**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA**

ALISSON GRANVILLE

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS NA
FROTA DE ÔNIBUS URBANOS DA CIDADE DE SÃO PAULO**

**SÃO PAULO
2014**

ALISSON GRANVILLE

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS NA FROTA DE
ÔNIBUS URBANOS DA CIDADE DE SÃO PAULO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Patrícia Helena Lara dos Santos Matai

Versão Corrigida

(versão original disponível na Biblioteca do Instituto de Energia e Ambiente e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP)

SÃO PAULO
2014

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

Granville, Alisson.

Estudo comparativo entre combustíveis utilizados na frota de ônibus urbanos da Cidade de São Paulo./ Alisson Granville; orientador: Patrícia Helena Lara dos Santos Matai. – São Paulo, 2014.

157 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia)
EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

1. Combustíveis alternativos. 2. Transporte urbano – São Paulo.
3. Meio ambiente urbano. 4. Mobilidade urbana. Título.

ATA DE DEFESA

DEDICATÓRIA

A Meu Pai, Já Falecido.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Patrícia Matai, pelas palavras de força e boas discussões que tivemos.

A três pessoas importantes na minha vida: Viviane de Souza Silveira, Priscila Marques Mazo e Andrea Anacleto Ferreira.

Pela paciência, carinho e ânimo que tiveram comigo, cada uma da sua forma especial.

À Universidade Estadual Paulista (UNESP), Universidade da qual sou filho, que me proporcionou o conhecimento dessa área chamada “Energia”, que tem um nome tão forte e pela qual sou apaixonado.

À minha nova superintendente na Companhia de Gás de São Paulo, Carla Araujo Sautchúk, pela motivação que demonstra por tudo que faz e que serve de bom exemplo a cada dia.

Ao profissional Pedro Rama, da São Paulo Transportes S.A. pelas informações e material disponibilizado fundamental para a realização dessa pesquisa.

RESUMO

GRANVILLE, Alisson. **Estudo Comparativo entre Combustíveis Utilizados na Frota de Ônibus Urbanos da Cidade de São Paulo, 2014.** 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

O presente trabalho visa realizar uma comparação entre os vários tipos de combustíveis empregados na frota de ônibus urbanos na cidade de São Paulo nos últimos anos. Um panorama sobre a cidade de São Paulo e a questão da mobilidade urbana é apresentado, de forma a contextualizar o ambiente no qual as diversas alternativas de energéticos estão sendo testadas. É também demonstrada a evolução do transporte coletivo no município foco desse trabalho, a fim de subsidiar a comparação efetuada. O aspecto ambiental relativo às emissões originadas pelos diversos combustíveis é discutido, de modo a se entender como tal fator é afetado pelas tomadas de decisão do Poder Municipal em relação ao seu sistema de transporte de ônibus.

Palavras-Chave: Combustíveis. Ônibus Urbanos. Cidade de São Paulo. Meio Ambiente. Mobilidade Urbana.

ABSTRACT

GRANVILLE, Alisson. **Comparative Study among Fuels Used in Urban Bus Fleet in the City of São Paulo, 2014.** 150 f. Master's Dissertation – Graduate Program on Energy, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

This study intends to make a comparison among many types of fuels used in the urban bus fleet in the city of São Paulo in the last years. An overview about the city of São Paulo and the mobility question is made, to context of the ambient that many alternatives of fuel are been tested. Is also showed the evolution of mass transport in the city of São Paulo to give elements to have a better understanding of the comparison developed. The environmental aspect related to emissions produced by many kind of fuels is discussed, to understand how this parameter is affected by the effect of “decision-making” of Municipality related to its bus transport system.

Keywords: Fuels. Urban Bus. City of São Paulo. Environment. Urban Mobility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rodoanel - 2010 - Trechos Oeste e Sul Construídos	23
Figura 2 – Rodoanel – 2020 – Estimativa de Fluxo de Veículos Evitados por Trecho.....	24
Figura 3 - Região Metropolitana de São Paulo e suas Sub Regiões.....	25
Figura 4 – TransOeste - Rio de Janeiro	30
Figura 5 - Bonde Elétrico da Companhia Light	33
Figura 6 - Plano de Avenidas	36
Figura 7 - Mapa da Rede Integrada de Transportes de Curitiba.....	42
Figura 8 - Emissões Relativas por Tipo de Fonte – RMSP.....	59
Figura 9 - MP ₁₀ – Classificação das Concentrações Máximas Diárias – RMSP – 2013.....	60
Figura 10 - MP ₁₀ – Distribuição Percentual da Qualidade do Ar – RMSP – 2013	61
Figura 11 - MP ₁₀ – Distribuição Percentual da Qualidade do Ar – RMSP – 2012	61
Figura 12 - MP ₁₀ – Classificação das Concentrações Médias Anuais – RMSP – 2013.....	62
Figura 13 - MP ₁₀ – Evolução das Concentrações Médias Anuais – RMSP	63
Figura 14 - MP _{2,5} – Classificação das Concentrações Máximas Diárias – RMSP, Baixada Santista e Interior – 2013.....	63
Figura 15 - MP _{2,5} – Distribuição Percentual da Qualidade do Ar – RMSP, Baixada Santista e Interior – 2013	64
Figura 16 - MP _{2,5} – Classificação das Concentrações Médias Anuais – RMSP, Baixada Santista e Interior – 2013.....	65
Figura 17 - MP _{2,5} – Evolução das Concentrações Médias Anuais – RMSP, Baixada Santista e Interior	65
Figura 18 - FMC – Evolução das Concentrações Médias Anuais – RMSP	66
Figura 19 - NO ₂ – Distribuição Percentual da Qualidade do Ar – RMSP –2013.....	68
Figura 20 - NO ₂ – Distribuição Percentual da Qualidade do Ar – RMSP –2012.....	68
Figura 21 - NO ₂ – Evolução das Concentrações Médias Anuais – RMSP	69
Figura 22 - SO ₂ – Classificação das Concentrações Máximas Diárias – RMSP, Baixada Santista e Interior – 2013.....	70
Figura 23 - SO ₂ – Distribuição Percentual da Qualidade do Ar – RMSP, Baixada Santista e Interior – 2013	71
Figura 24 - SO ₂ – Classificação das Concentrações Médias Anuais – RMSP, Baixada Santista e Interior – 2013	71
Figura 25 - SO ₂ – Evolução das Concentrações Médias Anuais – RMSP	72

Figura 26 - Estratégia de Implantação do PROCONVE para Veículos Pesados (Fases “P”) ..	75
Figura 27 - Evoluções Tecnológicas em Função das Diversas Fases do PROCONVE	76
Figura 28 - PROCONVE – Limites de Emissões para Veículos Pesados (Fases “P”)	77
Figura 29 - Prazo Característico para Desenvolvimento de Veículos	78
Figura 30 - Ônibus a Gás Natural da GATUSA	83
Figura 31 - Emissões Produzidas pelo Motor MBB Modelo M 366 LAG M99	85
Figura 32 - Trólebus Autônomo	88
Figura 33 – Estimativa de Emissões para Ônibus Híbrido em Relação aos Padrões Europeus	90
Figura 34 – Estimativa de Emissões para Ônibus Movido a Etanol em Relação aos Padrões Europeus	94
Figura 35 - Diferença de Produção entre Açúcar, Etanol e Diesel	96
Figura 36 – Estimativa de Emissões para Ônibus Movido a Biodiesel de Cana-de-Açúcar e Outras Características	98
Figura 37 - Comparativo Inicial de Características da Adição de Biodiesel B5 e B20 ao Diesel	101
Figura 38 - Resultados dos Testes para o Combustível Biodiesel	102
Figura 39 - Resultados dos Testes para o Combustível Eletricidade	104
Figura 40 - Resultados dos Testes para o Combustível Etanol	105
Figura 41 - Resultados dos Testes para o Combustível Diesel de Cana-de-Açúcar	107
Figura 42 - Resultados dos Testes para o Combustível Diesel e Etanol	109
Figura 43 - Resultados dos Testes para o Combustível Diesel (Híbrido)	110
Figura 44 - Posicionamento da Tecnologia Híbrida em função dos Poluentes Material Particulado e Óxidos de Enxofre e em relação aos Padrões Europeus de Emissões	111
Figura 45 - Resultados dos Testes para o Combustível Hidrogênio	112
Figura 46 - Resultados dos Testes para o Combustível Eletricidade (Bateria)	113
Figura 47 - Resultado Comparativo de Combustíveis e Tecnologias	114
Figura 48 - Linha de Bondes para Sant’anna	144
Figura 49 - Bonde de Tração Animal – Capacidade para 20 Passageiros – Tracionado por Dois Animais	145
Figura 50 - Linha de Bondes para o Largo de São Bento	146
Figura 51 - Bonde de Tração Elétrica – Capacidade para 45 Passageiros e Impulsionado por Dois Motores GE 58 de 50 HP cada	147

Figura 52 - Bonde Camarão - Capacidade para 55 Passageiros e Impulsionado por Quatro Motores West 508-AS de 38,5 HP cada	148
Figura 53 - Trólebus da Década de 1950.....	149
Figura 54 - Cartaz correlacionando Fenômeno Climático à Operação da Rede de Bondes...	150
Figura 55 - Scania - Especificação Técnica - K 270 - 4x2 – Etanol.....	151
Figura 56 - Scania - Especificação Técnica - K 270 - 4x2 – Etanol – Verso.....	152
Figura 57 - Scania - Especificação Técnica - K 270 - 6x2 4 – Etanol.....	153
Figura 58 - Scania - Especificação Técnica - K 270 - 6x2 4 – Etanol – Verso.....	154
Figura 59 - Volvo - Especificação Técnica - B215RH Hybrid - Urbano EURO 5	155
Figura 60 - Volvo - Especificação Técnica - B215RH Hybrid - Urbano EURO 5 – Verso...	156

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de Viagens Diárias por Modo de Transporte - RMSP – 2007	25
Tabela 2 - Frota de Veículos - RMSP – 2007	26
Tabela 3 - Frota de Veículos - Cidade de São Paulo – 2007	26
Tabela 4 - Frota de Veículos - RMSP - 2011	27
Tabela 5 - Frota de Veículos - Cidade de São Paulo – 2011	27
Tabela 6 - Velocidade Média no Trânsito (km/h) – Cidade de São Paulo	28
Tabela 7 - Lentidão Média no Trânsito (km) – Cidade de São Paulo	28
Tabela 8 - Fontes e Características dos Principais Poluentes na Atmosfera	45
Tabela 9 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar	47
Tabela 10 - Valores Guias Recomendados pela OMS	48
Tabela 11 - Padrões Estaduais de Qualidade do Ar.....	49
Tabela 12 - Padrões de Qualidade do Ar Adotados pela USEPA	49
Tabela 13 - Valores de Referência adotados pela União Européia	50
Tabela 14 - Correlação entre Índice de Qualidade do Ar, Qualidade do Ar e Efeitos à Saúde	51
Tabela 15 - Qualidade do Ar e Prevenção de Riscos à Saúde.....	52
Tabela 16 - Efeitos à Saúde da População.....	53
Tabela 17 - Estimativa de Emissão das Fontes de Poluição do Ar na RMSP	56
Tabela 18 - Contribuição Relativa das Fontes de Poluição do Ar na RMSP	57
Tabela 19 - Correlação entre PROCONVE e Programa Euro.....	79
Tabela 20 - Resultados dos Testes para Várias Misturas de Combustível Biodiesel	103
Tabela 21 - Custos Totais de Combustíveis e Tecnologia	115
Tabela 22 - Gastos com Combustíveis e Reembolso à Empresas de Ônibus.....	116
Tabela 23 - Gastos com Combustíveis e Tecnologia (12 meses)	117
Tabela 24 - Gastos com Combustíveis e Tecnologia (3 meses – Quantidade Inicial de Ônibus)	118
Tabela 25 - Gastos com Combustíveis e Tecnologia (3 meses – Quantidade Final de Ônibus)	119
Tabela 26 - Quantidade de Ônibus em Função da Tecnologia.....	120
Tabela 27 - Emissões Evitadas pelo Projeto Ecofrota.....	120

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	14
2.	OBJETIVOS	18
2.1.	OBJETIVO GERAL	18
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3.	METODOLOGIA.....	19
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.1.	A QUESTÃO DO TRANSPORTE COLETIVO NA CIDADE DE SÃO PAULO.....	21
4.2.	EVOLUÇÃO DO TRANSPORTE COLETIVO NA CIDADE DE SÃO PAULO.....	32
4.3.	A QUESTÃO AMBIENTAL	44
4.3.1.	PROCONVE.....	74
4.4.	EXPERIÊNCIAS REALIZADAS	80
4.4.1.	Gás Natural	81
4.4.2.	Elétrico	86
4.4.3.	Híbrido.....	89
4.4.4.	Etanol.....	91
4.4.5.	Biodiesel	95
4.4.5.1.	De Cana-de-Açúcar.....	95
4.4.5.2.	B20	99
5.	RESULTADOS	102
6.	DISCUSSÕES	121
7.	CONCLUSÕES	134

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Passados 514 anos desde a “descoberta” do Brasil, a cidade de São Paulo constituiu-se no principal município do país, papel assumido logo no início do século XX e consolidado após a mudança da capital brasileira da cidade do Rio de Janeiro para Brasília, separando-se então o poder político do econômico (1).

Com tal mudança, o município do Rio de Janeiro perdeu gradativamente importância em relação ao seu irmão de região, não obstante a presença de petróleo e gás natural em sua costa e ao forte turismo sempre presente, marca registrada e fruto da geografia única existente em seu território (1).

São Paulo, por sua vez, não só passou a demonstrar uma expressiva pujança econômica como também desenvolveu uma relação fértil com os municípios ao seu redor, formando uma importante região metropolitana, de traços tipicamente industriais e de serviços, em um Estado marcado ainda por uma forte atividade pecuária, de agricultura e de outras questões econômicas relacionadas ao campo (1).

Em seu processo de ascensão, a transformação de uma simples vila para a capital econômica do país ocorreu, em geral, de maneira pouco planejada, do ponto de vista da ocupação do espaço urbano (2).

A despeito da formulação de planos e da presença de destacadas personalidades em seu comando, como o ex-prefeito Prestes Maia, a cidade cresceu quase de maneira espontânea, em uma multiplicação frenética de residências, estabelecimentos comerciais e indústrias (2). Esse crescimento trouxe consigo a constante necessidade de deslocamentos de pessoas tanto para a realização das mais variadas atividades pessoais como para as questões de negócios.

Por sua vez, o aumento vertiginoso desses deslocamentos foi contaminado diretamente pelas políticas públicas relacionadas à ocupação territorial (ou à falta delas) e ao sistema de transporte adotado como preferencial pelo (e para o) município, fechando-se um círculo vicioso de alta complexidade e difícil solução (2).

A escolha do automóvel como meio de transporte dominante na cidade teve início por volta da década de 1930, sendo que sua consolidação como vetor de mobilidade deu-se ano após ano, por meio de ações dos sucessivos governos municipais e que continuam até os dias atuais. Nesse cenário, o desenvolvimento do transporte coletivo foi sempre marginal e aquém das reais necessidades da cidade de São Paulo (3).

Os ônibus, predominantemente movidos à diesel (sendo que desde o início da implantação do sistema de transporte coletivo na cidade, uma parcela desses veículos sempre foi movida à eletricidade) foram o destino das poucas ações municipais voltadas ao transporte de massa até pouco antes da década de 1970, quando iniciaram-se os esforços para a construção de um sistema metroviário na cidade de São Paulo. No entanto, embora iniciado pela municipalidade, tal sistema – da maneira como se conhece hoje – foi concebido, estruturado, organizado e implantado pelo Governo do Estado de São Paulo, cabendo à Prefeitura do município ações relacionadas à disponibilidade de terrenos para as estações, pátios e demais estruturas físicas, bem como de possíveis conexões com o sistema de ônibus local (4).

Ressalta-se ainda que o sistema de trens da cidade de São Paulo teve historicamente características intermunicipais, de forma a atender a demanda de passageiros da Região Metropolitana, sendo essa a razão de sua existência e organização (5).

Desde 1994, a Prefeitura da cidade de São Paulo vem procurando tomar ações com o intuito de melhorar o transporte coletivo de passageiros de ônibus do município. Essas ações compreendem diversas esferas de atuação como a legalização de transportadores irregulares de passageiros em ônibus ou vans, a fim de fazê-los atingir níveis mínimos de qualidade relacionados a esse tipo de transporte (6).

Outro exemplo dessas ações é a construção de corredores de ônibus, faixas exclusivas e segregadas, localizadas junto aos canteiros centrais de avenidas, que possibilitam o desenvolvimento de uma velocidade média superior àquela praticada em vias sem esse tipo de dispositivo (6).

A reconfiguração dos veículos, que permitiu a introdução do motor traseiro em substituição ao motor dianteiro, o qual ficava ao lado do motorista, bem como a execução de

outras modificações que visam uma melhor utilização dos ônibus por passageiros de mobilidade reduzida também fazem parte desse leque de medidas de melhoria (6).

No entanto, mesmo diante dessa série de mudanças, o óleo diesel prevalecia como o combustível principal na frota de ônibus urbanos da cidade, pelo fato de a discussão ambiental ainda ser incipiente naquele momento, sendo que as questões do material particulado, da fuligem e outras associadas às características inerentes desse energético não se constituíam em uma preocupação maior da sociedade paulistana da época (7).

Foi neste contexto, que pela primeira vez (no final de 1994) um novo combustível foi testado na frota de ônibus do município de São Paulo, visando uma possível substituição ao óleo diesel convencional. Até então, apenas a energia elétrica constituía-se como combustível alternativo dos ônibus da capital paulistana, sendo que os chamados trólebus representavam uma pequena parcela da frota dos veículos, condição esta intrinsecamente associada à infraestrutura aérea de cabos elétricos responsável pelo fornecimento de energia a esses ônibus e presente em uma diminuta extensão das vias públicas (8).

O gás natural foi o combustível escolhido para o referido teste, não só pela existência de tecnologia disponível em motores de combustão interna à época como também pela disponibilidade de suprimento deste energético na cidade de São Paulo. Esta ação da Prefeitura visava melhorar o sistema de transporte coletivo de ônibus em seu aspecto ambiental, já que o combustível escolhido possui um grau de emissão de poluentes comparativamente inferior àquele emitido pelo óleo diesel (9).

Em 2011, 17 anos após os primeiros testes, o município de São Paulo reiniciou a avaliação de combustíveis alternativos ao ainda tradicional óleo diesel. No entanto, nesse contexto mais recente, uma série de novos energéticos foi analisada, tendo-se aumentado em muito o número de opções com chances de escolha para a utilização na frota de ônibus paulistana (10).

Baseado nesse histórico de informações, o objetivo deste estudo é avaliar e comparar os diversos tipos de energéticos utilizados na frota de ônibus urbano e testados pela Prefeitura do Município de São Paulo durante o período de 1994 até o presente momento visando apontar a melhor alternativa para essa questão.

Como se pode inferir do texto apresentado, o trabalho em questão justifica-se devido a vários fatores:

- À quantidade significativa de pessoas afetadas pela utilização do transporte coletivo na cidade de São Paulo;
- Por serem o transporte e a mobilidade urbana questões chave no referido município, bem como em sua região metropolitana;
- Por uma melhor solução para o transporte coletivo urbano em termos energéticos se traduzir em um avanço no problema ambiental das fontes móveis e;
- A escolha de um melhor tipo de combustível poder se transformar em uma mudança cultural para o padrão de transporte adotado na cidade de São Paulo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é comparar os diversos tipos de combustíveis utilizados nos ônibus avaliados pela Prefeitura do Município de São Paulo no período de 1994 à 2014 visando apontar a melhor alternativa de transporte coletivo urbano para o município.

2.2. Objetivos Específicos

São objetivos específicos desse trabalho:

- Analisar o critério de decisão da Prefeitura utilizado até o momento para a determinação do tipo de energético a ser utilizado pela frota de ônibus na cidade;
- Avaliar as diversas características dos modelos testados quanto aos combustíveis utilizados;
- Avaliar a questão ambiental derivada da utilização dos diversos combustíveis e a questão relativa à ocupação do espaço urbano.

3. METODOLOGIA

A metodologia a ser utilizada para se alcançar os objetivos (geral e específicos) descritos no capítulo 2 será o de análise documental e de avaliação de dados secundários.

A fim de comparar os diversos tipos de combustíveis utilizados nos ônibus avaliados pela Prefeitura do Município de São Paulo se estabelecerão parâmetros de comparação baseados nas características dos energéticos testados, bem como nos resultados reais dos testes efetuados pela municipalidade.

Assim, valores referentes a consumo de combustível, emissões, autonomia e desempenho serão pesquisados, bem como qualquer outro fator que possa ser uma referência de comparação, de forma a obter uma correlação lógica entre os diversos tipos de combustíveis analisados.

Além disso, se explanará sobre a metodologia que a Prefeitura do Município de São Paulo emprega na tomada de decisão quanto à adoção de um energético para sua frota de ônibus urbanos.

A questão ambiental derivada da utilização dos referidos combustíveis também será considerada, já que é tema contíguo à discussão proposta.

Como resposta adicional aos objetivos elencados, analisar-se-á o critério de decisão da Prefeitura utilizado até o momento para a determinação do tipo de energético a ser adotado pela frota de ônibus na cidade.

Para responder essas questões, o presente trabalho iniciará sua análise avaliando a questão da mobilidade urbana no Município de São Paulo.

Um panorama geral sobre este assunto, contendo números, estatísticas e avaliações sobre a situação dos deslocamentos no município e o papel do transporte coletivo neste cenário será apresentado.

Após isso, será estudada a evolução do transporte coletivo na cidade de São Paulo.

Basicamente, será apresentada como a interação “ocupação do espaço urbano – deslocamentos” tem se dado ao longo do tempo e como esse aspecto tem influenciado a organização do sistema de transporte da capital paulistana.

Logo após, a questão ambiental será abordada do ponto de vista dos tipos e quantidades de emissões dos diversos poluentes expelidos pelos motores de combustão a partir dos padrões de qualidade do ar estabelecidos e dos diferentes energéticos testados.

Os diversos combustíveis empregados na frota de ônibus urbanos serão, então, analisados.

Por fim, serão estabelecidos parâmetros de comparação para os diversos energéticos baseados em resultados reais (emissões, gastos com combustível, gastos com aquisição de tecnologia, etc.).

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. A Questão do Transporte Coletivo na Cidade de São Paulo

Transporte é um tema atual e relevante na agenda de qualquer país ou sociedade. No entanto, em termos acadêmicos, é um assunto de contornos ainda difíceis e indefinidos (11).

Segundo o autor, “Transporte não possui uma divisão de estudo clara, sendo que a organização da pesquisa sob um guarda-chuva comum poderia contribuir para o desenvolvimento de conhecimento específico e para o desenvolvimento do país”. (11)

No Brasil, há algumas associações que reúnem pesquisadores e cientistas para estudar este tema. A Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET) é uma delas. Na conferência de 2010 promovida por esta associação, a seleção de temas foi dividida em cinco áreas de estudo:

- Engenharia de tráfego;
- Gerenciamento de transporte;
- Infraestrutura de transporte;
- Logística;
- Planejamento de transporte.

Como houve uma quantidade expressiva de trabalhos apresentada para o último tópico (planejamento de transporte), na conferência de 2011, uma nova subdivisão para este tema foi proposta, considerando-se três subdivisões:

- Modelos e técnicas em planejamento de transporte;
- Aspectos econômicos, social, político e ambiental do transporte;
- Transporte e planejamento espacial.

É no subtópico “modelos e técnicas em planejamento de transporte” que o tema transporte público aparece (11). Neste texto, transporte público terá o mesmo significado que transporte coletivo.

E tratar a questão do transporte coletivo na cidade de São Paulo é debater sobre um dos mais importantes assuntos para toda a população deste município, da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e de todo o país, por ser São Paulo - como já mencionado - a cidade mais importante, econômica e culturalmente, do Brasil.

São Paulo (tanto o Estado como a cidade) é também via de passagem obrigatória para veículos que saem do Sul do país e tem como destino o Nordeste do Brasil em maior escala e algumas regiões do Norte em proporção inferior, tomando-se como base os municípios de destinos das viagens (12).

Soma-se a essa localização estratégica relacionada às rodovias, outra relativa ao modal portuário. O porto de Santos, o mais importante do Brasil em termos de volume de carga (13), dista cerca de 75 km do município de São Paulo.

Ambas as questões implicam em um tráfego expressivo de caminhões dos mais diversos tipos e tamanhos, além de outros veículos de cargas movidos a diesel, pelas avenidas e ruas da maior metrópole do país.

Até bem pouco tempo, a cidade de São Paulo não possuía um arco rodoviário que permitisse o desvio desse fluxo de veículos (chamado tráfego de transposição) (12) do município, de forma a não utilizar o sistema viário do mesmo.

A construção do chamado “Rodoanel” (Figura 1) é uma tentativa para esta ação, constituindo-se em uma via situada fora dos limites da infraestrutura viária da capital paulista, com o objetivo de evitar a entrada e passagem dos veículos de carga pela cidade (12).

Trata-se de um anel rodoviário de extensão aproximada de 177 km, que não só permite o desvio do tráfego de transposição já mencionado (oriundo da região Sul), como também evita a passagem de veículos com origem no próprio estado de São Paulo, o qual também se constitui em um importante vetor do fluxo de veículos na cidade de São Paulo (12).

Se for considerada toda a Região Metropolitana de São Paulo, ponto de partida ou chegada de dez das mais importantes rodovias do país (Ayrton Senna, Anchieta, Anhangüera, Bandeirantes, Castelo Branco, Fernão Dias, Imigrantes, Presidente Dutra, Raposo Tavares e Régis Bittencourt), estima-se que o Rodoanel evitará a passagem de cerca de 1.690.000 veículos diariamente em 2020 nas ruas da capital paulista (Figura 2) (12).

Figura 1 - Rodoanel - 2010 - Trechos Oeste e Sul Construídos

Fonte: (12)

Figura 2 – Rodoanel – 2020 – Estimativa de Fluxo de Veículos Evitados por Trecho

Fonte: (12)

Esses são os dados do tráfego de passagem pelo município de São Paulo.

No entanto, somente quando se analisa a situação do tráfego próprio da cidade, constituído pela frota de veículos do município, é que se tem a real dimensão da questão da mobilidade que afeta os moradores de São Paulo.

Na cidade de São Paulo, em uma área de 1.530 km² (14) viviam em 2011, 11.337.021 habitantes. Já a população da RMSP era, naquele mesmo ano, de 19.867.456 habitantes (15).

Projeta-se que no Estado de São Paulo, em 2011, a população residente era de 41.692.668 habitantes (15).

Isso significa que cerca de 27% da população do Estado vivia no município de São Paulo em 2011 e que ao redor de 57% da população da RMSP vivia nessa cidade naquele mesmo ano.

Esse último dado mostra a importância da cidade de São Paulo no contexto regional e vem corroborar o valor que tem se dado a esse município no decorrer desse texto.

A Região Metropolitana de São Paulo (Figura 3) é constituída por 39 municípios divididos em 5 sub regiões (Norte, Leste, Sudeste, Sudoeste e Oeste), sendo que a cidade de São Paulo faz parte de todas essas sub regiões (16)

Figura 3 - Região Metropolitana de São Paulo e suas Sub Regiões

Fonte: (16)

Em 2007, quando a população da RMSP era de 19.161.048 habitantes (15) (em torno de 3,5% menor do que a de 2011), observou-se um número expressivo de viagens diárias produzidas na região, por modo de transporte, conforme apontado na Tabela 1 (17).

Tabela 1 - Número de Viagens Diárias por Modo de Transporte - RMSP – 2007

Modo Principal de Transporte								
Ônibus	Auto	Táxi	Metrô	Trem	Moto	Bicicleta	Outros	Total
10.874.267	10.381.351	90.686	2.223.397	815.177	721.156	303.828	12.684.522	38.094.384

Fonte: ADAPTADA DE (17)

Pode-se constatar que em 2007, das cerca de 38 milhões de viagens realizadas diariamente, por volta de 29% das mesmas utilizaram transporte público (ônibus) e 27% fizeram uso do automóvel, totalizando-se cerca de 56% do total de viagens realizadas em um único dia para essas duas modalidades.

