volume 15

SÉRIE CADERNOS TÉCNICOS

Estudo Comparativo de Tecnologias Veiculares de Tração Aplicáveis a Ônibus Urbanos

ANTP

EMTU

SÉRIE **CADERNOS TÉCNICOS**

volume **15**

Estudo Comparativo de Tecnologias Veiculares de Tração Aplicáveis a Ônibus Urbanos

SISTRAN ENGENHARIA, INECO E INECO DO BRASIL

COORDENAÇÃO
Gabriel Feriancic

RESPONSÁVEL TÉCNICO
Gabriel Feriancic

CONSULTORES
Claudio Macedo
Jaime Waisman

EQUIPE TÉCNICA
Aldara Tadeo Martín
Alexandre Frazao d'Andrea
Emilio García Miguel
Emilio Miralles Claver
Gabriel Feriancic
Geraldo Camargo de Carvalho Júnior
José Batlles Abad
Karine Murachco
Patricia Rey Romero
Stanislav Feriancic
Victor Frazão Barreto Alves

EMTU/SP – EMPRESA METROPOLITANA DE TRANSPORTES URBANOS DE SÃO PAULO S.A.
Pedro Luiz de Brito Machado
Ivan Carlos Regina
Marcos Correia Lopes
Adriana Capotosto
Alysson Talaisys Bernabel
Meire Maki Akamine
Arlindo José Locheti Gusson
Thami Izumi da Cruz

ANTP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS
Marcos Pimentel Bicalho
Geraldo José Calmon de Moura

Sistran Engenharia; **Tecnologias Veiculares Alternativas para o Transporte Coletivo**. São Paulo: ANTP, 2014. 88p.

SÉRIE **CADERNOS TÉCNICOS**

volume **15**

Estudo Comparativo de Tecnologias Veiculares de Tração Aplicáveis a Ônibus Urbanos

novembro/2014

Realização:

Sistran Engenharia, Ineco e Ineco do Brasil

Apresentação EMTU/SP

A implementação de políticas de mobilidade urbana sustentável é uma realidade cada vez mais presente nas grandes metrópoles mundiais. O principal impacto ambiental ao se tratar de transporte público sobre pneus é a poluição do ar, causada principalmente pela queima de combustíveis fósseis. A aplicação de mecanismos de desenvolvimento e tecnologia permite o crescimento do uso de recursos substitutos renováveis em detrimento à utilização desses combustíveis e a consequente diminuição dos impactos ambientais em nível local e global. Objetiva-se, assim, oferecer melhor qualidade de vida aos cidadãos e preservar o meio ambiente.

Ao longo dos últimos anos, a Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo S.A. - EMTU/SP, órgão gestor do transporte público de baixa e média capacidade nas Regiões Metropolitanas do Estado de São Paulo, vem conduzindo diversas iniciativas, planos e projetos de troncalização e racionalização da rede de transporte público, implantação de corredores metropolitanos de transporte, além de projetos de tecnologias veiculares baseadas em recursos renováveis alternativos à utilização do diesel.

A EMTU/SP encontrou no Programa STAQ (Sustainable Transport and Air Quality) mais uma oportunidade para investir em políticas sustentáveis – o que vai ao encontro das principais diretrizes aplicáveis para o desenvolvimento de um conceito de mobilidade, colaborando para a redução dos principais impactos ambientais.

O estudo comparativo de ampla gama de tecnologias veiculares alternativas de tração é o objetivo do presente trabalho. Tais tecnologias apresentam estágios variados de desenvolvimento tecnológico e comercial e carregam inúmeras especificidades quanto ao impacto ambiental, aplicabilidade, disponibilidade de fornecedores (de veículos, componentes, combustíveis e infraestrutura), viabilidade operacional e financeira, aceitação pelo público e pelos operadores, etc.

Por isso, o estudo considerou somente tecnologias de tração já testadas em operações de ônibus tanto nacionalmente quanto internacionalmente. Tendo como foco principal a redução das emissões de poluentes e os impactos na saúde pública, a comparação envolveu também as características econômico-financeiras e técnico-operacionais de cada tecnologia, resultando em uma avaliação abrangente do panorama dos ônibus alternativos ao diesel no mundo.

Tendo em vista o crescente agravamento das condições ambientais e seus impactos negativos causados à saúde associados ao transporte público, que são mais perceptíveis em meios com maior densidade demográfica, como as regiões metropolitanas, a EMTU/SP tem em mãos um instrumento de análise e decisão que colabora na promoção de um transporte público mais adequado ao caráter urbano de sua atuação, promovendo a sustentabilidade e a consequente melhoria na qualidade de vida da população.

O estudo comparativo executado é um valioso componente para o planejamento da implementação de novas tecnologias pela EMTU/SP e culmina em um exemplo de proposta de substituição tecnológica, deixando abertas as possibilidades de aplicação das outras tecnologias estudadas nos cenários de substituição.

A partir deste Caderno Técnico, fica esse instrumento à disposição de outros gestores e operadores de transportes de todo o Brasil para ser usado como referência para agregar valor ao planejamento da aplicação de tecnologias veiculares mais limpas e sustentáveis em sistemas de transporte público.

Joaquim Lopes da Silva Junior
Diretor Presidente

Apresentação ANTP

Este é mais um Caderno Técnico ANTP, o quarto produzido no âmbito do Programa STAQ de Transporte Sustentável e Qualidade do Ar, conduzido pela ANTP com recursos do Global Environment Facility – GEF, aportados pelo Banco Mundial. O Caderno resume o resultado de projeto desenvolvido em parceria com a Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo – EMTU/SP compreendendo um estudo comparativo de tecnologias de propulsão veicular para sistemas de transporte coletivo de baixa e média capacidades, isto é, para os serviços operados por ônibus.

Os ônibus são o principal modo de transporte coletivo utilizado nas cidades brasileiras tendo toda a sua cadeia de produção e serviços consolidada no país. A produção da indústria instalada no Brasil abastece o mercado nacional e é exportada para diversos países; uma vasta rede de prestadores de serviços espalhada por todo o território nacional garante abastecimento, manutenção e suporte técnico para uma frota que, segundo o Sistema de Informações de Mobilidade Urbana da ANTP, soma mais de 110 mil veículos, apenas no transporte urbano e metropolitano nas cidades com mais de 60 mil habitantes; e os processos de operação e manutenção dessa frota são amplamente dominados pelos operadores sob quaisquer condições climáticas e de infraestrutura.

Entretanto, salvo poucas exceções, toda esta frota é movida a diesel, combustível derivado de petróleo, não renovável e com forte participação nas emissões de poluentes locais e de efeito estufa. Assim, apesar do nível de emissões dos ônibus, por passageiro transportado, ser muito inferior ao dos veículos de transporte individual, a eficiência energética e ambiental dos sistemas de transporte público poderia ser ainda muito mais positiva com um aumento da utilização de fontes alternativas de energia limpa.

O estudo realizado para a ANTP pretende contribuir para esta mudança. A partir da análise da experiência acumulada pela EMTU/SP, foram avaliados dez diferentes alternativas de combustíveis mais limpos: biodiesel B20, biodiesel B100, etanol, gás natural, gás natural + 3 WC, ônibus elétricos, ônibus híbridos, trólebus, hidrogênio com motor de combustão interna (MCI) e hidrogênio com célula a combustível. Além dos resultados operacionais e da redução das emissões, foram também analisadas dificuldades, barreiras e potencialidades para a sua utilização em maior escala.

Os resultados aqui apresentados não se limitam à caracterização das alternativas disponíveis no mercado e avançam em uma simulação de possibilidade de substituição do uso do diesel tradicional a partir de uma matriz multicritério. Foram trabalhados 26 indicadores técnico-operacionais, ambientais e energéticos e socioeconômicos, que vão desde a eficiência energética e ganhos com redução de emissões, passando pela sua adequação ao tráfego urbano, pelo grau de domínio e disponibilidade de cada tecnologia, pela existência de incentivos institucionais, pelos custos de implantação, operação e manutenção, entre outros.

As conclusões obtidas, traduzidas em um Plano de Substituição de Frota para as regiões metropolitanas do Estado de São Paulo, não devem ser replicadas automaticamente para outras realidades, mas são sem dúvida um importante parâmetro para outros gestores públicos, fabricantes ou operadores que pretendam avançar em direção a um transporte coletivo de qualidade e ambientalmente sustentável.

Luiz Carlos Mantovani Néspoli
Superintendente da ANTP

Sumário

1. Caracterização do sistema de transporte gerenciado pela EMTU/SP e iniciativas estaduais (política climática) 11

2. Impactos relacionados à saúde pública oriundos do transporte nas regiões metropolitanas de são paulo, campinas e baixada santista 19

3. Caracterização das tecnologias veiculares existentes 27

4. Avaliação econômico-financeira da substituição do diesel 34

5. Análise comparativa para a escolha de tecnologia de propulsão através de matriz multicritério 44

6. Recomendações para um plano de substituição de frota 62

Apresentaçao

Este estudo é parte integrante do Programa Sustainable Transport and Air Quality (STAQ), patrocinado pelo Banco Mundial, através do Global Environment Facility (GEF), cujos objetivos são:

- Reduzir o crescimento das taxas de emissão de gases de efeito estufa a longo prazo, através da promoção de modos de transporte com baixo consumo de energia;

- Promover e implantar uma estrutura de políticas regulatórias que promovam o desenvolvimento de um sistema de transporte sustentável.

Este programa está dividido em três projetos regionais, para Argentina, Brasil e México, e foi desenhado com o objetivo de se vincular às iniciativas do Banco Mundial na área de transporte em cidades-chaves, de fomentar políticas e compartilhar conhecimentos e cooperação para promover sistemas de transporte mais eficientes do ponto de vista energético. O programa foi organizado em seis janelas: gestão de transporte de carga, coordenação de políticas de transporte e de uso do solo, desenvolvimento do transporte público, estimulo ao transporte não-motorizado, gestão de demanda do transporte não-motorizado e administração geral do programa.

Seu desenvolvimento no Brasil é coordenado pela Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) e prevê investimentos-pilotos, além de assistência técnica a três metrópoles regionais: São Paulo, Belo Horizonte e Curitiba. Em São Paulo, a EMTU/SP é responsável pela supervisão e aprovação técnica de trabalhos cuja finalidade é definir procedimentos quantitativos e qualitativos para inventariar, monitorar e analisar aspectos, riscos e impactos ambientais do sistema de transporte, inclusive emissões de poluentes, simulando cenários alternativos para a sua aplicação em atividades de planejamento. O primeiro trabalho desenvolvido foi relativo à formulação de metodologia para a execução de inventário ambiental. Este trabalho será um comparativo de tecnologias de tração aplicáveis a transportes públicos de baixa e média capacidade.

O presente relatório constitui a quarta etapa do Estudo Comparativo de Tecnologias Veiculares para o Sistema de Transporte de Baixa e Média Capacidade nas Regiões Metropolitanas do Estado de São Paulo, segundo subprojeto da janela 3 – Desenvolvimento do Transporte Público – cujo foco é a realização de estudo comparativo de tecnologias veiculares para o sistema de transporte de baixa e média capacidade nas Regiões Metropolitanas do Estado de São Paulo, levando em conta o ciclo de vida dos veículos e combustíveis e a análise de externalidades, em especial daquelas relacionadas à saúde pública, de modo a subsidiar as decisões para a substituição da frota por veículos com tecnologias menos poluentes.

Elaborado pelo consórcio constituído pelas empresas SISTRAN Engenharia Ltda., INECO Ingeniería y Economia del Transporte S.A. e INECO do Brasil Consultoria em Transporte Ltda., esse estudo está organizado em quatro etapas:

1. Levantamento, caracterização e análise do sistema de transporte de baixa e média capacidades nas regiões metropolitanas do Estado de São Paulo e das tecnologias veiculares aplicáveis a esse sistema;

2. Estudo comparativo de tecnologias veiculares;

3. Formulação de um plano de substituição da frota da EMTU/SP para as regiões metropolitanas de São Paulo, Baixada Santista e Campinas;

4. Elaboração de relatório síntese para divulgação.

1 Caracterização do sistema de transporte gerenciado pela EMTU/SP e iniciativas estaduais (política climática)

Com a intensificação do papel polarizador das grandes cidades, as Regiões Metropolitanas e Aglomerações Urbanas brasileiras têm ganhado complexidade e importância no plano econômico e social. Complexidade que se evidencia no caso das Regiões Metropolitanas de São Paulo, Campinas e Baixada Santista, que juntamente com a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (recentemente passada à gestão da EMTU/SP), a Região Metropolitana de Sorocaba e as Aglomerações Urbanas de Jundiaí e Piracicaba e das Microrregiões de Bragantina e de São Roque formam a Macrometrópole Paulista. Este arranjo territorial reúne 173 municípios, que concentram, numa área de cerca de 0,6% do território nacional, 16% da população e 27,7% do PIB nacional, constituindo-se assim na região economicamente mais dinâmica e populosa do país. No contexto do estado de São Paulo, os números da Macrometrópole são ainda mais impressionantes, respondendo por 82,7% de toda riqueza produzida no estado e mais de 74% de sua população.

Dentre as quatro Regiões Metropolitanas (RMs) que compõem a Macrometrópole Paulista, as RMs de São Paulo, Campinas e Baixadas Santista são as mais representativas. Juntas, estas três regiões abrigam 24 milhões de pessoas, ou seja, 58,5% da população do estado.

A forte polarização das cidades-sedes se evidencia pela concentração da população e oferta de emprego, uma vez que, sozinhas, as cidades de São Paulo, Santos e Campinas abrigam 53% da população, uma média de 52% do total de empregos formais. Condição que, somada ao elevado grau de urbanização dos municípios e ao importante papel do setor terciário na economia local, faz com que alguns municípios funcionem como cidades-dormitórios, evidenciando a importância das viagens metropolitanas.

Sem sombra de dúvidas, a RMSP e, em especial, a cidade de São Paulo merecem maior destaque. Considerada uma metrópole global, a cidade abriga mais da metade da população de toda a região metropolitana, cerca de 11 milhões de pessoas que movimentam 22,8% do PIB brasileiro. Com um PIB per capita que puxa a média estadual para cima, perdendo somente para o Distrito Federal, a RMSP possui ainda uma frota cadastrada que, isoladamente, representa 46% dos veículos do Estado de São Paulo e 13% do Brasil. Frota esta responsável pelos elevados índices de poluição medidos, uma vez que as fontes móveis são responsáveis por 87% dos valores medidos na região.

A Região Metropolitana de Campinas é a segunda maior do Estado, seja em termos de população ou de produção. Seis de seus vinte municípios apresentam taxas de crescimento populacional acima de 4% e uma economia voltada para o setor terciário, em especial serviços especializados e tecnológicos. A cidade de Campinas possui forte papel polarizador na região. Cabe apontar ainda que a RMC é a que apresenta maior relação habitantes/veículo (1,9) e possui uma das maiores frotas de automóveis, o que se reflete no número elevado de viagens em transporte individual, 39,5% do total de viagens diárias.

Na RMBS, a cidade de Santos também exerce forte polarização, concentrando a maior parte dos empregos e de renda, deixando para municípios como São Vicente, Guarujá e Praia Grande a responsabilidade de abrigar largas parcelas da população. No entanto, embora Santos concentre mais de 45% dos empregos formais, com renda per capita 2,8 vezes superior à média da RMBS, sua população residente representa somente 25,3% deste total. Sua frota veicular também é a menor dentre as regiões metropolitanas estudadas, resultando numa maior relação de habitante por veículo, mais favorável, próxima de três.

Uma síntese dos dados de população e PIB das Regiões Metropolitanas de São Paulo, Baixada Santista e Campinas é apresentada na tabela a seguir.

Tabela 1.1 – Características gerais das Regiões Metropolitanas de São Paulo, Campinas e Baixada Santista.

	RMSP	RMBS	RMC
NÚMERO DE MUNICÍPIOS	39	9	20
ÁREA (km²)	7.943,85	2.422,78	3.792,16
POPULAÇÃO (habitantes)	19.683.975	1.664.136	2.808.906
TGCA (Taxa Geométrica de Crescimento Anual)	0,99%	1,23%	1,83%
NÚMERO DE EMPREGOS	6.722.364	346.471	864.616
PIB (R$ bilhões)	613	40	86
FROTA VEICULAR	9.177.718	569.211	1.465.120
FROTA ÔNIBUS	58.521	2.779	9.141
FROTA TRANSPORTE COLETIVO	105.759	5.464	15.344

FONTES: EMPLASA, 2012; SEADE/IBGE, 2009; DENATRAN, 2011.

A alta concentração de população e empregos nas cidades-sedes, somada à intensa relação socioeconômica entre os municípios destas três regiões metropolitanas, ressalta a importância da infraestrutura de transporte que faz a ligação entre elas. Nesse contexto, as viagens metropolitanas ganham importância. O principal registro de dados de viagens metropolitanas é constituído pelas pesquisas OD de 2007 para a RMBS, de 2011 para a RMC e a mini OD de 2012 para a RMSP, evidenciando algumas particularidades nas formas de deslocamento da população nas três regiões estudadas.

Esta distribuição indica que as viagens não-motorizadas são bastante relevantes, chegando a representar quase 50% das viagens na RMBS, enquanto a RMSP (32%) e RMC (27%) apresentam valores um pouco menores. Já o transporte individual, por automóvel e motocicleta, mostra-se representativo (RMSP - 31,0%, RMBS - 17,7% e RMC - 43,4%). Complementarmente, as viagens por transporte coletivo (incluindo lotações e fretamentos) representam 37%, 34% e 29,3% para a RMSP, RMBS e RMC, respectivamente, o que indica que cerca de uma em cada três pessoas fazem uso desse tipo de transporte. O ônibus regular é o principal meio de transporte utilizado nas viagens de transporte coletivo, respondendo por um percentual que vai de 65% a 75% das viagens diárias.

Responsável pelo transporte intermunicipal sobre pneus nestas três regiões, a EMTU/SP responde pela totalidade dos serviços metropolitanos intermunicipais de transporte de passageiros nas RMs da Baixada Santista e Campinas. Já na RM de São Paulo, onde o sistema de transporte coletivo é mais complexo, o transporte intermunicipal sobre pneus divide a responsabilidade do transporte de passageiros entre os municípios da RMSP com o sistema sobre trilhos (gerenciados e operados pelo Metrô e Companhia Paulista de Trens Metropolitanos – CPTM). Somando-se o total de passageiros transportados pelos sistemas metropolitanos da RMSP (Metrô, CPTM e EMTU/SP), nota-se que este valor supera em mais de 20 vezes a soma das demais RMs. Na RMSP, a EMTU/SP responde por 23% dos passageiros transportados pelo transporte coletivo metropolitano.

A operação de aproximadamente 6.200 veículos[1] do sistema Regular Comum sob gerenciamento da EMTU/SP está organizada em seis áreas operacionais na RMSP (considerando o Corredor ABD como uma área operacional), além de três áreas operacionais correspondentes às Regiões Metropolitanas da Baixada Santista, de Campinas e do Vale do Paraíba e Litoral Norte (esta ainda sem dados operacionais constantes neste trabalho, em função de sua recente assunção pela EMTU/SP), totalizando nove áreas com diferentes características de operação e gerenciamento. Dentro da RMSP, quatro áreas são operadas através de concessões e apenas uma é operada por permissionárias. O Corredor ABD também é operado através de uma concessão.

Distribuídas entre serviço comum, seletivo, RTO, corredor e aeroporto (suburbano e executivo), as mais de 800 linhas da EMTU/SP fazem com que, em média, seus veículos rodem cerca de 1,5 milhão de quilômetros por dia, transportando diariamente entre 2 e 2,4 milhões passageiros[2].

A frota de veículos gerenciada pela EMTU/SP tem idade média de 4,8 anos e é composta por veículos com características bem diversas, desde mini e micro-ônibus até trólebus e articulados, com idades que vão de 1 a 24 anos. Além dos tradicionais veículos movidos a diesel (que representam 98,5% do total de ônibus), essa frota também é composta por trólebus, veículos híbridos e a hidrogênio. Também se observam outras características na composição da frota: a maior parte dos veículos é de ônibus urbanos convencionais (71%) e fabricados pela Mercedes-Benz (63,9%).

O percentual de emissões locais produzidas por ônibus a diesel apresenta valores semelhantes nas três RMs estudadas, em torno de 13% do total da frota de veículos. No entanto, devido ao grande volume de poluentes a que a população da RMSP está sujeita, esta porcentagem, aparentemente baixa, torna-se expressiva (aproximadamente, 300 mil ton./ano). Conforme as medições das estações de controle da CETESB, a contribuição correspondente às fontes móveis, nas quais estão computadas as emissões veiculares, é mais representativa na RMSP e na RMC do que na RMBS (respectivamente, 87%, 60% e 16%[3]).

O reconhecimento dos malefícios causados à saúde por poluentes oriundos da queima de combustíveis, em especial os fósseis, como problemas respiratórios e cardiovasculares, bem como afecções alérgicas, tem feito com que a regulamentação do setor de transporte coletivo passe a considerar cada vez com maior rigor as questões relativas aos combustíveis e às tecnologias de propulsão. Dentre essas regulamentações, destaca-se a Resolução CONAMA[4] 403/2008, que Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) para veículos pesados novos (Fase P-7), como medida mais efetiva para redução das emissões.

Para que os novos limites de emissões da fase P-7 sejam atendidos, além de modificações nos motores, são necessários novos sistemas de pós-tratamento dos gases de escapamento, bem como diesel com reduzido teor de enxofre.

