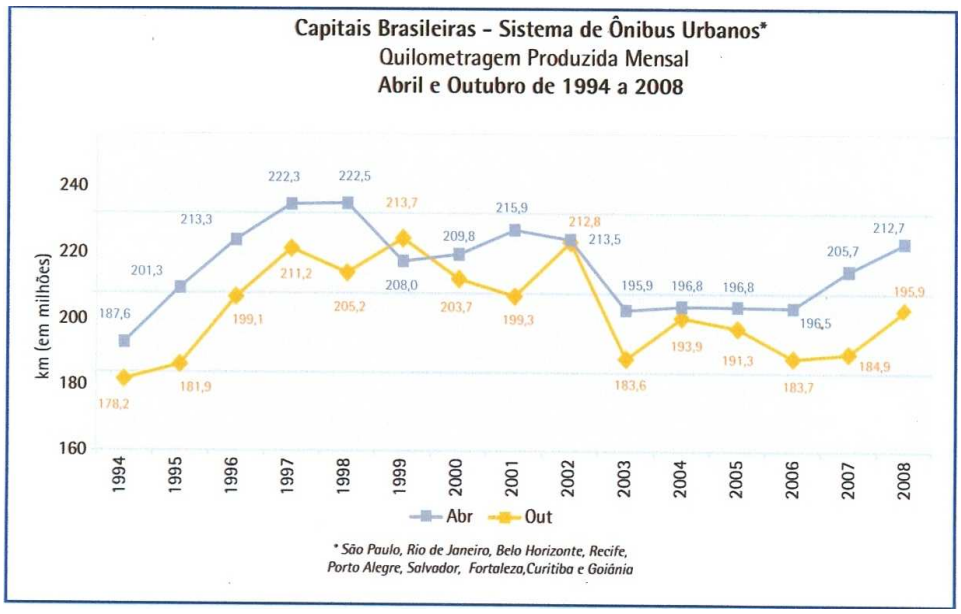
Gráfico 1 - Evolução da Demanda de Passageiros Transportados nas Capitais Brasileiras



Fonte: NTU, 2009

No gráfico 1 pode-se visualizar que o volume de passageiros transportados no ano de 2007, apresentou uma elevação em relação a 2006, principalmente, no segundo semestre. Considerando-se os meses de abril e outubro de 2007, em comparação com o mesmo período do ano anterior, houve um crescimento de aproximadamente 8%, o que não deixa de ser um indicativo da tendência de reversão da queda constante de demanda verificada até meados da década. Contribuiu para esse resultado o reaquecimento da atividade econômica verificada desde 2006, além das diversas medidas de melhoria das redes de transporte, adotadas em importantes segmentos dos mercados de transporte público. Nota-se também que em 2008, o volume de passageiros transportados apresentou tendência de estabilização em relação a 2007, com uma pequena queda observada no segundo semestre. Esses dados deixam a impressão de que já não existe a possibilidade da demanda cair ano após ano, sem qualquer prenúncio de inversão de tendência, como se verificava anteriormente. De qualquer forma os níveis de demanda estão bem abaixo dos picos históricos observados em décadas passadas.

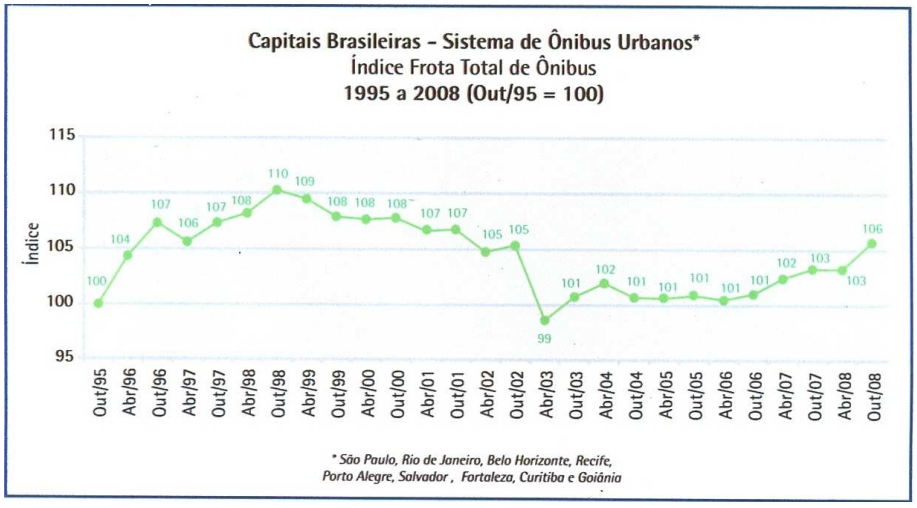
Gráfico 2 - Evolução da Quilometragem Rodada em 8 Capitais Brasileiras



Fonte: NTU, 2009

Quanto ao critério de quilometragem, apresentado no gráfico 2 que traduz a oferta de serviços, representada pela quilometragem produzida e frota disponível, verifica-se também uma ligeira elevação em 2007, respondendo um pouco ao acréscimo de demanda verificado. Em 2008, respondendo por alterações no mercado, a oferta de serviços continuou a apresentar um crescimento. Com uma elevação mais tímida, o índice da frota especificado no gráfico 3 continua apresentando tendência de crescimento, o que indica que o setor investiu no aumento da frota melhorando a qualidade dos serviços.

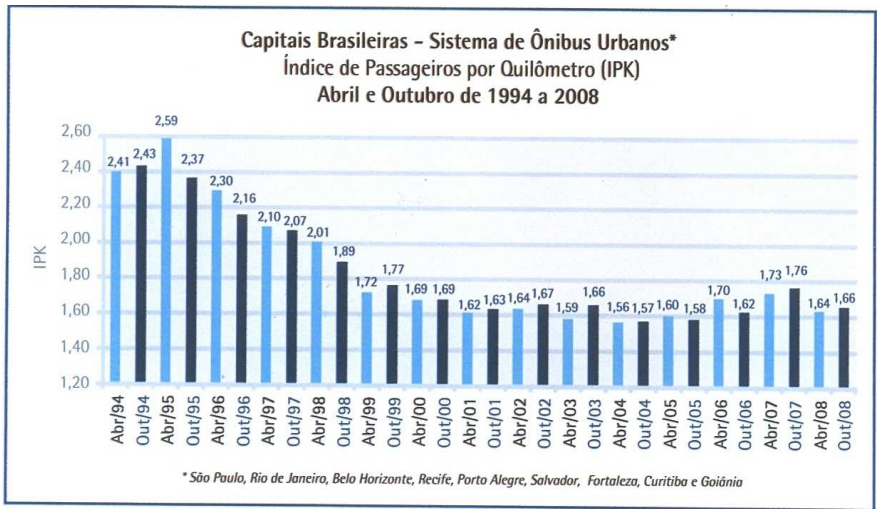
Gráfico 3 - Índice Frota Total de Ônibus



Fonte: NTU, 2009

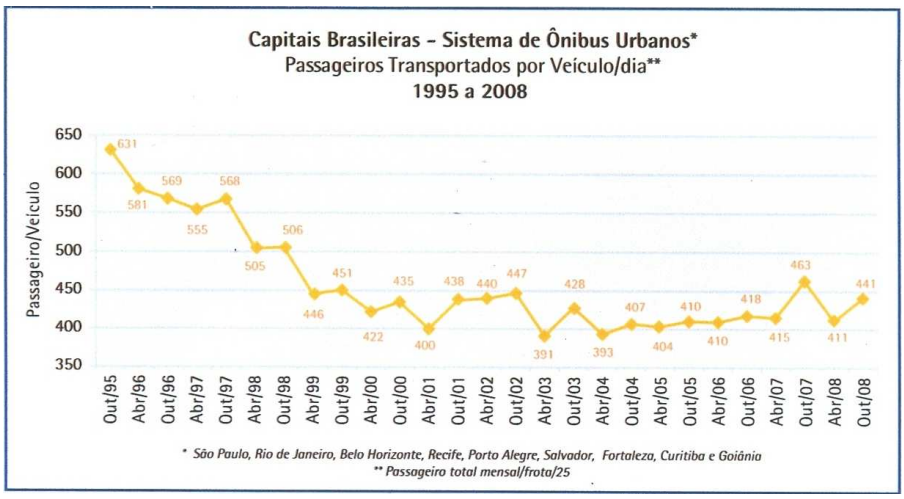
O Índice de passageiro por Quilômetro (IPK), que serve como um dos parâmetros de eficiência do sistema de transportes de passageiro por ônibus (Gráfico 4), apresentou um crescimento em 2007 com relação a 2006, mas em 2008 voltou a decrescer em função do aumento da oferta e da estabilização da demanda de passageiros. O volume de passageiros transportados por veiculo, outro índice de produtividade, apresentou em outubro de 2007 um aumento superior a 10% em comparação a 2006, mas em 2008 apresentou queda de aproximadamente 5% em outubro de 2008, em comparação ao ano anterior, conforme indica o gráfico 5.

Gráfico 4 - Evolução do Índice de Passageiro por Quilômetro (IPK)



Fonte: NTU, 2009

Gráfico 5 - Passageiros Transportados por Veículo/dia



Fonte: NTU, 2009

O documento Observador Brasil 2009, uma ampla pesquisa da Cetelem – financeira do grupo francês BNP Paribas, em conjunto com a Ipsos, que seguiu o Critério de Classificação Econômica Brasil – CCEB, levantou o perfil socioeconômico dos usuários dos transportes públicos e privados no país, que fornece um panorama nacional do uso dos transportes urbanos nos municípios brasileiros, o que embasa algumas reflexões quando a predominância do uso de transporte privado pelos extratos de maior renda e de transportes públicos sociais de menor renda. A pesquisa mostra que, apesar da crise financeira internacional, a economia brasileira experimentou um bom momento entre janeiro e fevereiro de 2008, o que permitiu o aumento da renda familiar em todas as classes sociais e em proporções semelhantes, conforme a tabela 1.

Tabela 1 - Classes de Renda Brasileira

CLASSES	CRITÉRIO	OBSERVAÇÃO
A	**Famílias com renda mensal maior do que R$ 2.586,00**	**Representa 5% das famílias brasileiras**
B	**Famílias com renda mensal entre R$ 2.585,00 e R$ 1.201,00**	**Representa 19% das famílias brasileiras**
C	**Famílias com renda mensal entre R$ 1.200,00 e R$ 650,00**	**Representa 31% das famílias brasileiras**
D/E	**Famílias com renda mensal até R$ 649,00**	**Representa 45% das famílias brasileiras D (33%) e E (12%)**

Fonte: Observador Brasil – 2008

Pesquisa Cetelem – Ipsos 2005/2006/2007/2008

Comparativamente a 2007, pode-se verificar que nas camadas D/E, as menos favorecidas, a receita familiar avançou de R$ 580,00 para R$ 650,00, um crescimento de 12%. Nas classes A/B, as mais abastadas, o aumento foi de 16,5%, passando de R$ 2.217,00 para R$ 2.586,00. Na classe C, por sua vez, que reúne atualmente a maior parcela da população brasileira, a renda familiar mensal subiu de R$ 1.062,00 para R$ 1.1201,00 na comparação entre 2007 e 2008, um crescimento de 13%. A distribuição da população brasileira por classes de consumo se manteve estável, o que indica a consolidação das mudanças ocorridas nos últimos anos. E, em especial, avaliam-se os resultados de acordo com o cenário econômico global, pois a manutenção da pirâmide social pode ser encarada como

um resultado positivo, indicando a consolidação de um processo de ganho de toda sociedade brasileira.

Quanto ao uso do transporte público municipal por ônibus e do modo automóvel, por classe de renda, obteve-se o seguinte padrão de respostas: quanto ao uso habitual, (frequência maior do que três dias na semana) destes modos por categoria de cidade, segundo se observa nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Uso Habitual do Transporte Público Municipal por Ônibus em 2008

Categoria das Cidades	A %	B %	C %	D/E %	Total %
Megatrópole	**4,8**	**28,3**	**42,5**	**24,4**	**100,0**
Metrópole Nacional	**6,8**	**27,8**	**38,1**	**27,3**	**100,0**
Metrópole Regional	**1,5**	**17,9**	**41,3**	**39,3**	**100,0**
Cidades de Porte Médio	**2,6**	**16,5**	**37,9**	**43,0**	**100,0**

Fonte: Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP (2008)

A utilização do ônibus como opção modal de transportes para a classe A (de maior renda), situa-se no intervalo 1,5% a 6,8% dos usuários de transporte público por ônibus, pertencente a esta classe social nas cidades consideradas e agrupadas por categoria. Trata-se de uma pequena minoria no universo de usuários dos transportes municipais. Quando, entretanto, se compara com o uso do automóvel (tabela 3) as classes mudam de posição. Seria como olhar através de um espelho plano a realidade social das classes econômicas brasileiras em função do modo de transportes adotados por elas.

Tabela 3- Uso Habitual do Transporte Individual por Automóvel em 2008

Categoria das Cidades	A %	B %	C %	D/E %	Total %
Megatrópole	**21,0**	**47,5**	**29,1**	**2,4**	**100,0**
Metrópole Nacional	**25,8**	**48,9**	**20,8**	**4,5**	**100,0**
Metrópole Regional	**15,1**	**52,0**	**24,3**	**8,6**	**100,0**
Cidades de Porte Médio	**28,8**	**49,0**	**18,2**	**4,0**	**100,0**

Fonte: ANTP – 2008

Analisando-se as tabelas (2) e (3) pode-se concluir que a Classe A muda de posição com a Classe D/E e a classe B muda de posição com a Classe C, isto é, o uso de automóvel pela Classe D/E é feito por uma pequena minoria e, em termos percentuais a participação da Classe B no uso habitual do automóvel é maior que o da Classe C. Nota-se também que no uso habitual do ônibus a Classe C é praticamente da mesma ordem de grandeza percentual que a Classe B no uso do automóvel.