Em 2007, a frota de veículos na RMSP estava dividida conforme demonstrado na Tabela 2 (18).

Tabela 2 - Frota de Veículos - RMSP – 2007

Total	Total Auto	% Auto	Total Caminhão	% Caminhão	Total Ônibus	% Ônibus
7.984.378	5.842.967	73,18%	211.404	2,65%	54.483	0,68%

Fonte: ADAPTADA DE (18)

Assim, pode-se deduzir que a relação entre o número de viagens diárias realizadas por automóvel na RMSP em 2007 foi de 1,78.

Já na cidade de São Paulo, a frota de veículos em 2007 possuía o perfil demonstrado na Tabela 3 (18).

Tabela 3 - Frota de Veículos - Cidade de São Paulo – 2007

Total	Total Auto	% da Cidade	% da RMSP	Total Caminhão	% da Cidade	% da RMSP	Total Ônibus	% da Cidade	% da RMSP
5.392.692	4.009.301	74,35%	50,21%	128.955	2,39%	1,62%	37.550	0,70%	0,47%

Fonte: ADAPTADA DE (18)

De modo conservador, tomando-se a mesma relação entre o número de viagens diárias realizadas por automóvel na RMSP em 2007 para a cidade de São Paulo, tem-se que o número de viagens diárias produzidas pela frota paulistana foi cerca de 7,1 milhões de viagens, o que corresponde em torno de 70% de todas as viagens produzidas por automóveis na Região Metropolitana.

Foi mencionado o termo “conservador”, já que extrapolou-se para o município de São Paulo a relação entre viagens e automóveis de toda a RMSP, a qual deve divergir da capital dadas as distintas características dos municípios envolvidos.

Para o ano de 2011, não há fonte de informações sobre a quantidade e o modo de viagens diárias na RMSP ou na cidade de São Paulo.

No entanto, sabe-se o perfil da frota para ambos os casos, o que é demonstrado na tabela 4 (RMSP) e na tabela 5 (cidade de São Paulo) (18).

Tabela 4 - Frota de Veículos - RMSP - 2011

Total	Total Auto	% Auto	Total Caminhão	% Caminhão	Total Ônibus	% Ônibus
10.354.471	7.258.128	70,10%	243.822	2,35%	64.318	0,62%

Fonte: ADAPTADA DE (18)

Tabela 5 - Frota de Veículos - Cidade de São Paulo – 2011

Total	Total Auto	% da Cidade	% da RMSP	Total Caminhão	% da Cidade	% da RMSP	Total Ônibus	% da Cidade	% da RMSP
6.622.324	4.739.236	71,56%	45,77%	123.859	1,87%	1,20%	40.828	0,62%	0,39%

Fonte: ADAPTADA DE (18)

Embora o número de veículos na RMSP tenha se elevado substancialmente (quase 30% em 4 anos), notou-se leve queda percentual no número de automóveis na Região Metropolitana.

Da mesma forma, na cidade de São Paulo, tal relação (número de automóveis) também sofreu ligeira queda em termos percentuais, embora tenha-se observado aumento no número absoluto de automóveis (cerca de 730.000 veículos a mais em 4 anos).

Adotando-se a mesma relação conservadora entre número de viagens diárias e quantidade de carros (ou seja, 1,78 viagens por automóvel), deduz-se que em 2011 o número de viagens por dia na cidade de São Paulo tenha sido cerca de 8,4 milhões de viagens.

Esse valor é cerca de 18% superior ao ano de 2007 e demonstra o quão complexo é o tema do transporte no município de São Paulo (1,3 milhão de viagens a mais em uma mesma área de território).

Ainda no que diz respeito a esse assunto, caso se faça a correlação entre o número de habitantes do município de São Paulo e a sua quantidade de veículos, obtém-se uma relação de 2,17 habitantes por veículo na cidade em 2011, o que mostra que um veículo é utilizado em média por pouco mais de dois habitantes.

É de se notar também que em 2001, o número de automóveis no município era de 3.122.952 veículos (19), o que representa em 10 anos um aumento de 52% no número de carros rodando na cidade.

Esse aumento na frota de veículos da cidade tem ocasionado uma elevação dos congestionamentos no município, o que se pode constatar pelas tabelas 6 (17) e 7 (20).

Tabela 6 - Velocidade Média no Trânsito (km/h) – Cidade de São Paulo

Período/Sentido	1980	1991	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Pico da Manhã (Bairro/Centro)	27,1	24,6	20,4	19,7	19,9	23,2	19,3	18,5	18,3	17,0	17,3
Pico da Tarde (Centro/Bairro)	24,9	20,2	19,4	19,6	18,1	19,7	17,7	16,7	16,8	14,2	14,8

Fonte: (17)

Tabela 7 - Lentidão Média no Trânsito (km) – Cidade de São Paulo

Período	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Pico da Manhã	71,0	85,0	70,0	62,0	74,0	77,0	86,0	89,0	91,0	84,0
Pico da Tarde	117,0	115,0	108,0	100,0	115,0	116,0	114,0	129,0	140,0	131,0

Fonte: (20)

Verifica-se, assim, que como a área geográfica da cidade não se altera, há com o passar dos anos uma natural sobrecarga na infraestrutura viária do município.

Atualmente, a velocidade média dos corredores de ônibus na cidade de São Paulo está em cerca de 23,5 km/h (21), sendo que este tipo de via representa apenas 126 km de um total de 17.970,34 km (22) (0,70% das vias) da cidade.

Nota-se também que desde 2003 a frota pública de ônibus urbanos no município de São Paulo não sofreu alterações significativas em seu número, estando em torno de 15.000 veículos (23).

Os dados indicam que a cidade precisa implantar continuamente um sistema de transporte coletivo eficiente, fato esse que não tem ocorrido até o momento.

Uma tentativa de implementação de um sistema desses foi a implantação do Sistema Interligado em 2003 (24), que dividiu a cidade em 8 regiões com o objetivo de reestruturar o sistema de ônibus no município de São Paulo.

Apesar de alguns avanços (como a entrega de um pequeno número de corredores de ônibus), não foi dada continuidade ao modelo iniciado e a cidade continua carecendo de forma significativa de um sistema de transporte sobre pneus eficaz.

Várias cidades ao redor do mundo estão indo em direção oposta à esta tendência paulistana. Há uma forte implantação de BRTs em vários locais (25).

Os chamados BRTs (*Bus Rapid Transit* ou Trânsito Rápido de Ônibus) são uma forma de trânsito rápido, flexível e sobre pneus de borracha, que combina estações, veículos, serviços, corredores e tecnologia da informação em um sistema integrado com forte identidade (26).

O conceito BRT surgiu em 1966 nos Estados Unidos da América; porém, a primeira cidade a implantar um sistema desses foi Curitiba em 1982 (26).

Na Europa, o BRT é chamado de BHLS ou *Bus of High Level of Service* (Ônibus de Alto Nível de Serviço), designação que tem o intuito de demonstrar uma melhor experiência dos passageiros quando da utilização de um desses sistemas (26).

Existem no mundo 120 cidades que detêm BRTs, as quais possuem 282 corredores de ônibus, resultando em uma extensão total de 4.364 km, nos quais circulam cerca de 31.000 ônibus transportando ao redor de 28 milhões de passageiros (26).

18 milhões desses passageiros (ou 64,3% do total) estão concentrados em cidades da América Latina, incluindo-se aí São Paulo (26) (os autores consideraram os corredores de ônibus construídos por ocasião da implantação do Sistema Interligado – porém, que na verdade, não se constituem em BRTs, pelo fato, por exemplo, de não possuírem um local segregado, fora dos ônibus, para o pagamento da tarifa).

No biênio 2010 – 2011, 19 cidades, espalhadas por todos os continentes iniciaram estudos e obras de implementação desses sistemas (26), inclusive o Rio de Janeiro, cujo exemplo de um BRT já em funcionamento é visto na Figura 4.

Figura 4 – TransOeste - Rio de Janeiro

Fonte: (27)

As razões para esse crescimento vertiginoso são o baixo custo que um sistema desses possui, a sua rápida implementação (o Transoeste do Rio de Janeiro (Figura 4) teve sua construção realizada em cerca de 18 meses, possuindo uma extensão de 56 km) (27) e o seu alto grau de desempenho e impacto. Sistemas metroviários ou ferroviários com capacidades idênticas custam de três a dez vezes mais caro que o custo de um sistema BRT (26).

Apesar de quaisquer impactos que possam se originar da implementação de um sistema BRT (como, por exemplo, falta de componentes, alta densidade de passageiros, falta da manutenção da estrutura, entre outros), a maior parte dos exemplos construídos deste serviço apresentou um melhor desempenho do que os sistemas de ônibus que eles substituíram, no que diz respeito ao elevado grau de atendimento da demanda de passageiros, à sua maior satisfação, ao menor tempo de viagem em média obtido, à maior confiabilidade do sistema e à quaisquer externalidades como a redução da emissão de carbono na atmosfera, a queda do número de acidentes e as melhorias urbanísticas no entorno da construção dos equipamentos do sistema BRT (26).

A despeito desse panorama apresentado, verifica-se que até o momento a Prefeitura de São Paulo não adotou exemplos de sistemas como esse e a população tem privilegiado como meio de transporte usual o automóvel, indo (tanto governo como sociedade) na contramão de um modo de vida que privilegie uma relação sustentável na cidade, racionalizando o trânsito, bem como todas as interações decorrentes deste.

Uma alternativa à mudança desse cenário é o programa de metas que a nova administração da Prefeitura (2013 – 2016) elaborou e que possui como objetivo de número 93 a construção de 150 km de corredores de ônibus no município (ou seja, mais que o dobro da atual extensão existente) (28).

No entanto, caso a meta citada não seja cumprida, com o passar dos anos, a situação retratada acima tende a continuar se agravando, pois além de um natural crescimento da população, a estabilidade econômica no Brasil tem promovido uma elevação do poder de compra das pessoas, bem como um ambiente mais atrativo ao desenvolvimento de negócios (29).

Estes dois fatores estão diretamente relacionados à elevação do número de automóveis em uma determinada localidade, assim como a um maior número de viagens produzidas diariamente.

Outros fatores, como o vertiginoso desenvolvimento do mercado imobiliário na cidade de São Paulo também impactam diretamente a questão do transporte e da mobilidade, por criar a cidade cada vez mais polos geradores de tráfego (30).

4.2. Evolução do Transporte Coletivo na Cidade de São Paulo

O povoado de São Paulo foi fundado em 1554, tornando-se vila em 1560 e cidade em 1711 (31).

Durante todos aqueles anos, o deslocamento dos moradores era feito a pé ou por meio de carros de boi. Por volta de 1872, carroças e bondes de tração animal, semelhantes ao demonstrado nas figuras do Anexo A, realizavam a tarefa do transporte de cargas e passageiros na cidade. Eram veículos estreitos, pequenos, que não possuíam portas e com capacidade máxima para 20 passageiros sentados. Geralmente, possuíam como tração dois animais (na maior parte das vezes, mulas) (32).

O exemplar demonstrado nas citadas figuras está exposto no Museu dos Transportes Públicos “Gaetano Ferolla”, pertencente à São Paulo Transportes (gerenciadora do transporte coletivo na capital paulista), localizado no bairro do Pari, em São Paulo.

Um sistema mais estruturado de transporte coletivo só começou a surgir na cidade em 1900 com o início da operação de bondes elétricos pela Companhia Light (33), semelhantes ao exemplar demonstrado também no Anexo A, bem como ao modelo da Figura 5. Eram veículos maiores que os bondes tracionados por animais (com comprimento quase duas vezes maior), porém que também não possuíam portas e com capacidade máxima para 45 passageiros sentados. Sua tração era em corrente contínua (32).

A primeira linha oficial desse tipo de veículo, segundo o Museu dos Transportes Públicos “Gaetano Ferolla”, ligava o Largo de São Bento, no centro da cidade, à Alameda Barão de Limeira, no bairro de Campos Elíseos (um percurso inferior à 5 km).

A cidade de São Paulo chegou a possuir em 1922, 404 bondes elétricos que transportaram cerca de 120 milhões de passageiros (33).

Figura 5 - Bonde Elétrico da Companhia Light

Fonte: (33)

Em 1947, quase meio século após o início da operação dos bondes elétricos no município de São Paulo, a Companhia Municipal de Transportes Coletivos (CMTC) foi fundada com a finalidade de organizar e operacionalizar o transporte coletivo na cidade. Essa nova empresa herdou os bondes elétricos da Companhia Light e ficou responsável por sua operação. Uma de suas primeiras ações, a fim de reforçar a frota de transporte público da cidade, foi a compra de um lote de 75 bondes do tipo “camarão” (demonstrado no Anexo A). Eram veículos fechados, com capacidade ainda maior (55 assentos) que os bondes até então existentes, fechados, com três portas e com um grau de conforto muito superior a seus antecessores (32).

Após 10 anos da compra dos bondes do tipo “camarão”, a CMTC adquiriu os primeiros trólebus da cidade de São Paulo. Tratava-se de 75 modelos ACF Brill (semelhante ao da foto do Anexo A) com motor elétrico da General Electric. No entanto, tais modelos não eram novos, possuindo 10 anos de uso na cidade de Denver (Colorado – Estados Unidos da América) e foram utilizados no município paulista até o final da década de 1990 (32).

Após esse lote, na década de 1960, a CMTC adquiriu 10 unidades do primeiro trólebus fabricado no Brasil, em uma associação das empresas Grassi (carroçaria e chassi) e Villares (responsável pelo motor elétrico e seus periféricos) (32).

Os trólebus, em geral, possuíam capacidade de transporte semelhante aos bondes elétricos, porém eram mais leves que seus antecessores (algo em torno de 40%). Além disso, embora dependentes da rede elétrica aérea, eram independentes dos trilhos, o que simplificava a construção da sua infraestrutura para operação (32).

Em 1995 foi criada a São Paulo Transportes S.A., empresa de economia mista, que assumiu o gerenciamento do transporte coletivo no município de São Paulo. A partir de então, a operação do transporte coletivo de ônibus na cidade de São Paulo voltou a ficar a cargo de empresas privadas (32).

A partir da década de 2000, o motor elétrico dos trólebus passou a ser de corrente alternada, o que provocou uma construção mais simples desse componente, impactando em menores valores de aquisição e manutenção para esse dispositivo, permitindo que esse tipo de veículo continuasse em operação mesmo no novo modelo de gerenciamento de transporte adotado pela cidade (ou seja, com os veículos adquiridos pelas empresas particulares) (32).

A evolução apresentada até o momento nada mais é do que a observação cronológica dos fatos. No entanto, a evolução do transporte coletivo no município de São Paulo tem uma série de aspectos que necessitam ser estudados para o seu completo entendimento.

Tomando-se como ponto de partida a utilização dos bondes elétricos no início do século XX, nota-se que os mesmos foram predominantes por cerca de ¼ de século, sofrendo após esse período a concorrência paulatina e constante dos ônibus. Os bondes operaram por um período total de 68 anos, tendo sido desativados e substituídos por modelos de ônibus, tanto elétricos (trólebus) como a diesel (34).

O sistema de bondes necessitava de uma infraestrutura elétrica e viária (uma via segregada de circulação onde ficavam os trilhos) para o seu funcionamento e foi sendo sucateado não por sua ineficiência operacional ou má qualidade de serviços, mas sim por uma falta de gerenciamento do uso do solo e do transporte coletivo; sua permanência como principal sistema de transporte coletivo no município dependia de um constante planejamento urbano que não ocorria (34).

Desde aquela época (meados da década de 1920), existe um conflito institucional que perdura até os dias de hoje e que consiste na falta de coordenação entre agências e órgãos que cuidam do uso do solo, do transporte e do tráfego e que sempre possuíram administrações separadas (34).

Os ônibus a diesel, por sua vez, surgiram em torno de 1924, após uma estiagem na cidade de São Paulo (citada em quadro do Museu dos Transportes Públicos “Gaetano Ferolla” apresentado em figura do Anexo A), que resultou na diminuição da frota de bondes elétricos. Nessa época, o petróleo havia se tornado mais barato que a eletricidade, o que colaborou com essa substituição de fontes de energia. A estiagem ocorrida fez com que a administração da cidade procurasse viabilizar, pela primeira vez, uma nova alternativa energética para o transporte público do município (33).

No entanto, o surgimento desse novo meio de transporte (ônibus diesel) e seus novos veículos se deu, realmente, devido à falta de planejamento urbano da cidade e não por razão de qualquer fenômeno da natureza (estiagem prolongada) (34).

A decadência dos bondes elétricos e a consequente ascensão dos ônibus, tantos os de motores à combustão como os elétricos, também esteve intimamente ligada à política adotada pelos prefeitos da cidade de São Paulo nas décadas iniciais do século XX, que privilegiou o transporte individual em detrimento ao transporte coletivo (35).

Solução mais simples era adotar um meio de transporte coletivo que não dependesse de rígida estrutura de funcionamento (e de um já citado planejamento urbano), o que os ônibus (ainda que elétricos) representavam. Melhor ainda era incentivar a não dependência ao sistema de transporte municipal, de forma a não pressionar o poder público em sua obrigação de promover a mobilidade urbana e o conforto dos usuários (35).

Um exemplo claro desse favorecimento ao transporte individual e não dependência do transporte público foi dado por meio de uma política pública conhecida por “Plano de Avenidas” do, então, engenheiro Francisco Prestes Maia apresentado em 1930 e ilustrado na figura 6 (35).

populacional e a expansão econômica da cidade, um sistema de ônibus cada vez mais complexo, planejado e integrado tem sido exigido.

Entretanto, o que se observa atualmente são ônibus superlotados em alguns horários do dia e vazios durante a maior parte do tempo. Além disso, uma sobreposição de linhas em várias regiões da cidade denota a citada falta de planejamento para esse segmento (37).

Para a resolução da questão, mais uma vez, cogita-se optar por um “novo” modal (desta vez, o sistema metroviário) em detrimento do “antigo” meio de transporte (ônibus – diesel ou elétrico), argumentando-se que o sistema sobre pneus não possui grande capacidade de transporte frente à alta demanda promovida pelo atual tamanho da população (o que é verdade, devido às suas características físicas). No entanto, não é correto se entender que o investimento em transporte público deva se dar somente em função da capacidade de transporte de um ou outro meio, sob pena de não se tratar a causa do problema (planejamento da cidade considerando sua ocupação e o uso do solo), mas sim do sintoma apresentado (“ineficiência” do serviço devido a fatores diversos).

No que tange a esse aspecto, alguns autores apresentam uma interessante visão sobre a questão do planejamento não só da cidade como também o de uma dita “mobilidade sustentável”. A análise de tais temas é realizada por meio da utilização de uma ferramenta computacional - o I_SUM (“Index of Sustainable Urban Mobility” ou Índice da Mobilidade Urbana Sustentável) - que se apresenta como uma alternativa aos atuais trabalhos desenvolvidos pelos planejadores e administradores públicos, os quais englobam os vários desafios envolvidos na questão da mobilidade urbana (38).

Tal ferramenta pode ser utilizada para rever as condições de mobilidade urbana em um determinado momento ou para antecipar os impactos de medidas e estratégias que visam à implantação do conceito de mobilidade sustentável. Ela é formada por nove domínios, que cobrem 37 temas, os quais por sua vez são subdivididos em 85 indicadores. Um desses indicadores procura avaliar a utilização de energia limpa e de combustíveis alternativos no segmento de transporte de uma cidade (por exemplo, a utilização de energia elétrica ao invés do diesel). Também são avaliados itens como a presença de terrenos ociosos em uma determinada região, o crescimento urbano e a existência de um planejamento urbano, ambiental e de transportes integrado (38).

No exemplo analisado pelos autores, utilizou-se tal ferramenta em um estudo de caso sobre a cidade de Curitiba, a qual tem apresentado um controle eficaz sobre o forte crescimento urbano que vem sofrendo graças a um contínuo processo de planejamento realizado ao longo de diversas administrações municipais que se sucederam na Prefeitura da cidade (38).

É de se notar que a organização do transporte em Curitiba esteve intimamente relacionada à ocupação do solo da cidade, de forma que o oferecimento de serviços e de atividades comerciais foi permitido e estimulado nas ruas centrais, assim como a construção de edifícios mais altos, de forma a se confinar a demanda de trânsito nesses corredores (38).

Quanto a esse aspecto, outros autores fazem um paralelo das correlações existentes entre a presença de corredores de BRT e o uso do solo, bem como a valorização de terras associada a tal uso. Curitiba é citada como exemplo de cidade que possui um dos sistemas BRT mais avançados do mundo (39).

Os ganhos obtidos nos corredores BRT quanto à maior velocidade obtida pelos ônibus e, conseqüentemente, aos menores tempos de viagem, podem ser seguidos por mudanças na ocupação do solo, como um adensamento populacional, bem como por elevações nos valores de comercialização das propriedades, especialmente em grandes cidades com altos índices de congestionamentos como Seoul, outra cidade avaliada pelo estudo em questão (39).

Em geral, o mercado imobiliário responde positivamente às melhoras no transporte de uma determinada região, principalmente por meio da valorização de terras, da mudança de zoneamento e do adensamento populacional. No entanto, enquanto os impactos sobre a valorização das terras tendem a ser instantâneos, tanto as mudanças de zoneamento como os consequentes adensamentos populacionais tendem a levar mais tempo, devido - entre outros fatores - às questões institucionais envolvidas (39).

Há estudos que comprovam que os serviços de transporte público geralmente exercem influências positivas sobre as propriedades residenciais e comerciais. Existem, inclusive, pesquisas que demonstram que os benefícios gerados ao uso do solo na capital paranaense são da mesma magnitude que os gerados caso fossem realizados investimentos no meio de transporte sobre trilhos (incluindo-se aí o metrô) (39).

Ainda no que tange à questão “serviços de transporte público – uso da terra” existem pesquisadores que afirmam que tal assunto geralmente não é tratado como um modelo de sistema energético urbano e é muitas vezes ignorado pela literatura técnica, embora esse tema seja de relevância direta no que diz respeito ao uso de energia nas cidades (40).

Destaca-se que para entender o consumo de energia urbano é importante levar em consideração não somente os fatores de curto prazo (como por exemplo, onde, quando e como as pessoas realizam suas atividades), mas também os hábitos e as decisões de médio e longo prazo da população como, por exemplo, as escolhas dos locais de moradia e trabalho das pessoas, o desejo de possuir um automóvel e participação da força de trabalho. Somente dessa maneira, o modelo a ser desenvolvido trará um resultado rigoroso e de acordo com a realidade (40).

Os melhores modelos que correlacionam transporte e uso da terra são aqueles que se integram a modelos de avaliação de energia e de qualidade do ar e que transformam as previsões de fluxos de transporte em estimativas de consumo de combustível e de emissão de poluentes. Nos últimos anos, muitos modelos têm incluído em suas análises a qualidade do ar, o consumo de energia e também indicadores de sustentabilidade. Os modelos possuem um papel importante, pois melhorar a disponibilidade de dados, principalmente em cidades de países desenvolvidos é vital já que as Nações Unidas e a Agência Internacional de Energia prevêm que nas próximas décadas a população urbana e a demanda por serviços de energia crescerão mais rapidamente nessas regiões (40).

Analisando-se ainda a questão da sustentabilidade a longo prazo, existem relatos interessantes sobre a implementação do transporte sustentável na América Latina. Em 2010, nesse continente, existiam 2,5 novos carros licenciados para cada criança nascida. Os custos das externalidades negativas (congestionamentos, poluição do ar, emissões de gases do efeito estufa, redução da atividade física, obesidade e doenças relacionadas) associadas à elevação do nível de motorização de uma sociedade foram estimados em cerca de 18% da renda per capita média de 15 cidades selecionadas para o estudo na região (41).

O planejamento do transporte coletivo e os investimentos associados a ele requerem uma mudança de paradigma, de forma a favorecer mais a acessibilidade do que a mobilidade, priorizando meios eficientes de transporte e promovendo uma cultura de baixo carbono, por

meio de combustíveis e veículos limpos (41), permitindo-se aí um paralelo com a Cidade de São Paulo.

Essa mudança de paradigma pode ser resumida em 3 tipos de ações:

- Evitar viagens motorizadas desnecessárias e longas;
- Alterar o movimento de mercadorias e pessoas para meios de transporte mais eficientes e;
- Melhorar a tecnologia e o gerenciamento operacional dos serviços de transporte.

Tais ações levariam a um ambiente de “Transporte Sustentável”, cuja melhor definição seria:

A provisão de serviços e infraestrutura para a mobilidade de mercadorias e pessoas, necessária para o desenvolvimento social e econômico e para a melhora da qualidade de vida e a competitividade. Tais serviços e a infraestrutura de transporte associada a eles devem fornecer uma mobilidade acessível, equitativa, eficiente, econômica, confiável e segura enquanto que deve-se mitigar os impactos negativos na saúde e no meio ambiente local e global, no curto, médio e longo prazo sem comprometer o desenvolvimento das gerações futuras. (42)

O principal direcionador para o desenvolvimento do setor de transporte nos países em desenvolvimento foi - e continua a ser - permitir, facilitar e catalisar o desenvolvimento social e econômico (42).

Já no que tange à questão da qualidade relativa aos serviços prestados por um sistema de transporte e tomando-se como exemplo o caso da Coreia do Sul, em um determinado momento na história da evolução do sistema BRT, houve um declínio na qualidade de seus serviços devido à excessiva competição entre os operadores privados do sistema, o que resultou ora em serviços inconstantes, ora em serviços redundantes, além de outras consequências negativas envolvidas (39).

Isso fez com que o Governo Metropolitano de Seoul (uma instituição que – como já citado – não existe nos padrões paulistanos) criasse uma organização de trânsito de economia mista no início da década do ano 2000 para a organização do sistema, de forma a determinar regras e padrões de qualidade, além de uma reestruturação das linhas de ônibus (nesse caso, uma empresa semelhante à SPTrans, porém dedicada à organização do transporte na Região Metropolitana de Seoul). A combinação entre corredores de ônibus, priorização aos ônibus nos sinais de trânsito, sistemas de informação em tempo real aos usuários e um “design” atrativo dos pontos de ônibus elevaram a qualidade do serviço prestado à população (39).

Note-se que com exceção à “priorização aos ônibus nos sinais de trânsito”, São Paulo possui “corredores de ônibus” e “sistemas de informação em tempo real aos usuários”, sendo que está em fase de implantação a questão do “design” atrativo dos pontos de ônibus”, ou seja, todos os fatores que elevaram a qualidade dos serviços em Seoul.

Outro bom exemplo que pode ser seguido pela Capital Paulista é verificado na organização do sistema de transporte de Curitiba, cuja rede de corredores está conectada à outras cidades de região metropolitana, conforme pode-se visualizar na Figura 7, sendo esse fato semelhante ao exemplo sul coreano, porém proporcionado devido à coordenação entre várias agências de governo dos diversos municípios envolvidos e não somente a um único órgão central (38).

Figura 7 - Mapa da Rede Integrada de Transportes de Curitiba
Fonte: (43)

Curitiba ainda não possui uma linha de metrô, mas ressalta-se que a utilização exclusiva de ônibus como uma alternativa ao trânsito não é um problema, desde que o sistema desenvolvido em questão seja efetivo e eficiente (39). É nesse ponto que se faz mais um paralelo com a cidade de São Paulo, que até o ano de 2012 tinha como principal objetivo para

a resolução da questão do transporte coletivo no município o investimento no sistema metroviário.

Na questão do uso de energia limpa e de combustíveis alternativos, pode-se citar que Curitiba está gradualmente introduzindo na sua frota de ônibus a utilização do biodiesel. A estratégia é substituir toda a frota por ônibus que operem baseados nesse combustível (38).

No entanto, da mesma forma como na cidade de São Paulo, Curitiba vem desenvolvendo uma cultura do automóvel, a qual é denotada em função de indicadores como a razão de motorização e a média de pessoas por automóvel (38).