1 Frota Regular da EMTU/SP em set/2012.

2 Relatório de Gestão Operacional, EMTU, jan/2013.

3 Contabilizadas as estações de Cubatão e Santos.

4 CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

A nova legislação P-7 prevê a redução de 60% de óxido de nitrogênio (NOx) e de 80% das emissões de material particulado (MP) com relação à fase P-5, anterior, equivalente ao padrão EURO III e que era válida para veículos produzidos até dezembro de 2011. Se comparada com o início do PROCONVE, em 1986, a redução de material particulado da nova fase é de 96,3%, e a de NOx, de 87,3%.

Em paralelo, a Política Estadual de Mudança do Clima (PEMC), instituída pela lei nº 13.798/2009 e regulamentada pelo decreto nº 55.947/2010, começou a delinear os caminhos para a adoção de um transporte coletivo mais sustentável, indicando a participação do governo do Estado de São Paulo na criação de instrumentos econômicos e de estímulos ao crédito financeiro voltados para medidas mitigadoras de emissões de gases de efeito estufa.

A PEMC indica ainda a aplicação de recursos associados ao Fundo Estadual de Controle e Prevenção da Poluição (FECOP), com prioridade para, entre outros direcionamentos, ações e planos em setores da economia mais afetados pelas mudanças do clima. Neste contexto, encaixa-se claramente a questão do transporte coletivo, devido à emissão de poluentes pela frota pública. A lei aponta ainda a necessidade de incorporar-se a dimensão climática no processo decisório relativo às políticas setoriais que se relacionem às emissões.

As exigências cada vez maiores quanto à redução dos níveis de emissão de poluentes dos ônibus têm contribuído para a diversificação das alternativas tecnológicas de propulsão, visando maior eficiência energética, aliadas à menor utilização de combustíveis fósseis, principal responsável pela geração dos poluentes.

A EMTU/SP há algum tempo já estuda tecnologias alternativas ao diesel que tragam menores impactos à saúde e ao meio ambiente. As experiências realizadas ou em desenvolvimento são detalhadas a seguir.

Desenvolvimento tecnológico na EMTU/SP

ETANOL

Os testes com o veículo entre 2008 e 2010 não envolveram testes de emissões em operação, houve apenas a homologação do motor em operação que atendesse à legislação vigente à época dos testes. Considerando-se que somente em 2012 entrou em vigor a fase P-7, equivalente ao padrão de emissão Euro 5, o ônibus movido a etanol já estava enquadrado na fase posterior. A adaptação do motor ciclo diesel para o etanol não exigiu mudanças significativas, a não ser na taxa de compressão de 22:1, injeção eletrônica e injetores com maior capacidade volumétrica.

Essas diferenças residem no fato do etanol não possuir a propriedade de autoignição por compressão, que é o princípio de funcionamento do motor ciclo diesel. Assim, para que o motor ciclo diesel movido a etanol funcione adequadamente, deve-se ter alta taxa de compressão (22:1) e ser adicionado em 5% no seu volume um aditivo promovedor da ignição e lubricidade da mistura, de acordo com os padrões do diesel. A única empresa fornecedora do aditivo para a frota de cerca de 600 ônibus a etanol de Estocolmo foi a mesma a fornecer para a realização dos testes deste projeto.

O etanol apresenta menor conteúdo energético quando comparado ao diesel, acarretando em um consumo médio maior que o veículo movido a diesel de mesma potência. Isto faz com que o ônibus a etanol necessite de um volume maior de combustível para percorrer a mesma distância e, consequentemente, possuir tanques de combustível com maior capacidade.

A conclusão do Projeto BEST elucidou que "apesar dos ganhos ambientais relacionados à substituição do diesel pelo etanol, o motor ciclo diesel a etanol aditivado enfrenta barreiras, como o custo superior ao motor diesel convencional, a insegurança do setor de transportes em adquirir uma nova tecnologia nunca antes utilizada em larga escala no Brasil, bem como a produção dos motores e do aditivo no Brasil. Portanto, a implantação desta nova tecnologia no transporte público urbano depende de incentivos promovidos pelo setor público brasileiro, até que seu custo seja diminuído quando atingir uma economia de escala".[5]

5 O Projeto BEST – Etanol para o Transporte Sustentável – Uma Contribuição ao Meio Ambiente das Metrópoles

Figura 1.1 – Ônibus movido a etanol – EMTU/SP

FONTE: ACERVO EMTU/SP

HIDROGÊNIO

O "Projeto Ônibus Brasileiro a Hidrogênio" envolve a "aquisição, operação e manutenção de até quatro ônibus com célula a hidrogênio. Contempla, ainda, a instalação de uma estação de produção de hidrogênio por eletrólise a partir da água e abastecimento dos ônibus, além de acompanhamento e verificação do desempenho dos veículos que serão utilizados" [6] no Corredor ABD. A coordenação desse projeto ficou a cargo da EMTU/SP, com direção do Ministério das Minas e Energia (MME) e recursos do Global Environment Facility (GEF) e da Agência Brasileira de Inovação (FINEP) aplicados por meio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

Um dos objetivos apresentados pelo projeto consiste na aquisição e no repasse do conhecimento tecnológico para uma produção nacional desse veículo e de alguns componentes, acarretando em custos competitivos em termos de mercado. O projeto e a fabricação do ônibus foram desenvolvidos por um consórcio formado por oito empresas nacionais e internacionais (AES Eletropaulo, Ballard Power Systems, EPRI International, Hydrogenics, Marcopolo, Nucellsys, Petrobras Distribuidora e Tuttotrasporti). A estação de produção de hidrogênio foi instalada na garagem da concessionária Metra, operadora do Corredor ABD.

Algumas das potencialidades do projeto se destacam, como:

- Aquisição e disseminação de tecnologia que poucas empresas no mundo têm capacidade de produzir;
- Disseminar as bases tecnológicas para transformar o Brasil em um exportador de ônibus a hidrogênio, com expectativas de usufruir da sinergia do fato do país ser um dos maiores fabricantes mundiais de chassis e carrocerias;
- O veículo é o mais barato entre os países que o adotaram;
- O ônibus brasileiro traz como diferencial o fato de ser híbrido, funcionando com células a combustível e baterias recarregáveis, possibilitando recuperação de energia;
- Conta com uma estação própria de produção e abastecimento de hidrogênio;
- Capacidade de transporte de passageiros similar ao de veículos equivalentes movidos a diesel.

6 Fonte: http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/empreendimentos/projetos-de-desenvolvimento-tecnologico/onibus-a-hidrogenio/cronologia.fss

No período entre 2010 e 2011, o veículo percorreu 903,7 km em 23 dias de operação, sendo que durante 18 dias foram transportados 1.047 passageiros. O consumo médio de H2 no período em que o veículo operou com passageiros foi de 10,40 kg/100 km.

As conclusões apresentadas no teste de verificação foram:

- O veículo atende às condições dinâmicas e de segurança necessárias para operação no corredor;
- Os motoristas estavam familiarizados com a condução do veículo após treinamento;
- Em consultas aos passageiros, o veículo foi elogiado quanto ao baixo nível de ruído e vibração;
- Com relação à manutenção, os reparos foram geralmente rápidos e não paralisaram o veículo por longos períodos. Porém, foi ressaltada a importância da disponibilidade de peças e de sistemas de reposição.

Figura 1.2 – Ônibus movido a hidrogênio - EMTU/SP

FONTE: TUTTOTRASPORTI

TRÓLEBUS

A EMTU/SP dispõe de 80 veículos do tipo trólebus (43 Padron e 37 articulados), todos operando no Corredor ABD. Esta frota de trólebus operada no Corredor ABD percorre anualmente cerca de 4,5 milhões de quilômetros.

A EMTU/SP continua investindo no sistema de trólebus. Está atualmente em projeto a implantação do Centro de Controle de Energia (CCE), onde será possível supervisionar 50 estações retificadoras do corredor ABD, com exceção do trecho Diadema – São Paulo (Morumbi). Além disso, o sistema que foi eletrificado há 24 anos está sendo aumentado e repotencializado, a fim de permitir que a concessionária consiga aumentar gradualmente a frota movida a energia elétrica. Dos 33 quilômetros do Corredor ABD, somente 22 eram eletrificados, no trecho entre São Mateus (São Paulo) e Piraporinha (Diadema). Recentemente, foi eletrificado o trecho restante do Corredor, entre Piraporinha (Diadema) e Jabaquara (São Paulo). Neste empreendimento, estão sendo implantadas novas Estações Retificadoras, e as existentes estão sendo substituídas para utilização de equipamentos mais modernos e com tecnologia de última geração, com potência maior, incluindo ainda a reforma da estação retificadora localizada na unidade da EMTU/SP, em São Bernardo do Campo.

Figura 1.3 - Trólebus - EMTU/SP

FONTE: ACERVO METRA.

HÍBRIDO

Atualmente, a frota referente à EMTU/SP dispõe de 14 veículos híbridos, sendo 13 do tipo Padron e 1 articulado. Todos estes se encontram em operação no Corredor ABD, sob a responsabilidade da empresa Metra[7].

A operação de veículos híbridos pela Metra começou em 2003, com 3 veículos Padron. Posteriormente, o ônibus articulado entrou em operação em 2008, mais 2 Padron em 2010 e 7 em 2011. Por fim, mais 1 veículo foi adicionado à frota em 2012, sendo que este já atende a padrões da fase P-7 do PROCONVE. Atualmente, trabalha-se com uma vida útil estimada de 20 anos, embora se acredite que os veículos possam chegar a 30 anos.

Os veículos do tipo Padron apresentam um desempenho de 1,66 km/l. Estima-se que uma nova versão do veículo já obtenha desempenho de 1,89km/l, cerca de 20% a mais que um veículo diesel equivalente. Informações referentes à operação indicam ainda economia de 30% em custos de manutenção do veículo híbrido também em relação a um veículo diesel de características similares[8].

Figura 1.4 - Ônibus híbrido diesel-elétrico – EMTU/SP

FONTE: ACERVO METRA.

7 Comunicação Pessoal por e-mail com Equipe de Manutenção da METRA, operadora do Corredor ABD, em março/2013.

8 Comunicação Pessoal por email com a Eletra, fabricante de veículos híbridos utilizados no Corredor ABD, em fevereiro/2013.

ELÉTRICO

Os testes com o veículo elétrico começaram em novembro de 2013, quando o ônibus circulou carregando pesos de areia. Desde fevereiro de 2014, o ônibus opera com transporte regular de passageiros. O veículo, desenvolvido pela Mitsubishi Heavy Industries (MHI) e a Mitsubishi Corporation (MC), em parceria com a Eletra e a concessionária Metra, percorre um trecho de 11,5 km do Corredor ABD, na extensão que liga o Terminal Diadema à Estação Morumbi da CPTM em São Paulo.

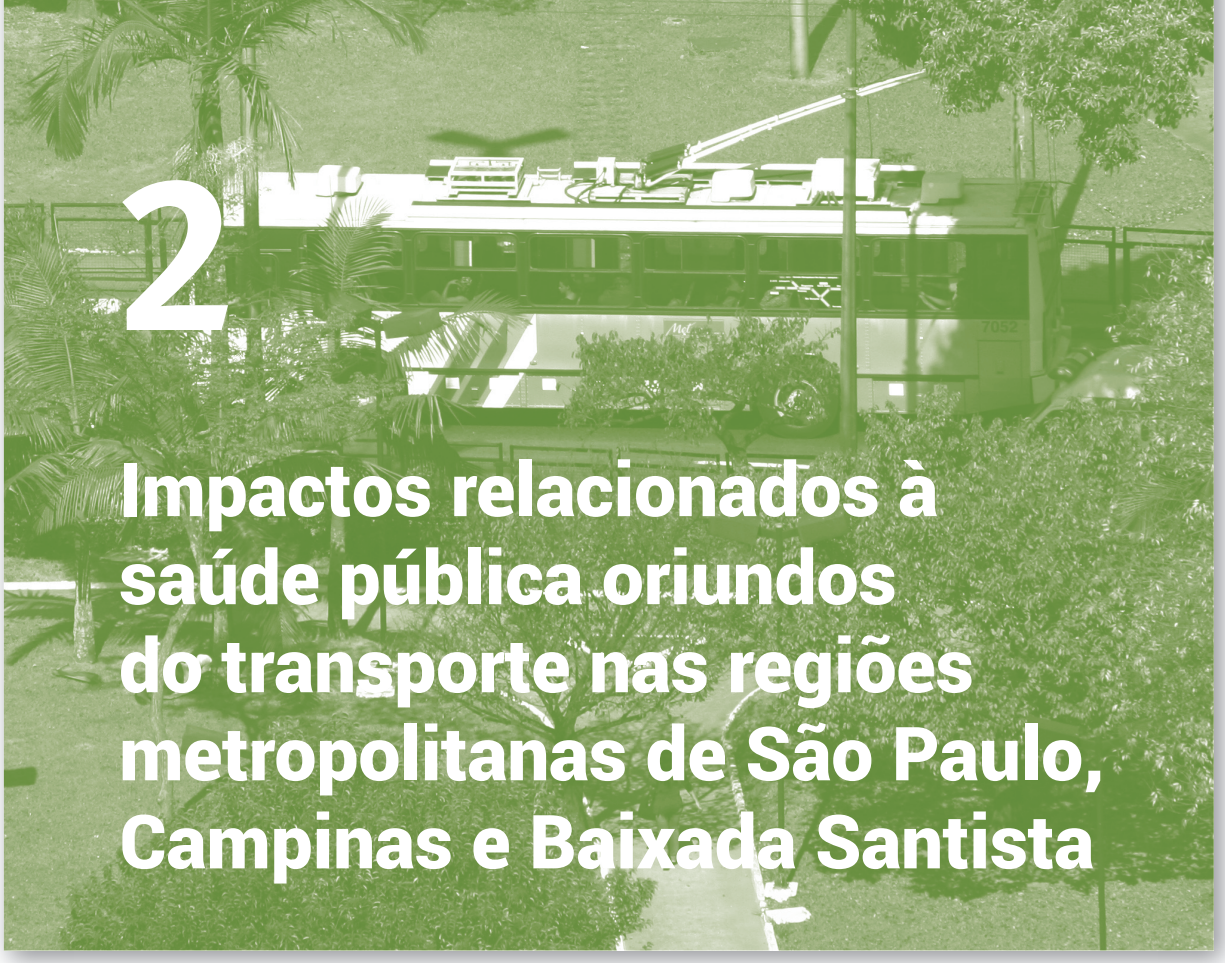
O ônibus, articulado, tem 18 metros de extensão e capacidade para 124 passageiros. As baterias são compostas por íons de lítio recarregáveis, do tipo das utilizadas em equipamentos eletrônicos portáteis, capazes de armazenar muito mais energia do que as baterias de tração mais comumente utilizadas.

A operação foi planejada para permitir, ao longo do dia, recargas rápidas (cada uma com duração de até quinze minutos) no Terminal Diadema, totalizando diariamente 180 km de rodagem (incluindo deslocamentos entre a garagem e o terminal). Além disso, se necessário, o ônibus pode receber cargas lentas (com duração de duas a três horas) na garagem da Concessionária Metra, durante a noite e em horários de baixa demanda de passageiros[9].

Figura 1.5 - Ônibus elétrico movido a bateria - EMTU/SP

FONTE: ACERVO METRA.

9 Fonte: http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/imprensa/noticias/empreendimentos/primeiro-onibus-movido-totalmente-a-bateria.fss



2 Impactos relacionados à saúde pública oriundos do transporte nas regiões metropolitanas de São Paulo, Campinas e Baixada Santista

A poluição atmosférica e a sonora causam prejuízos diretos à saúde das pessoas, como os relacionados a problemas respiratórios e de audição. A poluição do ar afeta o meio ambiente como um todo, ao provocar danos à fauna e a flora.

Segundo a Resolução CONAMA Nº. 3, de 28/06/1990, poluente atmosférico é "toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou outras características que estejam em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade".[10] Ou seja, por definição, há uma estreita ligação entre poluição e saúde, evidenciada na Tabela 2.1, na qual são apresentados os principais poluentes, suas principais fontes de emissão e os efeitos danosos que provocam ao meio ambiente e à saúde.

10 http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/informacoes-basicas/20-historico

Tabela 2.1 – Relação de Poluentes Atmosféricos e efeitos.

POLUENTE	EFEITOS MEIO AMBIENTE	EFEITOS SAÚDE
Fumaça e Material Particulado Inalável MP_{10}	• Danos à vegetação • Deterioração da visibilidade • Contaminação do solo	• Agravam quadros alérgicos de asma e bronquite • Agravam o quadro de doenças do coração • Podem ser cancerígenos • Facilitam a propagação de infecções gripais
Material Particulado total em suspensão PTS	• Danos à vegetação • Deterioração da visibilidade • Contaminação do solo	• Agrava quadros alérgicos de asma e bronquite • Agrava o quadro de doenças do coração • Pode ser cancerígeno • Facilita a propagação de infecções gripais
Dióxido de Enxofre SO_2	• Provoca chuva ácida afetando plantas, o patrimônio histórico, acidificação do solo e corpos d´água	• Provoca coriza, catarro e danos aos pulmões • Fatal em doses altas, especialmente combinado com Material Particulado
Óxidos de Nitrogênio NOx	• Em contato com a água, pode formar ácido nítrico, componente da chuva ácida	• Desconforto respiratório • Diminuição da resistência a infecções • Alterações celulares
Ozônio O_3	• Contribui para intensificação do efeito estufa • Afeta plantas e desgaste prematuro de materiais	• Causa envelhecimento precoce da pele • Diminui a resistência a infecções • Provoca irritação nos olhos, nariz e garganta • Provoca desconforto respiratório
Monóxido de Carbono CO	• Participa de reações fotoquímicas	• Diminui a oxigenação do sangue causando tonturas, vertigens e alterações no sistema nervoso central • Pode ser fatal em concentrações altas • Portadores de doenças cardiorrespiratórias podem ter sintomas agravados
Hidrocarbonetos HC (exceto metano)	• Participam do efeito estufa pela formação de CH_4 Favorecem a formação do ozônio troposférico	• Provocam irritação nos olhos, nariz e garganta
Aldeídos H-CHO	• Participam do efeito estufa pela formação de O_3	• Formaldeído é cancerígeno
Dióxido de Carbono CO_2	• Principal responsável pelo efeito estufa	• Causa problemas respiratórios e cardiovasculares
Metano CH_4	• Aumento do efeito estufa com intensidade 21 vezes superior à do CO_2 • Aquecimento global	• Asfixia, parada cardíaca, inconsciência, danos ao sistema nervoso central

FONTES:

SMT & SVMA. PLANO DE CONTROLE DE POLUIÇÃO VEICULAR NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. SÃO PAULO, FEVEREIRO, 2012.

CETESB. PLANO DE CONTROLE DE POLUIÇÃO VEICULAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (2011-2013). SÃO PAULO, CETESB, 2010.

GRUNKARUT, MELANIE. GÁS METANO. DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.COOPERMITI.COM.BR/COOPERMITI_ADMIN/PDFS/D6C6F1F63B347A6489D661C14B9282A2.PDF ACESSO EM JUL/2013.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. DISPONÍVEL EM: HTTP://WWW.IAP.PR.GOV.BR/MODULES/CONTEUDO/CONTEUDO.PHP?CONTEUDO=59 ACESSO EM JAN/2013.

Levando em conta estes efeitos, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) monitora a presença de alguns destes gases e materiais particulados na atmosfera, produzindo relatórios indicativos do nível de saturação de Materiais Particulados (MP_{10}), dos Dióxidos de Enxofre (SO_2) e Nitrogênio (NO_2), além do Monóxido de Carbono (CO) e Ozônio (O_3), bem como caracterizando a condição de qualidade do ar, conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Índices de saturação de poluentes mapeados pela CETESB para 2011.

Qualidade	Índice	MP_{10} (µg/m³)	O_3 (µg/m³)	CO (ppm)	NO_2 (µg/m³)	SO_2 (µg/m³)
Boa	0 - 50	0 – 50	0 - 80	0 - 4,5	0 - 100	0 - 80
Regular	51 - 100	50 – 150	80 - 160	4,5 - 9	100 - 320	80 - 365
Inadequada	101 - 199	150 - 250	160 - 200	9 - 15	320 - 1130	365 - 800
Má	200 - 299	250 - 420	200 - 800	15 - 30	1130 - 2260	800 - 1600
Péssima	> 299	> 420	> 800	> 30	> 2260	> 1600

FONTE: CETESB, 2012.

Os índices de saturação (ou concentração dos poluentes) são balizados, para efeito de divulgação, pelo índice mais elevado apresentado pela estação de medição. Em outras palavras, as concentrações apresentadas pela CETESB para cada poluente, em determinada estação de medição, são aquelas com a pior medição registrada.

Assim, os índices de concentração registrados para cada poluente são ponderados de forma que se obtenha um único índice, que traduz os efeitos que as concentrações são capazes de gerar para a saúde humana. Esses efeitos associados à qualidade do ar são apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Significado dos Índices de saturação de poluentes.