Outro aspecto revelador quando se analisa as tabelas 2 e 3 é que o percentual de usuários da Classe D/E que utiliza o modo ônibus, cresce na medida em que quanto mais pobre a cidade, mais pobres utilizam o transporte público por ônibus, pois a classe de renda que usa o transporte público é inversamente proporcional à escala de cidade. Quanto menor a renda, maior a probabilidade de se morar em cidades menores e mais pobres. Bastaria comparar o PIB (Produto Interno Bruto) dessas cidades e a distribuição de renda para atestar a inferência obtida do perfil dos usuários dos transportes, devendo a Classe D/E ser mais suscetível aos aumentos de tarifas do transporte público. Esta poderia rapidamente ser alijada deste e migrar para viagens não motorizadas, esta hipótese necessitaria de maiores estudos para não se passar por verdade absoluta, fruto de empirismo, a ponto de inviabilizar políticas públicas voltadas para o incentivo de viagens não – motorizadas e ambientalmente mais eficazes, tais como viagens a pé de bicicleta em distâncias compatíveis com os respectivos modos. Estas não exigiriam a queima de combustível fóssil e ainda trariam benefícios à saúde individual e pública. Qualquer política nacional ou municipal de transporte público deve ter em mente os impactos das ações nestas categorias sociais, caso se queira obter uma distribuição de renda a partir das políticas públicas de transporte de passageiros.

Segundo a Associação Nacional de Empresas de Transportes Urbanos (NTU). A Classe D/E responde por cerca de 25% da demanda de passageiros por ônibus na megatrópole do Rio de Janeiro, em torno de 28% nas capitais nacionais, 39% nas cidades regionais e 44% nas cidades de porte médio. Tal estudo não apresentou de forma desagregada por cidade pesquisada, as informações mostradas nas tabelas; entretanto acredita-se que quanto mais elevada a renda, maior o uso do automóvel, menos eficiente em termos de número de passageiros transportados por energia requerida e pela poluição per capita emitida no meio urbano.

O referido estudo, de acordo com a categoria das cidades pesquisadas, apresentou a ordem de preferência pelos modos ônibus e automóvel, onde se pode notar que a preferência pelo modo automóvel é majoritária, de acordo com a tabela 4.

Tabela 4 - Uso Habitual do Transporte Público Municipal por Ônibus em 2008

Categoria das Cidades	Uso do Modo Ônibus	Uso do Modo Automóvel
Belém	**1ª**	**2ª**
Belo Horizonte	**2ª**	**1ª**
Campina Grande	**2ª**	**1ª**
Cidades de Porte Médio	**2ª**	**1ª**
Curitiba	**2ª**	**1ª**
Fortaleza	**2ª**	**1ª**
Goiânia	**3ª**	**1ª**
Megatrópole Rio de Janeiro	**1ª**	**2ª**
Megatrópoles Nacionais	**2ª**	**1ª**
Megatrópoles Regionais	**2ª**	**1ª**
Porto Alegre	**1ª**	**2ª**
Salvador	**2ª**	**1ª**
Teresina	**2ª**	**1ª**

Fonte: ANTP - 2008

Exceção deve ser feita aos Municípios do Rio de Janeiro, Belém e Porto Alegre, onde o módulo ônibus ocupa o primeiro lugar, e a de Goiânia, onde a segunda opção são os serviços de lotação – (Vans), ficando o modo ônibus em terceiro lugar.

ANEXO II – Características Sócio-Econômicas

População

A população da RMSP de aproximadamente 19,6 milhões de habitantes em 2007 apresentou acréscimo e 16% em relação a 1997. A sub-região Centro, que corresponde ao Município de São Paulo contava com uma população de 10,9 milhões de habitantes em 2007 e, apesar de representar 56% da população metropolitana, perdeu participação relativa, tendo sido de 2,9% a perda no ultimo decênio. Essa sub-região cresceu 11% no período, e corresponde ao menor porcentual de decréscimo demográfico dentre as sub-regiões. A Tabela 1 ilustra esses dados e a figura 1 localiza as sub-regiões.

Tabela 1 - Região Metropolitana de São Paulo - Densidade Demográfica por Sub-Região 1997 e 2007

SUB-REGIÃO	ÁREA	POPULAÇÃO (habitantes x 1.000)		DENS. DEMOGRÁFICA (hab/ha)	
	(1.000 ha)	1997	2007	1997	2007
Sudoeste	111	584	745	5,26	6,71
Oeste	92	1.605	2.030	17,45	22,07
Norte	73	368	508	5.04	6,96
Nordeste	78	1.107	1.400	14,19	17,95
Leste	207	1.011	1.378	4,88	6,66
Sudeste	83	2.260	2.577	27,23	31,05
Centro	153	9.957	10.897	64,42	71,22
TOTAL	**797**	**16.792**	**19.535**	**21,07**	**24,51**

Fonte: Metrô-Pesquisas OD 1997 e 2007

Figura 1 - RMSP - (Sub-Regiões)

Fonte: http//www.planejamento.sp.gov.br/des/textos8/RMSP.pdf

A densidade demográfica da RMSP passou de 21,7 para 24,5 habitantes por hectare no período de 1997 a 2007, sendo bastante heterogênea no espaço metropolitano: 71,2 habitantes por hectare na sub-região Centro e 6,7 nas sub-regiões Leste e Sudeste, como mostra a tabela 1.

Renda Familiar

A Renda Familiar mensal de 1997 foi atualizada por meio do INPC – Índice Nacional de Preços ao Consumidor, do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, para possibilitar comparações com os dados de renda de 2007. No período de 1997 a 2007 a renda média familiar mensal sofreu decréscimo de 27% na RMSP, conforme ilustra a Tabela 2.

Tabela 2 - Região Metropolitana de São Paulo - Renda Média Familiar Mensal por Sub-Região 1997 e 2007

SUB-REGIÃO DE RESIDÊNCIA	RENDA MÉDIA FAMILIAR MENSAL*	
	1997	**2007**
Sudoeste	2.119	1.707
Oeste	2.461	1.766
Norte	1.840	1.511
Nordeste	2.394	1.886
Leste	2.134	1.677
Sudeste	2.946	2.276
Centro	3.399	2.438
TOTAL	**3.042**	**2.211**

Fonte: Metrô-Pesquisas OD 1997 e 2007

Com relação à distribuição da população por faixas de renda familiar, houve acréscimo de população nas faixas até R$ 3.040,00 e decréscimos nas faixas de renda familiar acima desse valor, de acordo com a tabela 3 e o gráfico 1.

Tabela 3- Região Metropolitana de São Paulo - População por Renda Média Familiar Mensal e Sub-Região 1997 e 2007

1997 *(em milhares)*

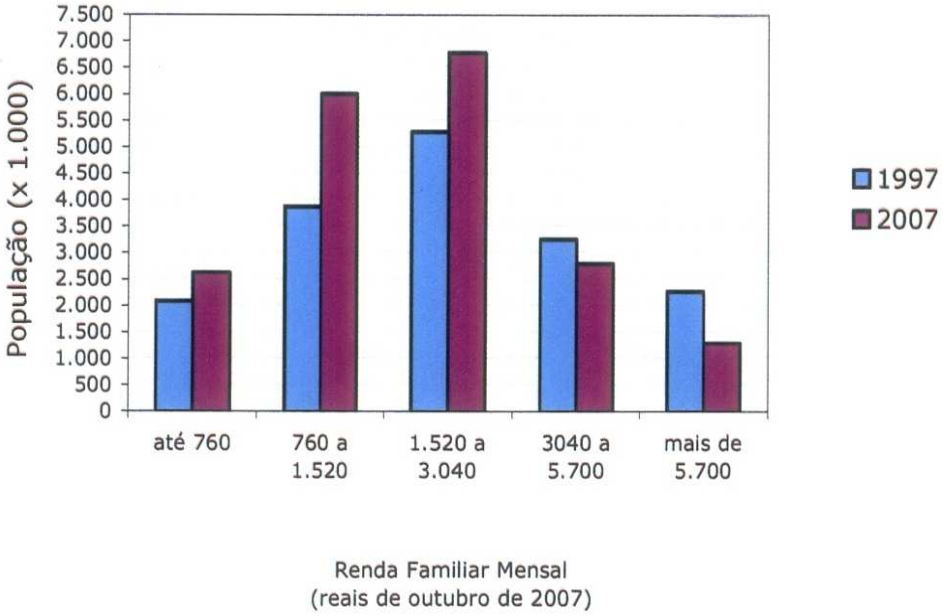
SUB-REGIÃO DE RESIDÊNCIA	POPULAÇÃO POR RENDA FAMILIAR *					
	até 760	**760 a 1.520**	**1.520 a 3.040**	**3.040 a 5.700**	**mais de 5.700**	**Total**
Sudoeste	80	180	203	98	24	585
Oeste	238	401	571	251	143	1.604
Norte	63	119	126	48	12	368
Nordeste	181	330	321	178	97	1.107
Leste	222	278	335	108	68	1.011
Sudeste	210	464	780	544	262	2.260
Centro	1.092	2.107	2.953	2.036	1.699	9.857
TOTAL	**2.086**	**3.879**	**5.289**	**3.263**	**2.275**	**16.792**

2007 *(em milhares)*

SUB-REGIÃO DE RESIDÊNCIA	POPULAÇÃO POR RENDA FAMILIAR *					
	até 760	**760 a 1.520**	**1.520 a 3.040**	**3.040 a 5.700**	**mais de 5.700**	**Total**
Sudoeste	120	264	274	71	16	745
Oeste	289	691	771	219	60	2.030
Norte	93	221	151	25	18	508
Nordeste	226	476	434	211	53	1.400
Leste	252	485	485	112	44	1.378
Sudeste	295	720	940	454	168	2.577
Centro	1.355	3.153	3.734	1.714	941	10.897
TOTAL	**2.630**	**6.010**	**6.789**	**2.806**	**1.300**	**19.535**

Fonte: Metrô-Pesquisas OD 1997 e 2007 - (*) Em reais de outubro de 2007

Gráfico 1 - Região Metropolitana de São Paulo - População por Renda Familiar Mensal 1997 e 2007



Fonte: Metrô-Pesquisas OD 1997 e 2007

Empregos

É expressivo o crescimento de 30% no número de empregos entre os anos de 1997 e 2007 na RMSP, totalizando 9,1 milhões na última data. A sub-região Centro, com 5,9 milhões de empregos, 65% do total metropolitano em 2007 e em 1997 com 4,6 milhões de empregos, concentrando 66% do total, conforme tabela 4, tem a maior representatividade.

Tabela 4- Região Metropolitana de São Paulo - Empregos por Sub-Região – 1997 e 2007

SUB-REGIÃO DE EMPREGO	EMPREGOS 1997		EMPREGOS 2007	
	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%
Sudoeste	164	2,4	215	2,3
Oeste	531	7,6	724	8,0
Norte	95	1,4	135	1,5
Nordeste	399	5,7	540	6,0
Leste	306	4,4	462	5,1
Sudeste	837	12,0	1.060	11,7
Centro	4.627	66,5	5.930	65,4
TOTAL	**6.959**	**100,0**	**9.066**	**100,0**

Fonte: Metrô-Pesquisa OD 2007

ANEXO III – Dados Complementares

Divisão Modal

A divisão modal é a distribuição porcentual das viagens motorizadas entre os modos coletivos e individual. Um importante resultado verificado na tabela 2.2 e gráfico 2.2, foi a recuperação da participação das viagens por modo coletivo. De acordo com a NTU – Associação Nacional de Empresas de Transportes Urbanos, em 2002 foi constatada uma participação maior das viagens por modo individual em relação ao modo coletivo. Em 2007, a divisão modal da RMSP reverteu essa tendência observada em pesquisas anteriores, apontando 55% da participação do modo coletivo e 45% do modo individual.

Considerando-se a divisão das viagens entre modos motorizado e não-motorizado, nota-se que essa divisão mantém-se praticamente estável, passando de 65% para 66% a participação do modo motorizado, e de 35% para 34% a participação das viagens não-motorizadas no período de 1997 a 2007, como se verifica na tabela 1.