Para a capital paulista, esse movimento de favorecimento ao transporte individual, como já mencionado, iniciado na década de 1930, teve seu apogeu em 2002 quando o transporte particular motorizado teve uma participação maior do que o transporte motorizado público (53% contra 47%) (34).

Até então, somente a integração entre ônibus e o sistema de metrô havia sido realizada. Após este período, algumas mudanças significativas ocorreram envolvendo os diversos modais de transporte da cidade de São Paulo e da RMSP. Foi justamente nesse período que se iniciou a implementação do Sistema Interligado, como descrito no capítulo referente à questão do transporte coletivo na cidade de São Paulo, sendo que outros importantes marcos dessa transição foram a adoção do Bilhete Único em 2004 e a integração com o sistema de trens urbanos em 2006 (34).

Com isto, houve uma revitalização do sistema de transporte coletivo e pode-se, diante desta nova fase, buscarem-se meios de transporte sustentáveis e mais justos por meio da adoção de novas alternativas energéticas para a frota (44).

São essas novas alternativas que foram (e ainda estão sendo, em alguns casos) avaliadas pelas empresas que operam o sistema de transporte coletivo, modalidade ônibus, na cidade de São Paulo e que serão objeto de estudo deste trabalho.

4.3. A Questão Ambiental

O início da análise da questão ambiental relacionada ao estudo comparativo entre combustíveis utilizados na frota de ônibus urbanos da cidade de São Paulo deve se dar pelo Plano de Controle de Poluição Veicular no Município de São Paulo – PCPV (45).

Nesse documento é citado que a Lei Municipal 14.933, de 05 de Junho de 2009, estabelece que em 2018 todos os ônibus da cidade de São Paulo devem utilizar recursos energéticos renováveis, não sendo permitidos combustíveis fósseis.

O Plano de Controle de Poluição Veicular divide-se em dois programas bases:

- O Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso – I/M – SP, gerenciado pela Secretária do Verde e do Meio Ambiente do Município de São Paulo (SVMA), que consiste na verificação anual da conformidade dos veículos em circulação com as suas especificações originais no que tange aos principais itens que podem afetar a emissão de poluentes atmosféricos e ruídos, além da indução da população a realizar periodicamente a manutenção preventiva e corretiva dos veículos;
- O Programa de Controle de Poluentes dos Transportes - PCPTrans, gerenciado pela Secretaria Municipal de Transportes (SMT), que consiste em um conjunto de ações de prevenção e controle de caráter ambiental voltado para a implantação de melhorias e aumento da eficiência nos sistemas de transporte coletivo e de carga, bem como no gerenciamento de trânsito da cidade.

Ressalta-se que em Janeiro de 2014, o Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso – I/M – SP sofreu uma série de mudanças relacionadas ao seu escopo, desde a frota alvo do referido programa até a periodicidade de inspeção dos veículos em questão, sendo que a mesma não é mais exigida para veículos novos e de até três anos de uso. Já para automóveis entre 4 anos e 9 anos de utilização, a inspeção veicular passou a ser exigida a cada 2 anos. Porém, caso o veículo seja movido a diesel ou possua 10 (ou mais) anos de uso, a inspeção deverá ser realizada anualmente.

Quanto ao PCPTrans, ele é o programa municipal que vem promover a realização de testes com alternativas energéticas e conceitos de tração inovadores, além de estimular a participação do transporte público eletrificado na matriz municipal de transportes.

Tais testes vêm ao encontro ao atendimento da citada Lei Municipal 14.933 e foram denominados pela Prefeitura da Cidade de São Paulo como “Projeto Ecofrota”.

No que diz respeito ao PCPV, ele baseia-se em grande parte nas informações da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Dessa forma, segundo o Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2013 (46), os principais poluentes considerados indicadores da qualidade do ar, bem como suas características, origens principais e seus efeitos ao meio ambiente, são os apresentados na tabela 8. A razão da escolha desses parâmetros como indicadores de qualidade do ar está ligada à sua maior frequência de ocorrência e aos efeitos adversos que causam à saúde e ao meio ambiente (46).

Tabela 8 - Fontes e Características dos Principais Poluentes na Atmosfera

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos Gerais ao Meio Ambiente
Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5})	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc., que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias. Faixa de tamanho < 2,5 micra.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera) como sulfato e nitrato, entre outros.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Partículas Inaláveis (MP ₁₀) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), poeira ressuspenso, aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 50 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspenso, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	
Ozônio (O ₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Fonte: (46)

Pode-se notar que os veículos automotores são os responsáveis diretos pela emissão dos principais poluentes na atmosfera e contribuem indiretamente para a formação do Ozônio, já que os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis (hidrocarbonetos gerados na queima incompleta e pela evaporação de combustíveis) citados na tabela 8 são emitidos principalmente por veículos e por processos industriais. Em consequência disso, o PCPTrans visa por meio da adoção de veículos com emissão muito baixa ou mesmo zero contribuir para a redução de tais poluentes, bem como dos gases de efeito estufa (GEE) (47).

Embora tais tecnologias (com baixa emissão ou emissão zero de poluentes) ainda representem um desafio do ponto de vista econômico-financeiro, a contabilização dos gastos com perdas de vidas, produtividade e utilização das redes pública e privada de saúde pode ajudar a tornar viável esta equação. Deve-se ressaltar que essa medida (adoção de veículos com emissão muito baixa ou zero), no ponto de vista da Prefeitura do Município de São Paulo quando da elaboração do Plano de Controle de Poluentes dos Transportes, foi considerada a mais efetiva para a minimização do impacto ambiental provocado pelos veículos (47).

Complementando o entendimento da base formuladora do Plano de Controle da Poluição Veicular, é importante conhecer-se o conceito de padrão da qualidade do ar (PQAr). Dessa maneira, como referência para comparação, os padrões de qualidade do ar são apresentados na tabela 9, de acordo com a Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90.

Tabela 9 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar

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: (46)

Os padrões de qualidade expressam o grau de exposição que a população pode suportar em relação a um determinado poluente.

Na tabela 9, padrões primários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo. Já os padrões secundários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo (46).

O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Como prevê a própria Resolução CONAMA nº 03/1990, a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários requer que o território nacional seja dividido em classes I, II e III conforme o uso pretendido. A mesma resolução prevê ainda que, enquanto não for estabelecida a classificação das áreas, os padrões aplicáveis serão os primários (46).

O padrão nacional para qualidade do ar apresentado acima determina referências menos conservadoras do que o padrão da Organização Mundial da Saúde (OMS) (apresentado na tabela 10) de 2005.

Tabela 10 - Valores Guias Recomendados pela OMS

POLUENTE	CONCENTRAÇÃO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPO DE AMOSTRAGEM
dióxido de enxofre	20	24 horas
	500	10 minutos
dióxido de nitrogênio	200	1 hora
	40	anual
monóxido de carbono	10.000	8 horas
	9ppm	
ozônio	100	8 horas
material particulado $\text{MP}_{2,5}$	10	média aritmética anual
	25	24h (percentil 99)
material particulado MP_{10}	20	anual
	50	24h (percentil 99)

Fonte: (46)

Devido à essa questão, o Governo do Estado de São Paulo, por meio do Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/2013, estabeleceu novos padrões de qualidade do ar para o Estado (demonstrados na tabela 11), tendo por base as diretrizes estabelecidas pela OMS. No entanto, para o estabelecimento de tais padrões, também foram observadas as normativas americana e da Comunidade Européia para os principais poluentes. Tais valores de referência são apresentados nas tabelas 12 (referente aos valores da USEPA – Agência Ambiental Americana) e 13 (referente aos valores da União Européia) (46).

Tabela 11 - Padrões Estaduais de Qualidade do Ar

Poluente	Tempo de Amostragem	MI 1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI 2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI 3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
partículas inaláveis (PM_{10})	24 horas	120	100	75	50
	MAA ¹	40	35	30	20
partículas inaláveis finas ($\text{PM}_{2,5}$)	24 horas	60	50	37	25
	MAA ¹	20	17	15	10
dióxido de enxofre (SO_2)	24 horas	60	40	30	20
	MAA ¹	40	30	20	-
dióxido de nitrogênio (NO_2)	1 hora	260	240	220	200
	MAA ¹	60	50	45	40
ozônio (O_3)	8 horas	140	130	120	100
monóxido de carbono (CO)	8 horas	-	-	-	9 ppm
fumaça* (FMC)	24 horas	120	100	75	50
	MAA ¹	40	35	30	20
partículas totais em suspensão* (PTS)	24 horas	-	-	-	240
	MGA ²	-	-	-	80
chumbo** (Pb)	MAA ¹	-	-	-	0,5

1 - Média aritmética anual.

2 - Média geométrica anual.

* Fumaça e Partículas Totais em Suspensão - parâmetros auxiliares a serem utilizados apenas em situações específicas, a critério da CETESB.

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

Obs.: padrões vigentes em vermelho.

Fonte: (46)

Tabela 12 - Padrões de Qualidade do Ar Adotados pela USEPA

POLUENTE	PADRÃO	TEMPO DE AMOSTRAGEM	CONCENTRAÇÃO	FORMA DE ATENDIMENTO
chumbo	primário e secundário	Média Móvel Trimestral	0,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Não ser excedido
dióxido de enxofre (SO_2)	primário	1 h	0,075 ppm	Média de 3 anos do percentil 99 de cada ano, calculado a partir das máximas diárias de 1 hora
	secundário	3 h	0,5 ppm	Não ser excedido mais que uma vez por ano
dióxido de nitrogênio (NO_2)	primário	1 h	0,100 ppm	Média de 3 anos do percentil 98 de cada ano
	primário e secundário	Média Aritmética Anual	0,053 ppm	Média anual
monóxido de carbono (CO)	primário	1 h	35 ppm (40.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Não ser excedido mais que uma vez por ano
		8 h	9 ppm (10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
ozônio (O_3)	primário e secundário	8 h	0,075 ppm	Média de 3 anos, da quarta máxima de cada ano, calculada a partir das máximas diárias de oito horas
partículas inaláveis (PM_{10})	primário e secundário	24 h	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Não deve ser excedido mais de uma vez ao ano, na média de 3 anos
partículas inaláveis finas ($\text{PM}_{2,5}$)	primário e secundário	24 h	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Média de 3 anos do percentil 98 de cada ano, calculado a partir das médias diárias de 24 horas
	primário	Média Aritmética Anual	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Média de 3 anos das médias anuais
	secundário	Média Aritmética Anual	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Média de 3 anos das médias anuais

Padrão Primário - estabelece limites para proteger a saúde pública, incluindo a saúde da população "sensível" como asmáticos, crianças e idosos.

Padrão Secundário - estabelece limites para proteger o bem estar público, incluindo proteção contra a redução da visibilidade, danos a animais, colheita, vegetação e edificações.

Fonte: (46)

Tabela 13 - Valores de Referência adotados pela União Européia

POLUENTE	CONCENTRAÇÃO	TEMPO DE AMOSTRAGEM	ULTRAPASSAGENS PERMITIDAS / ANO
Dióxido de enxofre (SO ₂)	350 µg/m ³	1 hora	24
	125 µg/m ³	24 horas	3
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	200 µg/m ³	1 hora	18
	40 µg/m ³	1 ano	--
Partículas inaláveis (MP ₁₀)	50 µg/m ³	24 horas	35
	40 µg/m ³	1 ano	--
Partículas inaláveis finas (MP _{2,5})	25 µg/m ³	1 ano	--
Chumbo	0,5 µg/m ³	1 ano	--
Monóxido de carbono (CO)	10 mg/m ³	máxima média 8 horas	--
Benzeno (C ₆ H ₆)	5 µg/m ³	1 ano	--
Ozônio (O ₃)	120 µg/m ³	máxima média 8 horas	não exceder mais de 25 dias, em média, por ano, num período de 03 anos
Arsênio (As)	6 ng/m ³	1 ano	--
Cádmio (Cd)	5 ng/m ³	1 ano	--
Níquel (Ni)	20 ng/m ³	1 ano	--
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos	1 ng/m ³ ⁽¹⁾	1 ano	--

(1) - Expresso como Benzo(a)Pireno.

Fonte: (46)

Como visto, os valores acima referem-se a padrões, ou seja, referências a serem respeitadas. No dia-a-dia de uma cidade como São Paulo, existe uma série de estações automáticas de monitoramento (e um outro número de estações manuais) que captam os dados referentes à qualidade do ar. Tais dados são tratados e transformados em um índice de qualidade do ar, de forma a facilitar o processo de divulgação da qualidade do ar (46).

Para cada poluente medido é calculado um índice, sendo que, para efeito de divulgação, utiliza-se o índice mais elevado, isto é, embora a qualidade do ar de uma estação seja avaliada para todos os poluentes monitorados, a sua classificação é determinada pelo maior índice (pior caso). Tanto o cálculo do índice quanto os critérios de classificação da qualidade do ar obedecem aos padrões estabelecidos no Decreto Estadual nº 59.113/2013 (46). A relação entre índice, qualidade do ar e efeitos à saúde é apresentada na tabela 14.

Tabela 14 - Correlação entre Índice de Qualidade do Ar, Qualidade do Ar e Efeitos à Saúde

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m³)	MP _{2,5} (µg/m³)	O ₃ (µg/m³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m³)	SO ₂ (µg/m³)	Fumaça (µg/m³)	Significado
N1 - BOA	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20	0 - 50	
N2 - MODERADA	41-80	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40	>50 - 100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
N3 - RUIM	81-120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365	>100 - 150	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
N4 - MUITO RUIM	121-200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13-15	>320 - 1130	>365 - 800	>150 - 250	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N5 - PÉSSIMA	>200	> 250	>125	> 200	> 15	> 1130	>800	> 250	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: (46)

Na tabela 14, MP₁₀ são Partículas Inaláveis, MP_{2,5} são Partículas Inaláveis Finas, O₃ é Ozônio, CO é Monóxido de Carbono, NO₂ é Dióxido de Nitrogênio e SO₂ é Dióxido de Enxofre.

Quando a qualidade do ar é classificada como “boa”, os valores-guia para exposição de curto prazo (ou seja, os valores referentes a 24 horas, na tabela 9) definidos pela Organização Mundial de Saúde, que são os respectivos Padrões Finais (PF) estabelecidos no Decreto Estadual nº 59.113/2013, estão sendo atendidos (46).

Observa-se também que a classificação de qualidade “ruim” não indica obrigatoriamente a ultrapassagem dos padrões de curto prazo vigentes. A única exceção é o monóxido de carbono (CO), para o qual, da qualidade “moderada” em diante, o respectivo PQAr é ultrapassado.

Na tabela 15 são apresentadas medidas que devem ser tomadas quando do atingimento das condições de qualidade do ar “moderada”, “ruim”, “muito ruim” ou “péssima”.

Tabela 15 - Qualidade do Ar e Prevenção de Riscos à Saúde

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³)	MP _{2,5} (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
N1 - BOA	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20
N3 - MODERADA	41 - 80	>50 - 100 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre.	>25 - 50 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre.	>100 - 130 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre.	>9 - 11 Pessoas com doenças cardíacas, como angina, devem reduzir esforço físico pesado ao ar livre e evitar vias de tráfego intenso.	>200 - 240 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre.	>20 - 40 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre.
N4 - RUIM	81 - 120	>100 - 150 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças.	>50 - 75 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças.	>130 - 160 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças.	>11 - 13 Pessoas com doenças cardíacas, como angina, devem reduzir esforço físico pesado ao ar livre e evitar vias de tráfego intenso.	>240 - 320 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças.	>40 - 365 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças.
N5 - MUITO RUIM	121-200	>150 - 250 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre.	>75 - 125 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre.	>160 - 200 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre.	>13 - 15 Pessoas com doenças cardíacas, como angina, devem evitar esforço físico e vias de tráfego intenso.	>320 - 1130 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre.	>365 - 800 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre.
N6 - PÉSSIMA	>200	>250 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre.	>125 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre.	>200 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre.	>15 Pessoas com doenças cardíacas, como angina, devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre e vias de tráfego intenso.	>1130 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre.	>800 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre.

Fonte: (46)

Na tabela 15, MP₁₀ são Partículas Inaláveis, MP_{2,5} são Partículas Inaláveis Finas, O₃ é Ozônio CO é Monóxido de Carbono, NO₂ é Dióxido de Nitrogênio e SO₂ é Dióxido de Enxofre.

Tais medidas nada mais são do que ações preventivas para as pessoas minimizarem os efeitos dos poluentes na saúde.

A tabela 16 lista os principais efeitos à saúde das pessoas quando do alcance das várias classificações de qualidade do ar disponíveis.

Tabela 16 - Efeitos à Saúde da População

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m³)	MP _{2,5} (µg/m³)	O ₃ (µg/m³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m³)	SO ₂ (µg/m³)
N1 - BOA	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20
N3 - MODERADA	41 - 80	>50 - 100 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.	>25 - 50 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.	>100 - 130 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.	>9 - 11 Pessoas com doenças cardíacas podem apresentar sintomas como cansaço e dor no peito.	>200 - 240 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.	>20 - 40 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.
N4 - RUIM	81 - 120	>100 - 150 Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados. População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço.	>50 - 75 Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados. População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço.	>130 - 160 Pessoas com doenças respiratórias, como asma, e crianças têm os sintomas agravados. População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço.	>11 - 13 População em geral pode apresentar sintomas como cansaço. Pessoas com doenças cardíacas têm os sintomas como cansaço e dor no peito agravados.	>240 - 320 População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço. Pessoas com doenças respiratórias e crianças têm os sintomas agravados.	>40 - 365 População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço. Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados.
N5 - MUITO RUIM	121-200	>150 - 250 Aumento dos sintomas em crianças e pessoas com doenças pulmonares e cardiovasculares. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral.	>75 - 125 Aumento dos sintomas em crianças e pessoas com doenças pulmonares e cardiovasculares. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral.	>160 - 200 Aumento dos sintomas respiratórios em crianças e pessoas com doenças pulmonares, como asma. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral.	>13 - 15 Aumento de sintomas em pessoas cardíacas. Aumento de sintomas cardiovasculares na população em geral.	>320 - 1130 Aumento dos sintomas respiratórios em crianças e pessoas com doenças pulmonares, como asma. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral.	>365 - 800 Aumento dos sintomas em crianças e pessoas com doenças pulmonares e cardiovasculares. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral.
N6 - PÉSSIMA	>200	>250 Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e cardiovasculares, como infarto do miocárdio.	>125 Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e cardiovasculares, como infarto do miocárdio.	>200 Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e doença pulmonar obstrutiva crônica.	>15 Agravamento das doenças cardiovasculares, como infarto do miocárdio e insuficiência cardíaca congestiva.	>1130 Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e doença pulmonar obstrutiva crônica.	>800 Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e cardiovasculares, como infarto do miocárdio.

Fonte: (46)

Da mesma forma como na tabela anterior, na tabela 16, MP₁₀ são Partículas Inaláveis, MP_{2,5} são Partículas Inaláveis Finas, O₃ é Ozônio CO é Monóxido de Carbono, NO₂ é Dióxido de Nitrogênio e SO₂ é Dióxido de Enxofre.

Como se pode notar, tratam-se dos principais efeitos à saúde causados por cada poluente.

Apresentadas as referências para os padrões de qualidade do ar, os próprios índices de qualidade do ar, as medidas de prevenção de risco à saúde da população quando tais índices não receberem a classificação “boa” e os efeitos à saúde dos indivíduos, mostrar-se-ão agora

os diversos comportamentos e contribuições dos poluentes e de suas fontes de origem para a RMSP.

Antes, porém, é necessário se fazer uma série de considerações que o último Relatório de Qualidade do Ar realizou. A primeira delas é que os resultados obtidos pelas já citadas estações de monitoramento refletem as variações na matriz de emissões dos poluentes, tais como modificações na frota de veículos, alterações no tráfego, mudanças de combustível, alterações no parque industrial, implantação de tecnologias mais limpas, dentre outras, além das condições meteorológicas observadas no ano. Dessa forma, não é possível realizarem-se comparações diretas entre as informações fornecidas em dois anos consecutivos (46).

O segundo ponto a se observar é que a CETESB, a partir de 2010, adotou nova metodologia para o inventário de emissões veiculares desenvolvido pelo grupo de trabalho coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e publicado em janeiro de 2011 no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (46).

É relatado que tal metodologia vem sendo adaptada para as características regionais, sendo que as principais alterações, quando comparadas com os relatórios anteriores, foram observadas na frota circulante e na intensidade de uso (o quanto os veículos circulam). Portanto, a comparação direta com as estimativas dos anos anteriores, também nesse caso, não deve ser realizada (46).

Em 2013, a CETESB publicou a segunda edição do relatório “Emissões Veiculares no Estado de São Paulo”, que apresenta os dados de emissões da frota circulante do período de 2009 a 2012. Algumas informações utilizadas para o cálculo das estimativas foram atualizadas e existem diferenças entre o relatório citado e o anterior, publicado em 2012 (46).

As estimativas de emissão de fontes móveis constantes nessa citada segunda edição foram baseadas na última versão do relatório de emissões veiculares e podem diferir do relatório publicado no ano anterior (46).

A CETESB salienta ainda que a metodologia contém diversas incertezas relacionadas à frota circulante, ao consumo de combustível e aos fatores de emissão, que são refletidas nas estimativas de emissão. Essas incertezas impactam os resultados de forma inversamente

proporcional à abrangência geográfica da estimativa, ou seja, menores para todo o Estado, intermediárias para determinadas regiões e maiores quando se observam cidades de forma isolada. A estimativa de emissão dos hidrocarbonetos evaporados foi feita apenas para a frota de automóveis e comerciais leves do ciclo Otto. Para este poluente não foram consideradas as emissões provenientes de evaporação de outros tipos de veículos, da ventilação do motor e as de abastecimento de combustível (46).

No caso do material particulado não foram consideradas outras possíveis origens, como o desgaste dos pneus, dos freios, a ressuspensão da poeira presente no pavimento e a formação de aerossóis secundários a partir dos gases emitidos. Além disso, deve-se ponderar que o tipo e o tamanho do material particulado emitido pelos veículos é variável e pode ser diferente do emitido por outras fontes, o que compromete a comparação direta entre os valores estimados para estas duas classes de fontes (46).

Para o cálculo das emissões de SO_x, a CETESB adotou que todo o enxofre contido no combustível foi transformado em SO₂. Os teores de enxofre utilizados nas estimativas foram:

- Diesel S50: 50 ppm de enxofre;
- Diesel S500: 500 ppm de enxofre;
- Diesel S1800: 1800 ppm de enxofre;
- Gasolina: 350 ppm de enxofre.

Essas considerações foram feitas a fim de se demonstrar o quão a problemática da poluição relacionada às fontes móveis é de difícil contorno. Nos capítulos anteriores, procurou-se dar essa visão por meio das questões de deslocamento, tamanho da frota e planejamento urbano. Nessa parte do texto, uma outra vertente do assunto – a sua especificidade técnica – é demonstrada, de maneira a auxiliar a montagem do panorama da situação.

Tomando-se agora as diversas fontes poluidoras da Região Metropolitana de São Paulo, pode-se observar que a contribuição total (ainda que estimada) e relativa de cada categoria de fontes é dada como apresentado nas tabelas 17 e 18.

Tabela 17 - Estimativa de Emissão das Fontes de Poluição do Ar na RMSP

Categoria			Combustível	Emissão (1000 t/ano)					
				CO	HC	NOx	MP	SOx	
M O V E I S	Automóveis		Gasolina	57,77	10,70	7,91	0,04	1,31	
			Etanol	7,12	1,52	0,62	nd	nd	
			Flex-Gasolina	9,57	2,75	1,00	0,02	0,74	
			Flex-Etanol	9,60	2,65	0,85	nd	nd	
	Evaporativa		-	na	6,89	na	na	na	na
	Comerciais Leves		Gasolina	7,27	1,22	0,95	0,006	0,28	
			Etanol	0,66	0,16	0,06	nd	nd	
			Flex-Gasolina	0,98	0,30	0,11	0,002	0,09	
			Flex-Etanol	0,64	0,15	0,05	nd	nd	
			Diesel	0,40	0,10	2,16	0,05	0,06	
	Evaporativa		-	na	0,79	na	na	na	
	Caminhões		Semi-Leves	Diesel	0,05	0,03	0,32	0,01	0,02
			Leves		0,18	0,07	1,00	0,04	0,07
			Médios		0,33	0,25	1,88	0,07	0,11
			Semi-Pesados		2,42	0,73	13,72	0,33	1,10
			Pesados		2,37	0,64	13,58	0,32	1,08
	Onibus		Urbanos	Diesel	2,33	0,60	13,14	0,36	0,05
			Rodoviários		0,53	0,73	3,07	0,08	0,07
	Motocicletas		Gasolina	25,76	3,23	0,81	0,05	0,09	
			Flex	0,26	0,04	0,02	0,001	0,004	
	Total Emissão Veicular (2012)			128,26	33,55	61,25	1,38	5,09	
F I X A	Operação de Processo Industrial (2008) (Número de indústrias inventariadas)			4,18¹ (62)	4,7¹ (121)	15,43¹ (161)	3,06¹ (198)	5,59¹ (146)	
	Base de combustível líquido (2009) (18 empreendimentos)			-	3,40²	-	-	-	
TOTAL GERAL				132,44	41,65	76,68	4,44	10,68	

1 - Ano de referência do inventário: 2008.

2 - Ano de referência do levantamento: 2009. Os empreendimentos participantes deste levantamento foram selecionados utilizando a metodologia top-down, baseado nas informações da Agência Nacional do Petróleo (ANP) sobre entregas de combustíveis do ano de 2009.

nd: não disponível.

na: não aplicável.

Obs.: Ano de referência do inventário de fontes móveis: 2012.

Fonte: (46)

Tabela 18 - Contribuição Relativa das Fontes de Poluição do Ar na RMSP

Categoria			Combustível	Poluentes (%)					
				CO	HC	NO _x	MP ₁₀ ¹	SO _x	
MÓVEIS	Automóveis		Gasolina	43,62	25,70	10,32	1,03	12,29	
			Etanol	5,38	3,64	0,81	nd	nd	
			Flex-Gasolina	7,22	6,61	1,31	0,53	6,92	
			Flex-Etanol	7,25	6,36	1,11	nd	nd	
	Evaporativa		-	-	16,54	-	-	-	
	Comerciais Leves		Gasolina	5,49	2,92	1,24	0,19	2,64	
			Etanol	0,50	0,40	0,08	nd	nd	
			Flex-Gasolina	0,74	0,73	0,15	0,06	0,86	
			Flex-Etanol	0,49	0,37	0,06	nd	nd	
			Diesel	0,31	0,25	2,82	1,51	0,56	
	Evaporativa		-	-	1,90	-	-	-	
	Caminhões		Semi-Leves	Diesel	0,04	0,07	0,41	0,35	0,18
			Leves		0,13	0,18	1,31	1,04	0,64
			Médios		0,25	0,59	2,45	2,09	1,05
			Semi-Pesados		1,83	1,74	17,90	9,58	10,30
			Pesados		1,79	1,53	17,71	9,37	10,14
	Ônibus		Urbanos	Diesel	1,76	1,43	17,13	10,41	0,51
Rodoviários			0,40		1,74	4,00	2,41	0,70	
Motocicletas		Gasolina	19,45	7,76	1,05	1,41	0,86		
		Flex	0,19	0,09	0,02	0,03	0,03		
FIXA	OPERAÇÃO DE PROCESSO INDUSTRIAL (2008)			3,16	11,28	20,12	10,00	52,33	
	BASE DE COMBUSTÍVEL LÍQUIDO (2009)				8,16				
	RESSUSPENSÃO DE PARTÍCULAS						25,00		
	AEROSSÓIS SECUNDÁRIOS						25,00		
	TOTAL			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

Fonte: (46)

Da análise de ambas as tabelas, pode-se perceber que as fontes móveis e fixas foram responsáveis pela emissão, para a atmosfera, de aproximadamente 132 mil t/ano de monóxido de carbono (CO), 42 mil t/ano de hidrocarbonetos (HC), 77 mil t/ano de óxidos de nitrogênio (NO_x), 4,5 mil t/ano de material particulado (MP) e 11 mil t/ano de óxidos de enxofre (SO_x). Desses totais, os veículos são responsáveis por 97% das emissões de CO, 81% de HC, 80% de NO_x, 48% de SO_x e 40% de MP (46).