Qualidade	Índice	Significado
Boa	0 - 50	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51 - 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.
Inadequada	101 - 199	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.
Má	200 - 299	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Os efeitos são ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	> 299	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

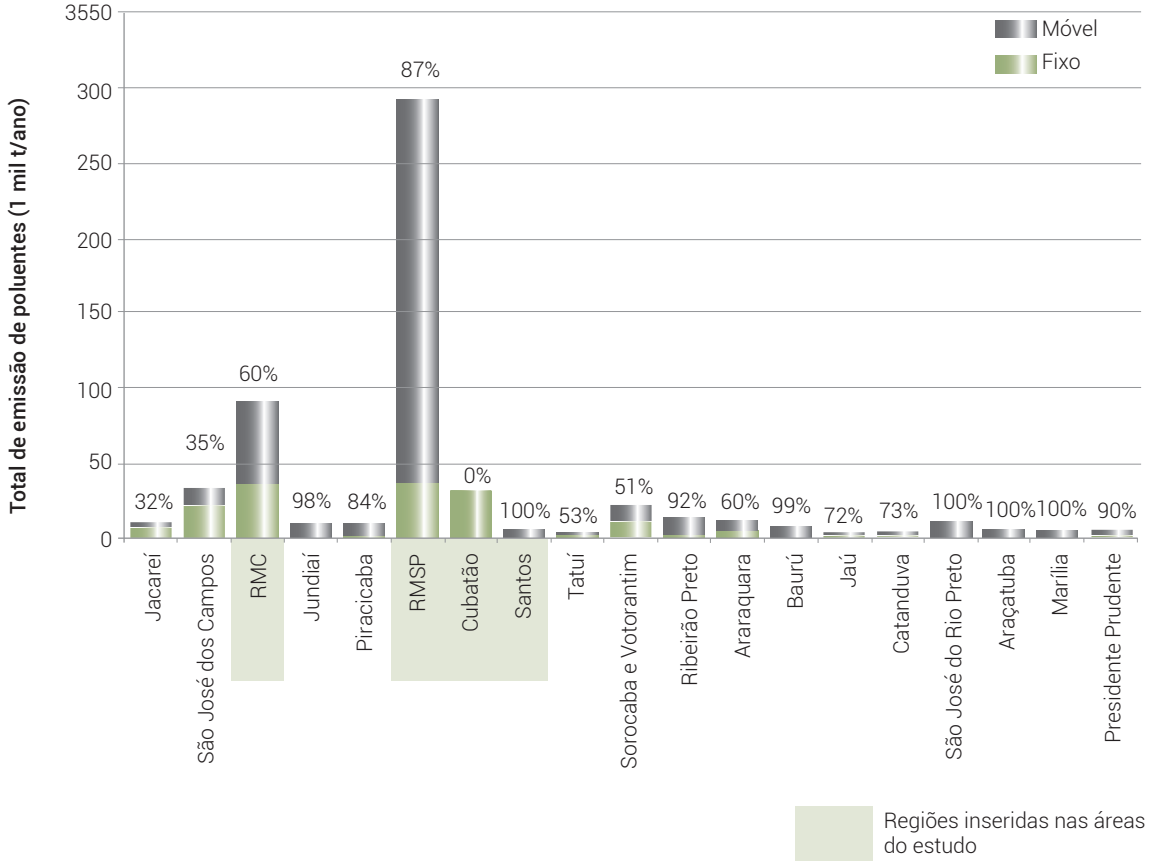
FONTE: CETESB, 2012.

O resultado deste mapeamento é apresentado anualmente em um Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo (CETESB, 2012). Conforme o relatório de 2011, ao longo do ano de 2010, o grau de saturação diário dos poluentes, medido nas estações de medição situadas nos municípios onde atua a EMTU/SP, foi ultrapassado mais frequentemente em Osasco e Cubatão. Nessas cidades, as medições superaram os valores de referência tanto para material particulado inalável, quanto para partículas em suspensão e dióxido de enxofre. Já os níveis de ozônio foram ultrapassados recorrentemente em todos os municípios, computando-se 94 ultrapassagens severas durante o ano.

A avaliação da contribuição dos veículos automotores neste total de emissões é feita a partir da quantificação das emissões esperadas, somando-se fontes fixas e móveis, ou seja, oriundas respectivamente da produção industrial (Sistema de Inventário de Emissões de Fontes Estacionárias) e de veículos automotores. De acordo com os resultados obtidos por meio da aplicação desta metodologia, há uma grande variação entre as regiões, conforme o grau de industrialização da área analisada e o tamanho da frota veicular circulante. Observa-se que na Região Metropolitana de São Paulo a contribuição das fontes móveis é muito superior à das demais regiões e municípios, sendo o oposto do que ocorre em Cubatão, onde a alta concentração de indústrias torna a representatividade das emissões automotivas praticamente nula, como se pode observar no gráfico da Figura 2.1.

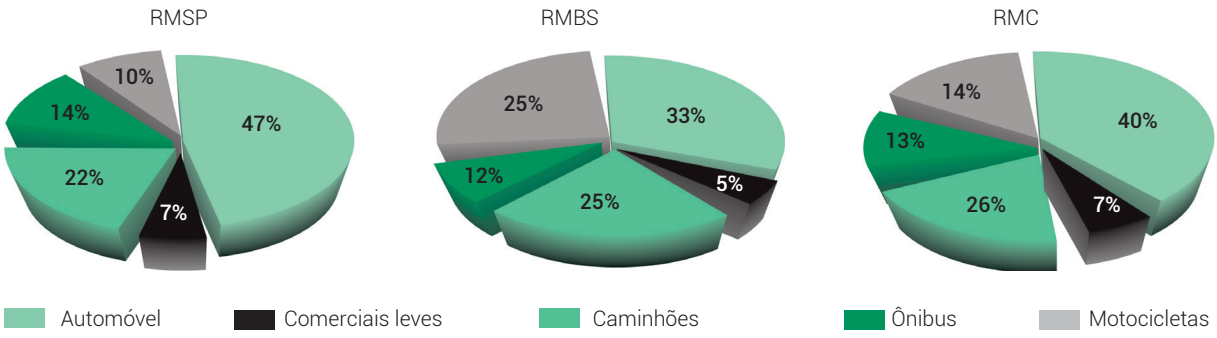
Este gráfico (Figura 2.1) apresenta os volumes de emissões de fontes fixas e móveis medidas nas estações da CETESB no Estado de São Paulo, com a porcentagem das emissões de fontes móveis apresentadas no topo. Nota-se que, dentre as estações localizadas nas áreas onde a EMTU/SP atua, somente em Cubatão a contribuição das fontes móveis, na qual estão incluídas as emissões veiculares, não é a mais significativa.

Figura 2.1 – Emissões de poluentes por tipo de fonte emissora por estação de medição da CETESB e total das Regiões Metropolitanas de São Paulo e Campinas em 2010.



Segundo o relatório da CETESB de 2011, dentre as categorias de veículos automotores, a colaboração da frota de ônibus nas Regiões Metropolitanas de São Paulo, Baixada Santista e Campinas varia entre 12% e 14%, quando se considera a emissão de CO, HC, NO_2, MP_{10} e SO_2, como se observa na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Estimativa da participação de cada categoria veicular na emissão de poluentes nas Regiões Metropolitanas em 2011 (emissões de CO/HC/NOx/MP_{10}/SO_2 em toneladas).



O crescimento da frota de ônibus, contudo, não tem acompanhado o da quantidade total de veículos de um modo geral. Embora varie de 3,5% a 6,6%, o crescimento da frota de ônibus nas diversas instâncias analisadas é sempre inferior ao crescimento da frota total de veículos, que vai de 5,3% a 9,2%, o que aponta para um aumento na quantidade de veículos privados. Este fato indica uma taxa de motorização, em 2009, mais baixa para a Região Metropolitana da Baixada Santista (342 veículos /1.000 habitantes), sendo a mais próxima da média brasileira (311 veículos /1.000 habitantes). As Regiões Metropolitanas de São Paulo e de Campinas apresentam, respectivamente, 466 e 522 veículos/1.000 habitantes, valores mais associados à média do Estado de São Paulo (463 veículos/1.000 habitantes). Com relação ao número de habitantes por ônibus, as diferenças entre as Regiões Metropolitanas estudadas também são marcantes, com a média de São Paulo (184 hab./ônibus) e de Campinas (180 hab./ônibus) próximas à média estadual (200 hab./ônibus). A média da Baixada Santista (301 hab./ônibus) possui valor acima da média brasileira (285 hab./ônibus). Estas relações, que têm por base os dados do DENATRAN, devem levar em conta o peso que cada uma dessas frotas possui, salientando a importância da RMSP, cuja frota total de veículos e ônibus representa, sozinha, mais de 46% de toda frota estadual e 13% da nacional.

Valoração do impacto econômico da poluição na saúde

Apesar dos prejuízos causados pela poluição serem facilmente constatados, atribuir custos à poluição tem sido uma tarefa de difícil execução, em parte justificada pelos diferentes métodos de valoração.

Os efeitos das várias fontes de poluição e da significativa variação da concentração de poluentes em função das condições climáticas, como altitude, regime dos ventos, condição de dispersão, relevo, etc., influenciam na dificuldade em medir a parcela de contribuição do transporte no total de emissões de poluentes. Assim, grandes volumes podem não resultar em problema direto de saúde pública, caso haja ventos em altas velocidades no local[11] ou o período de exposição seja breve, tornando bastante complexa a monetização dos malefícios ocasionados pela poluição do ar ao ser humano.

Diversos estudos vêm sendo realizados com o intuito de definir um valor econômico para a poluição, principalmente nos países industrializados. A quantificação dos prejuízos à saúde tem se concentrado na estimativa de valores de mercado para internações hospitalares, compra de medicamentos e perda de horas de trabalho. Entretanto, a quantificação é mais difícil para aspectos como o desconforto e a sensação de mal-estar ocasionados pela poluição atmosférica e perdas parciais de audição causadas pela poluição sonora[12].

Segundo estudo realizado no Instituto de Políticas de Transporte de Victoria[13], os principais fatores que interferem na valoração da poluição são:

11 Quantificação das Deseconomias do Transporte Urbano: Uma Resenha das Experiências Internacionais. Texto para Discussão nº586. Eduardo de Alcântara Vasconcellos e Iêda Maria de Oliveira Lima, Brasília, agosto de 1998.

12 Transporte e Meio Ambiente – Conceito e informações para análise de impactos. Eduardo de Alcântara Vasconcellos. Ed. do Autor. São Paulo, 2006.

13 Transportation Cost and Benefit Analysis II – Air Pollution Costs. Victoria Transport Policy Institute, Canadá, 2010.

- A mortalidade e a morbidade causadas pela exposição ao poluente (conhecida como função dose-resposta, que identifica o quanto certa dose de exposição ao poluente traz de consequência para a saúde);

- O número de pessoas expostas;

- O valor dado à saúde e à vida humana (medido através de diversas técnicas, como Valor Estatístico da Vida (Value of a Statistical Life-VSL), Valor de um ano de Vida (Value of a Life Year-VOLY), Potenciais Anos de Vida Perdidos (Potential Years of Life Lost-PYLL) e Anos de Vida Perdidos ou vividos com incapacidades (Disability Adjusted Life Years-DALY);

- Custos adicionais devidos a prejuízos considerados na análise (pode abranger prejuízos ecológicos, patrimoniais ou ainda agrícolas).

Muitos estudos epidemiológicos sobre a poluição atmosférica vêm sendo desenvolvidos, e algumas relações entre poluição e custos têm sido identificadas, apesar da grande variedade de condições e da controvérsia sobre os resultados[14].

No Brasil, como exemplo, estudos indicam que altos níveis de concentração de poluentes já se mostraram estatisticamente significantes na mortalidade em idosos[15] [16] e na mortalidade infantil[17]. Também são comprovadas hospitalizações em crianças e adultos por causas respiratórias[18]. No município de São Paulo, em dias muito poluídos, o número de internações por doenças respiratórias cresce cerca de 30%[19], e a mortalidade em idosos aumenta 12%. A expectativa de vida para os paulistanos também é reduzida com a exposição sistemática à poluição do ar. A cada ano vivido, perdem-se dois anos como expectativa de vida[20].

Ainda em São Paulo, o estudo conduzido por Miraglia e Silva[21] avaliou o impacto da poluição em dias de paralisações do Metrô e encontrou uma correlação forte entre emissão de MP_{10} e mortes em idosos com 65 anos ou mais de idade. Alguns estudos tentaram valorar a poluição devida à utilização do óleo diesel no transporte coletivo[22]ou, ainda, custos de mortalidade e morbidade anuais que poderiam ser evitados com a substituição do diesel por etanol[23].

Apesar de valorar custos relacionados à poluição, esses estudos apresentam limitações para utilização em uma avaliação econômico-financeira, visto que nem sempre abrangem diferentes poluentes em um mesmo estudo, nem resultam em estimativas unitárias de custo. Além disso, como apontado nos próprios estudos, há uma carência de aprofundamento dos dados disponíveis, o que gera incertezas nas estimativas realizadas.

14 Vide nota 1.

15 Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in Sao Paulo. ***Paulo*** Hilário Nascimento ***Saldiva***; C. Arden Pope; Joel Schwartz; Douglas W. Dockery; Ana J. Lichtenfels; João Marcos Salge; Lidia Barone; Gyorgy Miklós BOHM. Arch Environ Health, vol.50, n.2, p.159-163, mar./abr. 1995.

16 Análise do Impacto do Consumo de Diferentes Combustíveis na Incidência de Mortalidade por Doenças Respiratórias no Município de São Paulo. Simone Georges El Khouri Miraglia. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.

17 Air pollution and child mortality: a time-series study in São Paulo, Brazil. Gleice M S Conceição; Simone Georges El Khouri Miraglia; Humberto Setsuo Kishi; ***Paulo*** Hilário Nascimento ***Saldiva*** e Julio da Mota Singer. Environ Health Perspect, vol.109, n. 3, p. 347-350, jun. 2001.

18 Time series analysis of air pollution and mortality: effects by cause, age and socioeconomic status. Nelson Gouveia e Tony Fletcher. J. Epidemiology Community Health, vol. 54, p.750-755, out. 2000.

19 Poluição e Saúde. Alfésio Luis Ferreira Braga e ***Paulo*** Hilário Nascimento ***Saldiva***. Jornal de Pneumologia, p. S10-S16, 2001.

20 Vide nota 6.

21 Valoração dos Benefícios do Metrô para a saúde pública com a redução da poluição do ar em São Paulo. Cacilda Bastos Pereira da Silva e Simone Georges El Khouri Miraglia. VIII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Cuiabá, 2009.

22 Custo da poluição gerada pelos ônibus urbanos na RMSP. Vivian Mac Knight e Carlos Eduardo Frickmann Young. 2006. Disponível em http://www.cntdespoluir.org.br/Paginas/Publicacoes-externas.aspx?cat=Polui%C3%A7%C3%A3o%20atmosf%C3%A9rica Acesso em mar./2013

23 Etanol e Saúde Humana: uma abordagem a partir das emissões atmosféricas. Paulo Hilário de Nascimento Saldiva, Maria de Fátima Andrade, Simone Georges El Khouri Miraglia e Paulo Afonso de André. Disponível em http://www.sindalcool.com.br/estudos/ETANOL_SA%C3%9ADE_HUMANA_ABORDAGEM_A_PARTIR_DAS_EMISS%C3%95ES_ATMOSF%C3%89RICAS.pdf Acesso em abr./2013.

Mesmo estudos focados na obtenção de valores unitários, encontrados mais facilmente em textos internacionais e tradicionalmente utilizados em avaliações econômico-financeiras, apresentam grande variabilidade de valores, devido à grande complexidade envolvida e ao número reduzido de estudos detalhados sobre o assunto. O valor atribuído à poluição em função de um custo unitário por unidade de massa (US$/kg, R$/ton., €/g, etc.) varia de acordo com o poluente analisado e em função das características da localidade. Uma síntese de alguns estudos pode ser observada na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Custo em saúde dos poluentes em diversos estudos

POLUENTE	US$/kg				
	Delucchi, 1996a	Miller e Moffet, 1993b	Litman, 1996c	IPEA, 1998d *	CE Delft, 2000e **
CO	0,01 - 0,09	1,0		0,095	
HC				0,57	
NOx	1,17 - 17,29	0,64 - 8,8	3,97	0,56	0,5 - 9,68
SOx	6,9 - 65,22	1,0 - 4,5	5,15		1,4 - 13,1
MP	9,75 - 133,78	3,6	4,89	0,455	3,0 - 676,9
CO_2***		0,06 - 0,13	0,046		

A,B,C,D - DADOS APRESENTADOS EM VASCONCELLOS, 2006[24]; E- DADOS DO CE DELFT[25] COMPILADOS EM 2008, MAS REFERENTES A 2000;

* À ÉPOCA DO ESTUDO, 1 R$ ERA EQUIVALENTE A 1 US$; OS VALORES DA TABELA FORAM OBTIDOS DIVIDINDO-SE OS VALORES EM REAIS POR DOIS;

**À ÉPOCA DO ESTUDO, 1€ ERA EQUIVALENTE A 1,01 US$.

*** O CO_2 NÃO É CONSIDERADO POLUENTE, MAS É O PRINCIPAL GÁS DO EFEITO ESTUFA.

Além disso, o valor atribuído à poluição pode sofrer redução ao longo do tempo, devido a avanços tecnológicos em tratamentos que reduzem doenças e mortalidades. Em contrapartida, outros fatores contribuem para o aumento do custo, como o aumento da população exposta aos poluentes, devido à maior quantidade de pessoas nas zonas urbanas[26].

Atualmente, a metodologia mais utilizada no Brasil para estimar os custos da poluição tem sido selecionar dados de pesquisas internacionais de países com mais experiência na área e adaptar esses dados à economia brasileira. Esta adaptação é essencial para se evitar que os salários maiores dos médicos e das pessoas dos países industrializados produzam custos hospitalares excessivamente altos nos países em desenvolvimento[27]. As principais referências brasileiras para a valoração das emissões são o estudo da ANTP[28] e cálculos de benefícios do Metrô e da CPTM[29].

No estudo elaborado pela ANTP e publicado em 1999, os dados existentes no Brasil são combinados com dados internacionais oriundos de várias fontes, a fim de se obter uma representação dos custos advindos da poluição.

Com metodologia semelhante, mas em um contexto mais específico, o grupo de técnicos do departamento de Estudos Urbanos e Avaliação de Transportes do Metrô utiliza metodologias internacionais para projetar os custos da inexistência da sua rede sobre trilhos ou da incorporação de novas linhas ao seu sistema. A metodologia empregada pelo Metrô, contudo, apresenta outra forma de tratar a diferença entre a realidade europeia e a brasileira.

Nesse estudo, os valores dos países desenvolvidos são comparados ao poder de compra da população do Brasil, como no estudo do PITU 2020[30], o qual, partindo do pressuposto de que os custos da poluição estão ligados aos salários das pessoas e aos custos médico-hospitalares, adotou método semelhante.

24 Vide nota 14.

25 Handbook on Estimation of External Costs in the Transportation Sector. CE Delft, 2008.

26 Vide nota 13.

27 Vide nota 14.

28 Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público. Revista dos Transportes Públicos – Ano 21, 1º trimestre, ANTP, 1999.

29 Benefícios econômicos e Renovação da Frota. Transporte Metropolitano, Metrô e CPTM, Julho de 2007.

30 Plano Integrado de Transportes Urbanos para 2020, plano para a RMSP realizado em 1999 pela Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos (STM).

Essa metodologia de cálculo, que começou a ser usada pelo Metrô nos anos 1990, durante a realização do estudo de viabilidade da Linha 4-Amarela, tem sido ajustada com os estudos mais recentes do Metrô, adotando a paridade do poder de compra da Europa e do Estado de São Paulo (cerca de 1,6:1) e a atualização anual dos valores, buscando abarcar as mudanças tecnológicas do sistema e da estruturação da própria cidade[31]. A Tabela 2.5 apresenta os valores recentes utilizados pelo Metrô em seus cálculos de benefícios.

Tabela 2.5 – Custo das emissões em toneladas

Custo dos Poluentes (R$/toneladas)	
CO	701,44
HC	3.104,82
NOx	3.588,89
SOx	13.660,28
MP	18.356,04
CO_2*	112,73

*O CO_2 NÃO É CONSIDERADO POLUENTE, MAS É O PRINCIPAL GÁS DE EFEITO ESTUFA.

FONTE: METRÔ, 2012.

Em função do custo de emissões associados a fatores de emissão, que variam de acordo com a tecnologia e a condição operacional, é possível calcular o custo total de uma situação específica.

É importante lembrar que mesmo o ônibus a diesel, veículo com maior emissão de poluentes, pode ser considerado vantajoso ambientalmente frente aos modos individuais, como o automóvel e a motocicleta, quando se leva em conta a ocupação média. Os automóveis emitem quase oito vezes mais poluentes por passageiro-km do que os ônibus, e as motocicletas, dezesseis vezes mais. A mesma análise é observada quanto aos custos para a sociedade, em que o carro causa à sociedade um custo quatro vezes superior ao do ônibus, enquanto a moto tem um custo quase sete vezes maior do que o do ônibus.[32]

31 Relatório de Sustentabilidade do Metrô – 2012.

32 Vide nota 13.

3 Caracterização das tecnologias veiculares existentes

O serviço de transporte coletivo por ônibus vive um momento de maior preocupação da sociedade, com o reconhecimento da importância da utilização de energias renováveis e da necessidade de redução das emissões de poluentes, que em parte já aparecem como exigências contempladas pela legislação (por exemplo, a fase P-7 do PROCONVE). O setor é desafiado não só a manter, mas a aumentar sua atratividade, oferecendo serviços de maior qualidade e conforto, bem como a apresentar uma alta performance tecnológica, e isso a um custo relativamente baixo, se comparado a outros modais coletivos de transporte de massa, como o trem e o metrô.