Tabela 1 - Região Metropolitana de São Paulo - Viagens Diárias por Modo Motorizado, não Motorizado e Sub-Região - 1997 e 2007

1997					
SUB-REGIÃO DE ORIGEM	**VIAGENS POR MODO ***				
	Motorizado		**Não Motorizado**		**Total**
	(x 1.000)	**%**	**(x 1.000)**	**%**	**(x 1.000)**
Sudoeste	452	52,0	418	48,0	870
Oeste	1.693	61,9	1.044	38,1	2.737
Norte	280	49,6	285	50,4	565
Nordeste	1.058	55,9	836	44,1	1.894
Leste	896	54,1	761	45,9	1.657
Sudeste	2.676	65,4	1.418	34,6	4.094
Centro	13.403	68,3	6.212	31,7	19.615
TOTAL	**20.458**	**65,1**	**10.974**	**34,9**	**31.432**

2007					
SUB-REGIÃO DE ORIGEM	**VIAGENS POR MODO ***				
	Motorizado		**Não Motorizado**		**Total**
	(x 1.000)	**%**	**(x 1.000)**	**%**	**(x 1.000)**
Sudoeste	608	60,3	400	39,7	1.008
Oeste	2.016	64,5	1.112	35,5	3.128
Norte	398	55,5	319	44,5	717
Nordeste	1.321	62,9	779	37,1	2.100
Leste	1.119	53,6	1.009	47,4	2.128
Sudeste	3.577	65,1	1.917	34,9	5.949
Centro	16.128	68,6	7.391	31,4	23.519
TOTAL	**25.167**	**66,1**	**12.927**	**33,9**	**38.094**

Fonte: Metrô-Pesquisas OD 1997 e 2007

Por outro lado, houve acréscimo de participação do modo coletivo em todas as sub-regiões. A sub-região Centro apresentou desempenho similar à da metrópole: 56% para o modo coletivo e 44% para o modo individual. A maior participação do modo coletivo ocorreu na sub-região Norte, 67%, enquanto a menor participação ocorreu na sub-região Sudeste, 47%, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Região Metropolitana de São Paulo - Viagens Diárias por Modo Motorizado, não Motorizado e Sub-Região - 1997 e 2007

1997

SUB-REGIÃO DE ORIGEM	VIAGENS POR MODO *				
	Coletivo		Individual		Motorizado
	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%	(x 1.000)
Sudoeste	263	58,2	189	41,8	452
Oeste	843	49,8	850	50,2	1.693
Norte	182	65,0	98	35,0	280
Nordeste	534	50,5	524	49,5	1.058
Leste	403	45,0	493	55,0	896
Sudeste	1.215	45,4	1.461	54,6	2.676
Centro	7.033	52,4	6.370	47,5	13.403
TOTAL	**10.473**	**51,2**	**9.985**	**48,8**	**20.458**

2007

SUB-REGIÃO DE ORIGEM	VIAGENS POR MODO *				
	Coletivo		Individual		Motorizado
	(x 1.000)	%	(x 1.000)	%	(x 1.000)
Sudoeste	374	61,5	234	38,5	608
Oeste	1.203	59,7	813	40,3	2.016
Norte	267	67,1	131	32,9	398
Nordeste	778	58,9	543	41,1	1.321
Leste	584	52,2	535	47,8	1.119
Sudeste	1.671	46,7	1.906	53,3	3.577
Centro	9.036	56,0	7.092	44,0	16.128
TOTAL	**13.913**	**55,3**	**11.254**	**44,7**	**25.167**

Fonte: Metrô-Pesquisas OD 1997 e 2007

Considerando-se as sub-regiões, pode-se destacar:

- a diminuição da participação das viagens por modo individual em todas as sub-regiões;
- apesar da ainda pouca participação, o aumento da utilização de motocicletas em todas as sub-regiões;
- também com pouca participação, mas apresentando aumento, as viagens por transporte escolar em todas as sub-regiões.

A tabela 3 apresentada a seguir ilustra as considerações destacadas acima para cada sub-região:

Tabela 3 - Região Metropolitana de São Paulo - Viagens Diárias por Modo Principal e Sub-Região - 1997 e 2007

1997 *(em milhares)*

SUB-REGIÃO DE ORIGEM	VIAGENS POR MODO											
	Metrô	Trem	Ônibus*	Fretado	Escolar	Auto	Táxi	Moto	Bicicleta	A pé	Outros	Total
Sudoeste	6	1	228	11	17	182	0	4	5	413	3	870
Oeste	37	108	598	54	46	823	1	15	20	1.024	11	2.737
Norte	10	48	111	7	6	92	2	2	8	277	2	565
Nordeste	40	5	425	46	18	508	3	3	21	815	10	1.894
Leste	32	59	274	25	13	474	1	10	38	723	8	1.657
Sudeste	40	106	846	156	67	1.425	5	13	16	1.402	18	4.094
Centro	1.533	322	4.772	162	244	6.134	91	99	54	6.158	46	19.615
TOTAL	**1.698**	**649**	**7.254**	**461**	**411**	**9.638**	**103**	**146**	**162**	**10.812**	**98**	**31.432**

2007 *(em milhares)*

SUB-REGIÃO DE ORIGEM	VIAGENS POR MODO											
	Metrô	Trem	Ônibus	Fretado	Escolar	Auto	Táxi	Moto	Bicicleta	A pé	Outros	Total
Sudoeste	18	3	265	18	68	209	1	22	6	394	4	1.008
Oeste	61	134	780	59	169	727	1	78	28	1.084	7	3.128
Norte	26	52	138	8	43	119	-	10	3	316	2	717
Nordeste	62	1	588	53	74	504	3	31	29	750	5	2.100
Leste	44	80	365	39	57	479	4	47	49	960	4	2.128
Sudeste	68	110	1.169	170	155	1.755	3	140	42	1.875	7	5.494
Centro	1.944	435	5.729	167	761	6.588	79	393	147	7.244	32	23.519
TOTAL	**2.223**	**815**	**9.034**	**514**	**1.327**	**10.381**	**91**	**721**	**304**	**12.623**	**61**	**38.094**

Fonte: Metrô-Pesquisas OD 1997 e 2007- (*) Em 1997 inclui lotação

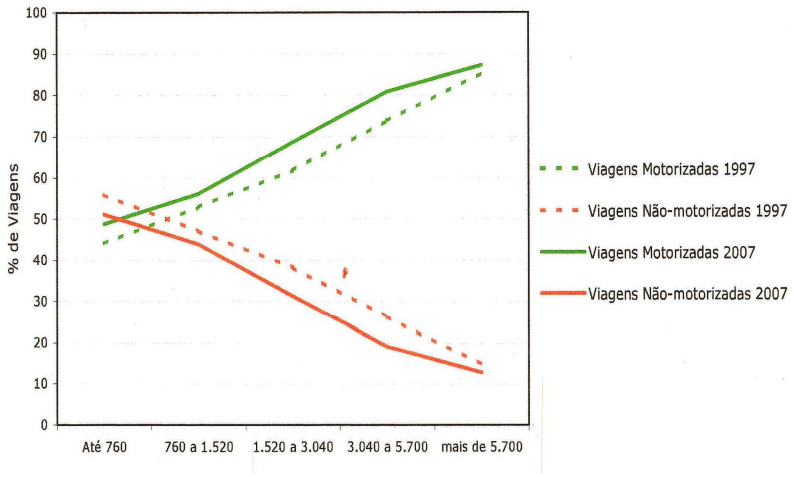
Na RMSP verificou-se que a distribuição percentual das viagens entre os modos motorizado e não motorizado indicou maior participação das viagens motorizadas quanto maior a renda familiar, aumentando a participação desse tipo de viagem em todas as faixas de renda consideradas, no período de 1997/2007. Na faixa de renda até R$ 760,00 a participação das viagens não-motorizadas foi a maior e a partir desse valor, predominou o modo motorizado, como mostra a tabela 4 e o gráfico 1. Verificou-se também, que a participação das viagens por transporte coletivo, no total de viagens motorizadas e não motorizadas, para rendas familiares até R$ 760,00, foi de 36%, enquanto para as rendas familiares acima de R$ 5.700,00 foi de apenas 18% (tabela 4 e gráfico 2). A divisão modal das viagens motorizadas por faixa de renda mostra que a participação individual aumenta com a renda, diminuindo por consequência a participação do modo coletivo (tabela 4).

Tabela 4 - Região Metropolitana de São Paulo - Viagens Diárias por Tipo e Renda Familiar Mensal - 1997 e 2007

1997												
	VIAGENS POR RENDA FAMILIAR (*)											
	até 760		**760 a 1.520**		**1.520 a 3.040**		**3.040 a 5.700**		**mais de 5.700**		**Total**	
MODO	**(x 1.000)**	**%**	**(x 1.000)**	**%**	**(x 1.000)**	**%**	**(x 1.000)**	**%**	**(x 1.000)**	**%**	**(x 1.000)**	**%**
Coletivo	863	76,4	2.374	74,7	3.740	61,7	2.364	45,7	1.132	23,0	10.473	51,2
Individual	266	23,6	802	25,3	2.324	38,3	2.805	54,3	3.788	77,0	9.985	48,8
Motorizado	**1.129**	**43,1**	**3.176**	**51,9**	**6.064**	**61,2**	**5.169**	**73,7**	**4.920**	**85,1**	**20.458**	**65,1**
Não-motorizado	1.488	56,9	2.944	48,1	3.837	38,8	1.846	26,3	859	14,9	10.974	34,9
TOTAL	**2.617**	**100,0**	**6.120**	**100,0**	**9.901**	**100,0**	**7.015**	**100,0**	**5.779**	**100,0**	**31.432**	**100,0**
2007												
	VIAGENS POR RENDA FAMILIAR (*)											
	até 760		**760 a 1.520**		**1.520 a 3.040**		**3.040 a 5.700**		**mais de 5.700**		**Total**	
MODO	**(x 1.000)**	**%**	**(x 1.000)**	**%**	**(x 1.000)**	**%**	**(x 1.000)**	**%**	**(x 1.000)**	**%**	**(x 1.000)**	**%**
Coletivo	1.473	76,8	4.280	73,2	5.462	59,6	2.059	39,7	639	21,0	13.913	55,3
Individual	445	23,2	1.568	26,8	3.709	40,4	3.128	60,3	2.404	79,0	11.254	44,7
Motorizado	**1.918**	**47,6**	**5.848**	**54,8**	**9.171**	**68,2**	**5.187**	**80,5**	**3.043**	**87,0**	**25.167**	**66,1**
Não-motorizado	2.113	52,4	4.817	45,2	4.286	31,8	1.256	19,5	455	13,0	12.927	33,9
TOTAL	**4.031**	**100,0**	**10.665**	**100,0**	**13.457**	**100,0**	**6.443**	**100,0**	**3.498**	**100,0**	**38.094**	**100,0**

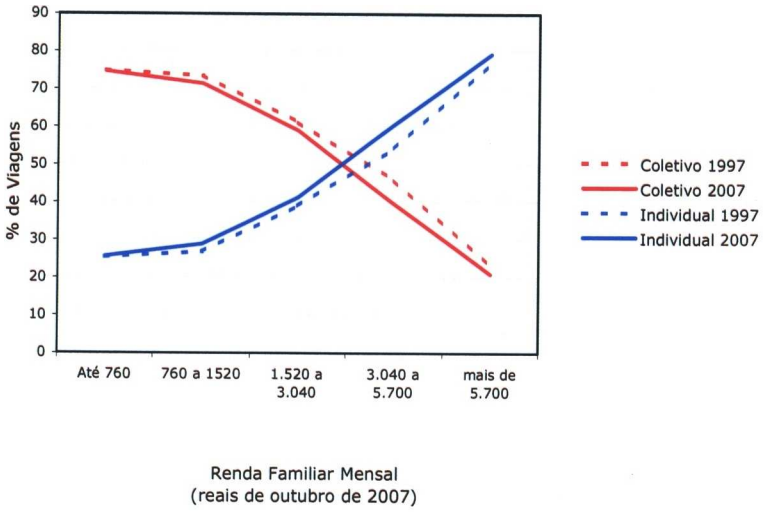
Fonte: Metrô – Pesquisas OD 1997 e 2007 - (*) Em reais de outubro de 2007

Gráfico 1 - Região Metropolitana de São Paulo - Divisão das Viagens Diárias por Renda Familiar Mensal 1997 e 2007



Fonte: Metrô – Pesquisa OD - 2007

Gráfico 2 - Região Metropolitana de São Paulo - Divisão das Viagens Motorizadas Diárias Por Renda Familiar Mensal 1997 e 2007



Fonte: Metrô – Pesquisa OD - 2007

O modo ônibus aumenta ligeiramente sua participação nas faixas de renda familiar até R$ 760,00, na comparação entre 1997 e 2007. A partir deste valor o ônibus diminuiu sua participação em 3% no mesmo período, apesar do automóvel aumentar acentuadamente sua participação na faixa de renda entre R$ 3.040,00 e R$ 5.700,00. O metrô e o trem metropolitano não apresentaram diferenças acentuadas na participação de acordo com a renda familiar. O transporte escolar, apesar de ainda apresentar valores baixos, destaca-se pelo aumento de sua participação em 2007 em todas as faixas de renda familiar. Vale também

ressaltar o aumento de participação das motocicletas e das bicicletas em todas as faixas de renda. A participação das viagens a pé apresenta decréscimos em todas as faixas de renda familiar, vide tabela 5.