Observa-se que os veículos leves são as principais fontes de emissão de monóxido de carbono e hidrocarbonetos, sendo os automóveis a gasolina os maiores emissores de CO (43,6%). Apesar do tamanho da frota de veículos a gasolina ser semelhante ao da frota de veículos flex, as emissões deste primeiro segmento são maiores, em função da maior idade

média dos veículos a gasolina (46). O segmento das motocicletas, mesmo tendo frota menor, também tem participação significativa na emissão de CO e HC (19,6% e 7,8%, respectivamente) em função de seus fatores de emissão serem maiores (46).

Destacam-se também as emissões de NO_x dos veículos pesados, equivalentes a 60,9% do total. Essa participação não deve se alterar em curto prazo, já que a redução importante da emissão de NO_x nos veículos pesados se dará somente quando a parcela de veículos produzidos a partir de 2012, que possui tecnologia que permite atender à Fase P7 do PROCONVE (a ser relatada mais a frente), for significativa. A redução dos hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio, considerados os principais precursores de ozônio, pode contribuir para a diminuição das concentrações deste poluente na atmosfera. Entretanto, além da frota circulante e das bases de combustível, outras fontes de precursores de O₃ na RMSP são consideradas importantes, como as emissões evaporativas que ocorrem no momento do reabastecimento dos tanques dos veículos e dos postos de gasolina, bem como de fontes industriais que emitem compostos orgânicos voláteis ou óxidos de nitrogênio (46).

Para os óxidos de enxofre, são importantes as emissões das indústrias e dos veículos. No caso das partículas inaláveis, além dos veículos e das indústrias contribuem ainda outros fatores como a ressuspensão de partículas do solo e a formação de aerossóis secundários.

A Figura 8 apresenta as emissões relativas dos diversos poluentes por tipo de fonte, onde se evidencia as emissões preponderantes de CO e HC dos veículos leves e NO_x dos pesados.

Figura 8 - Emissões Relativas por Tipo de Fonte – RMSP

Fonte: (46)

Essa figura é de fundamental importância, pois nela se observa que os veículos pesados (no caso desse trabalho, os ônibus urbanos) são os responsáveis pela emissão, em maior escala, dos óxidos de nitrogênio, material particulado (MP₁₀) e óxidos de enxofre. Um projeto que pretenda atender uma lei para reduzir o volume de emissões, por meio da adoção de combustíveis renováveis, necessita levar esses parâmetros em consideração.

Além disso, a exigência para utilização de combustíveis renováveis pretende que os mesmos possuam baixo teor de componentes tóxicos como compostos aromáticos, oleofínicos e outros, como também que contribuam para a redução de emissão de CO₂ (47).

Realizada a análise geral dos poluentes, parte-se agora para a análise detalhada dos poluentes que mais interessam ao estudo em questão, ou seja, aqueles elementos que estão intrinsecamente associados ao funcionamento dos motores móveis pesados, utilizados nos ônibus urbanos da cidade de São Paulo, nesse caso aproveitando-se dos dados considerados a todos os municípios da RMSP.

Inicia-se tal análise detalhada pelo Material Particulado (MP₁₀), atualmente o segundo maior agente poluente oriundo dos veículos pesados. A Figura 9 demonstra as concentrações máximas diárias para as partículas inaláveis em 2013.

Período de monitoramento: Cerqueira César – 01 a 13/01, 08/02 a 07/03, 13/03 a 02/05, 01/09 a 04/11 e 29/11 a 31/12/13; Itaim Paulista – a partir de 23/07/13.

Figura 9 - MP₁₀ – Classificação das Concentrações Máximas Diárias – RMSP – 2013

Fonte: (46)

Nota-se que não houve ultrapassagem do padrão de qualidade do ar de curto prazo (cujo limite é 120 µg/m³).

Na Figura 10 é apresentada a distribuição percentual da qualidade do ar em 2013, para o conjunto das estações da RMSP com monitoramento anual representativo. Em função da mudança da forma de classificação da qualidade do ar, decorrente dos novos padrões estaduais estabelecidos em 2013, não será feita a comparação da distribuição percentual de qualidade do ar com anos anteriores. No entanto, apenas para que se verifique como esse parâmetro vinha se apresentando antes da mudança de padrão, a Figura 11 apresenta o comportamento de tal elemento, extraída do Relatório da Qualidade do Ar de 2012 (48).

Base RMSP: Todas as estações fixas com monitoramento anual representativo.

Figura 10 - MP₁₀ – Distribuição Percentual da Qualidade do Ar – RMSP – 2013

Fonte: (46)

Base RMSP: Todas as estações fixas com monitoramento anual representativo, com exceção de Cambuci e São Miguel Paulista.

Figura 11 - MP₁₀ – Distribuição Percentual da Qualidade do Ar – RMSP – 2012

Fonte: (48)

Em ambas as figuras, observa-se que na maior parte do tempo, para o poluente MP₁₀, os níveis apresentados tem se mostrado bons, inclusive com uma tendência de elevação da categoria “boa” ao longo dos últimos anos (embora, como já citado, não deve-se fazer uma correlação direta entre informações de relatórios distinto da Qualidade do Ar)

A Figura 12 é semelhante à Figura 9; porém, apresenta as concentrações médias anuais para o MP₁₀.

Figura 12 - MP₁₀ – Classificação das Concentrações Médias Anuais – RMSP – 2013

Fonte: (46)

Como pode-se observar, houve ultrapassagem do padrão de longo prazo ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) na estação Osasco.

Por fim, analisando-se que grande parte das emissões de material particulado tem origem veicular, quando se comparam as concentrações atuais com as observadas no início da década passada, verifica-se que houve melhoria nos níveis de concentração deste poluente, em função das ações e programas de controle de emissões ao longo dos anos. Nos últimos anos as concentrações médias tendem à estabilidade indicando que, mesmo com as emissões veiculares cada vez mais baixas, estas são suficientes apenas para compensar o aumento da frota e o comprometimento das condições de tráfego, havendo uma pequena redução em 2012 e 2013, possivelmente associada às condições meteorológicas favoráveis observadas nestes anos (46). A Figura 13 demonstra essa tendência explicitada.

Base: Todas as estações com monitoramento representativo no ano, exceto: Cambuci e São Miguel Paulista.

Figura 13 - MP₁₀ – Evolução das Concentrações Médias Anuais – RMSP
Fonte: (46)

São exemplos das citadas ações e programas de controle de emissões tanto o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) como o programa de fiscalização de veículos pesados que emitem fumaça preta em excesso, desenvolvido pela CETESB (46).

Fazendo-se a mesma análise realizada para o MP₁₀ para o material particulado fino (MP_{2,5}) tem-se como concentrações máximas diárias para as partículas inaláveis em 2013 aquelas apresentadas na Figura 14.

Período de monitoramento: Marginal Tietê-Ponte dos Remédios (A) – 28/02/13 em diante; Parelheiros (A) – 27/04/13 em diante; Pinheiros (M) – 08/01 a 14/04/13.

Figura 14 - MP_{2,5} – Classificação das Concentrações Máximas Diárias – RMSP, Baixada Santista e Interior – 2013
Fonte: (46)

A CETESB opta, para esse poluente, por apresentar as concentrações máximas diárias de partículas inaláveis finas registradas nas estações manuais e automáticas de uma forma conjunta, estando no mesmo gráfico dados coletados de equipamentos da RMSP, Piracicaba, São José do Rio Preto e Santos-Ponta da Praia. Como pode-se observar, na RMSP, houve ultrapassagens do padrão diário de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas estações de Congonhas (1), Parelheiros (2) e Marginal Tietê - Ponte dos Remédios (6); nas estações da Baixada Santista e do Interior não houve ultrapassagens do padrão.

Quanto à distribuição percentual da qualidade do ar nas estações da RMSP, Baixada Santista e Interior, em 2013, para o $\text{MP}_{2,5}$, tem-se na Figura 15 o seguinte panorama:

Figura 15 - $\text{MP}_{2,5}$ – Distribuição Percentual da Qualidade do Ar – RMSP, Baixada Santista e Interior – 2013

Fonte: (46)

Em função da mudança da forma de classificação da qualidade do ar, decorrente dos novos padrões estaduais estabelecidos em 2013, não foi feita a comparação da distribuição percentual de qualidade do ar com anos anteriores.

Para o poluente $\text{MP}_{2,5}$, a CETESB não apresentou nem em 2012 seu desenvolvimento ao longo dos anos da última década, sendo este o motivo pelo qual não se faz essa análise aqui.

A Figura 16 apresenta as concentrações médias anuais para o $\text{MP}_{2,5}$.

Período de monitoramento: Marginal Tietê-Ponte dos Remédios (A) – 28/02/13 em diante; Parelheiros (A) – 27/04/13 em diante; Pinheiros (M) – 08/01 a 14/04/13.

Figura 16 - MP_{2,5} – Classificação das Concentrações Médias Anuais – RMSP, Baixada Santista e Interior – 2013

Fonte: (46)

Observa-se que o padrão anual de 20 µg/m³ não foi ultrapassado em nenhuma das estações com representatividade anual dos dados sendo, porém, atingido na estação de Congonhas (46).

A Figura 17 apresenta a evolução das médias anuais das partículas inaláveis finas das estações, considerando o critério de representatividade anual dos dados, mostrando que houve uma redução dos valores em 2013 em relação aos medidos em 2012, à exceção de Santos – Ponta da Praia (46). De maneira geral, o comportamento de MP_{2,5} foi semelhante ao do MP₁₀.

Figura 17 - MP_{2,5} – Evolução das Concentrações Médias Anuais – RMSP, Baixada Santista e Interior

Fonte: (46)

Quanto à relação $MP_{2,5}/MP_{10}$, as medições realizadas pela CETESB na RMSP, desde 1987, mostraram que o $MP_{2,5}$ corresponde a cerca de 60% do material particulado inalável (MP_{10}) (46).

Estudos realizados pela CETESB indicam que grande parte das partículas inaláveis finas na RMSP é de origem veicular, quer pela emissão direta deste poluente, quer pela emissão de gases, destacando-se os compostos orgânicos voláteis e o dióxido de enxofre, que reagem na atmosfera dando origem ao material particulado secundário. Nesta fração, o aporte de aerossóis provenientes da ressuspensão de poeira de rua não é significativo (46).

A relação média do $MP_{2,5}/MP_{10}$ das estações automáticas em Piracicaba, São José do Rio Preto e Santos – Ponta da Praia é de 0,4 e reflete condições locais diferentes das encontradas na RMSP, cuja relação média $MP_{2,5}/MP_{10}$ é de 0,6, com a fração fina, que é mais nociva à saúde, predominando sobre a fração grossa. Segundo a OMS, a razão de 0,5 é característica de zonas urbanas de países em desenvolvimento e corresponde ao limite inferior da faixa encontrada em regiões urbanas de países desenvolvidos (0,5-0,8) (46).

Outro poluente que merece uma análise detalhada de seu comportamento na atmosfera da RMSP é a fumaça. Porém, para esse elemento a CETESB apresenta somente a evolução das concentrações médias anuais para a RMSP (Figura 18) (46).

Figura 18 - FMC – Evolução das Concentrações Médias Anuais – RMSP
Fonte: (46)

Nota-se que as reduções deste poluente, observadas na década de 1980, refletiram (em grande parte) o controle sobre as atividades industriais, enquanto os ganhos ambientais mais recentes se devem, principalmente, ao controle sobre as emissões veiculares, destacando-se os programas e ações desenvolvidas pela CETESB para redução de emissão da fumaça preta em veículos diesel (já mencionado quando da análise do MP_{10}) (46).

A queda acentuada observada em 2012 e 2013, com os menores valores observados nos últimos dez anos, está associada às condições meteorológicas mais favoráveis observadas nestes anos, podendo também ser reflexo de outras ações que causaram a redução das emissões, principalmente dos veículos a diesel (46).

Também é apontado no documento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo que houve uma única ultrapassagem do padrão de curto prazo de fumaça ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) na estação de Pinheiros e não houve ultrapassagens do padrão anual ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) em nenhuma das estações (46).

Para as partículas totais em suspensão (PTS), a agência ambiental faz somente um breve relato da situação observada ao longo do ano de 2013. No que tange aos acontecimentos relativos à RMSP é citado que na estação Osasco o padrão diário de qualidade do ar de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foi ultrapassado duas vezes, atingindo $254 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nessa estação a média geométrica anual foi de $102 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superando o padrão anual de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nas demais estações da RMSP, não houve ultrapassagem dos padrões de curto e longo prazo (46).

Analisando-se agora o dióxido de nitrogênio (NO_2), da família do principal poluente oriundo dos veículos pesados (óxidos de nitrogênio – NO_x), observa-se pela Figura 19 a distribuição percentual da qualidade do ar em 2013, para o conjunto das estações da RMSP com monitoramento anual representativo. Como já apontado para outros poluentes, em função da mudança da forma de classificação da qualidade do ar, decorrente dos novos padrões estaduais estabelecidos em 2013, não foi feita a comparação da distribuição percentual de qualidade do ar com anos anteriores. No entanto, apenas para que se verifique como esse parâmetro vinha se apresentando antes da mudança de padrão, a Figura 20 apresenta o comportamento de tal elemento, extraído do Relatório da Qualidade do Ar de 2012 (48).

Base RMSP: Todas as estações fixas com representatividade anual.

Figura 19 - NO₂ – Distribuição Percentual da Qualidade do Ar – RMSP –2013

Fonte: (46)

Base RMSP: Todas as estações fixas e móveis com representatividade anual, com exceção da Lapa.

Figura 20 - NO₂ – Distribuição Percentual da Qualidade do Ar – RMSP –2012

Fonte: (48)

Ainda no que diz respeito ao Relatório da Qualidade do Ar de 2013, as medições de dióxido de nitrogênio (NO₂), que também é precursor do ozônio, mostraram que em 2013, na RMSP, houve uma única ultrapassagem do padrão horário (260 µg/m³) na estação Cerqueira César, com o valor de 284 µg/m³ (46).

O padrão anual (60 µg/m³), por sua vez, foi ultrapassado na estação Marginal Tietê - Ponte dos Remédios, em 2013, com o valor de 64 µg/m³. De maneira geral, não há uma tendência definida do comportamento deste poluente nas estações da RMSP, como também

pode-se observar pela Figura 21, que apresenta a evolução das concentrações médias anuais ao longo da última década (46).

Base RMSP: Todas as estações fixas com representatividade anual.

Figura 21 - NO₂ – Evolução das Concentrações Médias Anuais – RMSP

Fonte: (46)

Partindo-se para a análise do dióxido de enxofre (SO₂), da família do terceiro principal poluente oriundo dos veículos pesados (óxidos de enxofre – SO_x), inicia-se mais uma vez tal análise detalhada pelas concentrações máximas diárias observadas em 2013 (Figura 22).

Período de Monitoramento: Marginal Tietê-Ponte dos Remédios – de 03/12 a 31/12/13.

Figura 22 - SO₂ – Classificação das Concentrações Máximas Diárias – RMSP, Baixada Santista e Interior – 2013

Fonte: (46)

Nota-se que não houve ultrapassagem do PQAr diário ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e do anual ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de dióxido de enxofre (SO₂) em nenhuma das estações de monitoramento da RMSP, sendo que a qualidade do ar foi classificada como BOA em todas as medições de curto prazo realizadas (46).

Ainda na Região Metropolitana, a estação automática de São Caetano do Sul apresentou a maior concentração máxima diária, com valor de $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$; a maior média anual de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foi observada nas estações São Caetano do Sul, Congonhas e Osasco, dentre as estações que tiveram o monitoramento anual representativo (46).

Na Figura 23 é apresentada a distribuição percentual da qualidade do ar em 2013, para o conjunto das estações da RMSP (nesse caso, em associação com dados obtidos da Baixada Santista e do Interior) com monitoramento anual representativo. Em função da mudança da forma de classificação da qualidade do ar, decorrente dos novos padrões estaduais estabelecidos em 2013, não foi feita a comparação da distribuição percentual da qualidade do ar com anos anteriores (46) e nem no Relatório da Qualidade do Ar de 2012 a CETESB apresentou essa série histórica.

Base RMSP: Todas as estações fixas com representatividade anual.

Figura 23 - SO₂ – Distribuição Percentual da Qualidade do Ar – RMSP, Baixada Santista e Interior – 2013
Fonte: (46)

A Figura 24 apresenta as concentrações médias anuais para o SO₂ na RMSP, na Baixada Santista e no Interior. Nota-se que os índices obtidos encontram-se bem abaixo do padrão de longo prazo (40 µg/m³).

Período de Monitoramento: Marginal Tietê-Ponte dos Remédios – de 03/12 a 31/12/13.

Figura 24 - SO₂ – Classificação das Concentrações Médias Anuais – RMSP, Baixada Santista e Interior – 2013
Fonte: (46)

Por fim, quando se comparam as concentrações atuais com as observadas no início da década passada, verifica-se que houve melhoria nos níveis de concentração deste poluente. Os níveis de dióxido de enxofre vêm sendo reduzidos lentamente ao longo dos anos na RMSP como resultado, principalmente, do controle exercido sobre as fontes fixas e da redução do teor de enxofre dos combustíveis, tanto industrial como automotivo (46).

A partir de 01/01/2009, um diesel contendo no máximo 50 ppm de enxofre (diesel S50) passou a ser fornecido para as frotas cativas da cidade de São Paulo em substituição ao diesel S500 (com até 500 ppm de enxofre). A partir de 01/01/2010 essa oferta foi estendida para as frotas cativas de toda a Região Metropolitana de São Paulo. A partir de 01/01/2012, o diesel S50 passou a ser fornecido em diversos postos de abastecimento do país, incluindo a RMSP e outras cidades do Estado de São Paulo. A partir de 01/01/2013, o diesel S10 (com até 10 ppm de enxofre) passou a ser fornecido em diversos postos de abastecimento do país, em substituição ao diesel S50 (46). A Figura 25 apresenta essa tendência explicitada.

Figura 25 - SO₂ – Evolução das Concentrações Médias Anuais – RMSP

Fonte: (46)

Essas são as informações a respeito dos poluentes envolvidos com os ônibus urbanos na Cidade de São Paulo. De uma forma geral, o que as várias figuras apresentam é que apesar de se noticiar tanto formalmente (inclusive, academicamente) quanto informalmente (reportagens de jornais, matérias de televisão, etc.), a qualidade do ar tem sido classificada com qualidade “boa” na maior parte dos dias do ano, com tendência de queda ou de estabilização dos diversos poluentes originários dos veículos pesados ao longo dos últimos anos. Mesmo com limites mais restritivos, ainda não se observaram situações permanentes ou

constantes de ultrapassagem desses novos valores, embora com o passar do tempo essa possibilidade tenda a se elevar, já que a meta prevista pela nova regulamentação é se chegar ao Padrão Final (PF), cujo valor situa-se (como apresentado na Tabela 11) distante dos atuais patamares que estão sendo considerados (M1) em função da lei ser ainda recente.

4.3.1.PROCONVE

O Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores (PROCONVE) foi instituído por meio da Resolução nº 18, de 06 de Maio de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e tinha como objetivos iniciais (49):

- Reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos;
- Promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes;
- Criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso;
- Promover a conscientização da população com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores;
- Estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados;
- Promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos, postos à disposição da frota nacional de veículos automotores, visando a redução de emissões poluidoras à atmosfera;

Embora surgido em meados da década de 1980, o PROCONVE vem sendo atualizado periodicamente, de forma a refletir as novas exigências relacionadas aos limites de poluentes, cada vez mais restritivas, sendo esse o primeiro de seus objetivos.

Com isso, tem levado ao contínuo melhoramento dos demais objetivos inicialmente concebidos, relativos tanto ao desenvolvimento tecnológico da indústria nacional fabricante de veículos automotores, como às exigências ambientais relativas às fontes de poluição móveis, passando ainda pelo incremento das composições dos combustíveis e atingindo mesmo a conscientização dos consumidores.

Dessa forma, o Programa em questão tem sido dividido em fases, tanto para veículos leves (até 3.856 kg de Peso Bruto Total ou Massa Total Máxima) (fases “L”) como para os

veículos pesados (acima de 3.856 kg de Peso Bruto Total ou Massa Total Máxima) (fases P) (50).

A Figura 26 apresenta a estratégia de implantação para os veículos pesados. Nela pode-se correlacionar a fase de implantação em questão, seu período de vigência e a característica marcante daquela etapa, bem como as principais inovações que ocorreram nos objetivos do programa e que possibilitaram seu avanço.

Fase	Implantação	Característica / inovação
Fase P1 e P2	1990-1993	Já em 1990 estavam sendo produzidos motores com níveis de emissão menores que aqueles que seriam requeridos em 1993 (ano em que teve início o controle de emissão para veículos deste tipo com a introdução das fases P1 e P2). Nesse período, os limites para emissão gasosa (fase P1) e material particulado (fase P2) não foram exigidos legalmente.
Fase P3	1994- 1997	O desenvolvimento de novos modelos de motores visaram a redução do consumo de combustível, aumento da potência e redução das emissões de óxidos de nitrogênio (NO _x) por meio da adoção de intercooler e motores turbo. Nesta fase se deu uma redução drástica das emissões de CO (43%) e HC (50%).
Fase P4	1998 - 2002	Reduziu ainda mais os limites criados pela fase P3.
Fase P5	2003 - 2008	Teve como objetivo a redução de emissões de material particulado, NO e HC.
Fase P6	2009 - 2011	Assim como a fase P5, a fase P6, estabelecida pela Resolução CONAMA nº 315/2002, teve como objetivo principal a redução de emissões de material particulado, NO _x e HC.
Fase P7	A partir de 2012	Além de reduzir o limite para emissão de NO _x , a fase P7 estabeleceu a obrigatoriedade de incorporação de dispositivos ou sistemas para autodiagnose (OBD). Outra melhoria expressiva advinda dessa fase é relacionada à qualidade dos combustíveis, cujo teor de enxofre foi estabelecido em no máximo 10 ppm. Em termos de novas tecnologias para redução das emissões, destaca-se a recirculação dos gases de escape (EGR) associado ao filtro de partículas (DPF) e o catalizador de redução seletiva (SCR), que associado ao ARLA 32, um insumo a base de uréia, é capaz de reduzir o NO _x .

Figura 26 - Estratégia de Implantação do PROCONVE para Veículos Pesados (Fases “P”)

Fonte: (50)

Na Figura 26, OBD é *On Board Diagnostic*, EGR é *Exhaust Gas Recirculation*, DPF é *Diesel Particulate Filter*, SCR é *Selective Catalyst Reduction* e ARLA é Agente Redutor Líquido de NO_x Automotivo.

Exemplos das várias inovações tecnológicas que vêm ocorrendo ao longo dos anos são apresentados na Figura 27 (51)

Figura 27 - Evoluções Tecnológicas em Função das Diversas Fases do PROCONVE

Fonte: (51)

Quanto aos limites adotados e citados na Figura 26, a Figura 28 apresenta a evolução existente nas diversas fases do Programa, tornando-se cada vez mais restritivo em relação às emissões.

Figura 28 - PROCONVE – Limites de Emissões para Veículos Pesados (Fases “P”)

Fonte: (50)

Nota-se que para cada poluente, existem vários limites estabelecidos. Isso ocorre tanto pela consideração de que existem veículos pesados que utilizam motores diesel e veículos pesados que utilizam motores a gás natural, como pelo escalonamento da obrigação de atendimento de um determinado limite. Por exemplo, em geral, o atendimento aos limites de emissões deve ser observado prioritariamente pelos ônibus urbanos, em decorrência de sua região de circulação e da abrangência de pessoas que são expostas às suas emissões. Posteriormente, podem ser obrigados à atender os limites os micro-ônibus e o restante da frota alvo, de maneira parcelada.

Ainda no que tange ao marco normativo estabelecido na resolução CONAMA nº 315/2002, a fase P6 não foi implantada na data prevista em razão de atrasos na especificação do diesel a ser comercializado no país e à conseqüente inviabilização da produção de combustíveis e de inovações tecnológicas de motores.

As etapas P5 e P6 foram definidas em 2002, mas a especificação do óleo diesel adequado para a fase P6 foi publicada somente em 2007 (51).

Visto que os veículos P6 seriam comercializados já a partir de 2008, não houve tempo suficiente para desenvolver, homologar e produzir os mesmos, pois o prazo para o desenvolvimento de um veículo obedece em geral o exposto na Figura 29 (51).

Figura 29 - Prazo Característico para Desenvolvimento de Veículos

Fonte: (51)

Assim, não foi possível iniciar a comercialização dos veículos a diesel das Fases P6 em janeiro de 2009 devido à indisponibilidade do diesel adequado, de tempo para o desenvolvimento dos veículos e da logística de distribuição de combustível e uréia.

A redução da concentração de enxofre presente no combustível constituía condição *sine qua non* para o atendimento dos limites estabelecidos na fase P6, uma vez que a formação de compostos de enxofre na combustão contribui para o denominado "envenenamento" do catalisador, não propiciando o bom funcionamento do mesmo na redução das emissões de NO_x e HC (51).

Para compensar esse atraso, o CONAMA entendeu que deveria adotar fases mais severas do que as anteriores e promulgou a Resolução nº 403/2008, que estabeleceu a fase P7 a partir de 1º de Janeiro de 2012, tendo como principal foco a redução do material particulado,

formado pela queima incompleta de combustível e cuja concentração é agravada pelos contaminantes do combustível e do óleo lubrificante. O material particulado causa danos aos sistemas respiratório e cardiovascular. Já os óxidos de nitrogênio, que são novamente foco dessa fase também, são formados na câmara de combustão em virtude da reação do nitrogênio com o oxigênio e reagem nas camadas superiores da atmosfera, formando ozônio e chuva ácida. Esses poluentes também atacam o sistema respiratório dos seres vivos (51).

Apenas como título de informação, as fases do PROCONVE para veículos pesados correlacionam-se com as fases do Programa Europeu de controle de emissões são apresentadas na tabela 19.

Tabela 19 - Correlação entre PROCONVE e Programa Euro

Período	1990 ~ 1993	1994 ~ 1997	1998 ~ 2002	2003 ~ 2008	2009 ~ 2011	2012 ~
PROCONVE	P1 e P2	P3	P4	P5	P6	P7
Euro	Euro 0	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V

Fonte: ADAPTADO DE (52)

Atualmente, o Programa Euro para veículos pesados está em sua fase VI e estabelece reduções ainda mais restritas de emissões para óxidos de nitrogênio (0,4 g/kWh) e para material particulado (0,01 g/kWh), para todos os combustíveis de motores (51).

4.4. Experiências Realizadas

Como já apontado no início desse texto, desde 1994 a Prefeitura de São Paulo vem promovendo a utilização de vários combustíveis alternativos associados a diferentes tecnologias, em caráter experimental, na frota de ônibus urbanos da cidade.

Experimental, pois nenhum desses energéticos e tecnologias, até o presente momento, substituiu o uso do óleo diesel de forma consistente e definitiva.

A partir de 2011, tais iniciativas ficaram a cargo do chamado Projeto Ecofrota, que visava a realização de testes com combustíveis renováveis, de forma a atender à então nova legislação relativa às mudanças climáticas no município.

No texto a seguir será apresentado um panorama inicial de tais experiências, as principais características envolvidas e os problemas enfrentados, caso existam, de forma a se realizar posteriormente a apresentação dos resultados dos diversos testes e, então, efetuar-se uma comparação com a finalidade de se indicar a melhor alternativa que o Município de São Paulo poderá ter quanto a esse assunto.

4.4.1. Gás Natural

Embora não sendo foco do Projeto Ecofrota, que somente procurou realizar testes com combustíveis renováveis, o gás natural foi pioneiro em termos de combustível alternativo para a frota de ônibus urbanos da Cidade de São Paulo (com exceção dos ônibus elétricos, sempre presentes na vida da cidade). Assim, entender sua história é peça importante na contextualização do atual momento que se passa diante da questão da substituição de combustíveis.