Fabricantes e empresas operadoras de ônibus já se mobilizam para se adaptar às novas exigências. O veículo a diesel tem se desenvolvido em diferentes vertentes tecnológicas (filtros, catalisadores, sistema de injeção eletrônica e de recirculação de gases de escape, entre outros). Em paralelo, políticas de utilização de biocombustíveis são cada vez mais estimuladas, em especial a do biodiesel, que era obrigatório em 6% da mistura do diesel e agora, desde Novembro de 2014, em 7%. Outras tecnologias de propulsão vêm se destacando devido à sua característica de emissão-zero de poluentes no âmbito local, como a dos veículos de propulsão elétrica (trólebus e ônibus elétrico puro) e daqueles movidos a hidrogênio.

O caminho para a viabilidade da implantação de tecnologias veiculares alternativas ao diesel, entretanto, ainda é longo. O aumento dos gastos com manutenção e treinamento de mão-de-obra e a falta de mercado para venda do veículo ao fim de sua vida útil são desestímulos para que os operadores decidam adotar opções diferentes do veículo movido a diesel. Outras barreiras estão ligadas ainda à falta de maturidade de mercado de algumas tecnologias, como, por exemplo, a falta de peças para reposição ou mesmo a incerteza sobre as condições de produção e distribuição de combustível para atender a uma frota do porte da que hoje circula nas regiões metropolitanas paulistas.

Apesar da hegemonia dos veículos a diesel nas três Regiões Metropolitanas estudadas, outras tecnologias de propulsão veicular são conhecidas pelas operadoras nacionais. Veículos movidos a gás, eletricidade, etanol, biodiesel, hidrogênio e veículos híbridos já foram ou estão sendo utilizados na RMSP, seja em testes ou em operação regular, tanto pelas operadoras da capital, quanto pelas operadoras metropolitanas gerenciadas pela EMTU/SP. Em diversos países, tecnologias alternativas já estão consolidadas, constituindo porcentagem significativa da frota de alguns municípios.

A seguir, são apresentadas as principais tecnologias existentes e em desenvolvimento, inclusive as inovações no sistema do veículo movido a diesel, que tem potencial para trazer maiores benefícios à população, oriundos da redução da poluição ambiental.

DIESEL

De um modo geral, o diesel é a forma de propulsão predominante nas frotas de ônibus em todo o mundo. No Brasil e em outros países, a incorporação de novas tecnologias nos motores diesel dos ônibus deu lugar a uma nova geração de veículos, mais limpos e silenciosos, contribuindo para uma mudança da imagem dos velhos ônibus ruidosos e poluentes. As inovações podem ser divididas em três tecnologias-chaves: a otimização da combustão, o pós-tratamento dos gases de escape e as tecnologias de injeção eletrônica.

As novas tecnologias de otimização da combustão têm sido eficientes, reduzindo o consumo de combustível, bem como as emissões poluentes, mediante um adequado controle da entrada do ar. Alguns exemplos são os turbocarregadores, Intercoolers ou aftercoolers, e o sistema de recirculação dos gases de escape (EGR: Exhaust Gas Recirculation). Já as tecnologias para o pós-tratamento visam à redução da emissão de poluentes (NOx e material particulado) nos gases de escape depois de terem sido gerados. Dentre essas tecnologias voltadas para os ônibus, constam: catalisadores de oxidação (DOC: Diesel Oxidation Catalyzers) e de redução catalítica seletiva (SCR: Sellective Catalytic Reduction), filtros de partículas diesel (DPF: Diesel Particulate Filter) e filtro de fluxo interno (FTF: Flow Through Filter). Avanços no controle eletrônico da injeção eletrônica contribuem simultaneamente para reduzir o ruído e a vibração, bem como as emissões de material particulado e de NOx, oriundos da combustão incompleta em alta temperatura, cujo sistema mais comum é o Common rail fuel injection.

BIODIESEL

O Biodiesel é fabricado através de um processo químico chamado transesterificação onde a glicerina é separada da gordura ou do óleo vegetal. O processo gera dois produtos, ésteres (o nome químico do biodiesel) e glicerina (produto valorizado no mercado de sabões). O biodiesel vem sendo utilizado como combustível nos motores a diesel em forma de mistura (B5, B20, etc.) ou como combustível puro (B100). Sua utilização tem crescido significativamente por ser compatível com a maioria dos motores comercializados atualmente e por apresentar vantagens ambientais e técnicas, como seu poder detergente, que mantém limpos os sistemas de condução e injeção do circuito de combustível dos motores, e a redução da emissão de poluentes, com exceção do NOx. Entretanto, sua utilização em misturas acima de 20% enfrenta resistências, devido ao aumento de consumo, o preço mais elevado do combustível e a necessidade de manutenção mais frequente para evitar a deterioração de alguns componentes do veículo.

Testes com este combustível são registrados desde 1994 na cidade de Graz, que hoje conta com 135 veículos com combustível B100 operando regularmente (100% da frota). Outras cidades europeias seguiram o mesmo caminho e adotaram ônibus com 100% de biodiesel em suas frotas, como Heinsberg (130 veículos), Zagreb (120 veículos), Burgos (27 veículos) e Luxemburgo (34 veículos). A utilização de misturas também tem diversas experiências internacionais, como Paris (285 veículos), York (76 veículos), Olympia (68 veículos) e Montreal (155 veículos). Destacam-se ainda as cidades de Madri e Sevilha, onde os veículos movidos a biodiesel compõem a maior parte de suas frotas.

No Brasil, a proporção de 6% de biocombustíveis no diesel comum é obrigatória e em breve passará a 7%. Testes com proporções superiores a esse valor vêm sendo realizados no Rio de Janeiro (14 veículos – B20). Além disso, Curitiba já conta com uma frota de 34 veículos operando com combustível B100, e em São Paulo a SPTrans chegou a operar regularmente 1.200 veículos com B20.

ETANOL

O etanol é um álcool produzido a partir da fermentação dos açúcares ou amidos existentes nos grãos de beterraba, em cereais como o milho, a cevada ou o trigo, na cana-de-açúcar, no sorgo (tipo de milho) e em outros cultivos denominados "energéticos". Em veículos leves, é amplamente utilizado como mistura de combustível na gasolina ou em sua forma pura em mais de 35 países, especialmente nos EUA e Brasil. Sua utilização em ônibus ou outros veículos pesados, com motor originalmente concebido para o diesel exige a aplicação de um aditivo na proporção de 5%.

O interesse pelos ônibus a etanol tem crescido no mundo inteiro, contudo, a maioria das experiências europeias, com exceção da sueca, pode ser classificada mais como experiência-piloto do que de operação regular. Em Estocolmo, cuja frota conta com mais de 400 veículos movidos a etanol, este combustível começou a ser incorporado como alternativa ao diesel no início da década de 1980. Outras cidades suecas têm frotas de ônibus a etanol, como, por exemplo, Umeå, Gävle, Örnsköldsvik e Falun. Outras experiências internacionais são mais recentes (entre 2006 e 2008) e foram realizados nas cidades de Nanyang, Beijing, Sevilha e Bangkok, limitando-se a um ou dois veículos.

Apesar de o Brasil ser líder mundial em produção de etanol, não são muitos os testes com ônibus movidos a etanol no país. Curitiba teve uma primeira experiência entre 1995 e 1998 em uma linha turística, mas não deu prosseguimento à utilização do combustível. A EMTU/SP realizou testes entre 2008 e 2009, mas a experiência também não resultou em ampliação do uso da tecnologia. Na frota gerenciada pela SPTrans, encontram-se 60 veículos operando regularmente. Apesar dos benefícios com a redução da emissão de poluentes e de requerer poucas adaptações para a sua implantação, o etanol tem diversas barreiras associadas ao custo operacional da tecnologia, como o elevado preço do aditivo e o rendimento energético inferior, que leva a um aumento do consumo de combustível.

DIESEL DE CANA-DE-AÇÚCAR

Por meio dos avanços tecnológicos, foi possível o desenvolvimento do diesel de cana-de-açúcar, tecnologia dominada por um número restrito de países. A tecnologia foi desenvolvida nos EUA, onde se produz principalmente milho e outros grãos. No Brasil, o processo consiste na utilização do xarope da cana-de-açúcar e adição de uma levedura que, na fermentação, sintetiza o farneseno (composto base do diesel de cana). Esse produto tem características semelhantes ao diesel, porém, apresenta maior lubricidade e não contém enxofre. Assim como o biodiesel, ele pode ser utilizado em diversas proporções de mistura com o diesel, podendo chegar à utilização de 100% do combustível.

As principais experiências com o diesel de cana foram realizadas utilizando-se diferentes proporções e relatam redução da emissão de poluentes sem alterações no desempenho. Em São Paulo, 160 veículos rodam com 10% de diesel de cana misturados ao biodiesel e ao diesel comum. Já no Rio de Janeiro, são utilizados 30% dos compostos em 20 ônibus, com a previsão de ampliação para toda a frota de BRTs e linhas alimentadoras até 2016. Assim como o etanol, o diesel de cana apresenta custos elevados para a operação, devido à escala da produção.

GÁS NATURAL

Por ocupar mais volume do que os combustíveis líquidos tradicionais, para ser utilizado no transporte, o gás natural deve ser comprimido ou liquefeito, garantindo-se assim o armazenamento, geralmente em cilindros, de uma quantidade suficiente para oferecer melhor autonomia do veículo, mesmo que inferior à dos veículos que funcionam com os combustíveis líquidos convencionais. A ventilação das instalações é um aspecto importante no quesito segurança. Desta forma, em especial no caso do gás comprimido, todos os mecanismos devem ser projetados para teste de explosões, e é necessário dispor de sensores de metano e de um sistema de ventilação, para se evitar que seja alcançada a concentração mínima de inflamação ou ignição. Outro inconveniente para os veículos que utilizam gás natural é o tamanho e o peso dos tanques de combustível. Atualmente, inicia-se a utilização de tanques de materiais compostos, que diminuem notavelmente o seu peso.

O ônibus a gás natural apresenta redução em todos os tipos de emissões, incluindo CO_2, e é uma tecnologia consolidada e difundida em diversas localidades da Europa, como Sevilha (156 veículos), Barcelona (411 veículos), Madri (mais de 500 veículos), Viena (217 veículos), Frankfurt (22 veículos), além dos Estados Unidos, onde as principais iniciativas se concentram em Nova York (mais de 145 veículos recém-renovados) e em algumas cidades da Califórnia (mais de 300 veículos). Outra localidade com grande utilização de ônibus movido a gás natural é Beijing, que começou a incorporar veículos desta tecnologia em 1999 e hoje conta com cerca de 4.000 ônibus (20% da frota).

O gás natural veicular (GNV) é apresentado como estratégico para o Brasil, tendo-se em vista a crescente perspectiva de sua oferta em longo prazo, tanto por importação, como oriundo de reservas nacionais, ampliadas após as descobertas na bacia de Santos. Apesar disso, a experiência de introduzir o GNV na frota de ônibus regular no município de São Paulo não foi bem sucedida no passado, devido a problemas tecnológicos dos motores que já foram superados. No entanto, este fato pode aumentar a resistência dos donos de frotas a implantar esta tecnologia. Recentemente (entre 2011 e 2012), foram encontrados testes em andamento em Campinas, Belo Horizonte e Rio de Janeiro, todos utilizando apenas um veículo como protótipo.

TRÓLEBUS

Alimentado por uma catenária de dois cabos superiores, o trólebus é um veículo sobre pneus com propulsão elétrica. Nestes veículos, a energia elétrica das linhas aéreas é capturada por um trólei duplo em forma de duas hastes articuladas situadas sobre o veículo, exigindo que a haste permaneça em contato com a rede aérea ao longo de todo seu percurso. Uma das principais vantagens do trólebus é que ele não consome energia parado. Além disso, é capaz de recuperar parte da energia gasta e não emite poluentes no âmbito local. Entretanto, tem impacto visual negativo e alto custo de implantação e manutenção, relativo à rede aérea.

Atualmente, há mais de 300 cidades e áreas metropolitanas no mundo inteiro onde existem sistemas de trólebus operando regularmente e, na maioria delas, há muitos anos, já que o trólebus, como meio de transporte urbano, tem sua origem na Europa Central e nos EUA, no início do século XX. Os países da Europa com maior número de cidades que operam trólebus são Itália, Suíça, Áustria, República Checa e Eslováquia. São também observados serviços em algumas cidades da Alemanha, França, Espanha, Grécia, Bósnia, Sérvia, Romênia, Hungria, Bielorrússia, Letônia, Estônia e Noruega. O trólebus também é bastante difundido fora da Europa, estando presente em cidades nos Estados Unidos, Canadá, México, Venezuela, Equador, Chile, Argentina, Irã, Armênia, Coreia do Norte, China, Mongólia e Nova Zelândia. Dentre todas as experiências internacionais, destaca-se a Cidade do México, que conta com 261 km de rede aérea e uma frota de 340 veículos.

Atualmente, nota-se uma retração do sistema de trólebus no Brasil, principalmente devido a dificuldades de operação relacionadas à não-conformidade das condições locais com o ideal do sistema, como é o caso das curvas acentuadas, más condições da rede por falta de manutenção preventiva e obstrução da passagem por estacionamento irregular de veículos, que facilitam a desconexão com os cabos. Além disso, é notória a falta de incentivos para o consumo de energia elétrica dos trólebus, cujas tarifas são equivalentes às pagas pela indústria. Ou seja, na hora de pico, quando a frota de ônibus deve estar em plena operação, é também quando o custo da energia é mais elevado.

O sistema trólebus já foi implantado em 13 cidades brasileiras, e hoje existem apenas algumas linhas de trólebus na cidade de São Paulo, onde operam desde 1949. A região do Grande ABC também conta com trólebus (Corredor ABD), e em Santos eles operam desde 1963. Das cidades em que o sistema trólebus foi extinto, a grande maioria era constituída por capitais estaduais, destacando-se: Belo Horizonte – MG (1953 a 1969); Niterói – RJ (1953 a 1967); Campos – RJ (1957 a 1967); Recife – PE (1960 a 2001); Salvador – BA (1958 a 1969); Rio de Janeiro – RJ (1962 a 1971); Porto Alegre – RS (1963 a 1969) e Fortaleza – CE (1967 a 1971).

BATERIA

O ônibus movido a propulsão elétrica, que utiliza um motor elétrico e um conjunto de baterias, é comumente denominado "ônibus elétrico", apesar de existirem outros tipos de ônibus com essa característica, como o próprio trólebus descrito anteriormente. Nos veículos elétricos a baterias, estas são responsáveis pelo armazenamento de energia a bordo do veículo, sendo recarregadas por conexão direta à rede elétrica. A fonte originária da energia das baterias depende, portanto, das alternativas disponíveis de geração de energia elétrica no país ou na cidade em que está em operação.

Assim como o trólebus, os veículos elétricos apresentam emissão local zero de poluentes e capacidade de recuperar parte da energia gasta, além de baixo custo operacional. A baixa autonomia dos veículos e as variações de preço da eletricidade, como, por exemplo, nas horas de pico, são características consideradas negativas.

Na maioria dos casos de operação regular, os ônibus elétricos (com baterias) abrangem pequenas frotas que representam uma proporção reduzida das frotas de ônibus em operação. Eles operam regularmente em mais de 10 cidades dos Estados Unidos, destacando-se sua implantação na Califórnia, onde há um mandato desde 2011para que 15% dos ônibus novos sejam elétricos.

Ônibus elétricos também operam em frotas de transporte público no Canadá (Quebec, Montreal e Ontario), Colômbia (Bogotá) e Uruguai (Montevidéu). Na Europa, existe uma diretiva que ordena a compra de ônibus elétricos e, consequentemente, eles foram introduzidos nas frotas de transporte público de numerosas cidades da Itália (em mais de 30 cidades, com cerca de 400 ônibus em operação), França (17 cidades e cerca de 100 ônibus), Alemanha (Frankfurt), Dinamarca (Copenhague), Holanda e Espanha.

Ônibus elétricos operam também em numerosas cidades da China (Beijing, Xangai, Shenzhen), Japão, Singapura, Hong Kong e Israel (Tel Aviv). Merece destaque a cidade de Shenzhen, na China, que iniciou em 2011 um plano para substituir toda a frota de 10.000 veículos por ônibus elétricos em 5 anos. As experiências no Brasil são escassas e recentes. Um ônibus articulado está em testes no Corredor ABD, da EMTU/SP. Além disso, dois diferentes testes vêm sendo realizados junto à SPTrans, mas ainda se tratam de protótipos em caráter experimental.

HÍBRIDO-ELÉTRICO

O termo propulsão híbrida é utilizado para se referir a veículos com mais de uma fonte de propulsão. O objetivo do desenvolvimento das tecnologias híbridas é combinar duas fontes de energia, de maneira que as qualidades de cada sistema sejam utilizadas sob condições de geração variáveis, de tal forma que as vantagens globais do desenvolvimento do sistema híbrido pesem mais do que o custo de sua configuração.

O ônibus híbrido diesel-elétrico é o mais difundido e o que combina um motor elétrico, normalmente alimentado por baterias, com um motor de combustão interna convencional. Os ônibus híbridos têm, no mercado, preços superiores a seus equivalentes convencionais (ônibus a diesel), mas, em troca, oferecem uma importante economia de combustível. A utilização de energia elétrica em parte de sua operação traz ainda benefícios ambientais, como a redução da emissão de poluentes, em comparação com o veículo a diesel.

Os ônibus híbrido-elétricos operam regularmente em muitos países do mundo e em algumas das cidades e áreas metropolitanas mais importantes da América, Europa e Ásia, onde fazem parte de suas frotas de transporte público. Nova York é uma das cidades que mais aposta nesta tecnologia. Os primeiros ônibus híbridos entraram em serviço em 1998 e uma década depois já eram mais de 100 veículos. Hoje, a cidade conta com a maior frota de ônibus híbrido-elétricos (1.675 veículos) do mundo. Além de Nova York, mais de 50 outras cidades norte-americanas possuem veículos híbrido-elétricos em sua frota.

Países europeus também operam regularmente veículos híbridos, como a Espanha (Madri, Barcelona, Málaga, Zaragoza), França (Paris, Dijon), Alemanha (Dresden, Munique, Nuremberg), Suécia (Jönköping), Noruega (Trondheim), Itália (Milão) e Áustria (Viena), com destaque para Londres, com 301 veículos e previsão para alcançar mais de 1.000 veículos híbridos até 2016. Também operam regularmente ônibus híbridos em diversas cidades do Canadá (Ontario, Alberta e Québec), na China (Beijing), no Japão e em Singapura.

Diversos tipos de combustível para motor a combustão são utilizados nos veículos híbridos do Brasil, sendo o diesel o mais comum entre eles, mas existem experiências utilizando-se biodiesel (parcial ou totalmente) ou o etanol. Em 2012, a frota de ônibus híbrido-elétricos da SPTrans era de 100 veículos. O sistema gerenciado pela EMTU/SP opera veículos híbrido-elétricos desde 2003. Inicialmente, eram três veículos: hoje, já são quatorze, sendo que todos operam no Corredor ABD.

HIDROGÊNIO

O veículo movido a hidrogênio tem sido testado em dois diferentes arranjos tecnológicos: células a combustível e motores de combustão interna. Em ambos os casos, o hidrogênio é combinado com o oxigênio do ar, gerando eletricidade, no caso das células de combustível, e energia térmica, no caso dos motores térmicos.

Além de apresentar uma alta densidade energética com relação à quantidade (em massa) de combustível, o hidrogênio utilizado em ônibus a célula a combustível pode aumentar o rendimento global do veículo, por não estar

limitado a ciclos termodinâmicos. Outra vantagem é que esta tecnologia não produz emissões locais, nem CO_2, nem poluentes do ar. A opinião geral do setor[33] é que devido à sua maior eficiência, a longo prazo, as células a combustível se sobressairão em relação aos motores de combustão interna alimentados com hidrogênio.

A viabilidade econômica desses veículos está ligada, sobretudo, ao desenvolvimento de uma infraestrutura de postos de abastecimento, e também à melhoria dos sistemas de armazenamento de hidrogênio nos veículos e à redução dos custos de produção das células a combustível. Em particular, é necessário diminuir a quantidade de metais preciosos (como platina ou paládio) utilizados como catalisadores da combinação química do hidrogênio com o oxigênio.

Ainda não existe, em nível mundial, um mercado consolidado de hidrogênio voltado ao setor de transportes, e o desenvolvimento de ônibus com célula a combustível está limitado a protótipos. Projetos de demonstração vêm ocorrendo desde 2003, em diversas cidades, principalmente na Europa, destacando-se Amsterdã, Barcelona, Berlim, Estocolmo, Hamburgo, Londres, Luxemburgo, Madri, Paris, Reykjavik e Turim, além de Perth (Austrália) e Beijing (China).