Tabela 5 - Região Metropolitana de São Paulo - Viagens Diárias por Modo Principal e Renda Familiar Mensal - 1997 e 2007

1997 *(em milhares)*

	VIAGENS POR RENDA FAMILIAR (*)					
MODO	**até 760**	**760 a 1.520**	**1.520 a 3.040**	**3.040 a 5.700**	**mais de 5.700**	**Total**
Metrô	94	246	530	472	356	1.698
Trem	69	201	245	111	23	649
Ônibus**	657	1.776	2.676	1.561	584	7.254
Fretado	16	98	171	123	53	461
Escolar	27	53	118	97	116	411
Auto	253	744	2.218	2.723	3.700	9.638
Táxi	3	15	20	23	42	103
Moto	3	21	52	40	30	146
Bicicleta	26	62	57	13	4	162
A Pé	1.462	2.882	3.780	1.833	855	10.812
Outros	7	22	34	19	16	98
TOTAL	**2.617**	**6.120**	**9.901**	**7.015**	**5.779**	**31.432**

2007 *(em milhares)*

	VIAGENS POR RENDA FAMILIAR (*)					
MODO	**até 760**	**760 a 1.520**	**1.520 a 3.040**	**3.040 a 5.700**	**mais de 5.700**	**Total**
Metrô	145	559	842	483	194	2.223
Trem	83	318	289	85	40	815
Ônibus**	1.79	2.900	3.610	1.162	283	9.034
Fretado	39	112	219	118	26	514
Escolar	127	391	502	211	96	1.327
Auto	393	1.315	3.371	2.960	2.342	10.381
Táxi	5	14	23	21	28	91
Moto	44	219	295	133	30	721
Bicicleta	50	137	87	24	6	304
A Pé	2.063	4.680	4.199	1.232	449	12.623
Outros	3	20	20	14	4	61
TOTAL	**4.031**	**10.665**	**13.457**	**6.443**	**3.498**	**38.094**

Fonte: Metrô-Pesquisas OD 1997 e 2007

(*) Em reais de outubro de 2007

(**) Em 1997 inclui lotação

ANEXO IV – Requisitos de Tecnologia e de Qualidade de Combustível

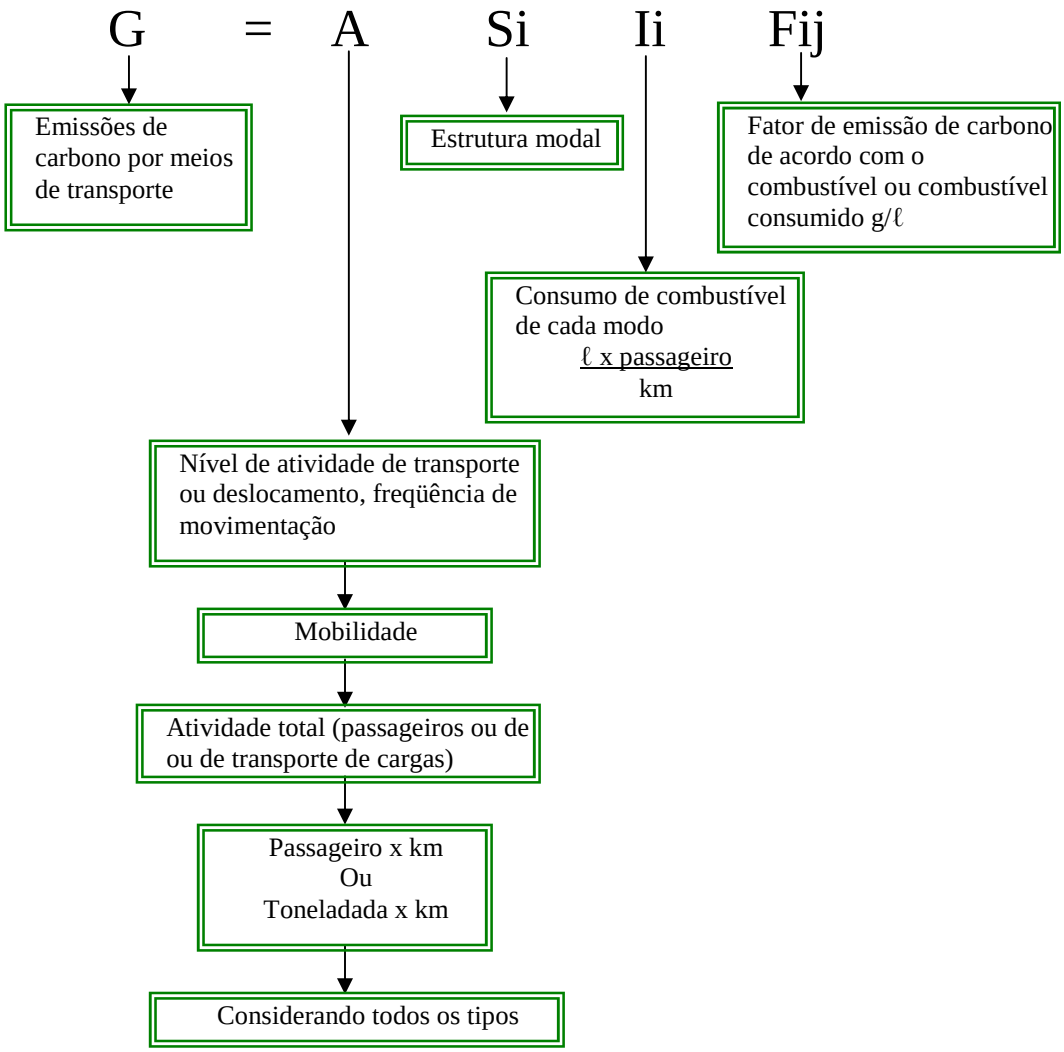
Tabela 1 anexo IV – Requisitos de Tecnologia e de Qualidade de Combustível para Controlar Emissões (Europa, Estados Unidos e Brasil)

Tecnologias Disponíveis para Motores	- Turbo - Aftercooler - Sistemas de injeção eletrônicos de alta pressão - Combustão otimizada - 3-4 válvulas por cilindro	- Recirculação dos gases de escape refrigerados - Sistema de injeção flexíveis e de pressão mais alta - Filtro de partículas	- Sistemas de injeção de pressão mais alta e injeções múltiplas - Redutores NO_x [SCR] - Sistemas dosadores de uréia - Controle em *closed loop*: sensor lambada - Controle do ar de admissão
Combustível Requerido	Baixo Enxofre: 500...350 ppm	Muito Baixo Enxofre: <50 ppm	Isento de Enxofre: <10 ppm
Obrigatório na Europa	EURO III 2000-2004	EURO IV 2005-2007	EURO V 2008 EM DIANTE
Obrigatório nos Estados Unidos	EPA 98 1998-2003	EPA 04 2004-2006	EPA 07 2007-2009
Obrigatório no Brasil	CONAMA V 2004-2007	CONAMA VI 2009 EM DIANTE	CONAMA VII 2012 EM DIANTE

Fonte: M. Massagardi – Bosh (2009)

ANEXO V – Parâmetros que Afetam as Emissões nos Transportes

A inter-relação entre os parâmetros abaixo, representam matematicamente a equação "ASIF" (Schipper and Marie 1999; Schipper, Gorham and Marie 2000).



Fonte: Própria, de acordo com a Metodologia "ASIF"

A importância relativa de cada um dos componentes em relação a todas as variações em termos de emissões flexibilizam-se de acordo com o projeto escolhido. O sistema de transporte é altamente interconectados e várias políticas, programas e projetos podem diretamente ou indiretamente afetar um ou mais de seus componentes, a seguir:

A – o transporte de passageiros tem aumentado nas últimas 3 décadas, o planejamento econômico e o crescimento populacional irão acelerar essa tendência. As taxas de frete por

transporte de carga, também têm aumentado substancialmente em uma base per capta. O uso tradicional e os padrões de crescimento urbano, também exercem uma influência crucial nas distâncias percorridas. A maioria dos especialistas concorda que sem uma mudança radical e substancial em termos de veículo – km – por passageiro, amplos cortes de emissões não podem ser obtidos a partir dos projetos de transportes urbanos.

As intervenções que afetam a carga ou a quilometragem, interagem para satisfazer uma demanda específica de viagem e podem ter um impacto considerável nas emissões pois transportar mais pessoas em menos veículo, reduz drasticamente as emissões. É comum encontrar operações públicas ineficientes em sistemas de transportes urbanos, onde a taxa de oferta e demanda não é otimizada. Grandes economias em termos de emissões e quilômetros atingidos, podem ser obtidos com melhorias no sistema de operação e novos traçados de rodovias (malha viária).

S – A esttrutura modal representa a partilha do total de viagens pelos vários meios de transportes em porcentagem devido ao fato de que o combustível e as emissões por passageiros x km (I) diferem por causa de mais de um simples fator, a saber:

- ônibus ou trens completamente lotados,
- movidos com um tecnologia moderna ou antiga;
- veiculo pesado ou leve com apenas um ocupante;
- mudanças bruscas nas viagens ou rotas;
- de umo de transporte para outro.

entre outros têm um impacto importante nas emissões totais.

As escolhas dos meios de transporte são influências pela disponibilidade das alternativas possíveis, velocidade e tempo de viagem disponibilizada por meios, preços de combustíveis e veículos, renda do usuário, políticas legislativas e fiscais vigentes, segurança pessoal e dinâmica social e psicológica.

Todo o cuidado deveria ser tomado ao delinear-se o sistema de transporte público, uma vez que as medidas incentivadoras de mudanças bruscas no meio de transporte, nem sempre são eficazes conforme o esperado em termos de economia de combustível e redução de emissões, devido aos impactos do tráfego existente, demanda induzida, mudança brusca de transporte não motorizado para motorizado e o desenvolvimento de novas áreas residenciais ao longo das vias de transporte. Esta última possibilidade pode ter efeitos contraditórios em

termos de emissões e tráfego finais, contudo poderia haver redução de distâncias e encorajamento de um uso menor do automóvel, ou isto poderia atrair muitos novos moradores, elevando a população que por sua vez estrangularia o sistema.

I – Intensidade da energia modal (em combustível e emissão por pass/km) está conectada a tecnologia do veículo e aos ciclos de tempo relacionados as suas respectivas marchas. A tecnologia veicular é por sua vez influenciada pelos padrões de emissão veicular, níveis de renda e custo de combustível do veículo. O crescimento da renda pode afetar o gasto de energia nos veículos, assim que os mais antigos sejam substituídos por veículos novos e eficientes.

Países com preços de combustível relativamente alto tendem a ter automóveis com gasto de combustível mais eficiente e que são evidentemente dirigidos com menos freqüência (Schipper et al, 1993). Nas décadas de 70 e 80 o consumo de combustíveis de carros na América do Norte, tornou-se muito eficaz, daí então permaneceu constante a partir da década de 90. Por outro lado, o consumo de combustível de carros na Europa inicialmente diminuiu vagarosamente, mas esta estabilidade melhorou após o "Acordo Voluntário" sobre as emissões de dióxido de carbono por km rodado ao fim da década de 90 (IEA, 2004).

Um novo acordo na comunidade européia, determinando emissões ainda mais baixas 120 mg/km, está agora em negociações finais. A economia de combustível, em estradas pavimentadas é afetada pelas condições da mesma e pelos níveis de congestionamento intenso, pois quanto pior o congestionamento, pior será a economia de combustível. Este fato por sua vez, pode afetar A, devido a demanda induzida.

F – O conteúdo de carbono dos combustíveis mudou muito pouco na maioria dos países, exceto no Brasil, onde o etanol de cana-de-açúcar atinge a percentagem de 40% dos combustíveis automobilísticos. Muitos combustíveis derivados da biomassa estão associados à emissões consideráveis de dióxido de carbono, durante a plantação e a preparação que podem liberar a maioria ou toda as emissões dos gases de efeito estufa, a partir dos combustíveis substituídos.

Outros combustíveis alternativos do carvão ou gás natural, também têm o potencial de aumentar a emissão de carbono dos combustíveis de transporte, dando ênfase as iniciativas do Sindicato Europeu e Californiano, para criar padrões de emissões da performance baseados nos gases de efeito estufa.

Método ASIF Modificado Pelo LASTRAN – Laboratório de Sistemas de Transportes – Rio Grande do Sul

Fonte: LASTRAN – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Neste método as emissões G, seguindo as principais varáveis da "Equação ASIF", dependem de:

a) nível de atividade dos transportes expresso em pass.km, ou ton.km (para o caso de carga)
b) da escolha modal
c) da intensidade energética de cada modal em litros por pass.km
d) quantidade de carbono ou de qualquer outro poluente dos combustíveis em g por litro

Tendo em conta o objetivo desta pesquisa e suas limitações em termos de abrangência de dados, desenvolveu-se uma metodologia simplificada:

I. multiplica-se a população urbana da área considerada no caso da RMSP, pela distância média anual viajada por habitante urbano no transporte coletivo e ou individual (se for o caso), obtendo-se assim a distância total viajada por ano em passageiro.km.

II. esse valor é multiplicado pelas taxas de emissão de CO_2 para o transporte coletivo ou individual resultante da emissão de CO_2 ou que qualquer outro poluente emitido ao longo de um ano.

III. A equação representa o modelo utilizado.

$$Q = \frac{P_t \cdot U \cdot \left(d_{t_c} \cdot q_{t_c} + d_{t_i} \cdot q_{t_i}\right)}{10^{12}}$$

onde:

Q = quantidade de CO_2 ou qualquer outro poluente emitido ($MtCO_2$/ano)

P_t = população total da RMSP

U = taxa de urbanização da RMSP

d_{t_c,t_i} = distância viajada por habitante no transporte coletivo e no transporte individual (pass.km/hab.ano)

$q_{t_c t_i}$ = quantidade de CO_2 emitida para transportar um passageiro por um km, para transporte coletivo ou individual.