A história do ônibus a gás em São Paulo iniciou-se em meados da década de 1980 por meio de um convênio de cooperação técnica firmado entre a Companhia Municipal de Transporte Coletivo (CMTc), a Mercedes Benz do Brasil (MBB), o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), prevendo a utilização experimental do biogás extraído do lixo urbano (53).

No Brasil, além de São Paulo, cidades como Natal, Recife e Rio de Janeiro utilizaram precocemente o gás natural para tração veicular, como resposta ao choque do Petróleo ocorrido no final da década de 1970. No entanto, nessa época, a infraestrutura de distribuição de gás natural não estava bem desenvolvida nas cidades, sendo que praticamente somente São Paulo e Rio de Janeiro possuíam uma rede de gás mais bem estabelecida, porém de dimensões limitadas. Resolveu-se, então, abastecer os ônibus com biogás, de forma a resolver tanto a questão do suprimento de combustível como a questão ambiental relacionada com a disposição de resíduos (53).

Os testes foram realizados até 1986, mas com o arrefecimento dos preços do Petróleo no mercado internacional não se vislumbrou (de forma equivocada) um maior interesse em se continuar desenvolvendo uma tecnologia de ônibus a gás natural. Em 1989, a CMTc realizou novos testes com uma pequena frota, os quais foram suficientes para constatar que motores dedicados possuíam um desempenho superior a motores convertidos. Esses testes direcionaram o desenvolvimento tecnológico da Mercedes-Benz, que posteriormente (1991/1992) vendeu 60 ônibus à CMTc. Nessa época, iniciaram-se as obras do posto de abastecimento de gás situado no bairro da Água Branca, um marco na história do gás natural veicular (GNV) na Cidade de São Paulo (53).

Esse lote de veículos apresentou diversos problemas técnicos, tendo seus testes interrompidos e posteriormente retomados, não mais pela CMTC que havia sido extinta (como apresentado no capítulo 4.2), mas pela Cooperativa Comunitária de Transportes Coletivos (CCTC), que passou a operar a frota da CMTC (53).

Como já mencionado, essa época foi o período inicial do PROCONVE, tendo-se estabelecidos limites de emissões de mais fácil atendimento com o gás natural, dando novo ânimo à cadeia produtiva desse setor.

Esse processo culminou na aprovação da Lei Municipal nº 10.950 de 24/01/1991, que estabelecia que as empresas concessionárias ou permissionárias de transporte coletivo na capital deveriam substituir seus ônibus ou motores a óleo diesel por outros movidos a gás natural num prazo de 10 anos, não estabelecendo, no entanto, níveis intermediários para o alcance de meta tão ousada, parecendo ter sido aprovada sem nenhuma consulta prévia ou estudo das condições do mercado, já que existiam os mesmos obstáculos que haviam dificultado (ou mesmo impedido) a viabilização do ônibus a gás no passado (53), ou seja:

- Tecnologia embrionária relativa a motores e equipamentos acessórios necessários para o abastecimento do gás;
- Dificuldades logísticas (a ausência de postos e redes de distribuição de gás);
- Ausência de garantia no suprimento de gás (em quantidade e qualidade adequadas) e
- Abrangência limitada da iniciativa, restrita ao âmbito exclusivamente municipal.

Cinco anos após a promulgação da Lei, cerca de 100 veículos eram tracionados por gás natural, por meio de motores de 1ª geração, que ainda apresentavam muitos problemas (53).

Em 5 de julho de 1996 foi promulgada a Lei Municipal nº 12.140, a Segunda Lei do Ônibus a Gás da Cidade de São Paulo, alterando de 2001 (10 anos após 1991) para 2007 o prazo de substituição total da frota, bem como prevendo um programa escalonado para a realização de tal substituição (53).

Esta nova Lei do Ônibus a Gás atribuiu à SPTrans a responsabilidade pela elaboração e implementação do Plano de Alteração de Combustível (PAC), a qual por sua vez, criou um comitê gestor para estabelecer os critérios de introdução do PAC. Tal comitê não realizou uma boa gestão em termos de estruturar, principalmente do ponto de vista financeiro, a transição da barata tecnologia diesel para a dispendiosa tecnologia a gás (mais cara devido aos vários motivos já expostos), o que levou a maioria dos empresários a buscar formas jurídicas para o não cumprimento do Programa (53).

No final de 1999, operavam no município de São Paulo, por meio de quatro empresas, cerca de 250 ônibus a gás, que incluíam as frotas das Viações Garagem Americanópolis de Transportes Urbanos (GATUSA), Santa Madalena (posteriormente Oak Tree), bem como os ônibus antigos das empresas CCTC e da Viação Jaraguá (que adquiriram os ônibus de primeira geração anteriores ao PAC) (53).

Um exemplar dos modelos de então é visto na Figura 30.

Figura 30 - Ônibus a Gás Natural da GATUSA

Fonte: (54)

A partir de 2000, o PAC estagnou definitivamente, assim como os projetos públicos para desenvolvimento do transporte urbano a gás natural. Algumas iniciativas ainda foram tentadas como a criação da tarifa de gás natural para o transporte público em 2004. No entanto, a frota de ônibus a gás na cidade de São Paulo seguiu declinando ano a ano até a sua extinção (53). Hoje, não existem mais ônibus movidos a gás natural no Município de São Paulo.

O último modelo de ônibus a gás utilizado na cidade foi o de chassis OH 1623 LG com motor M 366 LAG M99 da Mercedes Benz (54).

Tal motor possuía, entre outros atributos, as seguintes características:

- Ciclo Otto Gás;
- Calibração com mistura pobre (Fator de excesso de ar λ em 1,5);
- Turbo alimentação com pós resfriador de ar;
- Controle eletrônico do motor;
- Potência máxima de 230 CV @ 2600 RPM;
- Momento máximo de 720 N.m @ 1560 RPM;
- Consumo específico de combustível de 198 g/kWh @ 1370 RPM;
- Emissões reduzidas iniciais em torno de 50% do Euro II.

Dessa forma, tinha-se

- $\text{NO}_x < 3,50 \text{ g/kWh}$;
- $\text{CO} < 2,00 \text{ g/kWh}$;
- $\text{HC} < 0,55 \text{ g/kWh}$.

Ou, em termos gráficos, apresentam-se tais valores na Figura 31.

Figura 31 - Emissões Produzidas pelo Motor MBB Modelo M 366 LAG M99

Fonte: (54)

4.4.2.Elétrico

Como explanado no transcorrer desse texto, os ônibus elétricos constituem-se na única alternativa sempre presente aos ônibus movidos a óleo diesel. Na verdade, se for considerado o período no qual trafegavam pelas vias paulistanas os bondes elétricos, são até anteriores aos “tradicionais” ônibus.

Os ônibus elétricos utilizados no município de São Paulo, de acordo com a SPTrans, são divididos nas seguintes categorias (55):

- Trólebus;
- Híbrido;
- Monotrilho (considerando a nova perspectiva de transporte coletivo em andamento).

Tal classificação, embora existente, não é usual, já que exemplares de ônibus híbridos e monotrilho ou estão em fase de testes embrionários ou ainda nem sequer existem no contexto da cidade.

Como já demonstrado, o trólebus é usado no Brasil há quase 60 anos; porém, sua participação é muito baixa nos transportes públicos. Cidades como Recife, Fortaleza, Belo Horizonte, Porto Alegre e Araraquara já tiveram frotas de trólebus, mas esses veículos estão hoje em operação somente na Cidade de São Paulo (190 veículos), na Região Metropolitana de São Paulo (no corredor Santo André, São Bernardo do Campo, Diadema (ABD) que possui 78 veículos) e em Santos (com 06 veículos). Parece haver uma tendência de desativação gradual dos trólebus, cuja frota nacional já foi superior a 600 veículos (56).

O conceito do trólebus, também conhecido como ônibus elétrico, é baseado em um veículo tracionado por motor elétrico alimentado externamente por uma rede aérea de cabos. A energia elétrica é captada dos cabos alimentados por coletores de corrente em forma de alavancas, conjunto conhecido como *trolley* (56).

O trólebus não emite poluição local, mas indiretamente pode ser poluidor, se for alimentado com energia elétrica proveniente de usinas termoeletricas. O projeto do veículo permite o uso de freio regenerativo, que recupera energia cinética em frenagens e declives, converte para energia elétrica e pode devolvê-la à rede de distribuição, se isso for regulatoriamente aceito. São suas desvantagens os altos custos das redes de cabos, a mobilidade limitada às vias servidas por redes exclusivas e o uso mais intenso de energia na ponta de consumo do sistema elétrico, que coincide com o horário de pico do transporte urbano. Ainda contra o trólebus, há atualmente uma tendência urbanística de supressão das redes aéreas de cabos nas cidades, por motivos estéticos e de segurança (56).

Na Cidade de São Paulo, são características relativas aos trólebus citadas pela SPTrans (55):

- A extensão da rede instalada (bifilar simples): 184 km (mais que a rede existente de corredores de ônibus);
- A energia consumida: 1.862.600 kWh/ano;
- A quilometragem média percorrida pela frota: 842.276 km/ano.

O fabricante atual é a Eletra Industrial Ltda, uma empresa com sede em São Bernardo do Campo (sendo os chassis dos veículos da Volkswagen e da Scania) (57).

É de se mencionar ainda que atualmente a Prefeitura está testando um trólebus autônomo (Figura 32), que pode funcionar sem alimentação de rede elétrica por 10 km. Isso permite que em caso de falta de energia ou liberação do *trolley* da rede elétrica, o trólebus possa seguir até um ponto com alimentação de energia elétrica ou no qual possa parar para ser reconectado à rede bifilar sem causar grandes transtornos ao sistema de trânsito (57).

Figura 32 - Trólebus Autônomo
Fonte: ADAPTADO DE (58)

4.4.3.Híbrido

O conceito híbrido - elétrico se refere ao uso de mais de um tipo de energia motriz embarcada em um veículo, sendo que a energia de tração transmitida às rodas é total ou parcialmente originária de um ou mais motores elétricos (59).

No ônibus diesel – elétrico as rodas são tracionadas por um motor elétrico que recebe energia de um gerador acionado por um motor a diesel. Nesta configuração, o motor a diesel opera em rotação constante, dimensionado para funcionar em seu ponto ótimo, no qual há menor consumo de combustível e mínima emissão de poluentes por unidade de potência gerada. O veículo também é dotado de baterias que armazenam a energia do gerador para posteriormente fornecê-la ao motor elétrico, quando necessário (59).

Com o ônibus em movimento, o motor elétrico recebe energia diretamente do gerador e das baterias. Nas paradas, o gerador recarrega as baterias. Esta configuração permite a utilização de um motor de menor potência do que aquele utilizado em um ônibus convencional (somente com o motor de combustão) (59).

O ônibus híbrido permite a recuperação de parte da energia cinética de frenagem ou em declives (quando não há necessidade de aceleração), situações essas nas quais o motor elétrico de tração atua como um gerador e passa a carregar as baterias. Nos veículos convencionais, essa energia é dissipada nos freios sob a forma de calor. Dimensionando-se adequadamente o projeto do banco de baterias, poderia-se atribuir ao ônibus híbrido autonomia para trafegar com o motor à combustão desligado. Nesta condição, o ônibus assumiria a característica de um trólebus, com emissão zero de poluentes locais. No entanto, aspectos como o peso das baterias teriam que ser observados e bem especificados, já que são pontos críticos na construção de um veículo desses, podendo impactar em sua autonomia ou em sua capacidade de transporte de passageiros (59).

O ônibus híbrido também é possível na configuração gás - elétrico, não disponível no Brasil, no qual o motor a combustão é movido a gás natural.

A Companhia de Gás de São Paulo (Comgás) chegou a iniciar um projeto de pesquisa e desenvolvimento para a fabricação de um protótipo desses veículos, mas o estudo não foi concluído devido a fatores técnicos, financeiros e de planejamento (60).

Na experiência realizada pela Prefeitura de São Paulo nos últimos anos, houve a formalização de um convênio de cooperação técnica entre SPTrans, empresas operadoras de ônibus e a Fundação Clinton para realização de testes com ônibus híbridos de diferentes configurações (55).

Em Junho de 2011, ocorreu o início dos testes em São Paulo com um ônibus híbrido do fabricante Volvo. A especificação técnica desse exemplar está disponível no Anexo C - Especificações Técnicas de Chassis de Ônibus Urbanos Híbridos movidos a Diesel (Volvo).

Os testes realizados pelas entidades citadas demonstraram que o ônibus híbrido apresentou uma redução de aproximadamente 30% no consumo de combustível em comparação ao seu similar movido a diesel (55).

A Figura 33 apresenta um comparativo inicial entre as emissões do veículo que estava sendo testado (para material particulado e óxidos de nitrogênio) e os padrões europeus de emissões.

Figura 33 – Estimativa de Emissões para Ônibus Híbrido em Relação aos Padrões Europeus
Fonte: (55)

4.4.4.Etanol

Em 1997, durante o Governo Mario Covas, no Estado de São Paulo, a Scania trouxe dois ônibus a etanol para demonstração no Brasil. Os testes iniciais foram realizados na Região Metropolitana de São Paulo, mais especificamente no corredor ABD, e gerenciados pela Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo (EMTU). Na época, os veículos testados possuíam motor ciclo Otto (61).

No entanto, ônibus a etanol vêm operando na Suécia desde 1985, quando foram realizados os primeiros testes em escala comercial. Desde então, os motores foram aperfeiçoados, estando atualmente em sua terceira geração. A cidade de Estocolmo, conhecida internacionalmente por sua atenção com o meio ambiente, opera uma frota de cerca de 800 ônibus que utilizam esse energético (40% de uma frota que contém ao redor de 2.000 ônibus). Até 2025 esse número deverá aumentar gradualmente, pois o óleo diesel deixará de ser utilizado no transporte público por razões ambientais (61).

De 2007 a 2010, a EMTU acompanhou a operação bem sucedida de outro ônibus a etanol na Região Metropolitana de São Paulo, no mesmo corredor ABD, que acumulou aproximadamente 120 mil km rodados. Nesse caso específico, o teste estava inserido no âmbito do projeto BEST (*Bioethanol for Sustainable Transport*), uma iniciativa da União Européia, coordenada pela Prefeitura de Estocolmo, na Suécia. Seu objetivo foi incentivar o uso do etanol, em substituição ao diesel, no transporte público urbano no Brasil e no mundo. O veículo utilizado nos testes foi avaliado a fim de se verificar sua eficiência energética e, principalmente, o possível benefício ambiental do etanol. Após os resultados, a coordenação do projeto forneceu recomendações para a formulação de políticas públicas de incentivo ao uso dessa tecnologia. O Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO), do Instituto de Eletrotécnica e Ambiente (IEE), da Universidade de São Paulo (USP), foi incumbido de realizar duas das metas do projeto (61).

Além de São Paulo, a primeira cidade das Américas a realizar esse tipo de teste, outras oito localidades da Europa e Ásia, participaram do projeto: Estocolmo (Suécia), Madri e País Basco (Espanha), Rotterdam (Holanda), La Spezia (Itália), Somerset (Inglaterra), Nanyang (China) e Dublin (Irlanda) (61).

Uma das metas brasileiras do projeto BEST consistia em avaliar o uso do etanol como combustível alternativo ao diesel, no transporte público, por meio do acompanhamento comparativo do desempenho operacional, tomando como referência um ônibus diesel equivalente. A tecnologia utilizada, um motor diesel adaptado para funcionar com etanol, foi desenvolvida novamente pela Scania e tecnicamente aperfeiçoada (61).

Desde 2005, o CENBIO buscava parceiros para desenvolver o projeto BEST no Brasil e em 2007 essas parcerias foram concretizadas. A Scania Latin América importou o chassi e o motor da Suécia, a Marcopolo projetou, construiu e forneceu a carroceria, a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) forneceu o etanol para os testes, a SEKAB forneceu o aditivo, de fabricação própria, para ser adicionado ao etanol, enquanto que a Petrobrás importou o mesmo (o aditivo). Essa mistura de aditivo ao etanol e sua conseqüente distribuição às operadoras de ônibus, ficou a cargo da BR Distribuidora. À época, para a realização de testes iniciais, a Copersucar também colaborou com a iniciativa e importou o primeiro lote de etanol aditivado (61).

Como já mencionado, a Scania iniciou a pesquisa sobre motores ciclo diesel, movidos a etanol aditivado, no ano de 1985 e no ano de 1989 os primeiros ônibus movidos com esse energético foram oficialmente incorporados à frota de ônibus de Estocolmo, visando à substituição da frota diesel que circulava no centro urbano. Semelhante à iniciativa da prefeitura paulistana, o objetivo do programa sueco era reduzir a poluição gerada na cidade, na época com uma grande concentração de poluentes (61).

A adaptação do motor diesel para o etanol não requer mudanças significativas, segundo a Scania, que trouxe para o Brasil naquele momento, um motor de nova geração (269 kW ou 230 HP) com taxa de compressão de 28:1, injeção eletrônica e injetores com maior capacidade volumétrica (61).

As diferenças encontradas no motor devem-se ao fato do etanol não possuir a propriedade de autoignição por compressão, que é o princípio de funcionamento do motor ciclo diesel. Dessa forma, para que o motor ciclo diesel movido a etanol funcione a contento, além de uma alta taxa de compressão, o combustível deve ser aditivado em 5% no seu volume com um aditivo promotor de ignição, que garanta a lubricidade da mistura de acordo com os padrões do diesel (61).

O aditivo é necessário para que a combustão ocorra mais rapidamente e com maior eficiência energética. Na época, o combustível era comercialmente conhecido como E95 (ou Etamax D – atualmente ED95), em referência ao percentual de etanol em volume, que é de 95%. A SEKAB era a única empresa fornecedora de ED95 existente (61).

A Scania e SEKAB, ambas de nacionalidade sueca, iniciaram um desenvolvimento conjunto nessa área de atuação desde 1985, sendo parceiras até os dias atuais no fornecimento de componentes e combustíveis para ônibus movidos a etanol aditivado (61).

Devido ao menor conteúdo energético do etanol em relação ao diesel, o ônibus a etanol apresenta um consumo de combustível médio maior que o veículo movido a diesel de mesma potência (1 L de diesel contém a mesma energia que 1,7 L de etanol), o que justifica que o ônibus a etanol necessite de um volume 60% maior de combustível para percorrer a mesma distância ou de reabastecimentos a serem feitos em intervalos menores de tempo (61).

A partir de 2009 começaram a ser disponibilizados no mercado sueco os primeiros ônibus híbridos com motor de combustão a etanol (61).

Em 2011 foram iniciados testes na Cidade de São Paulo com a operação de 50 ônibus Scania, modelo K 270 4×2, de 13,2 metros com piso baixo (posteriormente foram adquiridos mais 10 exemplares, dessa vez do modelo K 270 6×2*4, de 15,0 metros com piso baixo). Os modelos adquiridos continuam a fazer parte da terceira geração da tecnologia etanol da Scania e suas especificações técnicas estão disponíveis no Anexo B - Especificações Técnicas de Chassis de Ônibus Urbanos movidos a Etanol (Scania) (55).

Há de se destacar que essa encomenda de 50 ônibus movidos a etanol para a Scania do Brasil traduziu-se em um ponto de atenção no mercado automobilístico, já que apesar de diversas iniciativas realizadas (incluindo-se aí o projeto BEST), o mercado de ônibus a etanol, até então, estava concentrado na Suécia (62).

Da mesma forma que o exemplar avaliado pelo CENBIO, os ônibus adquiridos funcionam com 95% de etanol e 5% de aditivo promotor de ignição, ambos os elementos já misturados em um único produto, mas agora distribuído nacionalmente pela Raízen (empresa formada a partir da parceria entre Shell e Cosan) e pela ÚNICA (55).

Nos dois primeiros meses de operação esses veículos apresentaram um desempenho de 1,1 km/l (55). No entanto, a SPTrans não forneceu maiores detalhes do consumo desses ônibus ao longo do tempo, nem novas informações relativas ao seu desempenho.

A Figura 34 apresenta as emissões iniciais previstas para estes tipos de veículo em comparação com o padrão Europeu.

Figura 34 – Estimativa de Emissões para Ônibus Movido a Etanol em Relação aos Padrões Europeus
Fonte: (55)

Embora não apresentada na Figura 34, uma questão relacionada à substituição do diesel pelo etanol refere-se ao fato do material particulado liberado com a combustão do diesel ser reduzido em, aproximadamente, 90%, enquanto que o SOx não é emitido, já que na composição do etanol não existem elementos constituintes desse poluente, que é grande causador de problemas respiratórios nos seres humanos (61), assim como o material particulado e os óxidos de nitrogênio mencionados no capítulo relativo à análise da questão ambiental.

4.4.5.Biodiesel

4.4.5.1.De Cana-de-Açúcar

No final de 2011, a frota de ônibus do sistema de transporte municipal de São Paulo recebeu os primeiros 80 ônibus de um total de 160 veículos movidos a 10% de diesel de cana-de-açúcar. Tal situação só foi possível graças à parceria entre a Amyris do Brasil, a Prefeitura da Cidade de São Paulo, a Mercedes-Benz do Brasil, a BR Distribuidora e a Viação Santa Brígida (55).

A Amyris do Brasil Ltda. é uma subsidiária da americana Amyris Inc., focada no desenvolvimento, produção e comercialização de combustíveis e produtos químicos renováveis utilizando cana-de-açúcar como matéria-prima. Para tanto, a empresa utiliza uma tecnologia denominada biologia sintética que desenvolve leveduras capazes de produzir produtos alternativos aos derivados de petróleo por meio de processos fermentativos (63).

“A biologia sintética se traduz em modificações genéticas em linhagens comerciais da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, responsável por transformar o caldo de cana em etanol durante o processo de fermentação nas usinas”. (63) Durante tal transformação, a levedura em questão produz uma substância chamada farneseno, ao invés do etanol, que pode ser utilizado em qualquer motor diesel (63).

Na verdade, o farneseno é a molécula principal da Amyris e possui uma gama muito ampla de aplicações, que vai de cosméticos a biocombustíveis. Quando o farneseno é hidrogenado, transforma-se em farnesane, essa sim a substância que pode ser diretamente misturada ao diesel (ou mesmo a um combustível de aviação), não acarretando modificações técnicas nos motores (63).

O farnesane tem propriedades superiores aos ésteres metílicos de ácidos graxos, que atualmente respondem pela maior parte do mercado de biodiesel, especificamente no que diz respeito às suas características de resistência às baixas temperaturas e à possibilidade de se misturar em maiores proporções ao diesel convencional do que o próprio biodiesel (63).

É de se ressaltar que o diesel de cana-de-açúcar não é biodiesel porque não é obtido pelos mesmos processos desse biocombustível (63).

Quanto às questões ambientais, o diesel de cana-de-açúcar apresenta vantagens em relação ao diesel fóssil devido ao fato de não possuir enxofre (como já relatado, um dos mais sérios responsáveis pela poluição do ar atmosférico e oriundo das emissões dos veículos pesados) em sua composição. Tanto essa característica quanto o fato do ciclo de dióxido de carbono (CO_2) ser favorável à cana são vantagens competitivas importantes. As plantações de cana crescem absorvendo dióxido de carbono e produzindo novamente a sacarose que resultará no diesel de cana. No que tange ainda ao CO_2 , o diesel de cana-de-açúcar possui potencial de redução de emissão de até 90% quando comparado ao diesel fóssil (63).

Esse novo produto exige poucas modificações no processo de produção já consagrado para o etanol. Na Figura 35, nota-se que após a fermentação, quando o caldo de cana recebe o micro-organismo (ou levedura) modificado geneticamente pela Amyris (*Saccharomyces cerevisiae*), segue-se uma fase de separação e uma de finalização química, estando pronto o produto então. Essas duas etapas citadas substituem as fases de destilação e desidratação comumente presentes na rota de fabricação do etanol (63).

Figura 35 - Diferença de Produção entre Açúcar, Etanol e Diesel

Fonte: (63)

A biotecnologia utilizada pela Amyris é classificada como reengenharia de metabolismo, promovendo a modificação dos genes que codificam as enzimas responsáveis por transformar a cana-de-açúcar não em etanol, mas sim em outro produto. No caso da Amyris, a molécula farneseno, que produz um líquido incolor e é um componente do diesel fóssil (possuindo suas propriedades no que diz respeito à combustão), é conhecida na indústria há certo tempo. Porém, trata-se de uma matéria-prima de alto valor, sendo extraída de plantas como a citronela. A reengenharia de metabolismo foi utilizada de forma que se obtivesse a produção de farneseno pela levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Para tanto, inicialmente, foi realizado o sequenciamento do genoma da levedura. Todos os genes da *Saccharomyces* que produzem etanol foram identificados, a fim de se entender as diferenças entre uma e outra linhagem do mesmo micro-organismo utilizado em laboratório (essa mesma levedura é utilizada para a produção de pão, cerveja e cachaça, por exemplo). Foram realizados, então, alguns procedimentos pontuais no material genético da levedura que modificou a rota metabólica do micro-organismo. Dessa forma, foram introduzidas seqüências genéticas que incentivaram a produção do diesel de cana-de-açúcar ao invés do etanol. Cerca de 15 genes foram modificados (63).

O diesel de cana pode também ser obtido pela fermentação dos açúcares por cepas geneticamente modificadas da bactéria *Escherichia coli*, gerando, principalmente, alcoóis graxos, ácidos graxos e ésteres. Tal tecnologia foi desenvolvida por outra empresa, a norte-americana LS9, que não continuou com suas atividades, sendo adquirida no início de 2014 por um grupo de biodiesel chamado Renewable Energy Group (REG), também norte americano (64).

No que diz respeito à experiência realizada na Cidade de São Paulo, os resultados dos testes iniciais com 10% de diesel de cana apresentaram uma redução de até 41% de fumaça preta, comparando-se os resultados com os veículos abastecidos com diesel B5. O consumo não apresentou alterações entre os ônibus abastecidos com os diferentes combustíveis (diesel de cana-de-açúcar e B5). Os motores utilizados nos testes não apresentaram nenhuma falha ou desgaste excessivo decorrente do uso da mistura com o diesel de cana. Foi observada ainda uma redução na formação de resíduos nos veículos abastecidos com o combustível. No entanto, da mesma forma como para os demais combustíveis testados, a SPTrans não divulgou maiores informações sobre consumo de combustível ou outras características que poderiam servir de base para a comparação entre as alternativas.

Entretanto, em função desses resultados preliminares, foi cogitada a possibilidade de utilização do diesel de cana em diferentes porcentagens até a substituição plena do diesel. Testes efetuados pela montadora (no caso a Mercedes-Benz) demonstraram novamente que não ocorreram alterações no consumo de combustível e nem perda de rendimento em torque ou potência utilizando diferentes proporções de diesel de cana, inclusive com 100% desse produto (55). No Rio de Janeiro, de Fevereiro de 2012 à Janeiro de 2013, 20 ônibus urbanos foram avaliados com uma mistura composta de 70% de B5 (diesel B S50 (50 ppm de enxofre) e 5% de biodiesel) e 30% de diesel de cana-de-açúcar, sendo que outros vinte ônibus urbanos utilizaram a mistura de 95% de óleo diesel de petróleo e 5% de biodiesel (B5) para efeitos de comparação. Os resultados obtidos, em relação ao desempenho comparado, foram bons, não se percebendo diferenças significativas entre uma ou outra mistura (65).

Da mesma forma como para os demais combustíveis, a Figura 36 apresenta as características do motor a diesel de cana-de-açúcar em relação à sua potência, à projeção de emissões, bem como ao consumo de combustível previsto inicialmente.

Figura 36 – Estimativa de Emissões para Ônibus Movido a Biodiesel de Cana-de-Açúcar e Outras Características

Fonte: (55)

4.4.5.2.B20

O biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis como óleos vegetais e gorduras animais. Estimulados por um catalisador, tais óleos e gorduras reagem quimicamente com álcool. Existem diferentes espécies de oleaginosas no Brasil que podem ser usadas para a produção do biodiesel. Entre elas estão a mamona, o dendê, a canola, o girassol, o amendoim, a soja e o algodão. Matérias-primas de origem animal, como o sebo bovino e a gordura suína, também podem ser utilizadas na fabricação do biodiesel (66).