Tabela 3.1 – Características gerais das tecnologias de propulsão estudadas

TECNOLOGIA VEICULAR	CARACTERÍSTICAS DETERMINANTES
Diesel	• Novas tecnologias para motores diesel são amplamente desenvolvidas e testadas; • Redução de emissões (catalisadores reduzem HC, CO e NOx, filtros reduzem material particulado); • Baixo custo da implantação.
Biodiesel	• Boa lubricidade melhora rendimento do motor, além de ser compatível com a maioria dos motores; • Redução de emissões de CO_2, hidrocarbonetos e MP. Zero emissão de SO_2; • Maior segurança quanto ao abastecimento, já que reduz a dependência de petróleo.
Etanol	• Requer poucas adequações mecânicas nos motores e na infraestrutura de distribuição e abastecimento; • Redução da emissão de poluentes (CO_2, HC e MP); zero emissão de SO_2; • Já é produzido em larga escala, com infraestrutura de produção e distribuição; reduz a dependência de petróleo.
Diesel de Cana-de-açúcar	• Não requer adequações mecânicas nos motores, nem na infraestrutura de abastecimento; • Redução de emissão de poluentes (NOx e MP) e de CO_2; • Reduz a dependência de petróleo.
Gás natural	• Possibilidade de adaptação e reconversão de veículos a diesel; • Redução de emissão de poluentes (CO, NOx, SO_2, HC e MP) e de CO_2; • Baixo custo de manutenção do veículo em relação ao diesel.
Trólebus	• Maior torque nas subidas, maior rapidez na aceleração e desaceleração; • Emissão local de poluentes e ruídos igual a zero; • Baixo custo de manutenção do veículo em relação ao diesel.
Bateria	• Boa aceleração e potência; • Capacidade de recuperação de parte da energia gasta. Emissão local de poluentes e ruídos igual a zero; • Baixo custo operacional.
Híbrido elétrico	• Maior eficiência energética em relação ao diesel; • Possibilidade de redução de emissões, se ajustado a condições adequadas de potência; • Baixo custo de manutenção do veículo.
Hidrogênio	• Alta eficiência energética; • Baixo nível de ruído e vibração. O único resíduo emitido é vapor d'água; • Área promissora devido a grandes esforços em pesquisa sobre células a hidrogênio.

33 HyFLEET:CUTE – Final Conference - Hamburgo Alemanha 17-18 Novembro 2009.

As cidades com maior número de veículos a hidrogênio na sua frota são Londres (8 veículos), Berlim (14 veículos), Madri (4 veículos), além de Whistler, no Canadá, com 20 ônibus que operam em uma linha que liga o aeroporto a uma estação de esqui. No Brasil e na América Latina, a EMTU/SP é pioneira na busca do desenvolvimento do veículo movido a hidrogênio a célula a combustível. Contando hoje com um ônibus, mas em vias de aumentar a frota para quatro veículos, o principal objetivo do projeto desenvolvido pela EMTU/SP é disseminar as bases tecnológicas para transformar o Brasil em um exportador de ônibus a hidrogênio, usufruindo da sinergia com o extenso parque nacional de fabricantes de chassis e carrocerias.

Na tabela a seguir, encontram-se resumidas as principais conclusões relativas às tecnologias de propulsão para ônibus urbanos movidos a diesel, biodiesel, etanol, diesel de cana-de-açúcar, gás natural, trólebus, bateria, energia híbrido-elétrica e hidrogênio, obtidas a partir das análises do levantamento das tecnologias veiculares e combustíveis aplicáveis ao transporte urbano existentes.

DIFICULDADES ASSOCIADAS
• Catalisadores e filtros aumentam a necessidade de manutenção; • Catalisadores e filtros podem aumentar o consumo de combustível; • Aumento do custo em relação ao veículo a diesel atual.
• Para misturas acima de 20% são necessárias alterações nos motores e na infraestrutura de abastecimento; • Aumento das emissões de NOx e do consumo do combustível; • Custo mais elevado em relação ao diesel.
• Aumento do desgaste de alguns materiais (juntas, condutos, etc.); • Aumento do consumo; • Custo elevado do aditivo.
• Mercado ainda não consolidado. Falta de concorrência na fabricação do combustível; • Custo elevado do combustível.
• Tempo de abastecimento lento em relação ao diesel; • Penetração insuficiente das redes de distribuição de gás no Brasil; • Combustível não-renovável; • Custos adicionais significativos da infraestrutura de abastecimento.
• Inflexibilidade de alteração de rotas; • Impacto visual negativo; • Custo adicional relacionado à manutenção da rede aérea, além do alto custo de implantação.
• Necessidade de instalações específicas para fornecimento de eletricidade; • Autonomia reduzida em relação às demais tecnologias; • As baterias são resíduos altamente tóxicos e de difícil reciclagem; • Custo elevado do veículo e variações do preço da eletricidade.
• Veículos mais pesados devido ao motor elétrico, gerador e acumulador de energia; • As baterias são resíduos altamente tóxicos e de difícil reciclagem; • Custo elevado do veículo.
• Mercado ainda não consolidado; tecnologia de armazenamento complexa; • Custo mais alto por km rodado em relação aos combustíveis comumente utilizados; • Preço bastante elevado do veículo. São os mais caros das tecnologias em comparação.

4 Avaliação econômico-financeira da substituição do diesel

A avaliação comparativa entre tecnologias veiculares partiu de sua aplicabilidade ao sistema de transporte de baixa e média capacidades nas Regiões Metropolitanas de São Paulo. Este estudo comparativo reúne tecnologias de propulsão consolidadas, como o diesel e o trólebus, junto à avaliação de alternativas tecnológicas que operam em frotas menores ou que ainda se encontram em desenvolvimento tecnológico.

Sendo assim, esta análise ocupa-se predominantemente do caráter monetário da comparação. Embora a consolidação de tecnologias ainda não tão difundidas possa futuramente vir a reduzir de modo significativo os custos de produção em escala, este estudo se concentra na condição atual do desenvolvimento tecnológico.

Ao todo, foram comparadas nove opções tecnológicas, que se diferenciam por alteração do tipo de combustível ou por tecnologia de propulsão energética propriamente dita. São elas: Diesel, Biodiesel B20, Biodiesel B100, Etanol, Gás Natural, Elétrico, Híbrido Diesel-Elétrico, Trólebus e Hidrogênio.

Nos últimos anos, a crescente preocupação com o meio ambiente e a dependência energética em nível mundial causou o surgimento de normas e regulamentações que visam reduzir e limitar a poluição ocasionada pelos sistemas de transporte. Em consequência, foi desenvolvido um combustível diesel de maior qualidade, e foram aplicadas novas tecnologias aos motores diesel dos ônibus, para reduzir o consumo de combustível e as emissões de poluentes, bem como os ruídos e as vibrações. A partir da segunda metade da década de 1990, a incorporação de novas tecnologias nos motores diesel dos ônibus deu lugar a uma nova geração de veículos, mais limpos e silenciosos, mudando a imagem dos velhos ônibus ruidosos e poluentes.

Como as propriedades do biodiesel são muito semelhantes às do diesel, os motores diesel convencionais não precisam de modificações para utilizar o combustível B5[34] (mistura contendo 5% de biodiesel e 95% de diesel). Alguns fabricantes de ônibus, inclusive, garantem que os veículos não necessitam de modificações para utilizar combustíveis B20 (mistura de 20% de biodiesel e 80% de diesel) e B30 (mistura de 30% de biodiesel e 70% de diesel). Isso facilitou a rápida introdução do biodiesel, misturado nestas proporções, como combustível alternativo ao diesel. No Brasil, a Lei Nº 11.097, de 2005, popularmente conhecida como a Lei do Biodiesel, estabeleceu a utilização obrigatória de 5% de biodiesel na composição do diesel a partir de 2010.

Por outro lado, a utilização de biodiesel misturado em proporções maiores do que 30% ou em sua forma pura (B100) em motores diesel antigos exige modificações técnicas nas conexões, juntas e condutos de borracha e/ou na borracha do circuito do combustível, devido ao fato do biodiesel em altas concentrações dissolver a borracha existente nos motores convencionais. Sendo assim, desde os anos 1990, muitos fabricantes de veículos já incorporaram tecnologias com materiais plásticos ou derivados que o biocombustível puro não dissolva.

A utilização de etanol, seja empregado diretamente como combustível, seja misturado com combustíveis convencionais, proporciona um alto poder energético e reduz notavelmente as emissões de poluentes, o que justifica o seu uso cada vez mais ampliado nas frotas de ônibus de muitas cidades. Atualmente, o etanol tem diversos tipos de uso nos ônibus, podendo ser empregado diretamente como combustível (denomina-se E100) nos motores convencionais (ciclo Otto) ou num composto de 95% de etanol e 5% de aditivo, usado em ônibus a diesel adaptados, (denomina-se ED95) ou, ainda, em misturas de diferentes proporções entre etanol e diesel (denomina-se E-diesel). Entre as tecnologias disponíveis, dados disponibilizados para este estudo concentraram-se na avaliação de ônibus com propulsão a ED95, já utilizados em testes no Brasil, em detrimento das demais tecnologias, ainda com poucas experiências em frotas de ônibus.

O gás natural veicular (GNV) é utilizado como combustível nos ônibus com motores de ciclo Otto pela sua combustão facilmente regulável, seu grande poder calorífico e baixo nível de emissões de poluentes. Dado que o gás natural ocupa mais volume que os combustíveis líquidos tradicionais, para a sua aplicação em transporte, o gás deve ser comprimido ou liquefeito, com a finalidade de poder armazenar uma quantidade aceitável de gás nos tanques. Assim, consegue-se aumentar a autonomia do veículo que, normalmente, é um pouco inferior àquela dos ônibus que funcionam com combustíveis líquidos convencionais.

Já o trólebus é um veículo sobre pneus com propulsão elétrica, alimentado por uma rede aérea de dois cabos, não necessitando de vias especiais ou trilhos. Para aumentar a sua flexibilidade, os trólebus podem contar com fontes de energia adicionais, como baterias, o que permite a sua operação mesmo quando não estão conectados à rede aérea. Experiências nacionais e internacionais mostram que os sistemas de trólebus melhoram notavelmente sua operação quando não têm que compartilhar as vias com o tráfego geral de veículos.

O termo propulsão híbrida é utilizado para se referir a veículos com mais de uma fonte de propulsão. Os aqui chamados ônibus híbrido-elétricos possuem um motor elétrico e um motor a combustão. Para os motores a combustão, podem ser utilizados vários tipos de combustíveis, como o etanol, o biodiesel e o diesel (este último, com uso mais comum). Os veículos podem ser classificados em três tipos diferentes: híbrido em série, híbrido em paralelo ou híbrido combinado, que extrai o melhor de cada um dos sistemas. O hidrogênio como combustível nos ônibus tem sua principal aplicação no veículo que utiliza células a combustível, que é um dispositivo eletroquímico que converte o hidrogênio e o oxigênio em água e gera eletricidade em tal combinação química. Se for utilizado hidrogênio puro, esta tecnologia emite à atmosfera somente vapor de água, o que supõe grandes benefícios ao meio ambiente.

São considerados "ônibus puramente elétricos" aqueles veículos propulsionados por energia elétrica, utilizando para isso um motor elétrico no lugar de um motor a combustão e um conjunto de baterias em substituição ao tanque de combustível. Eles obtêm da rede elétrica a energia que empregam para a sua propulsão, através de recargas que permitem o armazenamento da energia em suas baterias. Diferenciam-se, assim, de outros tipos de tecnologias veiculares que também utilizam energia elétrica, como os trólebus (que utilizam a energia elétrica de uma rede aérea), os ônibus híbridos (que utilizam um motor térmico convencional combinado com um motor-gerador elétrico) e os ônibus com propulsão a hidrogênio com células a combustível.

34 Os dados disponíveis durante o estudo referem-se à utilização do B5, embora recentemente a porcentagem do biodiesel na composição do combustível tenha aumentado.

Estabelecimento de cenário referencial

Com o intuito de garantir a isonomia na comparação entre as tecnologias, sem que se percam certas especificidades da operação de cada uma delas, foi elaborado um quadro operacional padrão, tendo como referência as condições atuais de operação do sistema gerido pela EMTU/SP.

Para evidenciar as diferenças de custos e benefícios entre as tecnologias analisadas, buscou-se neutralizar os aspectos cuja alteração não está relacionada à mudança da tecnologia de propulsão, como os custos administrativos e as receitas tarifárias, que devem ser constantes a todas elas.

Foram tomadas como base referencial as características gerais dos serviços gerenciados pela EMTU/SP nas Regiões Metropolitanas de São Paulo, Campinas e Baixada Santista. O "cenário padrão" para a análise comparativa de custos financeiros adota uma frota de 100 veículos Padron, com um padrão de rodagem de 6.000km/mês por ônibus e IPK (índice de passageiro por quilômetro) de 1,36[35], valor observado na média dos serviços comuns das Regiões Metropolitanas de Campinas, São Paulo e Baixada Santista.

O período de operação considerado é de 10 anos, correspondente ao vigente nas concessões atuais da EMTU/SP (com exceção do Corredor ABD). Para o trólebus, estabeleceu-se a implantação de 66 km de rede aérea, extensão equivalente à existente no Corredor ABD (via dupla em uma extensão de 33km). Este valor é compatível com a frota estimada, apresentando um volume de 50 veículos por sentido e por hora, com um intervalo entre veículos de cerca de 90 segundos, considerando-se a velocidade média típica de um corredor exclusivo de ônibus.

Levantamento de custos

Os custos foram divididos em 5 categorias principais: Implantação da Infraestrutura, Manutenção da Infraestrutura, Aquisição de Veículos, Mão-de-Obra Operacional, e Operação e Manutenção dos Veículos.

A categoria Implantação da Infraestrutura engloba a garagem, composta pelo conjunto de espaços e edificações necessários ao abrigo, abastecimento e manutenção dos veículos, devendo abrigar pátio de estacionamento, posto de abastecimento e oficina de manutenção. Em particular, inclui a rede aérea necessária ao trólebus para a sua circulação.

A categoria Manutenção da Infraestrutura diz respeito ao custo despendido em conservar as instalações, excluídos os veículos, em condições necessárias à operação. Seguindo os parâmetros estabelecidos em outros estudos de Viabilidade Econômica para projetos de transporte de ônibus[36], adotou-se 7% do custo de construção das garagens dos veículos a diesel (excetuando-se terreno e administração) como índice anual de manutenção dessa infraestrutura. Contudo, cabe ressaltar que foram necessárias algumas considerações no que tange aos custos relativos do veículo trólebus, devido ao custo de manutenção da rede aérea de contato.

A Aquisição de Veículos foi colocada em categoria à parte, visto o grande peso que exerce nos custos de um sistema de transporte. Assim, refere-se exclusivamente ao custo da frota de 100 veículos para cada tecnologia avaliada.

Assim como para a Aquisição de Veículos, os custos com Mão-de-Obra Operacional também são destacados em categoria à parte, para evidenciar o peso que exercem no custo total do transporte coletivo. Embora sejam destacadas necessidades específicas de cada tecnologia, especialmente em capacitação, poucas foram as diferenciações identificadas na remuneração de funcionários.

Já a categoria Operação e Manutenção de Veículos contabiliza custos de três principais subitens: combustível, rodagem e utilização de peças, acessórios e lubrificantes necessários à manutenção dos veículos.

Buscando maior aproximação com a realidade, a quantificação de cada item de custo e sua respectiva monetarização priorizaram as informações fornecidas pela EMTU/SP, levantadas a partir de dados das operações por ela

35 Relatório Gerencial da EMTU/SP, 2013.

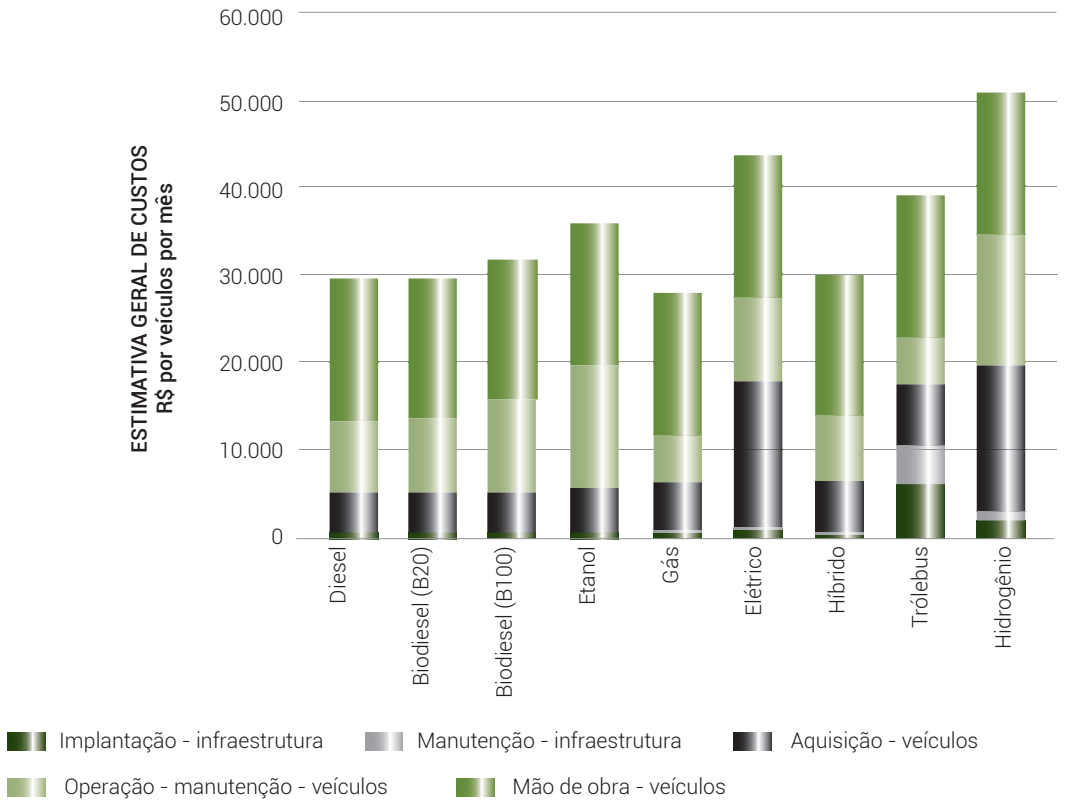
36 JICA (Agência de Cooperação Internacional do Japão). Estudo Preparatório para o Projeto do Sistema de Transporte por Ônibus da Região Metropolitana de Belém (EV/2009). Disponível em http://agenciapara.com.br/acaometropole/RelatorioA4/Resumo_FINAL_Executivo.pdf Consultado em mar/2013. Este estudo consiste numa atualização do Estudo de Viabilidade Econômica para o Melhoramento do Sistema de Transporte na Região Metropolitana de Belém, realizado em 2003 e atualizado em 2009.

gerenciadas. Na ausência destes dados, foram adotadas informações fornecidas por entidades brasileiras ligadas à operação de transporte público, como a SPTrans, METRÔ e NTU, bem como consulta a fabricantes e especialistas. Por fim, nos casos em que essas entidades não possuíam dados disponíveis ou consolidados, foram consideradas as informações provenientes de experiências internacionais, adaptando-as sempre que possível aos cenários e características da realidade brasileira.

A fim de permitir a valoração dos aspectos necessários para a análise de todas as tecnologias, algumas considerações tiveram que ser feitas, de modo que, embora se tenha priorizado os valores obtidos a partir da consulta direta a entidades e empresas, alguns dos preços apresentados a seguir foram calculados a partir da indicação ou do estabelecimento de relações de proporcionalidade entre os custos relativos aos veículos e infraestrutura do diesel, tecnologia de maior consolidação entre as frotas de transporte coletivo do mundo.

Evidentemente, não se deve fazer a comparação entre as simples somas dos custos e dos benefícios independentemente das datas em que ocorram, pois isso contraria um dos princípios básicos da economia, segundo o qual o dinheiro não tem valor constante no tempo, porque sempre há juros associados ao capital. Entretanto, é apresentado na Figura 4.1 a seguir um indicativo de custo mensal por veículo, permitindo compreender-se onde estão os maiores custos de cada tecnologia.

Figura 4.1 – Gráfico com a composição dos principais custos por tecnologia veicular, considerando-se uma operação de 10 anos.



Da figura anterior, depreende-se a alta proporção do custo da mão-de-obra em todas as tecnologias. Porém, nas tecnologias menos testadas, como Elétrico e Hidrogênio, a mão-de-obra divide a participação nos custos de forma mais proporcional com outros itens, principalmente com a aquisição dos veículos. Chama a atenção também o Trólebus, que tem alta participação de todas as categorias, o que exigiria mais cuidado nos casos em que se opte por sua utilização.

Avaliação econômico-financeira

O objetivo dos estudos financeiros é demonstrar a exequibilidade financeira do projeto em análise, abrangendo a demonstração da capacidade do ente responsável pela operação de fazer face às obrigações preconizadas na utilização da nova tecnologia.

Para compor a avaliação financeira, é necessário delinear componentes essenciais, como receita tarifária e custos complementares, valores que não interferem diretamente na escolha tecnológica, uma vez que são constantes para todas as tecnologias.

O cálculo da receita tarifária anual adotou fatores operacionais do sistema de transporte gerenciado pela EMTU/SP. O IPK adotado foi de 1,36[37], valor observado na média dos serviços comuns das Regiões Metropolitanas de Campinas, São Paulo e Baixada Santista. Os dados de frota e percurso médio mensal são aqueles utilizados no quadro operacional padrão (100 veículos do tipo Padron e Percurso Médio Mensal (PMM) = 6.000km/mês por veículo).

Como indicado anteriormente, todas as tecnologias seguem o quadro operacional padrão de frota e percurso médio mensal, além de adotar um horizonte de 10 anos de operação. Como as tecnologias apresentam diferentes "vidas", foi necessário considerar a continuidade da operação. Ou seja, concluído o horizonte operacional, os veículos com vida útil superior a 10 anos são revendidos, considerando-se valores proporcionais ao custo inicial de aquisição, à sua vida útil total e ao seu valor residual. Para os veículos com vida útil igual a 10 anos, considerou-se a revenda igual ao valor residual. Foram contabilizadas também as revendas da infraestrutura de garagem proporcionais à vida útil empregada para todas as tecnologias. Foram desconsiderados nesse momento os custos com aquisição do terreno, visto que não interferem na comparação tecnológica.