ANEXO VI – Emissões do Poço à Roda

Emissões relativas na cadeia de produção e consumo de combustíveis IEA

Emissões "*well-to-wheel*" - veículos leves (%)					
Combustível	CO_2	CO	NOx	MP	HC
Gasolina	100	100	100	0	100
Diesel	52-74	7-21	130-221	100	15-40
GLP					
Campo	71-82	25-47	96-110	1	17-71
Refinaria	78-93	25-47	114-117	1	65-66
Gás natural	65-78	23-25	56-79	0	111-115
Metanol					
Gás natural	80	101	158	ND	155
Celulose	30-110	71-102	119-142	11	76-117
Etanol					
Celulose	10-16	17-24	81-117	ND	27-41
Açúcar	24-55	22-52	122-154	24-45	32-104
Biodiesel	13-32	8-26	189-346	112-120	12-47
Hidrogênio	5-362	0-12	79-864	0-113	2-339
Emissões "*well-to-wheel*" - veículos pesados (%)					
Combustível	CO_2	CO	NOx	MP	HC
Diesel	100	100	100	100	100
GLP					
Campo	94	199-445	22-32	24	69-177
Refinaria	104-106	200-436	25-32	24	154-177
Gás natural	87	99-530	16-35	15	255-588
Metanol					
Gás natural	98	405	64	ND	497
Celulose	3-135	87-434	50-61	28	158-300
Etanol					
Celulose	16-26	577-1075	94-103	ND	160-256
Açúcar	34-67	119-891	103-104	55	114-235
Biodiesel	28-44	81-212	118-127	90-98	68-120

Fonte: (Adaptado de IEA, 2001)

Conforme análises anteriores referentes ao consumo de energia pode-se obter algumas conclusões sobre as emissões na cadeia dos cinco combustíveis: GLP (gás liquefeito de petróleo), gás natural metanol e biodiesel. Pode-se obter uma visão panorâmica acerca de como esses combustíveis se comportam na cadeia do poço-a-roda nas mesmas condições. É importante ter em vista que novos desenvolvimentos continuam sendo realizados, tanto para os combustíveis tradicionais (diesel e gasolina), quanto para os alternativos.

Óxidos de Nitrogênio

Veículos automotivos leves (LDVs) movidos à gasolina tem emissões relativamente baixas de NO_x na cadeia do poço-a-roda, apenas o gás natural pode melhorar as emissões. O GLP (LPG) gás liquefeito de petróleo e o etanol oriundo do material celulósico têm o mesmo desempenho da gasolina. O metanol, o etanol de açúcar ou de amido, diesel e o biodiesel lançam mais óxido de nitrogênio na cadeia do poço-a-roda que a gasolina 100% lançada pelos

veiculas leves. Quanto ao hidrogênio, quer as emissões sejam altas ou baixas, tudo depende da maneira de produção do hidrogênio e fonte energética utilizada na eletróse.

Um quadro ligeiramente diferente emerge quanto aos veículos motorizados pesados (HDVs). O gás natural apresenta as emissões mais baixas de óxido de nitrogênio na cadeia do poço-a-roda, mas os caminhões movidos exclusivamente a LPG apresentam a mesma performance. Veículos automotivos pesados movidos a metanol têm desempenho melhor do que os movidos a diesel, mas os movidos a etanol lançam as mesmas quantidades de NO_x. Veículos automotivos pesados movidos a biodiesel emitem os mais altos índices de NO_x, tanto quanto nos veículos leves e um pouco mais quando comparado às emissões convencionais do diesel.

Monóxido de Carbono

O hidrogênio gera as emissões mais baixas de CO na cadeia do poço-a-roda, quando utilizado nos veículos automotivos leves; já a gasolina e o metanol, os mais altos índices de emissão. Todos os outros combustíveis desempenham melhor do que a gasolina, mais ou menos no mesmo nível.

Nos veículos auto-motivos pesados os dados confirmam uma maior dispersão. O diesel, geralmente, apresenta as menores emissões de CO. O Biodiesel e o metanol obtidos de material celulósico podem lançar um pouco menos de CO em certas condições, mas a maioria das vezes lançará provavelmente mais. Todos os outros combustíveis excedem, em muito, as emissões de CO a partir do diesel; o etanol encabeça a lista produzindo nove a dez mais do que as emissões derivados do diesel.

Hidrocarbonetos

Veículos automotivos leves movidos a diesel e a biodiesel apresentam as menores emissões totais de HC; sendo que o gás natural e o metanol as mais altas, especialmente o metano (CH_4). O hidrogenio varia amplamente, apresenta um melhor desempenho quando a eletricidade para eletrólise é oriunda de energia renovável, mais o pior desempenho quando combustíveis fósseis são utilizados.

Nos veículos automotivos pesados, desconsiderando o hidrogênio (pois não há dados), todos os combustíveis desempenham bem próximos, quer sejam veículos leves ou pesados, embora os números-referência difiram, uma vez que o diesel é o combustível referência.

Material Particulado

Apenas poucos combustíveis, diesel e biodiesel (especialmente em termos de liberações veiculares), bem como o hidrogênio produzido a partir de energia fóssil, geram emissões consideráveis de MP, na cadeia do poço-a-roda, nos veículos automotivos leves.

Emissões de MP oriundas da gasolina, GLP (gás liquefeito de petróleo, gás natural, metanol e hidrogênio), produzido a partir de fontes renováveis, são todas elas insignificantes.

Veículos automotivos pesados, contudo, emitem muito mais MP na cadeia do poço-a-roda, sendo que o diesel e o biodiesel novamente apresentam as maiores emissões. Os outros combustíveis emitem emissões menores em relação ao diesel nos veículos automotivos pesados, com diferenças menores do que as apresentadas nos veículos automotivos leves.

Dióxido de Carbono

Os combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis apresentam as emissões mais baixas de CO_2.

Caso a energia fóssil seja utilizada para a conversão, as emissões podem aumentar. Diferentes fontes energéticas, por exemplo, explicam a dispersão de dados referentes ao hidrogênio, bem como ao metanol obtido a partir de material celulósico.

A eficiência aos veículos motorizados também desempenham um importante papel nas emissões de CO_2 a partir de combustíveis fósseis na cadeia do poço-a-roda: motores eficientes movidos a diesel emitem menos CO_2.

Estas observações generalizadas são aplicadas tanto para veículos motorizados leves quanto para os pesados.

ANEXO VII – Princípio do Poluidor-Pagador

Fonte: (Sirvinskas, 2005)

Tendo como fundamento o princípio treze da Declaração do Rio/92, diz referido princípio:

> *"Os Estados devem desenvolver legislação nacional relativa à responsabilidade e indenização das vítimas de poluição e outros danos ambientais. Os Estados devem ainda cooperar de forma explicita e determinada para o desenvolvimento de normas de direito internacional ambiental relativas à responsabilidade e indenização por efeitos adversos e danos ambientais causados em áreas fora de sua jurisdição, por atividades dentro de sua jurisdição ou sob seu controle"*

Continua ainda no princípio dezesseis:

> *" Tendo em vista que o poluidor deve, em princípio, arcar com o custo decorrente da poluição, as autoridades nacionais devem procurar promover a internalização dos custos ambientais e o uso de instrumentos econômicos, levando na devida conta o interesse público, sem distorcer o comércio e os investimentos internacionais"*

Vê-se, pois, que o poluidor deverá arcar com o prejuízo causado ao meio ambiente da forma mais ampla possível. Impera, no sistema brasileiro, a responsabilidade objetiva, ou seja, basta comprovação do dano ao meio ambiente, a autoria e o nexo casual, independentemente da existência da culpa.

Fundamento legal: arts., § 3°, da CF e 14, § 1°, da Lei 6938/81

Créditos de Carbono

Os créditos de carbono são certificados que autorizam o direito de poluir. Trata-se de um principio simples: as agências de proteção ambiental reguladoras emitem certificados autorizando emissões de toneladas de dióxido de enxofre, monóxido de carbono, dióxido de carbono e outros gases poluentes.

Inicialmente, selecionam-se indústrias que mais poluem em um determinado País e a partir desse ato são estabelecidas metas para a redução de suas emissões. As empresas

recebem bônus negociáveis na proporção de suas responsabilidades. Cada bônus, cotado em dólar ou euros, equivale a uma tonelada de poluentes. Por outro lado quem não cumpre as metas de redução progressiva estabelecidas por lei, tem que comprar certificados das empresas melhor sucedidas. O sistema tem a vantagem de permitir que cada empresa estaca seu próprio ritmo de adequação às leis ambientais.

Estes certificados podem ser comercializados através das Bolsas de Valores e de Mercadorias, como o exemplo do Clean Air de 1970 e, os contratos na bolsa estadunidense (Emission Trading-Joint Implementation). Ou pelo Fundo Holandês de Carbono (The Metherlands Clean Development Mechanism Facility – NVDMF), utilizados nesta pesquisa.

Há várias empresas especializadas no desenvolvimento de projetos que reduzem o nível de gás carbônico na atmosfera e na negociação de certificados. A intenção é vender cotas dos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, que em geral poluem menos, para os que poluem mais. Enfim negociar contratos de compra e venda de certificados, que conferem aos países desenvolvidos o direito de poluir.

Portanto, Crédito de Carbono é então, uma espécie de moeda ambiental que pode ser conseguida por diversos meios: Projetos que absorvam GEE (Gases de Efeito Estufa) da atmosfera, reflorestamento, substituição de combustíveis fósseis por renováveis etc...

ANEXO VIII – Lei 14.933/09

Presidência da República

Casa Civil

Subchefia para Assuntos Jurídicos

LEI Nº 12.187, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2009.

Mensagem de veto. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Art. 1o Esta Lei institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e estabelece seus princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos.

Art 2o Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:

I - adaptação: iniciativas e medidas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima;

II - efeitos adversos da mudança do clima: mudanças no meio físico ou biota resultantes da mudança do clima que tenham efeitos deletérios significativos sobre a composição, resiliência ou produtividade de ecossistemas naturais e manejados, sobre o funcionamento de sistemas socioeconômicos ou sobre a saúde e o bem-estar humanos;

III - emissões: liberação de gases de efeito estufa ou seus precursores na atmosfera numa área específica e num período determinado;

IV - fonte: processo ou atividade que libere na atmosfera gás de efeito estufa, aerossol ou precursor de gás de efeito estufa;

V - gases de efeito estufa: constituintes gasosos, naturais ou antrópicos, que, na atmosfera, absorvem e reemitem radiação infravermelha;

VI - impacto: os efeitos da mudança do clima nos sistemas humanos e naturais;

VII - mitigação: mudanças e substituições tecnológicas que reduzam o uso de recursos e as emissões por unidade de produção, bem como a implementação de medidas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa e aumentem os sumidouros;

VIII - mudança do clima: mudança de clima que possa ser direta ou indiretamente atribuída à atividade humana que altere a composição da atmosfera mundial e que se some àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis;

IX - sumidouro: processo, atividade ou mecanismo que remova da atmosfera gás de efeito estufa, aerossol ou precursor de gás de efeito estufa; e

X - vulnerabilidade: grau de suscetibilidade e incapacidade de um sistema, em função de sua sensibilidade, capacidade de adaptação, e do caráter, magnitude e taxa de mudança e variação do clima a que está exposto, de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, entre os quais a variabilidade climática e os eventos extremos.

Art. 3o A PNMC e as ações dela decorrentes, executadas sob a responsabilidade dos entes políticos e dos órgãos da administração pública, observarão os princípios da precaução, da prevenção, da participação cidadã, do desenvolvimento sustentável e o das responsabilidades comuns, porém diferenciadas, este último no âmbito internacional, e, quanto às medidas a serem adotadas na sua execução, será considerado o seguinte:

I - todos têm o dever de atuar, em benefício das presentes e futuras gerações, para a redução dos impactos decorrentes das interferências antrópicas sobre o sistema climático;

II - serão tomadas medidas para prever, evitar ou minimizar as causas identificadas da mudança climática com origem antrópica no território nacional, sobre as quais haja razoável consenso por parte dos meios científicos e técnicos ocupados no estudo dos fenômenos envolvidos;

III - as medidas tomadas devem levar em consideração os diferentes contextos socioeconomicos de sua aplicação, distribuir os ônus e encargos decorrentes entre os setores econômicos e as populações e comunidades interessadas de modo equitativo e equilibrado e sopesar as responsabilidades individuais quanto à origem das fontes emissoras e dos efeitos ocasionados sobre o clima;

IV - o desenvolvimento sustentável é a condição para enfrentar as alterações climáticas e conciliar o atendimento às necessidades comuns e particulares das populações e comunidades que vivem no território nacional;

V - as ações de âmbito nacional para o enfrentamento das alterações climáticas, atuais, presentes e futuras, devem considerar e integrar as ações promovidas no âmbito estadual e municipal por entidades públicas e privadas;

VI – (VETADO)

Art. 4o A Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC visará:

I - à compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a proteção do sistema climático;

II - à redução das emissões antrópicas de gases de efeito estufa em relação às suas diferentes fontes;

III – (VETADO);

IV - ao fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa no território nacional;

V - à implementação de medidas para promover a adaptação à mudança do clima pelas 3 (três) esferas da Federação, com a participação e a colaboração dos agentes econômicos e sociais interessados ou beneficiários, em particular aqueles especialmente vulneráveis aos seus efeitos adversos;

VI - à preservação, à conservação e à recuperação dos recursos ambientais, com particular atenção aos grandes biomas naturais tidos como Patrimônio Nacional;

VII - à consolidação e à expansão das áreas legalmente protegidas e ao incentivo aos reflorestamentos e à recomposição da cobertura vegetal em áreas degradadas;

VIII - ao estímulo ao desenvolvimento do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões - MBRE.

Parágrafo único. Os objetivos da Política Nacional sobre Mudança do Clima deverão estar em consonância com o desenvolvimento sustentável a fim de buscar o crescimento econômico, a erradicação da pobreza e a redução das desigualdades sociais.