Esse biocombustível pode substituir total ou parcialmente o diesel de petróleo, em motores de caminhões, tratores, camionetas, automóveis e também em motogeradores de energia elétrica (66).

Acompanhando uma tendência mundial, o Brasil dirigiu sua atenção no final da década de 1990 aos projetos destinados à pesquisa do biodiesel. No entanto, foi a partir do lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), em dezembro de 2004, pelo Governo Federal, que o biodiesel como produto avançou. (66).

Firmado em janeiro de 2005, com a Lei nº. 11.097, o PNPB introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira. Além das preocupações ambientais, encontravam-se como objetivos do Programa a inclusão social, já que o biodiesel pode utilizar matérias-primas agrícolas produzidas pela agricultura familiar, havendo assim possibilidades de inclusão social por geração de emprego e renda no campo, o que pode levar ao desenvolvimento econômico em diferentes regiões do país, sobretudo as menos favorecidas (66).

A citada Lei 11.097/05 estabeleceu como percentual obrigatório o valor de 5% de adição de biodiesel (denominação B5), em volume, ao diesel comercializado ao consumidor final, a partir de 2013. No entanto, tal data foi antecipada em três anos, sendo que a partir de 2010, o biodiesel B5 já se encontrava misturado ao diesel de origem fóssil, sendo sua matéria-prima primordial a soja (66).

Em 2014, há indícios que ocorra uma elevação nos patamares de biodiesel adicionado ao “diesel comum”, devendo chegar a 7% (B7) a participação do combustível biodegradável.

De acordo com o próprio Governo Federal, já na época de lançamento do PNPB, a realização de testes e ensaios em motores para a validação do uso da mistura B5 era necessária, devendo-se realizar em conjunto com os fabricantes de veículos e peças, com o intuito de assegurar ao consumidor final a manutenção da garantia de veículos e equipamentos. Além disso, a avaliação do uso de outros percentuais (Ex.: B10, B20, B50... B100) também seria importante para o uso em frotas cativas e para subsidiar decisões referentes à ampliação do uso do biodiesel no país (66).

Nesse sentido, sob a coordenação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e com a participação do Ministério de Minas e Energia (MME), do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP), do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), de fabricantes e de institutos de pesquisa, formatou-se em 2004 a estrutura do Programa de Testes e Ensaio em Motores da mistura de biodiesel ao diesel (66).

Foi, então, criada uma comissão técnica, coordenada pelo MCTI, que reunia representantes da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), do Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (Sindipeças), do Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar), do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), da Petrobrás, mais especificamente do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes), do MME, do MDIC, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e da ANP. O planejamento, monitoramento e avaliação dos resultados de todos os testes e ensaios foram realizados sob a responsabilidade da referida comissão (66).

Nesse contexto, foram executados testes de campo nas cidades de Curitiba (PR), São Paulo (SP), Ribeirão Preto (SP), Rio de Janeiro (RJ), Salvador (BA) e Itaúna (MG). Os veículos operaram com uma mistura de 5% de biodiesel (B5) de soja ou mamona adicionada ao diesel. Também foram realizados ensaios de bancada, tanto no IPT como no Tecpar e ainda testes de campo com motores estacionários e máquinas agrícolas (66). No entanto, os resultados desses testes não foram encontrados pelo autor.

Quanto à recente experiência realizada no Município de São Paulo, 1200 ônibus circularam com a adição de 20% de biodiesel (B20). Todos os veículos possuíam chassis montados pela Mercedes-Benz do Brasil que, baseada em testes iniciais realizados, previa um aumento de consumo de combustível em aproximadamente 5% com essa mistura B20 (55).

Outro estudo também baseado em ônibus urbanos, porém utilizando a mistura B5, ou seja, de adição de 5% de biodiesel, apontou resultados coincidentes quanto à essa elevação de consumo (55).

A figura 37 demonstra um comparativo inicial de características relacionadas às duas misturas (5% e 20%) de biodiesel ao diesel.

Combustível	Motor	Potencia	Emissões	Uso no veículo
B5	Sem Alterações	Sem Alterações	-10% PM +4% NOx	Sem Alterações
B20	Sem Alterações	-3 %	-22% PM +8 % NOx	Sem Alterações

Figura 37 - Comparativo Inicial de Características da Adição de Biodiesel B5 e B20 ao Diesel
Fonte: (55)

5. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados oficiais divulgados pela SPTrans para o Projeto Ecofrota. Apesar de algumas considerações já terem sido realizadas nas seções anteriores desse texto quanto a resultados prévios, expressos em avaliações iniciais feitas pela empresa gerenciadora do transporte coletivo na Cidade de São Paulo, os valores a seguir são o resultado consolidado dos testes realizados em todas as frotas que utilizaram combustíveis renováveis desde 2011, sendo que em algumas ainda se tem a certeza do uso de tais energéticos e em outras essa afirmação não é possível.

A experiência realizada com os ônibus a biodiesel B20 (Figura 38), de tecnologia Mercedes-Benz, apresentou como destaque a redução de 22% de emissão de material particulado (a SPTrans não realizou diferenciação entre MP₁₀ ou MP_{2,5}) em relação ao diesel fóssil (diesel S50, ou seja, óleo que emite 50 ppm de enxofre).

Figura 38 - Resultados dos Testes para o Combustível Biodiesel

Fonte: (67)

Ocorreram ainda reduções de monóxido de carbono (-13%), hidrocarbonetos (-10%) e dióxido de carbono (-15%). No entanto, devido às características intrínsecas do biodiesel, houve elevação das emissões de óxidos de nitrogênio na ordem de 8% (67).

É de se destacar ainda que os motores dos 1.200 ônibus no qual a mistura (S50 + B20) foi testada não sofreram qualquer modificação antes ou após o início dos testes e que a potência dos veículos não sofreu qualquer alteração devido ao energético utilizado (67).

Tabela 20 - Resultados dos Testes para Várias Misturas de Combustível Biodiesel

	% em Comparação ao Diesel S500			
	B5	B20	B50	B100
PM	-10	-22	-36	-39
CO	-7	-13	-21	-31
HC	-5	-10	-13	-13
NO_x	4	8	12	22

Fonte: (67)

Embora não divulgada de forma clara como tal comparação foi realizada (já que os 1.200 ônibus já mencionados utilizaram diesel S50), a Tabela 20 demonstra os resultados divulgados pela SPTrans quando da adição de diferentes porcentagens de biodiesel ao diesel (5%, 20%, 50% e 100% (ou seja, biodiesel “puro”). Nesse caso, no entanto, tais adições se realizaram junto a um óleo diesel S500 (ou seja, com emissão de 500 ppm de enxofre) (67).

Nota-se que o material particulado é o poluente mais sensível à introdução do biodiesel (independente de seu grau de adição) e que o hidrocarboneto é o menos sensível (também em relação a qualquer um dos teores de adição).

É importante destacar que mesmo com reduções de emissões significativas na adição do biodiesel B100, a mistura B5 e diesel S50 está em conformidade com os limites do PROCONVE P - 7.

A SPTrans promoveu, por meio do Projeto Ecofrota, a renovação da frota de ônibus elétricos do Município de São Paulo. A gerenciadora do transporte na cidade publicou como resultado oficial de seus testes a emissão “zero” para poluentes dos trólebus (Figura 40) (67).

Figura 39 - Resultados dos Testes para o Combustível Eletricidade

Fonte: (67)

No entanto, tal afirmação pode-se dar somente em relação às emissões locais. Se for considerada a origem da energia elétrica utilizada por tais ônibus elétricos, é possível que as emissões não sejam realmente nulas (a energia elétrica em questão pode estar sendo gerada em usinas termoeletricas, as quais vêm operando constantemente desde 2013 dado os baixos níveis dos reservatórios hidroelétricos). A SPTrans não realizou essa abordagem, sendo que sua tomada de decisão se realizou somente em relação aos dados publicados na Figura 39.

A experiência realizada com os ônibus a etanol (adicionados de 5% de aditivo promotor de ignição) (Figura 40), de tecnologia Scania, apresentou como destaque a redução de 90% de emissão de material particulado (da mesma forma como para os demais combustíveis, a SPTrans não realizou diferenciação entre MP₁₀ ou MP_{2,5}) em relação ao diesel fóssil (diesel S50).

Figura 40 - Resultados dos Testes para o Combustível Etanol

Fonte: (67)

Ainda observou-se importante redução nas emissões de óxidos de nitrogênio (na ordem de 64%) e resultados expressivos quanto ao dióxido de carbono (menos 95%) (67).

É importante destacar que para o etanol o motor de combustão interna dos 60 ônibus testados precisou sofrer alterações físicas dadas às questões já discutidas no capítulo nº 4.4.4 e devido à ausência da capacidade de autoignição do etanol (o que implica também no uso do

aditivo apontado). Tais alterações foram realizadas pelo próprio fabricante, sendo que os veículos saíram de fábrica preparados para trabalhar com o combustível em questão.

Menciona-se ainda que todos os veículos testados com etanol estão em conformidade com os limites do PROCONVE P - 7.

A experiência realizada com os ônibus movido com diesel de cana-de-açúcar, também de tecnologia Mercedes-Benz, apresentou como destaque a redução de 9% de emissão de material particulado (cita-se novamente que a SPTrans não realizou diferenciação entre MP₁₀ ou MP_{2,5}) em relação ao diesel fóssil (diesel S50, ou seja, óleo que emite 50 ppm de enxofre). Ocorreram ainda reduções de monóxido de carbono (-4%), hidrocarbonetos (-10%) e dióxido de carbono (-9%). Houve ainda redução das emissões de óxidos de nitrogênio na ordem de 4% (67).

O combustível “AMD10” citado na Figura 41 nada mais é do que a parcela de 10% de diesel de cana-de-açúcar fornecido pela empresa Amyris para ser misturada ao diesel fóssil, que nesse caso além de ser do tipo S50 também era um B5, ou seja, já continha em sua composição uma porcentagem de 5% de biodiesel.

Figura 41 - Resultados dos Testes para o Combustível Diesel de Cana-de-Açúcar

Fonte: (67)

Também para esse caso, os motores dos 160 ônibus no qual a mistura (D5S50 + AMD10) foi testada não sofreram qualquer modificação antes ou após o início dos testes e a potência dos veículos não sofreu qualquer alteração devido ao energético utilizado.

É importante destacar mais uma vez que os veículos que utilizaram esse combustível também estão em conformidade com os limites do PROCONVE P - 7.

No resultado oficial do Projeto Ecofrota, a SPTrans também divulga um quadro referente à tecnologia *dual fuel* (Figura 42), ou seja, aquela que trabalha a partir de dois combustíveis (67).

Figura 42 - Resultados dos Testes para o Combustível Diesel e Etanol

Fonte: (67)

É citado que o motor em questão apresenta modificações físicas, as quais se relacionam à presença do etanol. Não é citada qualquer alteração de potência relacionada à tal tecnologia e expressa-se como resultado que a mesma emite 50% menos. Não são citados quais poluentes são reduzidos (e nem tampouco a proporção de tais reduções específicas) ou mesmo se a citada redução se faz em relação ao diesel fóssil. É de se notar ainda que não é citado o número de veículos testados com tal tecnologia e nem a empresa de ônibus parceira para a realização de tais testes.

Da mesma forma como para a tecnologia *dual fuel*, para a tecnologia híbrida (Figura 43) não é citado o número de veículos testados com tal tecnologia ou tampouco a empresa de ônibus parceira para a realização de tais testes.

Figura 43 - Resultados dos Testes para o Combustível Diesel (Híbrido)

Fonte: (67)

No entanto, a divulgação oficial do número relativo à redução de emissões está discriminada, sendo que é apontada uma diminuição de 50% de material particulado (não se fazendo distinção entre MP_{10} e $MP_{2,5}$), uma redução de 50% dos óxidos de nitrogênio (NO_x) e também uma porcentagem menor de dióxido de carbono (CO_2), na ordem de 35%. Não se faz menção à qual parâmetro tais reduções de emissões estão sendo comparadas. Cita-se que a potência do veículo não é alterada em função da tecnologia ou do combustível utilizados (67).

Mostra-se ainda, na Figura 43, um esquemático do funcionamento de um ônibus híbrido, não deixando-se claro, entretanto, se o desenho em questão refere-se à uma configuração em série ou em paralelo.

Por fim, cita-se que o motor diesel objeto da análise é compatível com um biodiesel B30.

Ainda para essa categoria de resultados, a SPTrans divulgou como resultado um gráfico no qual correlaciona a tecnologia em questão com a emissão de poluentes (no caso, material particulado e óxidos de nitrogênio) e os padrões Euro de emissões. Nota-se, pela Figura 44, que a tecnologia híbrida para ônibus atende ao PROCONVE - 7 (ou Euro V), situando-se próxima aos limites de atendimento do padrão Euro VI para ambos os poluentes.

Figura 44 - Posicionamento da Tecnologia Híbrida em função dos Poluentes Material Particulado e Óxidos de Enxofre e em relação aos Padrões Europeus de Emissões
Fonte: (67)

É divulgado também um resultado referente à utilização de hidrogênio em células combustível (Figura 45).

Figura 45 - Resultados dos Testes para o Combustível Hidrogênio

Fonte: (67)

Da mesma forma como para as tecnologias híbrida e *dual fuel*, não é mencionado se ocorreram testes com esse combustível e com essa tecnologia no âmbito do Projeto Ecofrota. Não são citados o número de veículos testados ou as empresas de ônibus parceiras. Da mesma forma que para os trólebus, não é analisada a origem do energético empregado nessa tecnologia, ou seja, se o mesmo provém de hidrogênio puro ou se é advindo de um combustível fóssil, como por exemplo, o gás natural. Apenas cita-se que as emissões são nulas e que não há alteração de potência relacionada ao uso de tal tecnologia (67).

O esquema demonstrado em questão é referente à uma célula PEMFC (*Proton Exchange Membrane Fuel Cell* ou Célula Combustível de Membrana de Troca de Prótons), destinada ao uso em veículos automotores.

A SPTrans divulga como resultado uma tecnologia denominada “Bateria”. No entanto, analisando o esquemático da Figura 46, conclui-se que a tecnologia em questão é híbrida, em função da existência de um motor a combustão interna diesel ou biodiesel.

Figura 46 - Resultados dos Testes para o Combustível Eletricidade (Bateria)

Fonte: (67)

A citada bateria serve, então, para armazenar a energia elétrica proveniente do motor elétrico, associado ao motor de combustão interna, ou para devolver a energia elétrica ao veículo, atuando como fonte motriz. Aponta-se que não ocorreram alterações de potência no ônibus em questão e que a emissão de poluentes é zero, o que não pode ocorrer devido à presença do motor a diesel ou biodiesel (67).

Finalizada a apresentação individual de resultados, a SPTrans demonstra em um quadro comparativo os diversos combustíveis e tecnologias empregados nos testes e estudos realizados (Figura 47) (67).

TECNOLOGIA:	COMBUSTÍVEL:	MOTOR:	POTÊNCIA:	EMISSÕES:
BIODIESEL	B20	CICLO DIESEL SEM ALTERAÇÕES	SEM ALTERAÇÕES	-22% PM +8% NOx
DIESEL DE CANA DE AÇÚCAR	AMD10	CICLO DIESEL SEM ALTERAÇÕES	SEM ALTERAÇÕES	-9% PM -4% NOx
ETANOL	ETANOL + ADITIVO	CICLO DIESEL COM ALTERAÇÕES	SEM ALTERAÇÕES	-90% PM -64% NOx
DUAL FUEL	ETANOL + DIESEL	CICLO DIESEL COM ALTERAÇÕES	SEM ALTERAÇÕES	-50% DE EMISSÕES
TROLEBUS	ENERGIA ELÉTRICA	ELÉTRICO	SEM ALTERAÇÕES	ZERO
HÍBRIDO	DIESEL	DIESEL + ELÉTRICO	SEM ALTERAÇÕES	-50% PM -50% NOx
FCB	HIDROGÊNIO	ELÉTRICO	SEM ALTERAÇÕES	ZERO
BATERIA	BATERIA ELÉTRICA	ELÉTRICO	SEM ALTERAÇÕES	ZERO

Figura 47 - Resultado Comparativo de Combustíveis e Tecnologias

Fonte: (67)

Dessa forma, analisando-se apenas a coluna “Emissões”, sem se levar em conta as considerações já realizadas para cada combustível ou tecnologia separadamente, tem-se que a melhor opção para a frota de ônibus da Cidade de São Paulo é o ônibus trólebus, quando se analisam as tecnologias nas quais a SPTrans declarou o número de ônibus avaliados e a empresa de ônibus parceira. Caso se englobe nessa avaliação as tecnologias nas quais não se tem certeza sobre a existência ou sobre a qualidade dos testes realizados, a tecnologia de célula combustível a hidrogênio também pode ser declarada como a melhor opção, empatando na vantagem ambiental com o trólebus.

O ônibus a bateria não foi considerado como uma opção a se juntar às demais devido ao fato de ter sido classificado de forma equivocada pela SPTrans e possuir alguma emissão devido ao seu motor de combustão interna.

Após apresentar os resultados do ponto de vista ambiental, a gerenciadora do transporte público na Cidade de São Paulo demonstrou alguns resultados financeiros relacionados à operação da Ecofrota. Assim, a tabela 21 relaciona os custos de combustíveis e tecnologias associados aos testes realizados, bem como a somatória desses dois itens (67).

Tabela 21 - Custos Totais de Combustíveis e Tecnologia

Diesel (Referência)	B20	Etanol	AMD10	Trólebus	Trólebus + Infra	Híbrido
Combustível (R\$/km)						
0,97	1,15	1,80	1,42	0,90	0,90	0,63
Tecnologia (R\$/km)						
5,40	5,60	6,50	5,80	6,20	7,40	6,90
Total (R\$/km)						
6,37	6,75	8,30	7,22	7,10	8,30	7,53

Fonte: ADAPTADO DE (67)

Da análise do ponto de vista financeiro relativo à aquisição do combustível (parte do *Operational Expenditure - Opex*), a melhor alternativa ao uso do diesel é o ônibus híbrido baseado no combustível diesel (0,63 R\$/km). Do ponto de vista da aquisição da tecnologia (parte do *Capital Expenditure – Capex*), a melhor alternativa é o ônibus a biodiesel. Analisando-se as duas despesas em conjunto, a melhor alternativa global do ponto de vista financeiro é, então, o ônibus a biodiesel (B20).

É de se notar que a SPTrans não deixa claro a diferença entre trólebus e trólebus + infra, ambas as expressões citadas na Tabela 21.

A SPTrans realiza ainda outra análise financeira relativa ao Projeto Ecofrota, dessa vez, no que tange aos valores gastos de combustíveis e ao reembolso (subsídio) efetuado pela Secretaria Municipal dos Transportes (SMT) às empresas de ônibus parceiras do projeto, de forma a auxiliar as mesmas na aquisição dos energéticos durante o período de testes (Tabela 22) (67).

Tabela 22 - Gastos com Combustíveis e Reembolso à Empresas de Ônibus

COMBUSTÍVEL	JAN A DEZ / 2011			JAN A MAR/2012		
	Litros	Valor Compra (R\$)	Reembolso SMT (R\$)	Litros	Valor Compra (R\$)	Reembolso SMT (R\$)
B20	43.720.002	87.419.679	14.880.328	13.205.000	27.643.849	5.462.305
ETANOL	1.588.000	3.622.457	272.519	795.000	1.803.310	132.219
AMYRIS	205.000	527.138	162.483	955.000	2.459.662	769.729
TOTAL	45.513.002	91.569.274	15.315.330	14.955.000	31.906.820	6.359.253

Fonte: (67)

Da Tabela 22, elaboraram-se as tabelas 23, 24 e 25, de forma a se analisar melhor os valores apresentados.

Tabela 23 - Gastos com Combustíveis e Tecnologia (12 meses)

			Total Combustível (L)	Valor Compra (R\$)	Preço Combustível (R\$/L)	Consumo Mensal (L)	Consumo Mensal Ônibus (L/ônibus.mês)	Reembolso (R\$)	% Reembolso frente ao Valor Compra
	Ônibus	Meses							
B20	1200	12	43.720.002	87.419.679	2,00	3.643.334	3.036,11	14.880.328	17,0%
Etanol	60	12	1.588.000	3.622.457	2,28	132.333	2.205,56	272.519	7,5%
Amyris	160	12	205.000	527.138	2,57	17.083	106,77	162.483	30,8%
Total	1420		45.513.002	91.569.274		3.792.750		15.315.330	16,7%

Fonte: ADAPTADO DE (67)

A Tabela 23 apresenta as quantidades de ônibus testadas, o período de testes, os valores calculados de preço dos combustíveis, o consumo mensal por ônibus para cada tipo de combustível e o percentual de subsídio dado pela Prefeitura do Município de São Paulo às empresas de ônibus parceiras do Projeto Ecofrota para aquisição dos energéticos.

Tabela 24 - Gastos com Combustíveis e Tecnologia (3 meses – Quantidade Inicial de Ônibus)

			Total	Valor	Preço	Consumo	Consumo	Reembolso	%
			Combustível	Compra	Combustível	Mensal	Mensal Ônibus	(R\$)	Reembolso
			(L)	(R\$)	(R\$/L)	(L)	(L/ônibus.mês)		frente ao
									Valor
									Compra
B20	Ônibus	Meses							
	1200	3	13.205.000	27.643.849	2,09	4.401.667	3.668,06	5.462.305,00	19,8%
	Etanol	60	795.000	1.803.310	2,27	265.000	4.416,67	132.219,00	7,3%
	Amyris	160	955.000	2.459.662	2,58	318.333	1.989,58	769.729,00	31,3%
	Total	1420	14.955.000	31.906.821		4.985.000		6.364.253,00	19,9%

Fonte: ADAPTADO DE (67)

A Tabela 24 demonstra os mesmos resultados que a Tabela 23, porém para um período de testes de 3 meses. No entanto, foi mantido o número de ônibus sempre citado pela gerenciadora do transporte coletivo até então.

A Tabela 25 é idêntica à Tabela 24, com exceção do número de ônibus que foi alterado conforme a Tabela 26. Destaca-se que durante toda a apresentação oficial de resultados da SPTrans o número de veículos reportado como testados foi aquele apresentado tanto no capítulo 4.4 como o que foi relatado até esse momento.

No entanto, a fim de se verificar a possível influência de uma maior quantidade de ônibus nos resultados, a Tabela 25 foi elaborada.

Tabela 25 - Gastos com Combustíveis e Tecnologia (3 meses – Quantidade Final de Ônibus)

Tabela 12 - Custos com Combustíveis e Tecnologia (6 meses) (Quantidade Final de Ônibus)										
		Total	Valor	Preço	Consumo	Consumo			%	
		Total	Combustível	Compra	Combustível	Mensal	Mensal	Reembolso	Reembolso	
			(L)	(R\$)	(R\$/L)	(L)	Ônibus	(R\$)	frente ao	
							(L/ônibus.mês)		Valor	
									Compra	
	Ônibus	Meses								
	B20	1415	3	13.205.000	27.643.849	2,09	4.401.667	3.110,72	5.462.305,00	19,8%
	Etanol	105	3	795.000	1.803.310	2,27	265.000	2.523,81	132.219,00	7,3%
	Amyris	469	3	955.000	2.459.662	2,58	318.333	678,75	769.729,00	31,3%
	Total	1989		14.955.000	31.906.821		4.985.000		6.364.253,00	19,9%

Fonte: ADAPTADA DE (67)

Mais do que o consumo demonstrado em si, é de se notar tanto na Tabela 23 como na Tabela 24 o valor expressivo de reembolso feito pela SMT às empresas de ônibus parceiras da Prefeitura. O valor mínimo não é inferior a 16% do total de combustível adquirido por tais empresas (a Tabela 25 não apresenta alteração em relação à Tabela 24 para esse item).

Tabela 26 - Quantidade de Ônibus em Função da Tecnologia

ANO	B20	ETANOL	AMD10	DUALFUEL	HÍBRIDO	B20+AMD10	TRÓLEBUS	% ECOFROTA	% ECOFROTA +B5
2011	1200	60	160				190 (20)	9,5	100
2012	1415	105	469	293	100	104	190 (140)	16,7	100

Fonte: (67)

A Tabela 26 apresenta a quantidade de ônibus para o Projeto Ecofrota (63). No entanto, os valores referentes a 2012 não foram encontrados em nenhuma outra fonte.

Por fim, a SPTrans apresentou um valor médio relativo às emissões evitados por ocasião da adoção do Projeto Ecofrota. Essas informações são apresentadas na Tabela 27 (67).

Tabela 27 - Emissões Evitadas pelo Projeto Ecofrota

	REDUÇÃO DE EMISSÕES (%)	REDUÇÃO DE CO ₂ (%)	REDUÇÃO DE CO ₂ (ton/mês)
2011	6,3	6,7	7.835
2012	9,5	9,2	10.735

Fonte: (67)

6. DISCUSSÕES

Apresentados os diversos resultados relativos às experiências realizadas no Projeto Ecofrota, experiência da Cidade de São Paulo com o intuito de escolher uma alternativa energética renovável para o transporte coletivo, representado por sua frota de cerca de 15.000 ônibus, serão agora discutidas as questões mais importantes retratadas no decorrer desse texto.

No que tange ao capítulo “A Questão do Transporte Coletivo na Cidade de São Paulo”, no qual se analisou a cidade, sua relação entre território, população, deslocamentos, trânsito e meios de transporte predominantes, algumas observações importantes merecem destaque:

- Dada a grandiosidade dos números associados ao Município de São Paulo (população, frota de veículos, número de viagens diárias realizadas, tráfego de passagem, etc.), a cidade possui questões administrativas importantes e de difícil solução, tornando-se ainda mais complexa, do ponto de vista gerencial, quando se analisa sua localização (e interação) junto à Região Metropolitana de São Paulo;
- Advindo de tal complexidade, o trânsito - e de maneira mais ampla, a macro questão da mobilidade urbana - assume em São Paulo assunto de primeira ordem e de extrema importância;
- Um dado importante para reflexão é a extensão de 126 km de corredores de ônibus presentes na cidade ou 0,70% de todas as vias públicas existentes;
- Embora possuindo faixas exclusivas para ônibus e corredores dedicados a esse tipo de modal de transporte, denota-se pelo valor citado que o transporte público realizado por ônibus não é a opção da cidade para o deslocamento de seus habitantes;
- Mesmo com a experiência cada vez mais global da construção de BRTs, a Cidade de São Paulo não possui sequer projeto para a implantação de um

sistema desses. Nem mesmo a Copa do Mundo a ser realizada em 2014 promoveu a adoção de um sistema dessas pelo Município.

Tais questões que apresentam o panorama da cidade estão intimamente correlacionadas com os diversos pontos citados no capítulo “Evolução do Transporte Coletivo na Cidade de São Paulo”, que demonstrou como o transporte coletivo vem se desenvolvendo desde o início do século XX no município.

Desde os carros de boi, passando pelos bondes tracionados por animais em um primeiro momento e por energia elétrica em um momento posterior, a descrição relata o quanto o transporte coletivo tem sido marginalizado e deixado em segundo plano ao longo dos anos.

Desde o início dos anos 1900, a Cidade de São Paulo vem crescendo em um ritmo forte; porém, sua organização administrativa não acompanhou qualitativamente o crescimento quantitativo que o município experimentou. A ausência de políticas públicas gerenciadoras do próprio espaço público e, em um contexto maior, do solo de maneira geral, criou um problema de magnitude estrutural. A falta de uma agência pública integradora e administrativa das questões da ocupação urbana, dos transportes e do trânsito foi primordial para o nascimento e fortalecimento desse não planejamento e não gerenciamento das questões públicas. Os bondes elétricos tiveram seu declínio advindo dessa questão. A abertura de largas e extensas avenidas também. A escolha de um meio individual de deslocamento obedeceu, da mesma forma, essa lógica.