Como as tarifas atuais variam significativamente entre operadores, o valor médio da tarifa para o cenário de comparação criado foi obtido considerando-se uma remuneração de capital de 12% para o veículo a diesel. Com isso, a tarifa adotada para a comparação é o valor médio, de aproximadamente R$4,60.

Por fim, para complementar a análise financeira, foram estimadas despesas complementares relacionadas à operação e a investimentos para uma análise aprimorada da viabilidade, que não se encontravam representados no levantamento de custos associados às tecnologias veiculares. Assim, é possível incorporar-se as estimativas de custos e receitas de cada ano em um fluxo de caixa e, posteriormente, trazer valores de momentos futuros para uma avaliação no momento presente, a fim de facilitar a comparação.

Tomando o diesel como referencial, a atratividade das tecnologias alternativas pode ser comparada, sendo mais atrativas aquelas que apresentarem taxa interna de retorno (TIR) maior que os 12% de TIR adotados para o diesel.

Utilizando este parâmetro de comparação, determinou-se que a única alternativa tecnológica que apresenta atratividade sob a ótica financeira é o veículo movido a gás natural. Entretanto, esse resultado não evidencia o quanto são menos atrativas as demais tecnologias.

A fim de permitir uma comparação quantitativa entre todas as tecnologias, foram estimados valores hipotéticos de contribuição externa ao fluxo de caixa inicialmente adotado, permitindo verificar-se a quantia necessária para que a tecnologia alternativa atinja o mesmo patamar de atratividade que o veículo a diesel. Essa contribuição externa foi considerada tendo em mente a forma usualmente empregada para se estimular o desenvolvimento tecnológico ou econômico: o subsídio governamental.

Assim, foi calculado o subsídio necessário para igualar a TIR estipulada para o diesel (12%) ao serviço hipotético proposto para cada tecnologia. A Tabela 4.1 apresenta os resultados encontrados, em valores anuais e por passageiro transportado.

37 Relatório Gerencial da EMTU/SP 2013.

Tabela 4.1 – Subsídio necessário para viabilizar a tecnologia financeiramente

Tecnologia	Subsídio Anual (R$)	Subsídio por Passageiro Transportado (R$)	Proporção em Relação à Tarifa Adotada (%)
Biodiesel (B20)	210.000,00	0,02	0,5
Biodiesel (B100)	2.160.000,00	0,22	4,8
Etanol	6.430.000,00	0,66	14,3
Gás	- 330.000,00	- 0,03	-0,7
Elétrico	23.640.000,00	2,41	52,5
Híbrido	1.560.000,00	0,16	3,5
Trólebus	14.000.000,00	1,43	31,1
Hidrogênio (Célula a combustível)	31.540.000,00	3,22	70,0

No Brasil, embora já existam normas e diretrizes para a avaliação dos efeitos socioeconômicos de projetos de transporte, não há ainda um procedimento consolidado nesse sentido, nem tampouco um conjunto de práticas definidas para aplicação nas avaliações econômicas como ferramenta de decisão para projetos de investimentos em transporte público[38] com foco nos benefícios ambientais. Dentre os três métodos usualmente empregados para análise de projetos com objetivo único, CBA (Cost-Benefit Analysis), WTP (Willingness To Pay) e CEA (Cost Effectiveness Analysis), o que tem se mostrado mais adequado para projetos de transporte é o CBA, ou seja, o balanço entre os custos e benefícios decorrentes da implantação do projeto. A escolha dessa metodologia deve-se tanto à maior disponibilidade de informações sobre os aspectos abordados e objetividade da análise, quanto à dificuldade de obtenção de informações e da valoração da disposição dos usuários a pagar, no caso do método WTP. Dificuldade semelhante é identificada no CEA, no qual é necessário quantificar os benefícios indiretos, sendo indicado para análises que visem à obtenção de um único objetivo (DALBEM et al., 2010).

A análise de viabilidade econômica realizada segue os padrões propostos pelos organismos de fomento internacionais (Banco Mundial, Banco Interamericano de Desenvolvimento, EximBank Japonês, entre outros) e nacional (BNDES).

O objetivo da análise socioeconômica é apoiar o processo de decisão em relação à viabilidade do projeto sob o prisma do empreendedor, no caso o gestor público, traduzida no interesse da sociedade por sua implantação. Assim, seguindo o padrão metodológico de projetos de natureza similar, os benefícios e custos decorrentes da implantação do projeto são avaliados desconsiderando as transferências de recursos entre os diversos agentes, o que implica na utilização dos custos econômicos, também conhecidos como custos de fatores, da implantação e operação do projeto, descontando os impostos embutidos nos preços finais.

Trata-se de uma análise exclusivamente monetária, precedida pela identificação, quantificação e valoração em moeda corrente de benefícios (diretos e indiretos) e custos (diretos e indiretos) decorrentes da implantação do projeto identificado, descrito nos itens anteriores. A fim de obter-se os valores a custo de fatores para os custos iniciais e de operação de cada uma das tecnologias veiculares analisadas, determinando-se as despesas necessárias, sem que sejam computados os impostos, com base nos preços de mercado já levantados.

38 DALBEM, M.C.; BRANDÃO, L.; MACEDO-SOARES, T.D.A. Avaliação econômica de projetos de transportes: melhores práticas e recomendações para o Brasil. In Revista de Administração Pública – RAP. Rio de Janeiro, FGV, RAP 44 (1): 87-117, jan-fev, 2010. Disponível em http://www.scielo.br/pdf/rap/v44n1/v44n1a05.pdf, consultado em janeiro/2013.

Há que se considerar, contudo, que este estudo não trata de um projeto convencional de transporte, como a construção de terminais ou reformulação de linhas de transporte coletivo, nem mesmo do cálculo de tarifas. Deste modo, conquanto se tenha tomado como base os itens computados tradicionalmente nos projetos de transporte no Brasil, cuja referência é a Planilha de Cálculo de Tarifas de Ônibus Urbanos do Ministério das Cidades, apresentada no Manual de Instruções Práticas Atualizadas – IPA, instituído pela Portaria Nº 644/MT, de 09 de julho de 1993, do Ministério dos Transportes – GEIPOT/1996, alguns itens foram incluídos ou removidos conforme as características específicas de cada tecnologia, em especial no que se refere aos custos.

O principal benefício indireto que se pode contabilizar com a adoção de uma frota de veículos alternativa ao diesel é a redução na emissão de poluentes. Para este estudo, outros benefícios, como redução do tempo de viagem, do número de acidentes, da manutenção do sistema viário, tradicionalmente contabilizados em uma avaliação de investimentos em transporte, são considerados constantes, por não se esperar alterações decorrentes da mudança de tecnologia de propulsão. A Tabela 2.5, apresentada anteriormente, contém os valores recentes utilizados pelo Metrô em seus cálculos de benefícios.

Os valores monetários de benefícios e custos devem ser confrontados através de métodos que incorporem corretamente a incidência de juros sobre a quantia monetária em análise. Além disso, a análise de implantação de uma nova tecnologia deve tomar como referência os seus valores em relação ao "cenário sem projeto", que neste estudo é adotado como o cenário de manutenção da frota movida a diesel. Assim, ao dispor em um fluxo de caixa os valores de cada tecnologia em relação ao diesel, é possível avaliar sua viabilidade do ponto de vista econômico, aqui comparados em função do valor presente, onde todos os custos e benefícios durante os 10 anos de operação são transportados para o horizonte inicial.

Esta análise pode ser visualizada no gráfico da Figura 4.2, que apresenta uma comparação do Valor Presente das alternativas tecnológicas em relação ao diesel por categoria de custos ou benefícios (Custos variáveis, Investimentos iniciais + Revenda, Despesas Anuais e Benefícios com a redução da poluição). Esta divisão por categoria permite observar quais fatores têm maior relevância na viabilidade econômica de cada tecnologia. Os valores sombreados indicam os somatórios positivos e negativos que cada tecnologia obteve no cenário adotado.

Assim, a parte superior do gráfico evidencia que o B20 e o Etanol apresentam os menores benefícios em relação ao diesel, uma vez que tanto os benefícios ambientais são baixos, como os custos variáveis são mais elevados do que os do diesel.

O Híbrido, por sua vez, se assemelha ao B100 e ao Hidrogênio, com relação à ordem de grandeza dos benefícios; contudo, sua composição de benefícios resulta da somatória de aspectos ambientais e da redução de custos variáveis, enquanto que nas outras duas tecnologias o total de benefícios é proveniente somente de aspectos ambientais.

Os custos que mais pesam para os ônibus movidos a etanol são os de operação e de investimento inicial, os quais, mesmo subtraindo a receita com revenda, têm valor presente negativo 3 vezes superior ao B100 e 20 vezes maior que o B20. O veículo B100 possui valores baixos de investimento inicial e de despesas anuais, porém, seus benefícios ambientais estão abaixo do patamar de custos variáveis que seriam acrescentados em relação ao diesel.

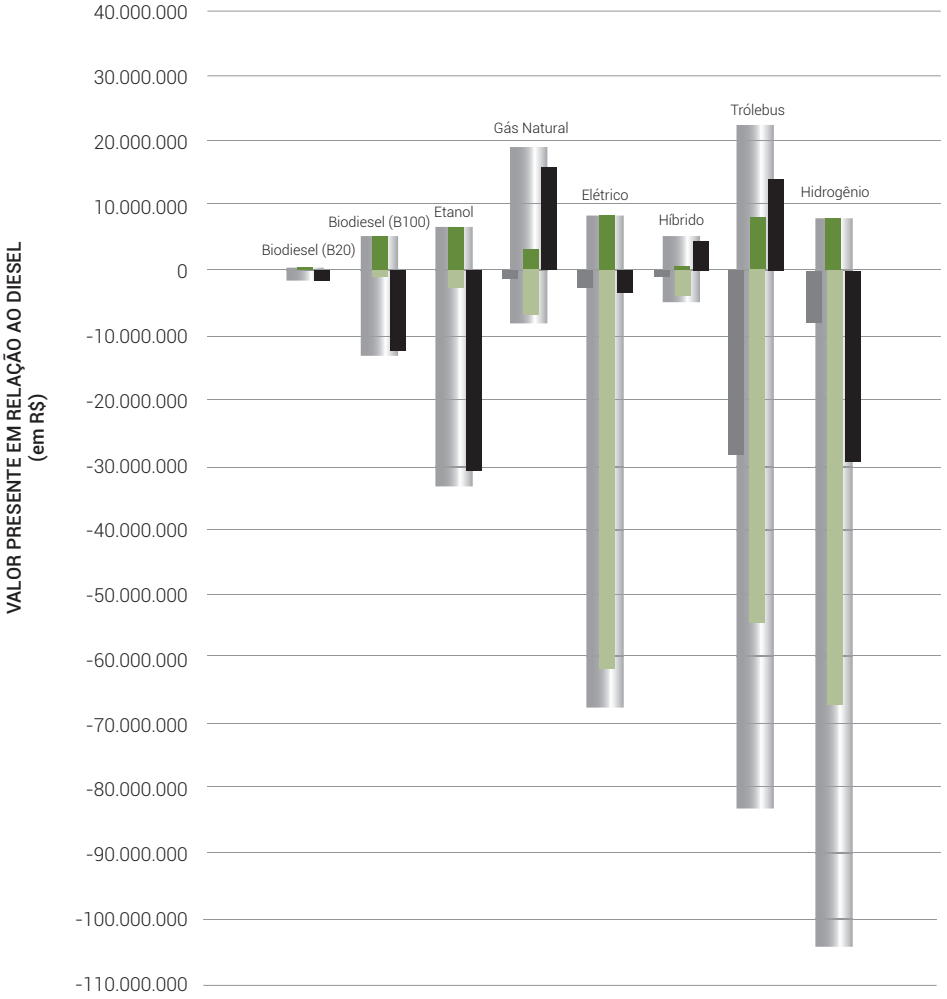
Os veículos que apresentam maiores benefícios ambientais são o a Hidrogênio, o Elétrico e o Trólebus, sendo que este último possui ainda benefícios oriundos da redução de custos variáveis em relação ao diesel. Os fatores que afetam negativamente o desempenho econômico desses veículos são os altos valores de investimento inicial e os custos fixos, que para os Trólebus são amenizados e para o a Hidrogênio são ampliados pelos custos variáveis, cuja composição está fortemente relacionada à operação.

Contudo, a única tecnologia cujos benefícios ambientais influenciam significativamente no resultado final é a do Híbrido, cujas despesas iniciais e anuais não são capazes de suplantar os benefícios ambientais e os baixos custos variáveis. Por outro lado, os benefícios ambientais relativos às demais tecnologias, com exceção do B20 e Etanol, que possuem benefícios ambientais pouco significativos, são fortemente impactados pelos custos variáveis para o B100 e o Hidrogênio, pelos investimentos iniciais e custos fixos para o Trólebus e o a Hidrogênio.

Tabela 4.2 – Valor Presente das Tecnologias Veiculares em relação ao diesel

Tecnologia	VPL (em milhões de R$)
Biodiesel (B20)	-1,7
Biodiesel (B100)	-10,6
Etanol	-34,9
Gás	16,5
Elétrico	-53,6
Híbrido	4,9
Trólebus	-56,9
Hidrogênio	-98,6

Figura 4.2 – Gráfico com Valor Presente por categoria de custo/benefício para a operação de cada tecnologia em relação ao diesel



Legenda

Tabela Comparativa - Alternativas

Subtotal do Valor Presente (Custo/ Benefício)	Biodiesel (B20)	Biodiesel (B100)	Etanol	Gás Natural	Elétrico	Híbrido	Trólebus	Hidrogênio
Benefícios Ambientais	Cerca de R$ 315 mil a mais que Diesel	16 x mais que o B20	22 x mais que o B20	9 x mais que o B20	27 x mais que o B20	2 x mais que o B20	26 x mais que o B20	25 x mais que o B20
Investimentos iniciais (Já inclui valor recuperado com receita residual)	Igual ao Diesel	Cerca de R$ 900 mil a mais que Diesel	3 x mais que o B100	8 x mais que o B100	69 x mais que o B100	5 x mais que o B100	60 x mais que o B100	75 x mais que o B100
Custos Fixos (Mão de obra e manutenção da infraestrutura)	Igual ao Diesel	Igual aoDiesel	Igual aoDiesel	Cerca de R$ 1.300.000 a mais que Diesel	90% a mais que gás	26% a mais que gás	22 x mais que gás	6 x mais que gás
Custos Variáveis (Relacionados ao veículo)	Cerca de R$ 1.600.000 a mais que Diesel	8 x mais que o B20	19 x mais que o B20	Cerca de R$ 16.000.000 a menos que Diesel	2 x mais que o B20	3 x mais que gás	12% a mais que gás	18 x mais que o B20

A Tabela 4.3 sintetiza os resultados obtidos a partir da avaliação econômico-financeira em dois aspectos principais: necessidade de subsídio, relativa à avaliação financeira, e ganhos ambientais, relativos à avaliação econômica. Resultados que, vale lembrar, referem-se à sua comparação com o diesel, tecnologia adotada como referência.

O primeiro item, relativo à necessidade de subsídio, representa resultados do ponto de vista financeiro, refletindo o aumento de custos que a tecnologia irá proporcionar ao operador e que, geralmente, a gestão pública assume, para manter a atratividade do mercado em oferecer o serviço.

A avaliação das tecnologias foi elaborada a partir da categorização dos valores apresentados na Tabela 4.3. Assim, subsídios inferiores a R$ 1 milhão/ano foram considerados baixos, entre um e cinco milhões anuais foram considerados médios, entre cinco e dez, médio-altos, entre dez e trinta, altos e acima de trinta, muito altos.

Já do ponto de vista econômico, a análise concentrou-se nos ganhos ambientais, visto que reduções ou acréscimos de custo, mesmo sem se considerar os impostos, podem ser avaliados indiretamente pela necessidade de subsídio para que a tecnologia se equipare ao diesel.

A categorização das tecnologias foi obtida a partir da Tabela 4.3, porém, trazendo os ganhos com a redução de emissões em anos subsequentes da operação para o valor presente. Foram considerados de baixo ganho ambiental valores inferiores a R$ 1 milhão. Valores entre 1 e 4 milhões foram considerados médios, valores entre 4 e 7 milhões foram considerados altos. Valores acima de 7 milhões foram considerados de ganho ambiental muito alto.

Tabela 4.3 – Síntese da Avaliação Econômico-Financeira

Tecnologia de Propulsão	Necessidade de Subsídio	Ganho Ambiental
Biodiesel (B20)	Baixa	Baixo
Biodiesel (B100)	Média	Alto
Etanol	Média-Alta	Alto
Gás	Sem necessidade	Médio
Elétrico	Muito Alta	Muito Alto
Híbrido	Média	Baixo
Trólebus	Alta	Muito Alto
Hidrogênio	Muito Alta	Muito Alto

*O DIESEL É A TECNOLOGIA DE REFERÊNCIA

A seguir, busca-se interpretar os principais resultados da avaliação econômico-financeira realizada neste relatório. Contudo, é importante ressaltar que esses resultados referem-se a um quadro operacional desenhado tendo como referência as características operacionais da EMTU/SP.

Os resultados indicam a tecnologia do ônibus movido a gás natural como a mais adequada, pois proporciona ganhos ambientais médios sem ter necessidade de subsídio complementar. Em seguida, destacam-se as tecnologias com ganhos ambientais muito altos que precisam de diferentes aportes de subsídio: trólebus, com alto subsídio, e elétrico e a hidrogênio, com subsídio muito alto.

Esses resultados apontam para uma análise subjetiva dos fatores de escolha tecnológica. Além disso, a análise econômico-financeira não consegue abranger todos os aspectos relevantes na adoção de uma nova tecnologia de propulsão para os ônibus. Essa escolha apresenta externalidades de difícil mensuração, mas que têm grande relevância como decisão política, como a criação de empregos e a maturidade tecnológica. Tais aspectos podem ser mais bem abordados, por exemplo, através de uma avaliação multicritério, apresentada adiante.

Há que se considerar ainda certa fragilidade dos dados utilizados, que provêm de fontes diversas e que precisaram ser adaptados para refletir o mais fielmente possível a realidade brasileira. Além do que, a condição experimental e a baixa maturidade de algumas tecnologias indicam que os resultados atuais são passíveis de melhora, tanto no que se refere aos custos, quanto aos benefícios, devendo ser constantemente atualizados. De tal modo que uma análise econômico-financeira mais precisa requer um projeto bem definido, pois, sob determinadas condições, a viabilidade de uma ou de outra tecnologia pode apresentar variação.

Por fim, embora a avaliação econômico-financeira não possa ser vista como o único aspecto para a tomada de decisão quanto à escolha da tecnologia de propulsão de ônibus, ao indicar quais os itens e momentos que impactam mais fortemente os custos da implantação e operação de cada uma das tecnologias analisadas, valorando e assim balizando os custos e benefícios que devam ser alterados para incrementar seu desempenho, ela traz aportes significativos para esta tomada de decisão.

5 Análise comparativa para a escolha de tecnologia de propulsão através de matriz multicritério

A análise multicritério é uma técnica de avaliação e comparação de alternativas que permite avaliar o comportamento múltiplo das diferentes tecnologias veiculares alternativas aplicáveis aos sistemas de transporte, sob critérios de comparação homogêneos previamente estabelecidos.

A técnica considera e sintetiza diferentes efeitos ou critérios em termos quantitativos e qualitativos, levando em consideração as opiniões das partes interessadas e dos setores afetados. Ela também permite avaliar aspectos de difícil quantificação que não são necessariamente de caráter econômico, já que a avaliação é feita comparando-se o comportamento das alternativas propostas em relação aos diferentes critérios.