Art. 5o São diretrizes da Política Nacional sobre Mudança do Clima:

I - os compromissos assumidos pelo Brasil na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, no Protocolo de Quioto e nos demais documentos sobre mudança do clima dos quais vier a ser signatário;

II - as ações de mitigação da mudança do clima em consonância com o desenvolvimento sustentável, que sejam, sempre que possível, mensuráveis para sua adequada quantificação e verificação a posteriori;

III - as medidas de adaptação para reduzir os efeitos adversos da mudança do clima e a vulnerabilidade dos sistemas ambiental, social e econômico;

IV - as estratégias integradas de mitigação e adaptação à mudança do clima nos âmbitos local, regional e nacional;

V - o estímulo e o apoio à participação dos governos federal, estadual, distrital e municipal, assim como do setor produtivo, do meio acadêmico e da sociedade civil organizada, no desenvolvimento e na execução de políticas, planos, programas e ações relacionados à mudança do clima;

VI - a promoção e o desenvolvimento de pesquisas científico-tecnológicas, e a difusão de tecnologias, processos e práticas orientados a:

a) mitigar a mudança do clima por meio da redução de emissões antrópicas por fontes e do fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa;

b) reduzir as incertezas nas projeções nacionais e regionais futuras da mudança do clima;

c) identificar vulnerabilidades e adotar medidas de adaptação adequadas;

VII - a utilização de instrumentos financeiros e econômicos para promover ações de mitigação e adaptação à mudança do clima, observado o disposto no art. 6o;

VIII - a identificação, e sua articulação com a Política prevista nesta Lei, de instrumentos de ação governamental já estabelecidos aptos a contribuir para proteger o sistema climático;

IX - o apoio e o fomento às atividades que efetivamente reduzam as emissões ou promovam as remoções por sumidouros de gases de efeito estufa;

X - a promoção da cooperação internacional no âmbito bilateral, regional e multilateral para o financiamento, a capacitação, o desenvolvimento, a transferência e a difusão de tecnologias e processos para a implementação de ações de mitigação e adaptação, incluindo a pesquisa científica, a observação sistemática e o intercâmbio de informações;

XI - o aperfeiçoamento da observação sistemática e precisa do clima e suas manifestações no território nacional e nas áreas oceânicas contíguas;

XII - a promoção da disseminação de informações, a educação, a capacitação e a conscientização pública sobre mudança do clima;

XIII - o estímulo e o apoio à manutenção e à promoção:

a) de práticas, atividades e tecnologias de baixas emissões de gases de efeito estufa;

b) de padrões sustentáveis de produção e consumo.

Art. 6o São instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima:

I - o Plano Nacional sobre Mudança do Clima;

II - o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima;

III - os Planos de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento nos biomas;

IV - a Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, de acordo com os critérios estabelecidos por essa Convenção e por suas Conferências das Partes;

V - as resoluções da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima;

VI - as medidas fiscais e tributárias destinadas a estimular a redução das emissões e remoção de gases de efeito estufa, incluindo alíquotas diferenciadas, isenções, compensações e incentivos, a serem estabelecidos em lei específica;

VII - as linhas de crédito e financiamento específicas de agentes financeiros públicos e privados;

VIII - o desenvolvimento de linhas de pesquisa por agências de fomento;

IX - as dotações específicas para ações em mudança do clima no orçamento da União;

X - os mecanismos financeiros e econômicos referentes à mitigação da mudança do clima e à adaptação aos efeitos da mudança do clima que existam no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e do Protocolo de Quioto;

XI - os mecanismos financeiros e econômicos, no âmbito nacional, referentes à mitigação e à adaptação à mudança do clima;

XII - as medidas existentes, ou a serem criadas, que estimulem o desenvolvimento de processos e tecnologias, que contribuam para a redução de emissões e remoções de gases de efeito estufa, bem como para a adaptação, dentre as quais o estabelecimento de critérios de preferência nas licitações e concorrências públicas, compreendidas aí as parcerias público-privadas e a autorização, permissão, outorga e concessão para exploração de serviços públicos e recursos naturais, para as propostas que propiciem maior economia de energia, água e outros recursos naturais e redução da emissão de gases de efeito estufa e de resíduos;

XIII - os registros, inventários, estimativas, avaliações e quaisquer outros estudos de emissões de gases de efeito estufa e de suas fontes, elaborados com base em informações e dados fornecidos por entidades públicas e privadas;

XIV - as medidas de divulgação, educação e conscientização;

XV - o monitoramento climático nacional;

XVI - os indicadores de sustentabilidade;

XVII - o estabelecimento de padrões ambientais e de metas, quantificáveis e verificáveis, para a redução de emissões antrópicas por fontes e para as remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa;

XVIII - a avaliação de impactos ambientais sobre o microclima e o macroclima.

Art. 7o Os instrumentos institucionais para a atuação da Política Nacional de Mudança do Clima incluem:

I - o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima;

II - a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima;

III - o Fórum Brasileiro de Mudança do Clima;

IV - a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais - Rede Clima;

V - a Comissão de Coordenação das Atividades de Meteorologia, Climatologia e Hidrologia.

Art. 8o As instituições financeiras oficiais disponibilizarão linhas de crédito e financiamento específicas para desenvolver ações e atividades que atendam aos objetivos desta Lei e voltadas para induzir a conduta dos agentes privados à observância e execução da PNMC, no âmbito de suas ações e responsabilidades sociais.

Art. 9o O Mercado Brasileiro de Redução de Emissões - MBRE será operacionalizado em bolsas de mercadorias e futuros, bolsas de valores e entidades de balcão organizado, autorizadas pela Comissão de Valores Mobiliários - CVM, onde se dará a negociação de títulos mobiliários representativos de emissões de gases de efeito estufa evitadas certificadas.

Art. 10. (VETADO)

Art. 11. Os princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos das políticas públicas e programas governamentais deverão compatibilizar-se com os princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos desta Política Nacional sobre Mudança do Clima.

Parágrafo único. Decreto do Poder Executivo estabelecerá, em consonância com a Política Nacional sobre Mudança do Clima, os Planos setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas visando à consolidação de uma economia de baixo consumo de carbono, na geração e distribuição de energia elétrica, no transporte público urbano e nos sistemas modais de transporte interestadual de cargas e passageiros, na indústria de transformação e na de bens de consumo duráveis, nas indústrias químicas fina e de base, na indústria de papel e celulose, na mineração, na indústria da construção civil, nos serviços de saúde e na agropecuária, com vistas em atender metas gradativas de redução de emissões antrópicas quantificáveis e verificáveis, considerando as especificidades de cada setor, inclusive por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL e das Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas - NAMAs.

Art. 12. Para alcançar os objetivos da PNMC, o País adotará, como compromisso nacional voluntário, ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com vistas em reduzir entre 36,1% (trinta e seis inteiros e um décimo por cento) e 38,9% (trinta e oito inteiros e nove décimos por cento) suas emissões projetadas até 2020.

Parágrafo único. A projeção das emissões para 2020 assim como o detalhamento das ações para alcançar o objetivo expresso no caput serão dispostos por decreto, tendo por base o segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal, a ser concluído em 2010.

Art. 13. Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 29 de dezembro de 2009; 188o da Independência e 121o da República.

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

Nelson Machado
Edison Lobão
Paulo Bernardo Silva
Luís Inácio Lucena Adams

Este texto não substitui o publicado no DOU de 30.12.2009 - Edição extra

LEI Nº 14.933, DE 5 DE JUNHO DE 2009

INSTITUI A POLÍTICA DE MUDANÇA DO CLIMA NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO.

(Projeto de Lei nº 530/08, do Executivo, aprovado na forma de Substitutivo do Legislativo)

GILBERTO KASSAB, Prefeito do Município de São Paulo, no uso das atribuições que lhe são conferidas por lei, faz saber que a Câmara Municipal, em sessão de 3 de junho de 2009, decretou e eu promulgo a seguinte lei:

TÍTULO I

PRINCÍPIOS, CONCEITOS E DIRETRIZES

SEÇÃO I

PRINCÍPIOS

Art. 1º A Política Municipal de Mudança do Clima atenderá os seguintes princípios:

I - prevenção, que deve orientar as políticas públicas;

II - precaução, segundo o qual a falta de plena certeza científica não deve ser usada como razão para postergar medidas de combate ao agravamento do efeito estufa;

III - poluidor-pagador, segundo o qual o poluidor deve arcar com o ônus do dano ambiental decorrente da poluição, evitando-se a transferência desse custo para a sociedade;

IV - usuário-pagador, segundo o qual o utilizador do recurso natural deve arcar com os custos de sua utilização, para que esse ônus não recaia sobre a sociedade, nem sobre o Poder Público;

V - protetor-receptor, segundo o qual são transferidos recursos ou benefícios para as pessoas, grupos ou comunidades cujo modo de vida ou ação auxilie na conservação do meio ambiente, garantindo que a natureza preste serviços ambientais à sociedade;

VI - responsabilidades comuns, porém diferenciadas, segundo o qual a contribuição de cada um para o esforço de mitigação deve ser dimensionada de acordo com sua respectiva responsabilidade pelos impactos da mudança do clima;

VII - abordagem holística, levando-se em consideração os interesses locais, regionais, nacional e global e, especialmente, os direitos das futuras gerações;

VIII - internalização no âmbito dos empreendimentos, dos seus custos sociais e ambientais;

IX - direito de acesso à informação, participação pública no processo de tomada de decisão e acesso à justiça nos temas relacionados à mudança do clima.

SEÇÃO II

CONCEITOS

Art. 2º Para os fins previstos nesta lei, em conformidade com os acordos internacionais sobre o tema e os documentos científicos que os fundamentam, são adotados os seguintes conceitos:

I - adaptação: conjunto de iniciativas e estratégias que permitem a adaptação, nos sistemas naturais ou criados pelos homens, a um novo ambiente, em resposta à mudança do clima atual ou esperada;

II - adicionalidade: critério ou conjunto de critérios para que determinada atividade ou projeto de mitigação de emissões de GEE represente a redução de emissões de gases do efeito estufa ou o aumento de remoções de dióxido de carbono de forma adicional ao que ocorreria na ausência de determinada atividade;

III - análise do ciclo de vida: exame do ciclo de vida de produto, processo, sistema ou função, visando identificar seu impacto ambiental no decorrer de sua existência, incluindo desde a extração do recurso natural, seu processamento para transformação em produto, transporte, consumo/uso, reutilização, reciclagem, até a sua disposição final;

IV - Avaliação Ambiental Estratégica: conjunto de instrumentos para incorporar a dimensão ambiental, social e climática no processo de planejamento e implementação de políticas públicas;

V - biogás: mistura gasosa composta principalmente por metano (CH4) e gás carbônico (CO2), além de vapor de água e outras impurezas, que constitui efluente gasoso comum dos aterros sanitários, lixões, lagoas anaeróbias de tratamento de efluentes e reatores anaeróbios de esgotos domésticos, efluentes industriais ou resíduos rurais, com poder calorífico aproveitável, que pode ser usado energeticamente;

VI - ecoponto: área destinada a transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos;

VII - emissões: liberação de gases de efeito estufa e/ou seus precursores na atmosfera, e em área específica e período determinado;

VIII - evento climático extremo: evento raro em função de sua freqüência estatística em determinado local;

IX - fonte: processo ou atividade que libera gás de efeito estufa, aerossol ou precursor de gás de efeito estufa na atmosfera;

X - gases de efeito estufa: constituintes gasosos da atmosfera, naturais e antrópicos, que absorvem e reemitem radiação infravermelha e identificados pela sigla GEE;

XI - linha de base: cenário para atividade de redução de emissões de gases de efeito estufa, o qual representa, de forma razoável, as emissões antrópicas que ocorreriam na ausência dessa atividade;

XII - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: um dos mecanismos de flexibilização criado pelo protocolo de Quioto, com o objetivo de assistir as partes não incluídas no Anexo I da

Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima ao cumprimento de suas obrigações constantes do Protocolo, mediante fornecimento de capital para financiamento a projetos que visem à mitigação das emissões de gases de efeito estufa em países em desenvolvimento, na forma de sumidouros, investimentos em tecnologias mais limpas, eficiência energética e fontes alternativas de energia;

XIII - mitigação: ação humana para reduzir as fontes ou ampliar os sumidouros de gases de efeito estufa;

XIV - mudança do clima: mudança de clima que possa ser direta ou indiretamente atribuída à atividade humana que altera a composição da atmosfera mundial, e se some àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis;

XV - reservatórios: componentes do sistema climático no qual fica armazenado gás de efeito estufa ou precursor de gás de efeito estufa;

XVI - serviços ambientais: serviços proporcionados pela natureza à sociedade, decorrentes da presença de vegetação, biodiversidade, permeabilidade do solo, estabilização do clima, água limpa, entre outros;

XVII - sumidouro: qualquer processo, atividade ou mecanismo, incluindo a biomassa e, em especial, florestas e oceanos, que tenha a propriedade de remover gás de efeito estufa, aerossóis ou precursores de gases de efeito estufa da atmosfera;

XVIII - vulnerabilidade: grau em que um sistema é suscetível ou incapaz de absorver os efeitos adversos da mudança do clima, incluindo a variação e os extremos climáticos; função da característica, magnitude e grau de variação climática ao qual um sistema é exposto, sua sensibilidade e capacidade de adaptação.