É de se destacar que embora citada para a Cidade de São Paulo, essa falta de integração entre agências de governo não é exclusividade somente do Município. A RMSP também não possui uma coordenação global de assuntos (embora, exista em âmbito estadual a Secretaria de Desenvolvimento Metropolitano – que se tornou Subsecretaria, subordinada agora à Casa Civil do Governo do Estado de São Paulo). No entanto, não há órgão público que exerça essa citada função de coordenação de maneira eficaz. Nos últimos anos, com a complexidade de São Paulo elevando-se cada vez mais, essa falta de gerenciamento tem produzido ações de difícil entendimento. Como exemplo, tem-se o dispêndio realizado pela Prefeitura à construção do Metrô, que tem orçamento federal e estadual assegurado e cujas obras são de longo prazo, em detrimento da construção de corredores de ônibus, capazes de

colaborar com a melhora, ainda que parcial, do transporte (e, por consequência, do consumo de combustível e da emissão de poluentes) em um curto ou médio espaço de tempo, integrando-se posteriormente ao modal metroviário.

Além disso, não é adotada pelos governos a utilização de modelos (ferramentas de gestão) integrados a fim de delinear-se soluções de ocupação territorial, transporte e emissões, que contribuam com a redução do consumo de energia e com o favorecimento à qualidade ambiental.

Isso ocorre mesmo sendo São Paulo a cidade mais importante do país e contando o Brasil com a presença de Curitiba em sua Federação, uma cidade estudada por muitos autores da literatura científica. Essa cidade da Região Sul do país adotou o planejamento urbano (e não somente o planejamento de transportes ou o planejamento energético de formas dissociadas) desde meados da década de 1970. Naquela época, não somente o conceito de BRT foi criado, mas também toda a questão de ocupação territorial associada ao mesmo, deixando prédios comerciais e edifícios residenciais junto a esses “corredores” de ônibus. A cidade ainda se fez intercalada por vários parques, que procuram auxiliar na questão ambiental e elevar a qualidade de vida da população. Reflete-se ainda que a valorização das terras, advinda da disponibilidade de um serviço de transportes próximo de uma determinada região é um ponto interessante dessa questão “ocupação do solo – transporte”.

É importante que toda essa dinâmica relativa à modularidade do transporte coletivo e da ocupação espacial não se restrinja somente a um município em si, mas a áreas cada vez maiores, de forma a propiciar os benefícios obtidos a um número cada vez maior de pessoas, que por suas vez, sendo beneficiadas, tenderão a se tornar defensores desse tipo de política e formadores de opinião do assunto, elevando o grau de consciência da população e tornando o processo um círculo virtuoso. Corroborar com esse ponto de vista, por exemplo, a abertura de licitação pública no início de 2014 para a construção do metrô de Curitiba. Durante cerca de 40 anos, a cidade em questão não necessitou do modal metroviário para proporcionar um bom desempenho de seu sistema de transporte público. Guardadas as devidas proporções (já que o perfil socioeconômico da cidade de Curitiba é totalmente distinto de São Paulo), trata-se de um rico resultado, sendo um forte argumento favorável ao planejamento global das cidades.

No que diz respeito ao capítulo “A Questão Ambiental” foi apresentada a evolução do tema na Cidade de São Paulo, desde a promulgação da Lei de Mudanças Climáticas, que entre outros pontos, estabelece a substituição gradativa dos combustíveis fósseis na frota de ônibus urbanos do município até a sua totalidade. A partir desse instrumento legal, diversas iniciativas foram consideradas de forma a atender esse ponto. É de se destacar, então, a elaboração do PCPV e, posteriormente, dos Programas I/M – SP e PCPTrans. É no contexto do PCPTrans que os diversos testes com combustíveis renováveis alternativos foram propostos e realizados, uma iniciativa que veio se denominar Projeto Ecofrota.

Ainda, a fim de se entender o contexto ambiental da Cidade de São Paulo, é importante saber que atualmente todo o Estado de São Paulo possui padrões de qualidade do ar mais restritivos que os padrões nacionais. Há algum tempo, por meio do Relatório da Qualidade do Ar da CETESB, o governo do Estado vinha sinalizando que os padrões nacionais estavam muito distantes dos limites permitidos à concentração de poluentes adotados em outras regiões, como os Estados Unidos da América ou a União Européia. Em 2013, por meio de um Decreto Estadual, o governo publicou um padrão “paulista” para a qualidade do ar, com metas intermediárias a serem alcançadas até se chegar aos valores de padrão final, de forma que o Estado reiterou sua vanguarda no que tange a esse tema. Foram estabelecidas também nos faixas para a qualidade do ar, sendo que em geral, para todas as faixas os limites de concentração de poluentes são inferiores (ou mais restritivos) do que os que antes existiam.

A despeito dessa restrição quanto aos limites de concentração, quando se analisa a situação da RMSP relativa aos poluentes, pode-se observar vários pontos de interesse. A primeira questão diz respeito às fontes de emissão, constituindo as fontes móveis maior grau de emissões do que as fontes fixas. Nesse subgrupo, há clara diferenciação entre os poluentes emitidos pelos automóveis e veículos comerciais leves e as emissões geradas pelos veículos pesados (estando associada à tal questão o tipo de motor utilizado pelos meios: ciclo Otto para os automóveis e veículos comerciais leves e ciclo Diesel para os veículos pesados). Sendo assim, os veículos pesados, no caso desse texto, os ônibus urbanos movidos a motor ciclo Diesel, são os responsáveis pelas emissões preponderantes de óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP_{10}), contribuindo ainda com cerca de $\frac{1}{4}$ das emissões totais (levando-se em consideração também as fontes fixas) de óxidos de enxofre (SO_x).

Outro ponto de interesse quando se analisa a questão ambiental na RMSP diz respeito ao comportamento dos poluentes ao longo dos últimos anos. Mesmo tomando como parâmetros os limites mais restritivos estabelecidos pelo governo do Estado, nota-se que no ano de 2013 a qualidade do ar na Região Metropolitana foi classificada como “boa” na maior parte do tempo, independente do poluente analisado. Quando se toma o Relatório da Qualidade do Ar do ano de 2012 (que, portanto, realizou análises sobre 2011) se constata a mesma situação. Quando se observam as séries históricas, isso também é verificado. Adicionalmente à não ultrapassagem dos limites de concentração, tendo como efeito uma adequada qualidade do ar, nota-se ainda que nos últimos 10 anos as concentrações anuais tem diminuído cada vez, com uma certa tendência de estabilização nos últimos tempos.

Tal estabilização citada parece ser oriunda do aumento da frota de veículos observada na região de interesse, o qual por sua vez, está relacionado à falta de políticas públicas já citadas e que venham a promover não só uma melhora no trânsito da Cidade de São Paulo e da RMSP, como também possam contribuir com a continuação da tendência de queda das concentrações dos poluentes. Embora, com padrões de qualidade do ar mais restritivos e com padrões de emissão reduzidos a serem seguidos pelos veículos automotores, por força do PROCONVE, a vertiginosa elevação do número de veículos tem dado um peso importante à essa correlação “veículos-emissões”, não permitindo o aproveitamento total dos benefícios que a política de controle das emissões das fontes móveis (o PROCONVE citado), pode proporcionar.

Nesse sentido, realizou-se uma análise sobre tal programa, demonstrando-se que o mesmo encontra-se, para veículos pesados, na fase 7 (P – 7) correspondente ao Euro V (programa europeu de controle das emissões) e que os principais benefícios advindos com o início dessa etapa são um limite mais restritivo para as emissões de óxidos de nitrogênio, além da adoção de uma série de tecnologias (EGR, SCR, entre outras), que somente foram possíveis graças à redução de concentração do enxofre no diesel, que agora está restrito à emissão de 10 ppm. Um ponto importante de se mencionar quanto a esse item é que a fase P – 6 do PROCONVE não entrou em vigor na data prevista, justamente devido à falta de capacidade da Petrobrás em fornecer um óleo diesel capaz de ser utilizado com as citadas tecnologias (que existiam e estavam disponíveis). Nota-se que toda a cadeia envolvida com a questão automotiva precisa estar preparada para que a evolução do setor, no que tange ao desenvolvimento ambiental, possa ser realizada de forma consistente e estruturada.

Dado esse panorama, partiu-se para as análises dos testes realizados com o objetivo de substituir a frota de ônibus, de forma que a mesma pudesse ser movida por meio de combustíveis renováveis.

Como primeira experiência, foi citado o ônibus a gás, que embora não tenha participado dos testes realizados nos últimos anos, também teve uma participação semelhante na história da busca por combustíveis alternativos ao óleo diesel para a frota de ônibus urbanos na Cidade de São Paulo.

Em geral, todas as novas experiências com combustíveis alternativos ao óleo diesel iniciaram-se devido ao choque do petróleo ocorrido no final dos anos 1970. Com o elevado preço dos barris, várias iniciativas (não só em São Paulo) foram realizadas, a fim de se possuir um combustível que não onerasse tanto os gastos com transportes. Assim, muitas experiências, como a com o gás natural tiveram início nessa época. No início dos anos 1990, foi promulgada uma Lei que estabelecia a substituição total da frota de ônibus urbanos do Município de São Paulo por ônibus a gás, em um prazo de 10 anos. Por razões técnicas, financeiras, regulatórias e de mercado, a Lei não foi cumprida, sendo substituída por outra, que dilatava o prazo de implementação (e que também não conseguiu ser atendida), voltando a questão ao seu patamar original, ou seja, possuindo a frota de ônibus um único combustível preponderante, por volta de meados dos anos 2000.

Essa experiência poderia ter sido utilizada pelos gestores da Cidade de São Paulo como a mais importante lição aprendida quando trata-se da substituição de um energético para a frota de ônibus urbanos. A adoção da chamada “Lei do Gás” foi feita a partir de boas razões, sejam elas a melhora da qualidade ambiental em razão de menores emissões a serem liberadas pelos ônibus urbanos ou a possibilidade de um novo energético para o sistema de transporte por ônibus, permitindo maior margem de manobra política, técnica e financeira. No entanto, não houve um suporte adequado para a adoção da lei. Na época, a tecnologia de ônibus a gás era incipiente. As empresas de ônibus, por sua vez, não possuíam capacitação técnica para lidar com a manutenção daqueles veículos novos. A fonte de fornecimento de gás natural, nesse caso a rede de distribuição, não tinha uma boa capilaridade na cidade, não estando presente, muitas vezes, próxima às garagens das empresas. A tecnologia de abastecimento de alta vazão ainda estava em processo de evolução. As empresas de ônibus não possuíam compradores para os ônibus a gás quando da renovação de sua frota, já que o mercado para

essa nova tecnologia-combustível não existia. Enfim, diferentemente da aquisição de um carro, que é uma ação pessoal de dimensões bem estabelecidas, a aquisição de ônibus urbanos é uma ação profissional, inserida em uma cadeia na qual atuam vários agentes, que muitas vezes possuem interesses distintos e que dificilmente a imposição de uma Lei consegue contrapor. O entendimento com as diversas organizações envolvidas, embora demorado, é essencial para que as condições de sucesso sejam criadas.

Após a explanação sobre o ônibus a gás, iniciou-se o relato sobre as experiências realizadas pelo Projeto Ecofrota. De uma maneira geral, algumas observações devem ser realizadas quanto aos testes:

- Não há evidências de que os testes foram realizados com uma estatística que os suportasse. Quando se analisam os casos, nota-se que a frota de ônibus a biodiesel era de 1.200 unidades, enquanto que a frota de ônibus a etanol era de 60 unidades. Já a frota de ônibus movidos a diesel de cana-de-açúcar possuía 160 unidades. Não se sabe, contudo, se esses números obedeceram ao critério de uma amostra representativa, de forma que seus resultados possam ser extrapolados à população (no caso, aos demais ônibus de toda frota). Além disso, não existem evidências de que o roteiro de testes foi organizado de forma a se verificar o desempenho dos ônibus nas diversas condições pelas quais os mesmos estejam sujeitos no dia-a-dia; e não parece ter havido situações nas quais os diversos combustíveis e tecnologias possam ser comparadas em um determinado momento (por exemplo, como o ônibus a etanol se comportou em subidas com determinado ângulo de inclinação? Como ônibus híbrido se comportou em subidas sob o mesmo ângulo de inclinação da pergunta anterior?). Não há qualquer diferenciação entre épocas, períodos ou condições de carga, que sugiram que os testes realizados tenham levado em consideração uma base científica para seus resultados;
- As características de cada tecnologia-combustível, em geral, não são comparadas na mesma base. Por exemplo, é difícil saber o consumo específico de cada modelo testado. Para o ônibus elétrico são fornecidos detalhes da rede elétrica que o alimenta, mas não do ônibus em si;

- As tecnologias-combustíveis foram divididas entre os grandes fabricantes de chassis de ônibus. Assim, a Mercedes-Benz desenvolveu a tecnologia de motores diesel com biodiesel e diesel de cana-de-açúcar. Já a Scania esteve voltada para o motor Diesel com modificações utilizando etanol (embora, em outros países, a Scania possua veículos a biogás e biodiesel). Por fim, a Volvo esteve voltada ao motor Diesel híbrido. A Eletra foi a responsável pela renovação de toda frota de trólebus. Da mesma forma, cada empresa de ônibus parceira do projeto operou somente um tipo de tecnologia-combustível alternativa (além da sua já tradicional frota, em geral de ônibus diesel). A Viação Itaim Paulista (VIP) ficou responsável pelos testes com ônibus a biodiesel. A Ambiental Transportes operou os testes com trólebus, pois já tinha em sua frota esse tipo de veículo. Para o etanol, atuaram duas empresas: MobiBrasil (que sofreu várias mudanças de nome desde o início dos testes) e Tupi. Por fim, os ônibus a diesel de cana-de-açúcar foram avaliados pela Viação Santa Brígida;
- Pelo que se avaliou, ocorreram testes com quatro tipos de tecnologias-combustíveis: ônibus à biodiesel, ônibus elétrico (trólebus), ônibus a etanol e ônibus a diesel de cana-de-açúcar. Somente essas quatro categorias possuem histórico, tanto no contexto da SPTrans como no de outras fontes de pesquisa, relacionado às empresas de ônibus parceiras nas quais a avaliação se deu. No entanto, quando da divulgação dos resultados, não existiram diferenças nesse sentido e tecnologias-combustíveis que foram avaliadas sem a realização de testes possuíram seus resultados publicados da mesma maneira, sem qualquer consideração a respeito.
- Quando da avaliação de uma tecnologia-combustível, a mesma sempre foi analisada localmente, sem se levar em consideração a origem daquele combustível. Por exemplo, o trólebus teve como resultado para seu grau de emissões o valor zero, já que tal tecnologia não possui motor a combustão. Entretanto, caso a origem da energia elétrica tenha sido fóssil (uma termoelétrica movido a gás natural, óleo ou carvão), o valor de emissão local é zero, mas não o valor de emissão total.

Realizadas tais considerações, se discutirá as experiências de cada tecnologia-combustível.

Assim, o ônibus elétrico, já presente em São Paulo, teve sua frota totalmente renovada, apresentando resultados semelhantes aqueles desde sempre observados durante sua operação. Destaca-se quanto a isso, a não emissão local de poluentes e o baixo nível de ruído associado à operação do mesmo. Como ponto negativo, a questão da desconexão da rede elétrica, seja pela questão da haste (*trolley*) seja em função do pavimento defeituoso sobre o qual muitas vezes o trólebus deve se deslocar. Uma solução interessante surgida no contexto dos testes realizados foi o trólebus autônomo, que pode se desconectar da rede elétrica e permanecer em movimento por cerca de 10 km.

O ônibus híbrido, da maneira como a SPTrans apresentou seus resultados, não foi testado em qualquer empresa de ônibus parceira, embora a Volvo possua o ônibus.

Quanto ao ônibus a etanol, esse teve o seu desenvolvimento inicial no mesmo período dos ônibus a gás no Brasil, ou seja, em meados dos anos 1980. No entanto, o ônibus a etanol vem sendo desenvolvido na Suécia, pela Scania, tendo sofrido diversos aprimoramentos desde então. No Brasil, devido à disponibilidade da cultura de cana, também houve incentivo à utilização desse ônibus, como o citado projeto BEST.

Já o diesel de cana-de-açúcar, embora tendo a mesma origem do etanol, possui sua formulação distinta em virtude das etapas pós-fermentação. Isso lhe confere propriedades realmente semelhantes ao óleo diesel fóssil, sendo uma de suas vantagens em relação ao álcool etílico, visto que o motor a diesel que o utilizará como combustível não necessita sofrer qualquer alteração de fábrica.

Por fim, o biodiesel B20 é oriundo de um programa consolidado do Governo Federal, que teve suas origens não só por questões energéticas ou ambientais, como também sociais, já que boa parte das culturas oleaginosas que podem dar origem a esse tipo de combustível encontra-se em regiões de baixo desenvolvimento econômico-social, sendo que a inclusão das culturas locais na matriz energética brasileira poderia proporcionar um meio de ascensão social dessas populações, o que tem ocorrido de maneira gradual, já que atualmente a maior parte do biodiesel utilizada no país provém de plantações mecanizadas de soja, não

pertencentes à famílias humildes. De toda forma, trata-se de mais um bioenergético interessante para o país, estando o mesmo em um processo de consolidação de cultura, assim como ocorreu com o etanol ao longo dos últimos 30 anos (exemplo dessa consolidação de cultura ocorreu em meados de 2014, quando a porcentagem de biodiesel adicionada ao diesel vendido nos postos de combustíveis de todo o país foi elevada de 5% para 6%, sendo que há nova possibilidade de novo aumento ainda esse ano para 7%).

Quando parte-se para as análises dos resultados, deve-se realizar a discussão tanto em termos individuais como em conjunto, comparando-se uma alternativa com outra. Uma consideração que deve ser realizada é que todos os ônibus testados estavam em conformidade com a fase P – 7 do PROCONVE, ou seja, tratavam-se de ônibus novos e que atenderiam de toda forma os limites restritos dessa fase.

Partindo-se do ônibus elétrico (trólebus), observa-se que a SPTrans deteve-se em apenas afirmar que 190 ônibus foram avaliados e que a emissão de poluentes resultante foi zero. Também quantificou a emissão de CO₂ envolvida.

Para a tecnologia de ônibus híbrido, são declarados valores de emissão de poluentes, mas como já citado, não há referência aos testes no âmbito do Projeto Ecofrota. Os resultados podem vir, então, de testes realizados pela própria Volvo em circuitos de testes ou em experimentos realizados em outras cidades (Curitiba, por exemplo, onde este tipo de ônibus está sendo testado também). Uma terceira possibilidade, mais remota, seria a realização dos testes no corredor do Expresso Tiradentes, que liga o Parque Dom Pedro à Cidade Tiradentes e que foi concebido, inicialmente, para receber esse tipo de veículo que operaria apenas com tração elétrica quando estivesse sobre a parte suspensa da via. No entanto, essa é somente uma hipótese, pois não se encontrou referência dessa possibilidade em qualquer fonte.

Os testes com ônibus a etanol resultaram em significativas reduções de poluentes (- 90% de material particulado e - 64% de óxidos de nitrogênio) e de gases de efeito estufa (- 95% de dióxido de carbono). Como ponto negativo, houve a necessidade de se modificar o motor do veículo o que, embora tenha sido uma modificação de fábrica e não uma conversão, impacta diretamente no momento de revenda do veículo, pois é necessário que se encontre um operador de outra cidade que aceite (em termos técnicos e financeiros) utilizar etanol ou ainda

que faça a conversão do motor para diesel, o que de toda forma é um anti marketing para o produto.

Já os resultados obtidos com os ônibus movidos a diesel de cana-de-açúcar foram pouco expressivos em termos de redução de emissões de poluentes (- 9% de material particulado e - 4% de óxidos de nitrogênio) e de gases de efeito estufa (- 9% de dióxido de carbono). Os valores obtidos para os testes do biodiesel B 20 foram díspares de todos os outros (- 22% de material particulado e elevação de 8% de óxidos de nitrogênio; foram ainda citadas reduções de monóxido de carbono (- 13%) e de hidrocarbonetos (- 10%)) e redução de gases de efeito estufa (- 15% de dióxido de carbono). Aqui se faz necessário um comentário em relação ao método de divulgação de resultados da SPTrans. Para nenhum outro combustível, há considerações sobre monóxido de carbono e hidrocarbonetos em seus resultados. Mesmo que tais valores fossem nulos devido ao grau de redução ou à não produção de tais poluentes devido às características da tecnologia-combustível empregada, alguma citação deveria ser realizada de forma a deixar clara a base de comparação considerada entre todas as alternativas e não induzir opiniões. Outro ponto, já citado durante o transcorrer do texto, é que a gerenciadora do transporte público não faz distinção em seus resultados entre os dois tipos de material particulado existentes (MP₁₀ e MP_{2,5}), sendo que há diferentes limites tanto de emissão como de concentração aceitáveis para ambas as possibilidades.

Ainda no que tange aos resultados do ônibus movido a biodiesel, a SPTrans completa seus resultados fazendo uma comparação à diversas concentrações de óleo vegetal que poderiam ser adicionadas ao óleo diesel fóssil até chegar a 100%, opção essa constituída totalmente por biodiesel. Embora as reduções para material particulado sejam significativas (podendo atingir - 39% quando da utilização do B100), há um considerável aumento das emissões de óxidos de nitrogênio (+22% para o mesmo B100), o que parece ir numa tendência oposta à preconizada pela atual (e possivelmente futuras) fase(s) do PROCONVE para veículos pesados.

A partir de então, são fornecidos resultados de opções que, a princípio, não foram testadas. São elas as tecnologias *dual fuel* (com combustível diesel e etanol) que é declarada como possuindo emissões (não se especificando de quais poluentes), na ordem de 50% (acredita-se que em relação a um ônibus diesel fóssil); célula combustível movida a

hidrogênio, que não possui emissões de poluentes como resultado; e à bateria que também não produz emissões de poluentes. Como já relatado, esse último caso é apresentado de forma equivocada, já que pelo esquema demonstrado, trata-se de uma opção híbrida dado o motor de combustão interna (diesel ou biodiesel) associado.

Finalmente, a SPTrans apresenta vários quadros de comparação, dos quais pode-se discutir vários pontos. Do primeiro quadro comparativo (Figura 47), deduziu-se que a melhor alternativa, em termos de emissão de poluentes, para a frota de ônibus urbanos para a Cidade de São Paulo é o trólebus, dado o grau zero de emissões locais e a realização de testes em uma frota de 190 veículos. A outra opção elétrica (célula combustível) empata nesse quesito com o trólebus, sendo que não foi testada no âmbito do Projeto Ecofrota. No entanto, não haveria necessidade do município realizar um projeto específico para chegar a essa conclusão, pois como já visto desde o capítulo da evolução do transporte coletivo, a opção elétrica é a única que tem realizado frente ao diesel desde o início do século passado.

Quando se analisa a Tabela 21, relativa aos custos das diversas alternativas, a melhor opção combinando tecnologia-combustível é o ônibus a biodiesel B20. No entanto, no que tange novamente à lógica dos resultados apresentados, a Tabela 21 não apresenta as tecnologias não testadas, o que seria importante para se avaliar o custo total da célula combustível, já que o trólebus apresentou um alto valor total, frente ao biodiesel B20. É certo que a célula combustível possui valores ainda mais altos, já que trata-se de tecnologia incipiente no mercado, existindo poucos exemplares em operação, tanto para as aplicações estacionárias como para as aplicações móveis, não sendo um equipamento em escala comercial ainda. Critica-se, de toda forma, a apresentação dos resultados, não realizada mais uma vez obedecendo a uma mesma base de comparação.

É de se destacar também que a SPTrans não fornece parâmetros de comparação quanto à eficiência do combustível (qual combustível é mais econômico). Alguns dados são fornecidos nas estimativas iniciais, mas nos resultados publicados não há menção quanto à questão, o que impede de se apontar a melhor alternativa de combustível em termos energéticos.

Ainda são apresentados resultados quanto aos gastos efetuados com o projeto, destacando-se o valor pago de subsídio às empresas de ônibus pela Prefeitura. Para as três

opções de testes com motores de combustão interna (biodiesel, etanol e diesel de cana), a Prefeitura realizou reembolso para as despesas, por ocasião dos valores gastos com os novos combustíveis. No entanto, para o trólebus, que também foi testado em uma frota e que possui a melhor solução em termos ambientes locais (já possuindo essa informação de longa data, como citado), não subsidiou-se a rede elétrica, de forma a promover uma expansão de atuação dessa alternativa.

Por fim, são apresentados resultados relativos à totalidade da frota do Projeto Ecofrota (com quantidade de ônibus relacionadas à algumas tecnologias que não possuem referência seja acadêmica ou informativa), que parecem querer demonstrar o esforço do Governo Municipal em atender sua própria Lei. Em seguida, são apresentados números relativos à redução de emissões, da mesma forma, com uma conotação de atendimento ao que foi imposto pela Lei de Mudanças Climáticas e com poucas referências no que diz respeito à consolidação daqueles números.

De forma a finalizar esse capítulo de discussões, destaca-se que no início do ano de 2014 a Prefeitura da Cidade de São Paulo resolveu suspender o Projeto Ecofrota, argumentando que não estava totalmente segura quanto à opção eleita do biodiesel para a utilização na frota de ônibus paulistana (68). Foi citado que a empresa VIP teve problemas de corrosão nos motores com perdas de desempenho na sua frota de 1.200 veículos e que a SPTrans encontraria uma solução dentro do prazo determinado pela lei (68). Essa notícia corrobora, em certo grau, com toda a argumentação realizada no transcorrer desse texto. A Prefeitura não estruturou a realização dos testes com base científica. Além disso, com o fato de que cada grande fabricante teve como preferência uma opção de tecnologia-combustível, passou a haver uma disputa acirrada pela melhor solução, já que caso ela fosse a vencedora, não haveria um atual concorrente à montadora em questão. Isso fez com que, mais uma vez, apesar dos importantes objetivos do projeto Ecofrota (encontrar uma alternativa energética para o diesel fóssil e auxiliar a redução de emissões de poluentes liberadas pelos ônibus urbanos), a experiência se perdesse durante a sua execução, ficando a mercê dos mais diversos interesses.

7. CONCLUSÕES

O presente estudo teve por objetivo comparar os diversos combustíveis utilizados nos ônibus avaliados pela Prefeitura do Município de São Paulo durante os últimos anos com o intuito de indicar a melhor alternativa para a frota de ônibus urbanos. Com base nessa meta, o ônibus elétrico (trólebus) foi indicado como a melhor alternativa do ponto de vista ambiental, devido ao fato de não emitir poluentes localmente. Quando se observa a questão financeira, no entanto, a alternativa que possui os menores custos totais (que envolvem aquisição - relativa à obtenção de tecnologia - e operação - relativa à compra de combustível) é a do biodiesel (B20).

Para se chegar à essas conclusões, as tecnologias-combustíveis testadas foram avaliadas quanto aos resultados oficiais divulgados pela prefeitura. Novos critérios de avaliação não foram considerados, já que agregariam pouco valor à análise, justamente por ter o município publicado referências próprias sobre o assunto.

Além disso, tanto a questão da utilização do espaço urbano e suas inter-relações com as questões de trânsito e transportes, ou seja, a organização espacial da cidade, foi considerada durante o transcorrer desse texto. A questão ambiental, tanto no que diz respeito aos limites de concentração aceitos de poluentes quanto aos limites máximos de emissão permitidos aos veículos pesados, foi estudada.

Quando se analisa o critério de escolha e decisão da Prefeitura da Cidade de São Paulo para a definição do combustível (ou energético) da frota de ônibus urbanos, nota-se que a mesma não aprendeu com as lições do passado, dado que a cidade já passara por uma experiência semelhante, quando da adoção do ônibus a gás natural, resultado da promulgação de uma Lei que nunca foi respeitada. Destaca-se ainda o fato que a metodologia de escolha de uma alternativa de combustível renovável, de forma a atender a Lei de Mudanças Climáticas do Município, aparentou não estar clara à própria municipalidade, visto que a apresentação de resultados do Projeto, entre outras inconsistências já apontadas, não definiu qual o critério era o preponderante (ambiental ou financeiro) e nem qual alternativa foi eleita.