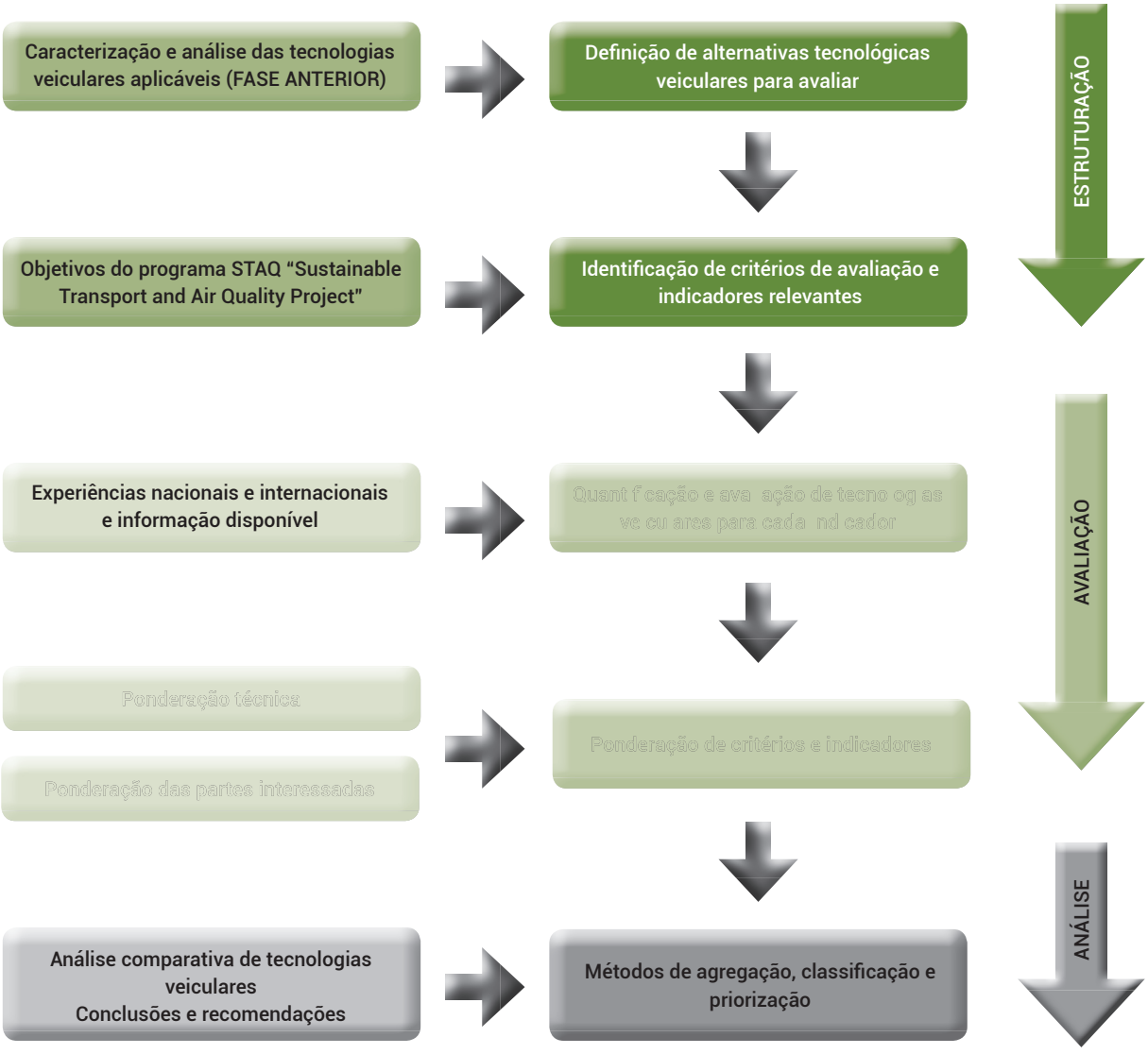
A análise multicritério permite superar muitas das limitações da análise custo-benefício, já que avalia simultaneamente o nível em que se atingem os objetivos, independentemente de suas capacidades de serem monetizados e, inclusive, quantificados com precisão. A avaliação realizada em uma análise multicritério é uma ferramenta auxiliar no processo de decisão e não deve ser considerada como processo único de tomada de decisões.

Basicamente, o processo de Análise Multicritério inclui as seguintes fases:

1. Definição de alternativas
2. Fixação de objetivos, critérios e identificação de indicadores
3. Quantificação e avaliação das alternativas para cada indicador
4. Ponderação de critérios e indicadores
5. Análise comparativa das tecnologias veiculares

Na primeira etapa da análise multicritério, foram identificadas as alternativas a comparar e avaliar, que neste caso são as diferentes tecnologias veiculares de propulsão de ônibus aplicáveis ao sistema de transporte de baixa e média capacidades das Regiões Metropolitanas do Estado de São Paulo.

Figura 5.1 – Processo metodológico da análise multicritério



1. Definição de alternativas

Foram levantadas e caracterizadas as diferentes tecnologias veiculares aplicáveis existentes, algumas delas com várias tipologias ou especificações, que, basicamente, são as seguintes:

- Ônibus com propulsão a diesel;
- Ônibus com propulsão a biodiesel;
- Ônibus com propulsão a etanol;
- Ônibus com propulsão a gás natural;
- Trólebus;
- Ônibus a bateria;
- Ônibus híbrido e elétrico;
- Ônibus a hidrogênio.

2. Fixação de objetivos, critérios e identificação de indicadores

A identificação de indicadores é uma etapa central para a análise multicritério no processo de comparação e avaliação das diferentes tecnologias veiculares. Ela tem objetivos alinhados com os preconizados no Programa STAQ, como a redução do crescimento da taxa de emissão de poluentes e gases de efeito estufa em longo prazo e o desenvolvimento de um sistema de transporte sustentável.

Estabelecidos os objetivos que se querem atingir, cujo cumprimento vai ser objeto de avaliação, identificam-se os critérios mais adequados para avaliar a consecução dos objetivos, bem como os efeitos das atuações propostas. Diante da clareza dos objetivos, são estabelecidos critérios de avaliação e indicadores relevantes dentro de cada um dos critérios.

Os critérios de avaliação deverão ser os mais claros e explicativos possíveis, abrangendo os objetivos propostos, e deverão ser independentes, para evitar a dupla contagem de efeitos.

Os critérios de avaliação correspondem aos aspectos que têm incidência relevante no comportamento das diferentes tecnologias veiculares alternativas e devem refletir os principais objetivos e interesses de todos os setores e atores afetados: operadores de transporte, usuários dos serviços de transporte, população afetada, bem como os órgãos e grupos sociais envolvidos.

Uma vez estabelecidos os critérios de avaliação, foram identificados, para cada um deles, o indicador ou indicadores relevantes que melhor reflitam o comportamento de cada tecnologia veicular e que permitam a sua quantificação ou avaliação, possibilitando a comparação das diferentes tecnologias veiculares em relação aos diferentes critérios.

O estabelecimento dos indicadores realizado, portanto, cumpriu uma dupla exigência:

- ser um bom representante do critério estabelecido e do grau de cumprimento dos objetivos propostos;
- permitir a sua quantificação ou avaliação, a fim de se determinar o comportamento de cada tecnologia veicular em relação ao critério correspondente.

Foram estabelecidos os seguintes grupos de critérios, com indicadores relevantes inseridos em cada grupo:

» **Critérios técnico–operacionais**, que incluem todos aqueles relativos à tecnologia veicular, à operação dos ônibus, bem como à distribuição e ao fornecimento do combustível:

- os critérios técnicos relacionados à experimentação, ao desenvolvimento e à maturidade das tecnologias veiculares, à sua implementação em serviços regulares de transporte, bem como à disponibilidade de infraestruturas e instalações para a distribuição e fornecimento do combustível, etc.;
- e os critérios operacionais referentes aos próprios ônibus, à sua relação potência/peso, à autonomia dos veículos, ao comportamento em traçados sinuosos ou com aclives, à confiabilidade e necessidades de manutenção dos ônibus e à sua adaptação às condições de tráfego em diferentes âmbitos.

» **Critérios ambientais, energéticos e urbanísticos**, incluindo todos os efeitos externos do sistema de transporte e da própria operação dos veículos sobre o meio ambiente e o entorno urbano:

- critérios ambientais: emissões de poluentes mais significativos (NOx, CO, HC, MP) e gases de efeito estufa (CO_2);
- critérios urbanísticos, relativos à adequação da tecnologia veicular ao meio urbano e aos possíveis impactos urbanos na forma de poluição sonora ou visual;
- critérios energéticos, relacionados ao consumo e ao tipo de combustível, à economia e à otimização do consumo de combustível, à utilização de combustíveis fósseis ou renováveis, etc.

» **Critérios sociais e econômicos**, que incorporarão os aspectos relacionados à eficiência econômica das diferentes tecnologias, aos aspectos sociais e às estratégias políticas, incluindo:

- critérios sociais e institucionais relacionados aos programas, em matéria de transporte e meio ambiente, e aos possíveis apoios institucionais às tecnologias veiculares. Outro critério é a imagem e a aceitação da tecnologia veicular pelos cidadãos;

- critérios econômicos em relação aos custos financeiros diretos (dos veículos, dos investimentos nas instalações complementares e dos custos operacionais), bem como os efeitos externos: de geração de emprego, de impulso à atividade econômica, etc.

Tabela 5.1 – Tabela resumo de critérios e indicadores

CRITÉRIO	Nº	INDICADOR
Critérios técnicos e operacionais		
Desenvolvimento e implementação da tecnologia veicular	1	Nível de experimentação e desenvolvimento da tecnologia.
	2	Disponibilidade de infraestruturas e instalações de distribuição e fornecimento do combustível.
	3	Nível de consolidação e utilização em frotas de ônibus.
Características operacionais	4	Relação potência/peso do ônibus ou capacidade de transporte de passageiros.
	5	Autonomia do ônibus.
	6	Outras características operacionais: limitações de rampas, peso dos ônibus e dos tanques de combustível, tempo de carregamento de combustível.
Confiabilidade do veículo	7	Necessidade de manutenção, MKBF (mean kilometers between failures).
Adaptação às características do fluxo do tráfego	8	Adaptação às características do tráfego urbano.
	9	Adaptação às características de operação mista.
Critérios ambientais, energéticos e urbanísticos		
Poluição do ar	10	Emissões de óxidos de nitrogênio (NOx).
	11	Emissões de monóxido de carbono (CO).
	12	Emissões de hidrocarbonetos totais (HC).
	13	Emissões de material particulado (MP).
	14	Emissões de dióxido de carbono (CO_2).
Poluição sonora	15	Emissões de ruídos e vibrações.
Poluição visual	16	Impactos visuais negativos.
Consumo energético	17	Consumo direto de energia.
	18	Consumo indireto de energia.
Sustentabilidade energética e ambiental	19	Sustentabilidade de recursos energéticos, matérias-primas e resíduos.
Critérios sociais e econômicos		
Apoio institucional	20	Legislação e incentivos institucionais.
Apoio social	21	Nível de aceitação e avaliação pela população.
	22	Segurança percebida pelos usuários.
Custos financeiros	23	Custo de aquisição dos veículos.
	24	Custo de implementação da infraestrutura e instalações necessárias.
	25	Custo de operação e manutenção.
Efeitos econômicos externos	26	Geração de emprego.

3. Quantificação e avaliação das alternativas para cada indicador

Esta fase refere-se à quantificação e/ou avaliação das tecnologias alternativas em relação a cada indicador, seja ele quantitativo ou qualitativo.

Os indicadores quantitativos podem ser medidos ou quantificados em algum tipo de unidade e referem-se geralmente a aspectos econômicos, financeiros, técnicos, operacionais e ambientais. A quantificação desses indicadores será realizada com base nos parâmetros e valores obtidos no processo de análise da informação disponível. As variáveis utilizadas para a quantificação dos indicadores nas diferentes tecnologias serão diversas: custo, velocidade, consumo, volume de emissões, etc.

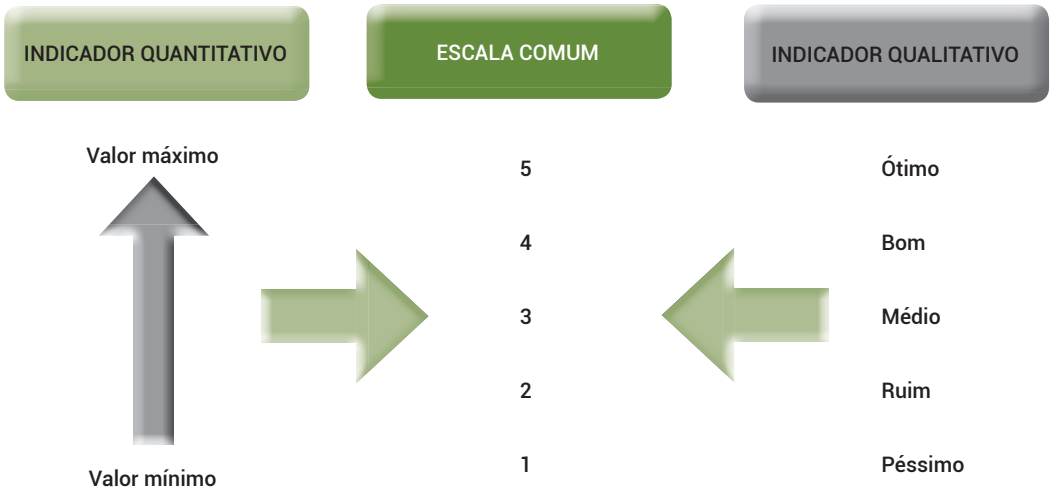
Os indicadores qualitativos normalmente respondem a critérios territoriais, sociais, urbanísticos e, em algumas ocasiões, também técnicos ou ambientais, referindo-se a variáveis de difícil quantificação e que estão sujeitas a uma avaliação subjetiva. Esses critérios permitem qualificar (de forma positiva ou negativa) o comportamento de cada tipo de tecnologia veicular em relação ao critério correspondente, conforme uma escala de avaliação previamente estabelecida. Essa escala de avaliação será predeterminada e, assim, permitirá avaliar as diferenças relativas ao comportamento de diferentes tecnologias veiculares alternativas e estabelecer níveis de hierarquização e diferenciação entre as mesmas.

O objetivo desta fase da análise multicritério será conceder a cada tecnologia veicular uma pontuação por indicador que reflita o comportamento de cada uma delas em relação aos diferentes critérios estabelecidos, permitindo, assim, comparar e hierarquizar as diferentes tecnologias entre si.

Uma vez estabelecida a pontuação para cada indicador, seja de forma qualitativa ou quantitativa, de acordo com diferentes unidades e categorias de escalas, o último passo desta fase de análise será estabelecer uma escala e uma faixa comum para todos os indicadores.

Em seguida, será realizada a conversão dos valores ou quantidades (dos critérios quantitativos) e as avaliações (dos critérios qualitativos) concedidos a cada tecnologia para cada um dos indicadores à referida escala comum, tal como se mostra no esquema da Figura 5.2.

Figura 5.2 – Esquema de conversão de indicadores em escala comum



4. Ponderação de critérios e indicadores

A ponderação dos critérios e indicadores permite incorporar os pontos de vista e as sensibilidades dos diferentes setores: equipe do projeto e consultores, especialistas, autoridades e instituições, operadores de transporte, usuários, cidadãos e qualquer outro setor que for considerado oportuno, de maneira que serão atribuídos pesos maiores aos critérios mais importantes.

O procedimento de ponderação dos critérios e indicadores permite incorporar os pontos de vista e as sensibilidades dos diferentes setores e atores sociais:

- autoridades e instituições;
- operadores de transporte;
- usuários do transporte;
- cidadãos diretamente afetados.

No desenvolvimento do presente estudo, optou-se por solicitar a seis membros da EMTU/SP, da equipe responsável pelo desenvolvimento do projeto a atribuição de pesos aos diferentes grupos de critérios de avaliação e indicadores identificados.

Das diferentes metodologias de ponderação existentes, será utilizada uma metodologia baseada em um procedimento hierárquico de atribuição da importância em diferentes níveis consecutivos, que será explicada e aplicada posteriormente.

Caso haja necessidade e seja de interesse da equipe responsável pelo desenvolvimento desse projeto, ponderações atribuídas por outros atores sociais poderão ser incorporadas na análise multicritério.

Assim sendo, será realizada a avaliação ponderada dos critérios individuais em um único valor, com a finalidade de classificar e hierarquizar as tecnologias veiculares alternativas analisadas. A metodologia aplicada será o método SCORING: procedimento habitual e relativamente simples nas análises multicritério, que permite identificar as alternativas preferíveis em um problema de decisão, com base na avaliação da satisfação de cada um dos critérios e indicadores e das ponderações dos diferentes elementos que intervêm na análise.

Tabela 5.2 – Resumo de ponderações e ponderação média

Critério	Indicador	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Peso 5	Peso 6	Peso médio
Critérios técnicos e operacionais		**0,308**	**0,333**	**0,333**	**0,385**	**0,308**	**0,357**	**0,337**
Desenvolvimento e implementação da tecnologia veicular		0,072	0,083	0,098	0,107	0,090	0,112	0,094
1	Nível de experimentação e desenvolvimento da tecnologia	0,022	0,033	0,030	0,033	0,035	0,037	0,032
2	Disponibilidade de infraestruturas e instalações de distribuição e fornecimento do combustível	0,022	0,025	0,030	0,033	0,035	0,037	0,030
3	Nível de consolidação e utilização em frotas de ônibus	0,028	0,025	0,038	0,041	0,021	0,037	0,032
Características operacionais		0,072	0,083	0,078	0,107	0,072	0,089	0,084
4	Relação potência / peso do ônibus ou capacidade de transporte de passageiros	0,024	0,028	0,030	0,033	0,028	0,030	0,029
5	Autonomia do ônibus	0,024	0,028	0,024	0,041	0,028	0,030	0,029
6	Outras características operacionais: limitações de rampas, peso dos ônibus e dos tanques de combustível, tempo de carregamento do combustível	0,024	0,028	0,024	0,033	0,017	0,030	0,026
Confiabilidade do veículo		0,090	0,083	0,078	0,085	0,090	0,089	0,086
7	Necessidade de manutenção, MKBF	0,090	0,083	0,078	0,085	0,090	0,089	0,086
Adaptação às características do fluxo do tráfego		0,072	0,083	0,078	0,085	0,054	0,067	0,073
8	Adaptação às características do tráfego urbano	0,041	0,042	0,039	0,043	0,027	0,033	0,038
9	Adaptação às características de operação mista	0,031	0,042	0,039	0,043	0,027	0,033	0,036

Critério	Indicador	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Peso 5	Peso 6	Peso médio
Critérios urbanísticos e ambientais		**0,385**	**0,417**	**0,417**	**0,308**	**0,385**	**0,357**	**0,378**
Poluição do ar		0,087	0,083	0,116	0,070	0,092	0,078	0,088
10	Emissões de óxidos de nitrogênio (NOx)	0,017	0,017	0,026	0,015	0,018	0,016	0,018
11	Emissões de monóxido de carbono (CO)	0,017	0,017	0,021	0,015	0,018	0,016	0,017
12	Emissões de hidrocarbonetos totais (HC)	0,017	0,017	0,026	0,012	0,018	0,016	0,018
13	Emissões de material particulado (MP)	0,017	0,017	0,026	0,015	0,018	0,016	0,018
14	Emissões de dióxido de carbono (CO_2)	0,017	0,017	0,016	0,015	0,018	0,016	0,016
Poluição sonora		0,087	0,083	0,093	0,056	0,055	0,062	0,073
15	Emissões de ruído e vibrações	0,087	0,083	0,093	0,056	0,055	0,062	0,073
Poluição visual		0,052	0,083	0,069	0,056	0,055	0,062	0,063
16	Impactos visuais negativos	0,052	0,083	0,069	0,056	0,055	0,062	0,063
Consumo energético		0,070	0,083	0,069	0,056	0,092	0,078	0,075
17	Consumo direto de energía	0,031	0,042	0,039	0,025	0,046	0,039	0,037
18	Consumo indireto de energía	0,039	0,042	0,031	0,031	0,046	0,039	0,038
Sustentabilidade energética e ambiental		0,087	0,083	0,069	0,070	0,092	0,078	0,080
19	Sustentabilidade de recursos energéticos, matérias-primas e resíduos	0,087	0,083	0,069	0,070	0,092	0,078	0,080
Critérios sociais e econômicos		**0,308**	**0,250**	**0,250**	**0,308**	**0,308**	**0,286**	**0,285**
Apoio institucional		0,082	0,063	0,050	0,066	0,058	0,084	0,067
20	Legislação e incentivos institucionais	0,082	0,063	0,050	0,066	0,058	0,084	0,067
Apoio social		0,062	0,063	0,067	0,066	0,058	0,067	0,064
21	Nível de aceitação e avaliação pela população	0,026	0,031	0,038	0,033	0,029	0,034	0,032
22	Segurança percebida pelos usuarios	0,035	0,031	0,029	0,033	0,029	0,034	0,032
Custos financeiros		0,103	0,063	0,067	0,088	0,096	0,067	0,081
23	Custo de aquisição de veículos	0,034	0,021	0,024	0,029	0,032	0,022	0,027
24	Custo de implementação da infraestrutura e instalações necessárias	0,034	0,021	0,024	0,029	0,032	0,022	0,027
25	Custo de operação e manutenção	0,034	0,021	0,019	0,029	0,032	0,022	0,026
Efeitos econômicos externos		0,062	0,063	0,067	0,088	0,096	0,067	0,074
26	Geração de emprego	0,062	0,063	0,067	0,088	0,096	0,067	0,074

5. Análise comparativa das tecnologias veiculares

As diversas alternativas tecnológicas para uma cidade ou um corredor de transporte de média e alta capacidade devem ser analisadas através de estudos e avaliações que incluam requisitos de demanda, de custos de implantação, operação, manutenção e renovação, além da inserção e seus impactos no meio urbano, no meio ambiente, nos sistemas de transporte existentes e as externalidades, principalmente aspectos relacionados à saúde pública.

Esta é uma das decisões mais importantes no processo de planejamento, em que a tecnologia veicular influencia diretamente no tipo de serviço a ser oferecido e no papel do transporte na cidade e no entorno urbano, pois impacta a vida e a evolução da cidade.

Mesmo com os altos investimentos em transporte sobre trilhos, o transporte sobre ônibus sempre terá seu espaço, principalmente no que diz respeito a demandas baixas e médias. Entretanto, o ônibus precisa manter sua atratividade, agregando qualidade ao serviço oferecido. Hoje, um dos principais aspectos negativos do ônibus é a sua alta emissão de poluentes.

São diversas as alternativas tecnológicas que vêm sendo utilizadas e testadas em todo o mundo. No centro da evolução tecnológica, está a necessidade de emitir menos gases na atmosfera, tanto no âmbito local, quanto no global.

Assim, a escolha de adoção de uma tecnologia veicular tem como foco principal encontrar tecnologias de propulsão veicular que ao mesmo tempo apresentem baixo impacto no meio ambiente e permitam fornecer um serviço com alto padrão de confiabilidade para o sistema de ônibus.