SEÇÃO III

DIRETRIZES

Art. 3º A Política Municipal sobre Mudança do Clima deve ser implementada de acordo com as seguintes diretrizes:

I - formulação, adoção e implementação de planos, programas, políticas, metas e ações restritivas ou incentivadoras, envolvendo os órgãos públicos, incluindo parcerias com a sociedade civil;

II - promoção de cooperação com todas as esferas de governo, organizações multilaterais, organizações não-governamentais, empresas, institutos de pesquisa e demais atores relevantes para a implementação desta política;

III - promoção do uso de energias renováveis e substituição gradual dos combustíveis fósseis por outros com menor potencial de emissão de gases de efeito estufa, excetuada a energia nuclear;

IV - formulação e integração de normas de planejamento urbano e uso do solo, com a finalidade de estimular a mitigação de gases de efeito estufa e promover estratégias da adaptação aos seus impactos;

V - distribuição de usos e intensificação do aproveitamento do solo de forma equilibrada em relação à infra-estrutura e equipamentos, aos transportes e ao meio ambiente, de modo a evitar sua ociosidade ou sobrecarga e a otimizar os investimentos coletivos, aplicando-se o conceito de cidade compacta;

VI - priorização da circulação do transporte coletivo sobre transporte individual na ordenação do sistema viário;

VII - promoção da Avaliação Ambiental Estratégica dos planos, programas e projetos públicos e privados no Município, com a finalidade de incorporar a dimensão climática nos mesmos;

VIII - apoio à pesquisa, ao desenvolvimento, à divulgação e à promoção do uso de tecnologias de combate à mudança do clima e das medidas de adaptação e mitigação dos respectivos impactos, com ênfase na conservação de energia;

IX - proteção e ampliação dos sumidouros e reservatórios de gases de efeito estufa;

X - adoção de procedimentos de aquisição de bens e contratação de serviços pelo Poder Público Municipal com base em critérios de sustentabilidade;

XI - estímulo à participação pública e privada nas discussões nacionais e internacionais de relevância sobre o tema das mudanças climáticas;

XII - utilização de instrumentos econômicos, tais como isenções, subsídios e incentivos tributários e financiamentos, visando à mitigação de emissões de gases de efeito estufa;

XIII - formulação, adoção, implantação de planos, programas, políticas, metas visando à promoção do uso racional, da conservação e do combate ao desperdício da água e o desenvolvimento de alternativas de captação de água e de sua reutilização para usos que não requeiram padrões de potabilidade;

XIV - estímulo à minimização da quantidade de resíduos gerados, ao reúso e à reciclagem dos resíduos urbanos, à redução da nocividade e ao tratamento e depósito ambientalmente adequado dos resíduos remanescentes;

XV - promoção da arborização das vias públicas e dos passeios públicos, com ampliação da área permeável, bem como da preservação e da recuperação das áreas com interesse para

drenagem, e da divulgação à população sobre a importância, ao meio ambiente, da permeabilidade do solo e do respeito à legislação vigente sobre o assunto.

TÍTULO II

OBJETIVO

Art. 4º A Política Municipal de Mudança do Clima tem por objetivo assegurar a contribuição do Município de São Paulo no cumprimento dos propósitos da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, de alcançar a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático, em prazo suficiente a permitir aos ecossistemas uma adaptação natural à mudança do clima e a assegurar que a produção de alimentos não seja ameaçada e a permitir que o desenvolvimento econômico prossiga de maneira sustentável.

TÍTULO III

META

Art. 5º Para a consecução do objetivo da política ora instituída, fica estabelecida para o ano de 2012 uma meta de redução de 30% (trinta por cento) das emissões antrópicas agregadas oriundas do Município, expressas em dióxido de carbono equivalente, dos gases de efeito estufa listados no Protocolo de Quioto (anexo A), em relação ao patamar expresso no inventário realizado pela Prefeitura Municipal de São Paulo e concluído em 2005.

Parágrafo Único - As metas dos períodos subseqüentes serão definidas por lei 2 (dois) anos antes do final de cada período de compromisso.

TÍTULO IV

ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO

SEÇÃO I

TRANSPORTES

Art. 6º As políticas de mobilidade urbana deverão incorporar medidas para a mitigação dos gases de efeito estufa, bem como de outros poluentes e ruídos, com foco na racionalização e redistribuição da demanda pelo espaço viário, na melhoria da fluidez do tráfego e diminuição dos picos de congestionamento, no uso de combustíveis renováveis, promovendo, nessas áreas, as seguintes medidas:

I - de gestão e planejamento:

a) internalização da dimensão climática no planejamento da malha viária e da oferta dos diferentes modais de transportes;

b) instalação de sistemas inteligentes de tráfego para veículos e rodovias, objetivando reduzir congestionamentos e consumo de combustíveis;

c) promoção de medidas estruturais e operacionais para melhoria das condições de mobilidade nas áreas afetadas por pólos geradores de tráfego;

d) estímulo à implantação de entrepostos e terminais multimodais de carga preferencialmente nos limites dos principais entroncamentos rodoferroviários da cidade, instituindo-se redes de distribuição capilar de bens e produtos diversos;

e) monitoramento e regulamentação da movimentação e armazenamento de cargas, privilegiando o horário noturno, com restrições e controle do acesso ao centro expandido da cidade;

f) restrição gradativa e progressiva do acesso de veículos de transporte individual ao centro, excluída a adoção de sistema de tráfego tarifado, considerando a oferta de outros modais de viagens;

g) restrição à circulação de veículos automotores pelos períodos necessários a se evitar a ocorrência de episódios críticos de poluição do ar, visando também à redução da emissão de gases de efeito estufa;

II - dos modais:

a) ampliação da oferta de transporte público e estímulo ao uso de meios de transporte com menor potencial poluidor e emissor de gases de efeito estufa, com ênfase na rede ferroviária, metroviária, do trólebus, e outros meios de transporte utilizadores de combustíveis renováveis;

b) estímulo ao transporte não-motorizado, com ênfase na implementação de infra-estrutura e medidas operacionais para o uso da bicicleta, valorizando a articulação entre modais de transporte;

c) implantar medidas de atração do usuário de automóveis para a utilização de transporte coletivo;

d) implantar corredores segregados e faixas exclusivas de ônibus coletivos e trólebus e, na impossibilidade desta implantação por falta de espaço, medidas operacionais que priorizem a circulação dos ônibus, nos horários de pico, nos corredores do viário estrutural;

e) regulamentar a circulação, parada e estacionamento de ônibus fretados, bem como criar bolsões de estacionamento para este modal a fim de incentivar a utilização desse transporte coletivo em detrimento ao transporte individual;

III - do tráfego:

a) planejamento e implantação de faixas exclusivas para veículos, com taxa de ocupação igual ou superior a 2 (dois) passageiros, nas rodovias e vias principais ou expressas;

b) estabelecimento de programas e incentivos para caronas solidárias ou transporte compartilhado;

c) reordenamento e escalonamento de horários e períodos de atividades públicas e privadas;

IV - das emissões:

a) determinação de critérios de sustentabilidade ambiental e de estímulo à mitigação de gases de efeito estufa na aquisição de veículos e motocicletas da frota do Poder Público Municipal e na contratação de serviços de transporte, promovendo o uso de tecnologias que possibilitam o uso de combustíveis renováveis;

b) promoção de conservação e uso eficiente de energia nos sistemas de trânsito;

c) implementação de Programa de Inspeção e Manutenção Veicular para toda a frota de veículos automotores, inclusive motocicletas;

d) estabelecimento de limites e metas de redução progressiva e promoção de monitoramento de emissão de gases de efeito estufa para o sistema de transporte do Município;

e) interação com a União e entendimento com as autoridades competentes para o estabelecimento de padrões e limites para emissão de gases de efeito estufa proveniente de atividades de transporte aéreo no Município, de acordo com os padrões internacionais, bem como a implementação de medidas operacionais, compensadoras e mitigadoras.

SEÇÃO II

ENERGIA

Art. 7º Serão objeto de execução coordenada entre os órgãos do Poder Público Municipal as seguintes medidas:

I - criação de incentivos, por lei, para a geração de energia descentralizada no Município, a partir de fontes renováveis;

II - promoção de esforços em todas as esferas de governo para a eliminação dos subsídios nos combustíveis fósseis e a criação de incentivos à geração e ao uso de energia renovável;

III - promoção e adoção de programas de eficiência energética e energias renováveis em edificações, indústrias e transportes;

IV - promoção e adoção de programa de rotulagem de produtos e processos eficientes, sob o ponto de vista energético e de mudança do clima;

V - criação de incentivos fiscais e financeiros, por lei, para pesquisas relacionadas à eficiência energética e ao uso de energias renováveis em sistemas de conversão de energia;

VI - promoção do uso dos melhores padrões de eficiência energética e do uso de energias renováveis na iluminação pública.

SEÇÃO III

GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

Art. 8º Serão objeto de execução conjunta entre órgãos do Poder Público Municipal a promoção de medidas e o estímulo a:

I - minimização da geração de resíduos urbanos, esgotos domésticos e efluentes industriais;

II - reciclagem ou reúso de resíduos urbanos, inclusive do material de entulho proveniente da construção civil e da poda de árvores, de esgotos domésticos e de efluentes industriais;

III - tratamento e disposição final de resíduos, preservando as condições sanitárias e promovendo a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Art. 9º Os empreendimentos de alta concentração ou circulação de pessoas, como grandes condomínios comerciais ou residenciais, shopping centers, centros varejistas, dentre outros conglomerados, deverão instalar equipamentos e manter programas de coleta seletiva de resíduos sólidos, para a obtenção do certificado de conclusão, licença de funcionamento ou alvará de funcionamento, cabendo aos órgãos públicos o acompanhamento do desempenho desses programas.

Parágrafo Único - As Secretarias Municipais do Verde e do Meio Ambiente e de Serviços definirão os parâmetros técnicos a serem observados para os equipamentos e programas de coleta seletiva.

Art. 10 O Município de São Paulo deverá adotar medidas de controle e redução progressiva das emissões de gases de efeito estufa provenientes de suas estações de tratamento na gestão dos esgotos sanitários e dos resíduos sólidos.

Art. 11 O Poder Público Municipal e o setor privado devem desestimular o uso de sacolas plásticas ou não-biodegradáveis, bem como de embalagens excessivas ou desnecessárias, no âmbito do Município.

SEÇÃO IV

SAÚDE

Art. 12 O Poder Executivo deverá investigar e monitorar os fatores de risco à vida e à saúde decorrentes da mudança do clima e implementar as medidas necessárias de prevenção e tratamento, de modo a evitar ou minimizar seus impactos sobre a saúde pública.

Art. 13 Cabe ao Poder Executivo, sob a coordenação da Secretaria Municipal da Saúde, sem prejuízo de outras medidas:

I - realizar campanhas de esclarecimento sobre as causas, efeitos e formas de se evitar e tratar as doenças relacionadas à mudança do clima e à poluição veicular;

II - promover, incentivar e divulgar pesquisas relacionadas aos efeitos da mudança do clima e poluição do ar sobre a saúde e o meio ambiente;

III - adotar procedimentos direcionados de vigilância ambiental, epidemiológica e entomológica em locais e em situações selecionadas, com vistas à detecção rápida de sinais de efeitos biológicos de mudança do clima;

IV - aperfeiçoar programas de controle de doenças infecciosas de ampla dispersão, com altos níveis de endemicidade e sensíveis ao clima, especialmente a malária e a dengue;

V - treinar a defesa civil e criar sistemas de alerta rápido para o gerenciamento dos impactos sobre a saúde decorrentes da mudança do clima.

SEÇÃO V

CONSTRUÇÃO

Art. 14 As edificações novas a serem construídas no Município deverão obedecer critérios de eficiência energética, sustentabilidade ambiental, qualidade e eficiência de materiais, conforme definição em regulamentos específicos.

Art. 15 As construções existentes, quando submetidas a projetos de reforma e ampliação, deverão obedecer critérios de eficiência energética, arquitetura sustentável e sustentabilidade de materiais, conforme definições em regulamentos específicos.

Art. 16 O Poder Público Municipal deverá introduzir os conceitos de eficiência energética e ampliação de áreas verdes nas edificações de habitação popular por ele desenvolvidas.

Art. 17 O projeto básico de obras e serviços de engenharia contratados pelo Município que envolvam o uso de produtos e subprodutos de madeira somente poderá ser aprovado pela autoridade competente caso contemple, de forma expressa, a obrigatoriedade do emprego de produtos e subprodutos de madeira de origem exótica, ou de origem nativa que tenha procedência legal.

§ 1º A exigência prevista no "caput" deste artigo deverá constar de forma obrigatória como requisito para a elaboração do projeto executivo.

§ 2º Nos editais de licitação de obras e serviços de engenharia que utilizem produtos e subprodutos de madeira contratados pelo Município de São Paulo, deverá constar da especificação do objeto o emprego de produtos e subprodutos de madeira de origem exótica, ou de origem nativa que tenha procedência legal.

§ 3º Para efeito da fiscalização a ser efetuada pelo Poder Público Municipal, quanto à utilização de madeira de origem exótica, ou de origem nativa que tenha procedência legal, o contratado deverá manter em seu poder os respectivos documentos comprobatórios.

§ 4º Os órgãos municipais competentes deverão exigir, no momento da assinatura dos contratos de que trata este artigo, a apresentação, pelos contratantes, de declaração firmada sob as penas da lei, do compromisso de utilização de produtos e subprodutos de madeira de origem exótica, ou de origem nativa que tenha procedência legal.