Fica evidente, no entanto, que embora o critério de escolha e decisão tenha levado a questão ambiental em consideração, o mesmo não ocorreu para a questão social, relativa à organização espacial da cidade, já que em momento algum, houve menção sobre esse quesito, nem que o mesmo possa ser associado à implementação de uma nova tecnologia-combustível.

No entanto, quando se analisa a declaração de suspensão do projeto Ecofrota por parte da Prefeitura, sob alegação de que a mesma possui dúvidas de que o biodiesel seria a melhor alternativa ao atual diesel, percebe-se que o aspecto preponderante para a tomada de decisão foi o financeiro. Porém, dada a alternativa eleita, o resultado do Projeto tornou-se um problema para a gestão municipal, pois com o objetivo de atender uma Lei ambiental se escolheu o combustível que dentre todas as opções testadas é o único que elevou os níveis de emissão de óxidos de nitrogênio, o poluente alvo dos programas de controle de poluentes PROCONVE (e seu orientador, o programa Euro).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1)VITTE, C. C. S.; IMAEDA, R. Transportes coletivos e urbanização na cidade de São Paulo na primeira metade do século XX: aspectos políticos-institucionais, atores, alianças e interesses. *GeoUSP Espaço e Tempo*, n. 21, p. 67-84, 2007;
- 2)FRACALANZA, A. P.; CAMPOS, V. N. O. Produção social do espaço urbano e conflitos pela água na região metropolitana de São Paulo. *São Paulo em Perspectiva*, São Paulo, Fundação Seade, v. 20, n. 2, p. 32-45, abr./jun. 2006. Disponível em: <http://www.seade.gov.br>; <http://www.scielo.br>;
- 3)OSELLO, Marcos Antonio. Planejamento urbano em São Paulo (1899 – 1961). 1983. 290 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Curso de Pós-Graduação da EAESP/FGV. São Paulo, 1983;
- 4)NTU – Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. Avaliação comparativa das modalidades de transporte público urbano. Curitiba, 2009. 87p.;
- 5)CPTM – Companhia Paulista de Trens Metropolitanos. Nossa história. Disponível em: http://www.cptm.sp.gov.br/e_companhia/CPTM_cronologia_1992_99.asp Acesso em: dezembro de 2012;
- 6)CASTRO, Carlos Fernando Carvalho de. Avaliação de fatores intervenientes nas emissões veiculares em corredores de ônibus. 2008. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008;
- 7)BARBOUR, A. M. A. Jornalismo ambiental. PIBIC-CEPE. Faculdade de Comunicação e Filosofia. Mato Grosso, 2003. 55p.;

- 8) FERREIRA, C. E. C. Trólebus – A importância de sua manutenção e investimentos para ser utilizado como transporte ecologicamente correto. 2012. 82f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Logística) – Faculdade de Tecnologia da Zona Leste. São Paulo, 2012;
- 9) CONCEIÇÃO, Guilherme Wilson da. A viabilidade técnica, econômica e ambiental da inserção do gás natural veicular em frotas de transporte coletivo urbano de passageiros. 2006. 268 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- 10) SPTRANS – São Paulo Transportes S.A. Alternativas energéticas ao diesel de petróleo. São Paulo, 2010;
- 11) SILVA, A.C.R. Transport Geography in Brazil. Journal of Transport Geography, n. 22, p. 324-326, 2012;
- 12) SECRETARIA DE ESTADO DOS TRANSPORTES. Programa Rodoanel Mário Covas: Avaliação Ambiental Estratégica. São Paulo, 2004. 24p.;
- 13) PORTO DE SANTOS. Volume de carga. Disponível em: <http://www.portodesantos.com.br/> Acesso em: dezembro de 2012;
- 14) PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. Área da cidade. Disponível em: <http://www.capital.sp.gov.br/portal/> Acesso em: dezembro de 2012;
- 15) SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. População da cidade de São Paulo e da RMSP. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/> Acesso em: dezembro de 2012;
- 16) EMPLASA – Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano. Por dentro da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP. Apresentação. São Paulo, 2011. 77p.;

17)PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. Viagens diárias na RMSP e velocidade média no trânsito. Disponível em: <http://www.capital.sp.gov.br/portal/> Acesso em: dezembro de 2012;

18)DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. Frota de veículos na RMSP Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/> Acesso em: janeiro de 2013;

19)DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. Frota de veículos na cidade de São Paulo em 2001. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/> Acesso em: janeiro de 2013;

20)CET – Companhia de Engenharia de Tráfego. Lentidão média no trânsito de 2000 à 2009. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/> Acesso em: Dezembro de 2012;

21)CET – Companhia de Engenharia de Tráfego. Velocidade média dos corredores de ônibus. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/> Acesso em: Dezembro de 2012;

22)PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. Extensão de vias da cidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.capital.sp.gov.br/portal/> Acesso em: dezembro de 2012;

23)PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. Frota de ônibus urbanos da cidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.capital.sp.gov.br/portal/> Acesso em: dezembro de 2012;

24)SPTRANS – São Paulo Transportes S.A. Cronologia do Transporte Coletivo em São Paulo 1865-2006. São Paulo, 2008. 14p.;

25)HIDALGO, D; GUTIÉRREZ, L. BRT and BHLS around the world: Explosive growth, large positive impacts and many issues outstanding. Research in Transportation Economics, n. 39, p.8-13, jul. 2012;

- 26) LEVINSON, H. et al. Bus Rapid Transit. Transportation Research Board, v.2, 2003
Levinson, H.S., Zimmerman S., et al, TCRP 90, Bus Rapid Transit, Volume 1, Case Studies
in Bus Rapid Transit. Transportation Research Board, National Research Council,
Washington, D.C., 2003;
- 27)PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Construção do TransOeste.
Disponível em: <http://www.cidadeolimpica.com.br/projetos/transoeste/> Acesso em: julho
2013.
- 28)PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. Meta 93. Disponível em:
<http://planejasampa.prefeitura.sp.gov.br/metas/meta/93/> Acesso em: Junho de 2014;
- 29)IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Comunicados do IPEA, nº 94. A
Mobilidade Urbana no Brasil. Brasília, 2011. 35p.;
- 30)DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. Polos geradores de tráfego.
Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/> Acesso em: janeiro de 2013;
- 31)DEPARTAMENTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO DA CIDADE DE SÃO PAULO.
Revista do arquivo municipal, n. 204. São Paulo, 2006;
- 32)STIEL, W. C. História do Transporte Urbano no Brasil. São Paulo: PINI/EBTU, 1984;
- 33)ELETROPAULO. O metrô da Light. História e Energia, v. 8, Nov. 1986;
- 34)VASCONCELLOS, E. A. Transport metabolism, social diversity and equity: The case of
São Paulo, Brazil. Journal of Transport Geography, n. 13, p. 329- 339, 2005;
- 35)MAIA, F. P. Estudo de um plano de avenidas para a cidade de São Paulo. São Paulo: Cia
Melhoramentos, 1930.

- 36)KEZIC, M. A. E.; COHEN, P. L. D. The transportation systems of Buenos Aires, Chigaco and São Paulo: City centers, infrastructure and policy analysis. *Transportation Research Part A*, n. 46, p. 102-122, set 2011;
- 37)CAMPOS, Marcos Lopes. A política das linhas de ônibus. São Paulo, 2014. 20f. Trabalho para o IV Seminário discente da pós-graduação em ciência política da USP – Programa de Pós-Graduação em Ciência Política da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014;
- 38)MIRANDA, H. F.; SILVA, A. N. R. Benchmarking sustainable urban mobility: The case of Curitiba, Brazil. *Transport Policy*, n. 21, p. 141 – p. 151, abr. 2012;
- 39)CERVERO, R; KANG,C.D.; Bus rapid transit impacts on land uses and land values in Seoul, Korea. *Transport Policy*, n. 18, p. 102 – p.116, jul. 2010;
- 40)KEIRSTEAD, J.; JENNINGS, M.; SIVAKUMAR, A. A review of urban energy system models: challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 16, p. 3847 – p. 3866, abr 2012;
- 41)HIDALGO, D.; HUIZENGA, C. Implementation of sustainable urban transport in Latin America. *Research in Transportation Economics*, n. 40, p. 66 – p. 77, jul. 2012;
- 42)FORO DE TRANSPORTE SOSTENIBLE FTS PARA AMÉRICA LATINA. Transporte sostenible para América Latina: situación actual y perspectivas. Documento de respaldo. Bogotá. 2011. 30p.;
- 43)URBANIZAÇÃO DE CURITIBA. Mapa da Rede. Disponível em: <http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte> Acesso em Dezembro de 2012;
- 44)BIDERMAN, C, Infraestrutura de transporte urbano de São Paulo. *Urban Age*, dez, 2008. 4p.;

45) SMT – Secretaria Municipal de Transportes; SVMA – Secretaria do Verde e do Meio Ambiente. Panorama do Plano de Controle de Poluição Veicular no Município de São Paulo. São Paulo, 2010;

46) CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo. São Paulo, 2013;

47)SMT – Secretaria Municipal de Transportes; SVMA – Secretaria do Verde e do Meio Ambiente. Plano de Controle de Poluição Veicular no Município de São Paulo. São Paulo, 2011;

48) CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo. São Paulo, 2012;

49)BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 18, de 06 de Maio de 1986. Diário Oficial da União, Brasília, 17 de Junho de 1986, Seção 1, páginas 8792-8795.

50)MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. PROCONVE: Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores. Brasília, 2013;

51)ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. PROCONVE: As fases passadas e futuras. São Paulo, 2009;

52)MAN LATIN AMERICA. Coletiva de Imprensa, 2009

53)OLIVEIRA FILHO, Alberto Dantas de; Substituição de diesel por gás natural em ônibus do transporte público urbano. 2006. 144 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

- 54)MERCEDES-BENS DO BRASIL. Ônibus a gás. São Paulo, 1998;
- 55)SPTRANS – São Paulo Transportes S.A. Alternativas energéticas para o transporte. São Paulo, 2012;
- 56)ELETRA INDUSTRIAL. Trólebus. São Paulo, 2014;
- 57)ITDP – Institute for Transportation & Development Policy. Os trólebus na cidade de São Paulo: uma análise preliminar. São Paulo, 2008;
- 58)PORTAL VIA TRÓLEBUS. SPTrans estuda instalação de baterias em todos os trólebus de São Paulo. Disponível em: <http://viatrolebus.com.br/2013/09/sptrans-estuda-instalacao-de-baterias-em-todos-os-trolebus-de-sao-paulo/> Acesso em Maio de 2014;
- 59)ELETRA INDUSTRIAL. O ônibus híbrido. São Paulo, 2013;
- 60)COMGAS – Companhia de Gás de São Paulo. GNV no Transporte Público. São Paulo, 2010;
- 61)CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa – Universidade de São Paulo. Projeto BEST – Bioetanol para o Transporte Sustentável. São Paulo, 2008;
- 62)SCANIA. Histórico do ônibus a etanol. Disponível em: <http://www.scania.com> Acesso em maio de 2014;
- 63)FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Diesel de Cana. Revista PESQUISA FAPESP, n. 153, p. 88, nov. 2008;
- 64)REGI – Renewable Energy Group. Renewable Energy Group enters industrial biotech with acquisition of LS9. Disponível em:

<http://www.regi.com/news/2014/01/22/renewable-energy-group-enters-industrial-biotech-acquisition-ls9>. Acesso em maio de 2014;

65)FETRANSPOR – Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro. Projeto Diesel de Cana – Rumo a 206. Rio de Janeiro, 2013;

66)FETRANSPOR – Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro. Relatório de resultados do programa experimental de utilização de biodiesel B5 nas frotas de ônibus do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007;

67)SPTRANS – São Paulo Transportes S.A. Programa Ecofrota – Sustentabilidade na Gestão do Transporte. São Paulo, 2012.

68)O ESTADO DE SÃO PAULO. São Paulo Paralisa Projeto de Frota Ecológica de Ônibus. Disponível em <http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,sp-paralisa-projeto-de-frota-ecologica-de-onibus,1152687#sthash.DnRMtZAd.c7gkE4hL.dpuf> Acesso em Maio de 2014.

ANEXO A - Transporte Coletivo na Cidade de São Paulo – História

Figura 48 - Linha de Bondes para Sant'anna

Figura 49 - Bonde de Tração Animal – Capacidade para 20 Passageiros – Tracionado por Dois Animais

Figura 50 - Linha de Bondes para o Largo de São Bento

Figura 51 - Bonde de Tração Elétrica – Capacidade para 45 Passageiros e Impulsionado por Dois Motores GE 58 de 50 HP cada

Figura 52 - Bonde Camarão - Capacidade para 55 Passageiros e Impulsionado por Quatro Motores West 508-AS de 38,5 HP cada

Figura 53 - Trólebus da Década de 1950

Figura 54 - Cartaz correlacionando Fenômeno Climático à Operação da Rede de Bondes

ANEXO B - Especificações Técnicas de Chassis de Ônibus Urbanos movidos a Etanol (Scania)

Figura 55 - Scania - Especificação Técnica - K 270 - 4x2 – Etanol

K 270

Chassi para Ônibus Urbano Convencional
4x2 – Piso Baixo Etanol

TREM DE FORÇA

Motor

Controle de NOx (DSB)

► Sem

Piloto automático

► Sem

Ejetor de partículas do filtro de ar

► Sem

Elemento de segurança do filtro de ar

► Com

Limitador de velocidade

► 60 km/h

► 70 km/h

► 80 km/h

► 85 km/h

Abastecimento do líquido refrigerante

► Traseiro

Filtro de combustível separador de água

RACOR

► Com

Caixa de Mudanças

► 2ª 5HPS4C (automática 5 marchas)

► 2ª 6HPS4C (automática 6 marchas)

Relação de Redução

1ª 3,43:1

2ª 2,01:1

3ª 1,42:1

4ª 1,00:1

5ª 0,83:1

6ª 0,59:1

Marcha a ré 4,84:1

Caixa de mudanças com controle eletrônico

► selecionador de marchas DNR 123. Freio retarder 2ª incorporado, função NDS (neutro quando parado) ► função Kick Down.

Tipo de seletor de marcha

► D-N-R 1-2-3 vertical

Amolecimento da caixa de câmbio

► Sem

Diferencial

Redução do eixo traseiro

► R550

Relação de diferencial

► 4,88:1

► 5,57:1

SUSPENSÃO

Dianteira

A ar, com capacidade máxima do eixo de 7.100 kg (AMA 750).

Traseira

A ar, com capacidade máxima do eixo de 12.000 kg (AMA 1300)

Componentes

Elevação e rebatimento total ELC

► Com (+/- 100 mm)

Suspensão reforçada

► Sem

Ajustamento

► Sem

► Toda Frente

► Toda lateral

► Degrau

Proteção contra tombamento

► Sem

Nível de altura pré-definida do chassi

► Sem

► Com

Nível Stand-by da suspensão

► Sem

RODAS E PNEUS

Rodas

► Aço pintado

► Alumínio polido

Pneus

► 205/60 R22,5

FREIOS

Sistema de freio

► Tambor

► Disco

Controle do sistema de freios

► Eletrônico (ESP)

Programa eletrônico de estabilidade ESP

► Sem

► Com

Sistema anti bloqueio ABS

► Com

Equipamentos adicionais

Retarder

► 2ª

► Sem

Ajustador das lonas de freio

► Automático

Freio de active caixa automática

► Com

Válvula de segurança do freio de estacionamento (Interlock)

► Sem

► Com

Bloqueio de saída com portas abertas

► Todos os eixos

SISTEMA ELÉTRICO

Sistema elétrico baseado na comunicação digital CAN, proporcionando mais informações sobre o status do veículo.

Alternador

► 2 x 100 A

► 2 x 150 A

Bateria

► 140 Ah

► 180 Ah

Chave geral da bateria

► no painel (interruptor)

ÁREA DO MOTORISTA

Computador de bordo

► Dados sobre a viagem (distância, velocidade, consumo, tempos operação)

► Dados instantâneos (consumo, pressão de óleo, freio a turbina, tensão de bateria)

► Mensagens de advertência

► Indicador de manutenção futura

Tachógrafo

► 1 dia com disco

► 7 dias com disco

CLIMATIZAÇÃO

Diâmetro da polia extra

► Sem

► 200 mm

Válvula de calefação

► Sem

► Com

ADICIONAIS

Equipamentos adicionais

Caixa de ferramentas

► Sem

► Com

Macaco hidráulico

► Sem

► Capacidade 10.000 kg

Triângulo de segurança

► Com

Mangueira para enchimento dos pneus

► Sem

A Scania se reserva no direito de realizar alterações no produto sem prévio aviso.

► Standard
 ► Optional

Data: Fevereiro / 2014

Figura 56 - Scania - Especificação Técnica - K 270 - 4x2 – Etanol – Verso

Figura 57 - Scania - Especificação Técnica - K 270 - 6x2 4 – Etanol

K 270

Chassi para Ônibus Urbano de 15 Metros

6x2*4 – Piso Baixo

TREM DE FORÇA

Motor

Pêlo automático

- Sem
- Ejetor de partículas do filtro de ar
- Sem
- Elemento de segurança do filtro de ar
- Com
- Limitador de velocidade
- 60 km/h
- 70 km/h
- 80 km/h
- 85 km/h
- Abastecimento do líquido refrigerante
- Traseiro
- Filtro de combustível separador de água
- RACOR
- Sem

Caixa de Mudanças

- ZF SHIFTSAC (automático 5 marchas)
- ZF SHIFTSAC (automático 6 marchas)

Relação de Redução

1ª	3,43:1
2ª	2,01:1
3ª	1,42:1
4ª	1,00:1
5ª	0,83:1
6ª	0,59:1
Marcha a ré	4,74:1

Caixa de mudanças com controle eletrônico
• seletor de marchas DNR 123. Freio
retarder ZF incorporado, função NBS
(neutro quando parado) • função Kick
Down.

Tipo de seletor de marcha

- D-N-R 1-2-3 vertical

Arrefecimento da caixa de câmbio

- Sem

Proteção contra desgaste da embreagem

- Sem

Diferencial

Redução do eixo traseiro

- 10/63

Relação de diferencial

- 5,36:1
- 5,14:1

SUSPENSÃO

Dianteira

Air, com capacidade máxima do eixo de
7.100 kg (AMA 780)

Traseira

Air, com capacidade máxima do eixo de
17.500 kg (ACA 1300 + ARA 860)

Componentes

- Elevação e rebalsamento total ELC
- Com (+/- 100 mm)
- Suspensão reforçada
- Sem
- Ajuntamento
- Sem
- Toda Frente
- Toda lateral
- Degrau
- Transferência de carga
- Sem
- máx 13.500 kg
- Proteção contra tombamento
- Sem
- Nível de altura pré-definido do chassi
- Sem
- Com
- Nível Stand-by de suspensão
- Sem

RODAS E PNEUS

Rodas

- Aço pintado
- Alumínio polido

Pneus

- 255/80 R22,5

FREIOS

Sistema de freio

- Tambor
- Disco
- Controle do sistema de freios
- Eletrônico (EBS)
- Programa eletrônico de estabilidade ESP
- Sem
- Com
- Sistema anti bloqueio ABS
- Com

Equipamentos adicionais

Retarder

- ZF
- Ajustador das lonas de freio
- Automático
- Freio de active caixa automática
- Com

Válvula de segurança do freio de estacionamento (Interlock)

- Sem
- Com

Bloqueio de saída com portas abertas

- Todos os eixos

SISTEMA ELÉTRICO

Sistema elétrico baseado na comunicação
digital CAN, proporcionando mais informações
sobre o status do veículo

Alternador

- 2 x 100 A
- 2 x 150 A

Bateria

- 140 Ah
- 180 Ah

Chave geral da bateria

- No painel (interruptor)

ÁREA DO MOTORISTA

Computador de bordo

- Dados sobre a viagem (distância,
velocidade, consumo, tempo operação)
- Dados instantâneos (consumo, pressão
de óleo, óleo e turbina, tensão da bateria)
- Mensagens de advertência
- Indicador de manutenção futura
- Tacógrafo
- 1 dia com disco
- 7 dias com disco

CLIMATIZAÇÃO

Diâmetro da polia extra

- Sem
- 280 mm
- Válvula de calefação
- Sem
- Com

ADICIONAIS

Equipamentos adicionais

Caixa de ferramentas

- Sem
- Macaco hidráulico
- Sem
- Capacidade 10.000 kg
- Triângulo de segurança
- Com
- Manguera para enchimento dos pneus
- Sem

A Scania se reserva no direito de realizar
alterações no produto sem prévio aviso.

► Standard
• Opcional

Data: Fevereiro 2014

Figura 58 - Scania - Especificação Técnica - K 270 - 6x2 4 – Etanol – Verso

ANEXO C - Especificações Técnicas de Chassis de Ônibus Urbanos Híbridos movidos a Diesel (Volvo)

VOLVO
B215RH 4X2 HÍBRIDO

B215RH

B215RH Entrada Baixa

Motor DIESEL
Volvo D5F 215cv

Motor-Gerador
Elétrico Volvo I-SAM

Computador de bordo
com diagnóstico de falhas

Suspensão
pneumática com
controle eletrônico

Sistema Volvo
de freios a disco EBS5
EBS (Electronic Braking System)
com ABS e controle de tração

DIMENSÕES (mm)	PNEUS 295/80R22,5	
COMPRIMENTOS		
Modelos	Urbano	Piso Baixo
Balanço dianteiro	2.400	2.500/2.600**
Distância entre-eixos	6.000/6.300**	3.250*
Balanço traseiro	3.137	3.146
Comprimento total do chassis	11.537 / 11.837	8896 / 8996
<small>*Não inclui o comprimento do motor **Balanço</small>		
LARGURAS		
Modelos	Urbano	Piso Baixo
Largura total (rodas dianteiras)	2.364	2.392
Largura total (rodas traseiras)	2.436	2.436
Bitola dianteira	2.070	2.070
Bitola traseira	1.817	1.817

13PGL001.W01

Figura 59 - Volvo - Especificação Técnica - B215RH Hybrid - Urbano EURO 5

VOLVO B215RH 4X2 HÍBRIDO

Ônibus Volvo. Qualidade de vida no transporte

SISTEMA HÍBRIDO
Sistema híbrido paralelo Volvo com motor diesel D5F e motor-gerador elétrico I-SAM (Integrated Starter Alternator Motor).

MOTOR DIESEL
Motor Diesel Volvo D5F, 4,76 litros, vertical, traseiro, totalmente eletrônico, injeção de combustível com tecnologia "common rail", quatro cilindros em linha, quatro válvulas por cilindro, turboalimentado, intercooler, sistema de diagnóstico de falhas, autoproteção contra superaquecimento e baixa pressão de óleo. Nível de emissões de acordo com a regulamentação CONAMA Fase VI (EURO V). Sensores de injeção no motor.

Motor	Potência	Torque
D5F 215	161 kW (215 cv)	800 Nm (82 kgfm)

Fonte: Volvo Trucks, agosto de 2009. R09 1489, R01 1700.

I-SAM (Integrated Starter Alternator Motor).
Motor-gerador elétrico Volvo I-SAM, magneto permanente. Unidade master de controle do trem de força híbrida. Conversor de potência CA/CC. Conversor CC/CC 600V/24V.

Motor	Potência	Torque
I-SAM	120 kW (160 cv)	800 Nm (82 kgfm)

SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA
Bateria de Ion de Lítio com unidade de controle. Sistema de controle de temperatura da bateria. Monitoramento da resistência de isolamento do sistema de 600V. Sistema de supervisão e intertravamento de desconexão da bateria (BCU).

CAIXA DE CÂMBIO
Caixa inteligente automatizada I-Shift

Modelo AT2412D, Caixa Inteligente Volvo (a caixa realiza a troca de marchas automaticamente). 12 marchas à frente e 4 à ré. Sem pedal de embreagem. Apoio amarelo.

Relações	1.ª marcha: 14,94:1
	12.ª marcha: 1,00:1

SISTEMA DE PÓS-TRATAMENTO
Sistema SCR (Selective Catalytic Reduction). Composto por um reservatório de Ámônia 32, unidade dosadora, conversor catalítico e unidade de controle.

EIXO TRACÇÃO
Eixo RS1228C de simples redução, com relação de 4,63:1. Rolamentos de roda livres de manutenção.

EIXO DIANTEIRO
Eixo rígido de aço especial com perfil "L". Forjado e tratado termicamente. Rolamento de roda livre de manutenção.

SISTEMA DE FREIOS
Sistema Volvo de freio a disco em todos os eixos (EBSS - Electronic Braking System). Principais características do EBSS:

- ABS (Anti-lock Braking System - controle contra deslizamento)
- ASR (Acceleration Slip Regulation - controle de tração)
- Sensor de desgaste das pastilhas
- Sistema Door Brake (freio de porta)
- Auxílio arranque
- Auxílio frenagem de emergência

SUSPENSÃO
Totalmente pneumática, controlada eletronicamente, com câmaras de ar tipo folie (sistema eletrônico ECS). Dois folies de ar no eixo dianteiro e quatro no eixo traseiro. Amortecedores de dupla ação. Barras estabilizadoras e de reação. Regulagem de nível para manobras. Ajustamento da suspensão para embarque e desembarque.

EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS
Equipado com sistema Volvo BEA2 (Bus Electronic Architecture), sistema eletrônico Multiplex 2 - sistema digital de transmissão de dados com controle dos sistemas de ônibus, monitoramento e coordenação de todos os dispositivos controlados pelas unidades eletrônicas. O Multiplex 2 também proporciona diagnósticos de falhas e dados sobre a operação do veículo. Possui as funções de luzes externas integradas ao Multiplex do chassis.

Nº de baterias	2
Voltagem	24 V
Baterias	2x225 Ah
Alternador	1x120 A

PAINEL DE INSTRUMENTOS
Computador de bordo, tacômetro, medidor da pressão de ar dos freios, controle de intensidade e tipo de iluminação do painel, velocímetro, tacógrafo eletrônico diário (dois motoristas), liberação do freio de estacionamento, indicador do nível de combustível, temperatura do líquido de arrefecimento e pressão no turbocompressor.

DIREÇÃO
Hidráulica integral, tipo esteras recirculantes com sistema senso-elétrico. Volante com 450 mm de diâmetro, regulável em ângulo e altura.

COMPUTADOR DE BORDO
Funções disponíveis: diagnóstico de falhas, limitador de velocidade (informação), limitador de rotação do motor (informação), voltímetro, relógio, alarme, velocidade média, distância e tempo de viagem, medidor de consumo de combustível, identificador de frota, registros de dados do veículo, temperatura de óleo do motor, carga da bateria de 600V e frenagem econômica.

LUZES DE AVISO
Luzes de baixa pressão do óleo do motor, baixa pressão de ar do freio de serviço, sobreaquecimento do sistema de refrigeração, funcionamento do alternador, funcionamento do ABS, baixo nível do líquido de arrefecimento do motor, obstrução do filtro de ar, acionamento do sistema de preaquecimento de partida (quando instalado), portas para embarque/desembarque abertas, falha no ECS, baixa pressão de ar na suspensão, baixo desempenho dos freios, controle de tração e funcionamento do sistema híbrido.

CAPACIDADE DOS EIXOS (kgf)

Eixo	Capacidade
Eixo dianteiro	7.500
Eixo de tração	12.000
Capacidade total	19.500

PNEUS E RODAS

Pneus	Rodas
290x80R22.5	Aço 8,25 x 22,5

CAPACIDADES*

Item	Capacidade
Tanque de Ámônia 32	40 litros
Óleo de caixa de direção	3 litros
Óleo de caixa I-SAM AT2412D	16 litros
Óleo do Motor	16,5 litros

*Valores aproximados.

OPCIONAIS

- Chassi Pro Baixo
- Pacote de Telemática
- Pneus e Rodas reservas
- Limitador de velocidade
- Parafusos

Para maiores detalhes, a Volvo do Brasil se reserva o direito de modificar as especificações técnicas dos produtos sem aviso prévio.

13P5L001.001

Figura 60 - Volvo - Especificação Técnica - B215RH Hybrid - Urbano EURO 5 – Verso