SEÇÃO VI

USO DO SOLO

Art. 18 A sustentabilidade da aglomeração urbana deverá ser estimulada pelo Poder Público Municipal e norteada pelo princípio da cidade compacta, fundamental para o cumprimento dos objetivos desta lei, bem como pautada pelas seguintes metas:

I - redução dos deslocamentos por meio da melhor distribuição da oferta de emprego e trabalho na cidade;

II - promoção da distribuição de usos e da intensidade de aproveitamento do solo de forma equilibrada em relação à infra-estrutura, aos transportes e ao meio ambiente, de modo a evitar sua ociosidade ou sobrecarga e otimizar os investimentos públicos, fazendo uso do estoque de área construída por uso estabelecido no Quadro 8 anexo à Parte III da Lei nº 13.885, de 25 de agosto de 2004, com alterações subseqüentes;

III - estímulo à ocupação de área já urbanizada, dotada de serviços, infra-estrutura e equipamentos, de forma a otimizar o aproveitamento da capacidade instalada com redução de custos;

IV - estímulo à reestruturação e requalificação urbanística e ambiental para melhor aproveitamento de áreas dotadas de infra-estrutura em processo de esvaziamento populacional, com potencialidade para atrair novos investimentos.

Art. 19 O Poder Público deverá, com auxílio do setor privado e da sociedade, promover a requalificação de áreas habitacionais insalubres e de risco, visando oferecer condições de habitabilidade para a população moradora e evitar ou minimizar os riscos decorrentes de eventos climáticos extremos.

Art. 20 O Poder Público deverá, com auxílio do setor privado e da sociedade, promover a recuperação de áreas de preservação permanente, especialmente as de várzeas, visando evitar ou minimizar os riscos decorrentes de eventos climáticos extremos.

Art. 21 No licenciamento de empreendimentos, observada a legislação de parcelamento, uso e ocupação do solo, deverá ser reservada área permeável sobre terreno natural, visando à absorção de emissões de carbono, à constituição de zona de absorção de águas, à redução de zonas de calor, à qualidade de vida e à melhoria da paisagem.

Parágrafo Único - A área de permeabilidade deverá, observada a legislação de parcelamento, uso e ocupação do solo, ter tamanho mínimo equivalente ao estabelecido para a zona de uso em que se localiza o lote, podendo o que exceder o mínimo da área permeável ser aplicado em reflorestamento de espaço de igual tamanho, em parques públicos, praças, áreas de preservação permanente ou áreas degradadas, dando-se preferência aos bairros com baixo índice de arborização, mediante acordo a ser firmado e fiscalizado pela Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente.

Art. 22 O Poder Público Municipal implantará programa de recuperação de áreas degradadas em áreas de proteção aos mananciais, em áreas de preservação permanente e na Reserva da Biosfera do Cinturão Verde de São Paulo, com o fim de criação de sumidouros de carbono, garantia da produção de recursos hídricos e proteção da biodiversidade.

Art. 23 O Poder Público Municipal promoverá a arborização das vias públicas e a requalificação dos passeios públicos com vistas a ampliar sua área permeável, para a consecução dos objetivos desta lei.

TÍTULO V

INSTRUMENTOS

SEÇÃO I

INSTRUMENTOS DE INFORMAÇÃO E GESTÃO

Art. 24 O Poder Executivo publicará, a cada 5 (cinco) anos, um documento de comunicação contendo inventários de emissões antrópicas por fontes e de remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa em seu território, bem como informações sobre as

medidas executadas para mitigar e permitir adaptação à mudança do clima, utilizando metodologias internacionalmente aceitas.

§ 1º Os estudos necessários para a publicação do documento de comunicação deverão ser financiados com o apoio do Fundo Especial do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - FEMA.

§ 2º O Poder Público Municipal, com o apoio dos órgãos especializados, deverá implementar banco de dados para o acompanhamento e controle das emissões de gases de efeito estufa.

Art. 25 O Poder Público Municipal estimulará o setor privado na elaboração de inventários de emissões antrópicas por fontes e de remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa, bem como a comunicação e publicação de relatórios sobre medidas executadas para mitigar e permitir a adaptação adequada à mudança do clima, com base em metodologias internacionais aceitas.

Art. 26 O Poder Executivo divulgará anualmente dados relativos ao impacto das mudanças climáticas sobre a saúde pública e as ações promovidas na área da saúde, no âmbito do Município.

Art. 27 O Poder Executivo disponibilizará banco de informações sobre projetos de mitigação de emissões de gases de efeito estufa passíveis de implementação no Município e de habilitação ao utilizar o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), a fim de serem beneficiados no Mercado de Carbono decorrente do Protocolo de Quioto e de outros mercados similares.

SEÇÃO II

INSTRUMENTOS DE COMANDO E CONTROLE

Art. 28 As licenças ambientais de empreendimentos com significativa emissão de gases de efeito estufa serão condicionadas à apresentação de um plano de mitigação de emissões e medidas de compensação, devendo, para tanto, os órgãos competentes estabelecer os respectivos padrões.

Parágrafo Único - O Poder Executivo promoverá a necessária articulação com os órgãos de controle ambiental estadual e federal para aplicação desse critério nas licenças de sua competência.

Art. 29 O Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos, previsto na legislação nacional e estadual de trânsito, constitui instrumento da política ora instituída e deverá garantir a conformidade da frota veicular registrada no Município de São Paulo aos padrões de emissão de poluentes e gases de efeito estufa adequados aos objetivos desta lei.

Parágrafo Único - Em conformidade com a legislação nacional de trânsito e a Lei Federal nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, com alterações subseqüentes, o Poder Público Municipal estabelecerá formas de integração com os órgãos competentes das outras esferas da União para comunicação e penalização pelo descumprimento dos padrões nacionais de emissões veiculares por veículos provenientes de outros municípios.

SEÇÃO III

INSTRUMENTOS ECONÔMICOS

Art. 30 O Poder Executivo poderá reduzir alíquotas de tributos ou promover renúncia fiscal para a consecução dos objetivos desta lei, mediante aprovação de lei específica.

Art. 31 O Poder Executivo definirá fatores de redução de Outorga Onerosa de Potencial Construtivo Adicional para empreendimentos que promovam o uso de energias renováveis, utilizem equipamentos, tecnologias ou medidas que resultem em redução significativa das emissões de gases de efeito estufa ou ampliem a capacidade de sua absorção ou armazenamento, a ser inserida no fator social constante da equação prevista no art. 213 do Plano Diretor Estratégico, com as alterações subseqüentes.

Art. 32 O Poder Executivo promoverá renegociação das dívidas tributárias de empreendimentos e ações que resultem em redução significativa das emissões de gases de efeito estufa ou ampliem a capacidade de sua absorção ou armazenamento conforme critérios e procedimentos a serem definidos em lei específica.

Art. 33 O Poder Executivo definirá fatores de redução dos impostos municipais incidentes sobre projetos de mitigação de emissões de gases de efeito estufa, em particular daqueles que utilizem o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), a fim de serem beneficiados pelo Mercado de Carbono decorrente do Protocolo de Quioto e de outros mercados similares, conforme critérios e procedimentos a serem definidos em lei específica.

Art. 34 O Poder Público estabelecerá compensação econômica, com vistas a desestimular as atividades com significativo potencial de emissão de gases de efeito estufa, cuja receita será destinada ao Fundo Especial do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - FEMA, vinculada à execução de projetos de redução de emissão desses gases, sua absorção ou armazenamento, ou investimentos em novas tecnologias, educação, capacitação e pesquisa, conforme critérios e procedimentos a serem definidos em lei específica.

Art. 35 O Poder Público Municipal estabelecerá critérios e procedimentos para a elaboração de projetos de neutralização e compensação de carbono no território do Município.

Art. 36 O Poder Público Municipal estabelecerá, por lei específica, mecanismo de pagamento por serviços ambientais para proprietários de imóveis que promoverem a recuperação, manutenção, preservação ou conservação ambiental em suas propriedades, mediante a criação de Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN ou atribuição de caráter de preservação permanente em parte da propriedade, destinadas à promoção dos objetivos desta lei.

§ 1º A propriedade declarada, no todo ou em parte, de preservação ambiental ou Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN poderá receber incentivo da Administração Municipal, passível de utilização para pagamento de tributos municipais, lances em leilões de bens públicos municipais ou serviços prestados pela Prefeitura Municipal de São Paulo em sua propriedade.

§ 2º O pagamento por serviços ambientais somente será disponibilizado ao proprietário ou legítimo possuidor após o primeiro ano em que a área tiver sido declarada como de preservação ambiental ou RPPN.

§ 3º A Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente e outros órgãos municipais prestarão orientação técnica gratuita aos proprietários interessados em declarar terrenos localizados no Município de São Paulo como de preservação ambiental ou RPPN.

§ 4º O proprietário ou legítimo possuidor que declarar terreno localizado no Município de São Paulo como de preservação ambiental ou RPPN terá prioridade na apreciação de projetos de restauro ou recuperação ambiental do Fundo Especial do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - FEMA.

SEÇÃO IV

CONTRATAÇÕES SUSTENTÁVEIS

Art. 37 As licitações e os contratos administrativos celebrados pelo Município de São Paulo deverão incorporar critérios ambientais nas especificações dos produtos e serviços, com ênfase particular aos objetivos desta lei.

Art. 38 O Poder Executivo, em articulação com entidades de pesquisa, divulgará critérios de avaliação da sustentabilidade de produtos e serviços.

SEÇÃO V

EDUCAÇÃO, COMUNICAÇÃO E DISSEMINAÇÃO

Art. 39 Cabe ao Poder Público Municipal, com a participação e colaboração da sociedade civil organizada, realizar programas e ações de educação ambiental, em linguagem acessível e

compatível com diferentes públicos, com o fim de conscientizar a população sobre as causas e os impactos decorrentes da mudança do clima, enfocando, no mínimo, os seguintes aspectos:

I - causas e impactos da mudança do clima;

II - vulnerabilidades do Município e de sua população;

III - medidas de mitigação do efeito estufa;

IV - mercado de carbono.

SEÇÃO VI

DEFESA CIVIL

Art. 40 O Poder Público Municipal adotará programa permanente de defesa civil e auxílio à população voltado à prevenção de danos, ajuda aos necessitados e reconstrução de áreas atingidas por eventos extremos decorrentes das mudanças climáticas.

Art. 41 O Poder Público Municipal instalará sistema de previsão de eventos climáticos extremos e alerta rápido para atendimento das necessidades da população, em virtude das mudanças climáticas.

TÍTULO VI

ARTICULAÇÃO INSTITUCIONAL

Art. 42 Fica instituído o Comitê Municipal de Mudança do Clima e Ecoeconomia, órgão colegiado e consultivo, com o objetivo de apoiar a implementação da política ora instituída, contando com a representação do Poder Público Municipal e Estadual, da sociedade civil, especialmente das entidades populares que atuam nas políticas ambientais e urbanas, do trabalhador, do setor empresarial e acadêmico.

TÍTULO VII

FUNDO ESPECIAL DO MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - FEMA

Art. 43 Os recursos do Fundo Especial do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - FEMA, previsto na Lei nº 13.155, de 29 de junho de 2001, deverão ser empregados na implementação dos objetivos da política ora instituída, sem prejuízo das funções já estabelecidas pela referida lei.

TÍTULO VIII

DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 44 Os projetos que proporcionem reduções de emissões líquidas e sujeitos ao licenciamento ambiental terão prioridade de apreciação, no âmbito do respectivo processo administrativo, pelo órgão ambiental competente.

Art. 45 O Poder Público Municipal deverá publicar o segundo inventário de emissões por fontes e de remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa em seu território até o ano de 2010.

Art. 46 O inventário, inspeção, manutenção e controle das emissões de gases de efeito estufa e poluentes de motocicletas serão objeto de programa específico, a ser implementado a partir de 2009, para adequação da frota de motocicletas aos princípios e diretrizes desta lei, observada a legislação federal vigente.

Art. 47 O Poder Público Municipal estabelecerá, por lei específica, no prazo de 60 dias, as regras gerais de circulação, parada e estacionamento de ônibus fretados, bem como a definição de bolsões de estacionamento para este modal.

Parágrafo Único - O Poder Executivo implementará as medidas de sua competência até a edição da lei específica de que trata o "caput" deste artigo.

Art. 48 Em consonância com as normas federais sobre a matéria, constitui diretriz ambiental do Município de São Paulo a utilização de óleo diesel com teor máximo de enxofre inferior a 50 ppm (cinqüenta partes por milhão), a partir de 2009, com vistas ao alcance da meta de redução para o nível de 10 ppm (dez partes por milhão), a partir de 2012.

Art. 49 O Poder Público Municipal implementará programa obrigatório de coleta seletiva de resíduos no Município, bem como promoverá a instalação de ecopontos, em cada um dos distritos da Cidade, no prazo de 2 (dois) anos a contar da entrada em vigor desta lei.

Art. 50 Os programas, contratos e autorizações municipais de transportes públicos devem considerar redução progressiva do uso de combustíveis fósseis, ficando adotada a meta progressiva de redução de, pelo menos, 10% (dez por cento) a cada ano, a partir de 2009 e a utilização, em 2018, de combustível renovável não-fóssil por todos os ônibus do sistema de transporte público do Município.

Parágrafo Único - A meta e a prioridade previstas no "caput" deste artigo aplicam-se nas hipóteses de aquisição e locação de veículos utilizados no transporte e serviços do Poder Público Municipal, bem como na expansão e renovação de sua frota, ressalvados os casos de impossibilidade técnica, devidamente justificados.

Art. 51 Esta lei entrará em vigor na data de sua publicação.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, aos 5 de junho de 2009, 456º da fundação de São Paulo.

GILBERTO KASSAB, PREFEITO

Publicada na Secretaria do Governo Municipal, em 5 de junho de 2009.

CLOVIS DE BARROS CARVALHO, Secretário do Governo Municipal

DATA DE PUBLICAÇÃO: 06/06/2009.