A comparação das tecnologias apresentada neste estudo, utilizando a análise multicritério, buscou as características mais atuais de cada tecnologia de propulsão, preocupando-se em avaliar a adaptação tecnológica e as condicionantes do mercado brasileiro frente à produção do combustível e a capacidade da matriz energética.

O veículo movido a diesel apresenta boa confiabilidade mecânica. Afinal, sua tecnologia vem sendo desenvolvida há muito tempo, devido à sua consolidação em todo o mundo. Também por esse motivo, apresenta baixos custos de operação e aqueles relacionados à infraestrutura. Os pontos negativos se referem à baixa aceitação social, com nível mais alto de emissão de poluentes e ruídos, além da dependência de combustíveis fósseis, sujeitos a problemas de desabastecimento.

A densidade próxima à do diesel permite o armazenamento e manuseio do biodiesel quase da mesma forma que qualquer combustível diesel convencional. O comportamento dos ônibus dependerá fundamentalmente da porcentagem de biodiesel acrescentado na mistura com o diesel. Alguns fabricantes de ônibus, inclusive, garantem que os veículos não necessitam de modificações para utilizar combustíveis B20 (mistura de 20% de biodiesel com 80% de diesel) e B30 (30% de biodiesel com 70% de diesel).

Além disso, a boa lubricidade do combustível melhora o rendimento do motor, aumentando sua vida útil e diminuindo o ruído. Pode ser utilizado misturado em baixas proporções com diesel fóssil sem a necessidade de modificações nos motores a diesel atualmente comercializados. É um combustível renovável e biodegradável, que reduz a maioria dos tipos de poluentes, à exceção do NOx, que pode aumentar em grandes concentrações de biodiesel. Em contrapartida, o maior poder dissolvente do biodiesel pode deteriorar materiais do circuito de alimentação do veículo, e seu alto custo ainda depende de políticas de apoio governamental. Outra dificuldade está associada à competição por solo agrário das matérias-primas do biocombustível com a produção alimentícia, o que pode gerar alta nos preços dos alimentos.

Já o etanol melhora o índice de octano, reduzindo-se consequentemente os problemas de detonação, melhora o rendimento térmico do combustível e otimiza o desempenho do motor do veículo. Embora requeira infraestrutura adicional para a mistura do aditivo, como já é produzido em larga escala, o etanol tem infraestrutura consolidada de produção e distribuição. As novas tecnologias possibilitaram um motor de combustão interna movido a etanol aditivado com aplicabilidade similar à de um motor diesel convencional, além da redução de emissões de poluentes. Porém, assim como o biodiesel, existe uma incerteza sobre as condições de competição por solo agrário com a produção alimentícia e possíveis impactos no preço. O etanol também tem maior consumo e menor autonomia, se comparado ao diesel convencional.

Tecnologia testada, consolidada e em utilização em muitos países, em ônibus e outros tipos de veículos, o gás natural apresenta uma redução de emissões de poluentes em relação ao diesel. Pode ser considerado também um combustível mais seguro, devido à sua pequena faixa de inflamabilidade, em comparação com outras fontes de energia, além de densidade mais baixa que a do ar, o que contribui para sua elevação e dissipação em caso de vazamento. Entretanto, uma experiência negativa anterior realizada em São Paulo (relacionadas a problemas de abastecimento) e dificuldades associadas à infraestrutura de armazenamento e abastecimento e na rede de distribuição são entraves à sua viabilização. Outro fator negativo é o peso adicional dos cilindros ao veículo.

Nos ônibus a gás natural, é relativamente comum a implementação do catalisador de oxidação de três vias, que é um conversor catalítico que oxida e reduz ao mesmo tempo, em 95%, as emissões de NOx, CO e HC: a Platina oxida o CO e os HC, e o Paládio reduz os NOx a Nitrogênio. Portanto, a análise multicritério contará com uma variação da tecnologia do gás natural: o ônibus com propulsão a gás natural com e sem o catalisador de 3 vias.

Os trólebus apresentam uma série de melhorias operacionais e ambientais. Trólebus não consomem energia quando param nos pontos de embarque e são capazes de recuperar e armazenar parte da energia de frenagem, economizando até 25% de seu consumo energético. São mais silenciosos e apresentam melhor tração e rendimento energético: maior torque nas subidas, rapidez de aceleração e desaceleração e um melhor comportamento nas ladeiras. Os principais pontos negativos do Trólebus estão relacionados à dependência da rede aérea. Ela exige manutenção frequente e tem alto custo de implantação. A dependência da rede dificulta a flexibilidade de alterações

de itinerário e as possibilidades de ultrapassagem (na operação normal e em casos de quebra). Estas desvantagens, contudo, podem ser contornadas ou amenizadas utilizando-se o sistema em seu modo mais efetivo, como os corredores. Além disso, os cabos de energia podem ser desconectados através de uma manobra mal realizada pelo motorista. E o impacto visual negativo da rede aérea, especialmente em áreas urbanas e centros históricos das cidades, é outra desvantagem desta tecnologia.

Os ônibus elétricos são fáceis de dirigir, tanto em áreas urbanas, quanto em rodovias, graças ao alto torque de impulso dos motores elétricos, e dispõem de boa aceleração e potência. Em nível local, não produzem emissões poluentes de nenhum tipo, nem gases de efeito estufa. Entretanto, possuem autonomia limitada e necessidade de instalações específicas nas garagens das frotas ou nos terminais de ônibus para fornecimento de eletricidade. O preço da eletricidade é muito dependente do preço do seu recurso natural de geração, variando de acordo com a sua localidade. Os principais fatores que determinarão o mercado potencial dos ônibus elétricos são a autonomia e o preço das baterias e do veículo em si, a diminuição do peso e o tempo e a facilidade de recarga das mesmas.

Tecnologia experimentada e desenvolvida, os ônibus híbrido-elétricos operam nas frotas de transporte público regular em muitos países. Circulando em tráfego intenso ("anda-e—para"), os ônibus híbrido-elétricos possuem melhor aproveitamento do que um veículo convencional, com um consumo muito inferior. O potencial de recuperação de parte da energia nas desacelerações (frenagem regenerativa) pode ser utilizado majoritariamente nas viagens curtas com paradas frequentes, como é o caso dos ônibus urbanos. Contudo, os ônibus híbridos têm maior peso que os convencionais devido à adição do motor elétrico, do gerador e do acumulador de energia elétrica. Com maior complexidade tecnológica, tem também maior possibilidade de avarias e uma disponibilidade limitada de certos componentes (baterias, caixas de transmissões, parte eletrônica, etc.).

Os custos de fabricação dos ônibus híbridos ainda são altos devido ao custo dos motores elétricos de tração, do gerador elétrico e do acumulador de energia elétrica ou baterias. Porém, à medida que os níveis de fabricação e venda dos ônibus híbrido-elétricos aumentem, seu preço deverá cair.

A tecnologia mais conhecida do veículo movido a hidrogênio é o da célula a combustível, que é um dispositivo eletroquímico que converte o hidrogênio em água, gerando eletricidade em tal combinação química. Uma alternativa menos testada e menos eficiente é a utilização do hidrogênio como combustível em motores de combustão interna de ignição por centelha (motores a gás convencionais).

Os ônibus com propulsão a hidrogênio reduzem a dependência energética e as emissões de gases de efeito estufa. O veículo movido a célula a combustível não emite poluentes em nível local, enquanto o veículo de motor de combustão interna produz apenas leve emissão de NOx, devido às altas temperaturas alcançadas na combustão. Outra vantagem é o desenvolvimento tecnológico proporcionado pelo Projeto Ônibus Brasileiro a Hidrogênio, que iniciou a disseminação da tecnologia no país e produziu o veículo mais barato entre os países que adotaram essa alternativa tecnológica.

Ainda assim, o custo dos ônibus a hidrogênio é muito elevado, sendo os mais caros de todas as tecnologias em comparação. O peso dos tanques de hidrogênio é bastante superior a um tanque de combustível líquido, e não existe em nível mundial um mercado consolidado de hidrogênio para uso automotivo.

Por fim, as células a combustível estão em fase de desenvolvimento, e seu preço é elevado. Um aumento do preço da platina ou outro metal nobre usado como catalisador da combinação química do hidrogênio com o oxigênio encareceria significativamente as células a combustível. Assim como aconteceu com o gás natural, a análise tecnológica para o hidrogênio contou com duas classes que se distinguem em parte dos indicadores: o veículo movido a motor de combustão interna (MCI) e o veículo movido a célula a combustível.

Tabela 5.3 – Tabela resumo de valores dos indicadores qualitativos e quantitativos

INDICADOR		DIESEL (B5)	BIODIESEL (B20)	BIODIESEL (B100)
1	Nível de experimentação e desenvolvimento da tecnologia	Ótimo	Bom	Bom
2	Disponibilidade de infraestruturas e instalações de distribuição e fornecimento do combustível	Ótimo	Médio	Ruim
3	Nível de consolidação e utilização em frotas de ônibus	Ótimo	Bom	Médio
4	Relação potência/peso do ônibus ou capacidade de transporte de passageiros	Bom	Bom	Médio
5	Autonomia do ônibus	Ótimo	Ótimo	Bom
6	Outras características operacionais: limitações de rampas, peso dos ônibus e dos tanques de combustível, tempo de carregamento de combustível	Ótimo	Ótimo	Ótimo
7	Necessidade de manutenção, MKBF (mean kilometers between failures)	Bom	Bom	Médio
8	Adaptação às características do tráfego urbano	Bom	Bom	Bom
9	Adaptação às características de operação mista	Bom	Bom	Bom
10	Emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) (g/km)	12,31	12,56	13,41
11	Emissões de monóxido de carbono (CO) (g/km)	2,19	1,94	1,22
12	Emissões de hidrocarbonetos totais (HC) (g/km)	0,16	0,14	0,06
13	Emissões de material particulado (MP) (g/km)	0,3	0,27	0,17
14	Emissões de dióxido de carbono (CO_2) (g/km)	1.461	1.392	338
15	Emissões de ruído e vibrações	Péssimo	Péssimo	Péssimo
16	Impactos visuais negativos	Bom	Bom	Bom
17	Consumo direto de energia (l diesel eq/100 km)	58	57,97	59,38
18	Consumo indireto de energia (MJ/km)	4,7	6,1	26,5
19	Sustentabilidade de recursos energéticos, matérias-primas e resíduos	Péssimo	Médio	Bom
20	Legislação e incentivos institucionais	Péssimo	Bom	Médio
21	Nível de aceitação e avaliação pela população	Ruim	Médio	Bom
22	Segurança percebida pelos usuários	Bom	Bom	Bom
23	Custo de aquisição de veículos	Bom	Bom	Bom
24	Custo de implementação da infraestrutura e instalações necessárias	Ótimo	Ótimo	Bom
25	Custo de operação e manutenção	Bom	Bom	Médio
26	Geração de emprego	Ruim	Bom	Ótimo

	ETANOL	GÁS NATURAL	GÁS NATURAL + 3WC	ELÉTRICOS	HÍBRIDOS	TRÓLEBUS	HIDROGÊNIO MCI	HIDROGÊNIO CÉLULA A COMBUSTÍVEL
	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ruim	Bom	Ótimo	Ruim	Médio
	Médio	Médio	Médio	Ruim	Ótimo	Ruim	Ruim	Ruim
	Médio	Ruim	Ruim	Ruim	Médio	Bom	Péssimo	Ruim
	Médio	Médio	Médio	Ruim	Médio	Médio	Médio	Médio
	Bom	Bom	Bom	Péssimo	Bom	Ótimo	Médio	Bom
	Ótimo	Médio	Médio	Ruim	Bom	Ótimo	Médio	Médio
	Médio	Médio	Médio	Ruim	Médio	Médio	Ruim	Ruim
	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Médio	Bom	Bom
	Bom	Médio	Médio	Ruim	Médio	Péssimo	Médio	Médio
	5,58	15,09	2,3	0	9,76	0	0,06	0
	0	8,52	1,51	0	0,6	0	0	0
	0,43	13,95	0,4	0	0,1	0	0	0
	0,037	0,03	0,02	0	0,03	0	0	0
	270	1.315	1.158	82	1.386	148	200	200
	Péssimo	Médio	Médio	Ótimo	Médio	Ótimo	Médio	Ótimo
	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Ruim	Bom	Bom
	58,76	54,71	54,71	15,54	53	22,4	61,6	39,9
	19	4,1	4,1	0,36	3,8	0,52	28,42	18,4
	Bom	Ruim	Ruim	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio
	Bom	Péssimo	Péssimo	Médio	Médio	Bom	Ruim	Médio
	Bom	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo	Bom	Ótimo	Ótimo
	Bom	Médio	Médio	Bom	Bom	Bom	Médio	Médio
	Médio	Médio	Médio	Péssimo	Médio	Ruim	Péssimo	Péssimo
	Bom	Médio	Médio	Médio	Ótimo	Péssimo	Ruim	Ruim
	Médio	Ruim	Ruim	Bom	Bom	Péssimo	Ruim	Ruim
	Ótimo	Ruim	Ruim	Médio	Médio	Bom	Bom	Bom

Tabela 5.4 – Tabela normalizada de avaliações

INDICADOR		DIESEL (B5)	BIODIESEL (B20)	BIODIESEL (B100)
1	Nível de experimentação e desenvolvimento da tecnologia	5,0	4,0	4,0
2	Disponibilidade de infraestruturas e instalações de distribuição e fornecimento do combustível	5,0	3,0	2,0
3	Nível de consolidação e utilização em frotas de ônibus	5,0	4,0	3,0
4	Relação potência / peso do ônibus ou capacidade de transporte de passageiros	4,0	4,0	3,0
5	Autonomia do ônibus	5,0	5,0	4,0
6	Outras características operacionais: limitações de rampas, peso dos ônibus e dos tanques de combustível, tempo de carregamento de combustível	5,0	5,0	5,0
7	Necessidade de manutenção, MKBF (mean kilometers between failures)	4,0	4,0	3,0
8	Adaptação às características do tráfego urbano	4,0	4,0	4,0
9	Adaptação às características de operação mista	4,0	4,0	4,0
10	Emissões de óxidos de nitrogênio (NOx)	1,7	1,7	1,4
11	Emissões de monóxido de carbono (CO)	4,0	4,1	4,4
12	Emissões de hidrocarbonetos totais (HC)	5,0	5,0	5,0
13	Emissões de material particulado (MP)	1,0	1,4	2,7
14	Emissões de dióxido de carbono (CO_2)	1,0	1,2	4,3
15	Emissões de ruído e vibrações	1,0	1,0	1,0
16	Impactos visuais negativos	4,0	4,0	4,0
17	Consumo direto de (l diesel eq/100 km)	1,3	1,3	1,2
18	Consumo indireto de energia (MJ/km)	4,4	4,2	1,3
19	Sustentabilidade de recursos energéticos, matérias-primas e resíduos	1,0	3,0	4,0
20	Legislação e incentivos institucionais	1,0	4,0	3,0
21	Nível de aceitação e avaliação pela população	2,0	3,0	4,0
22	Segurança percebida pelos usuários	4,0	4,0	4,0
23	Custo de aquisição de veículos	4,0	4,0	4,0
24	Custo de implementação da infraestrutura e instalações necessárias	5,0	5,0	4,0
25	Custo de operação e manutenção	4,0	4,0	3,0
26	Geração de emprego	2,0	4,0	5,0

	ETANOL	GÁS NATURAL	GÁS NATURAL + 3WC	ELÉTRICOS	HÍBRIDOS	TRÓLEBUS	HIDROGÊNIO MCI	HIDROGÊNIO CÉLULA A COMBUSTÍVEL
	5,0	5,0	5,0	2,0	4,0	5,0	2,0	3,0
	3,0	3,0	3,0	2,0	5,0	2,0	2,0	2,0
	3,0	2,0	2,0	2,0	3,0	4,0	1,0	2,0
	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	4,0	4,0	4,0	1,0	4,0	5,0	3,0	4,0
	5,0	3,0	3,0	2,0	4,0	5,0	3,0	3,0
	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0	2,0
	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,0	4,0	4,0
	4,0	3,0	3,0	2,0	3,0	1,0	3,0	3,0
	3,5	1,0	4,4	5,0	2,4	5,0	5,0	5,0
	5,0	1,0	4,3	5,0	4,7	5,0	5,0	5,0
	4,9	1,0	4,9	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
	4,5	4,6	4,7	5,0	4,6	5,0	5,0	5,0
	4,5	1,4	1,9	5,0	1,2	4,8	4,7	4,7
	1,0	3,0	3,0	5,0	3,0	5,0	3,0	5,0
	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	2,0	4,0	4,0
	1,2	1,6	1,6	5,0	1,7	4,4	1,0	2,9
	2,3	4,5	4,5	5,0	4,5	5,0	1,0	2,4
	4,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	4,0	1,0	1,0	3,0	3,0	4,0	2,0	3,0
	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0
	4,0	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0
	3,0	3,0	3,0	1,0	3,0	2,0	1,0	1,0
	4,0	3,0	3,0	3,0	5,0	1,0	2,0	2,0
	3,0	2,0	2,0	4,0	4,0	1,0	2,0	2,0
	5,0	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0

A avaliação multicritério buscou ser uma técnica de comparação mais abrangente, baseando a escolha do modo de transporte nos elementos de mobilidade futura, desenvolvimento sustentável, qualidade de transporte e de vida da população, custos a médio e longo prazos, não só os financeiros, mas também os relativos às externalidades (custos quantificáveis relativos ao meio ambiente, saúde pública, horas gastas em viagens, acidentes, etc.) e planejamento a longo prazo.

A avaliação multicritério apontou uma classificação de tecnologias veiculares preferenciais. Assim, esse resultado certamente influenciará nas premissas adotadas no plano de substituição dos ônibus no sistema de transporte de baixa e média capacidade nas regiões metropolitanas de São Paulo.

Em função dos resultados obtidos, as tecnologias podem ser classificadas em três grupos:

- Um primeiro grupo inclui quatro tecnologias: Etanol, Trólebus, Biodiesel B20 e Híbridos. Tratam-se de tecnologias testadas, limpas e que requerem adaptações menos caras e melhor conhecidas do que aquelas tecnologias que ainda não estão plenamente implantadas regularmente nas frotas de ônibus do transporte público.

- Em um segundo grupo poderiam ser incluídos os ônibus a Biodiesel B100, por seu maior consumo de energia; os ônibus elétricos, penalizados por questões como o custo e autonomia de funcionamento; os ônibus a hidrogênio com célula a combustível, por seu maior custo e baixo nível de implementação; e os ônibus a diesel, mais poluentes e com menor apoio social e institucional.

- Finalmente, em um terceiro grupo, apareceriam os ônibus com propulsão a gás natural e os ônibus a hidrogênio com motor de combustão interna, que não devem ser considerados no plano de substituição dos ônibus nas regiões metropolitanas de São Paulo.

Tabela 5.5 – Classificação das alternativas segundo o método Scoring

	MÉTODO SCORING	
	Resultado	**Normalização**
Etanol	3,559	100
Trólebus	3,554	99
Biodiesel (B20)	3,513	94
Híbridos	3,489	91
Biodiesel (B100)	3,334	71
Elétricos	3,309	68
Hidrogênio – Célula a combustível	3,300	67
Diesel (B5)	3,093	40
Gás Natural + 3WC	2,977	25
Hidrogênio - MCI	2,872	12
Gás Natural	2,781	0

A tabela a seguir compara as diferentes tecnologias veiculares para cada grupo de critérios técnicos e operacionais, critérios ambientais, energéticos e urbanísticos e critérios sociais e econômicos.

- De acordo com critérios técnico-operacionais, as melhores tecnologias são aquelas que usam combustíveis líquidos (Diesel, Biodiesel e Etanol) e possuem um alto nível de desenvolvimento e implementação;

- Do ponto de vista ambiental, energético e urbanístico, as tecnologias preferidas são aquelas que usam a eletricidade como fonte de energia: ônibus elétricos, trólebus e híbridos ou a hidrogênio;

- E tendo em conta critérios sociais e econômicos, as melhores tecnologias veiculares são os biocombustíveis: Etanol e Biodiesel B20 e B100.

Os resultados da avaliação multicritério, embora apontem para uma ordem de classificação entre as tecnologias avaliadas, não devem restringir as opções do gestor público. Deve-se abrir um leque de opções para se conhecer e testar tecnologias no seu próprio contexto operacional, até porque os investimentos têm proporcionado evoluções significativas no desempenho das tecnologias alternativas.

Tabela 5.6 – Classificação desagregada das tecnologias veiculares por grupos de critérios

		Diesel (B5)	Biodiesel (B20)	Biodiesel (B100)	Etanol
Critérios técnicos e operacionais	Pontuação das alternativas	1,498	1,374	1,168	1,230
	Ranking das alternativas	1	2	5	3
Critérios ambientais, energéticos e urbanísticos	Pontuação das alternativas	0,841	1,005	1,047	1,170
	Ranking das alternativas	11	10	8	7
Critérios sociais e econômicos	Pontuação das alternativas	0,754	1,134	1,120	1,159
	Ranking das alternativas	9	2	3	1
TOTAL método Scoring	Pontuação das alternativas	3,093	3,513	3,334	3,559
	Ranking das alternativas	8	3	5	1

	Gás Natural	Gás Natural + 3WC	Elétricos	Híbridos	Trólebus	Hidrogênio MCI	Hidrogênio Célula a combustível
	1,111	1,111	0,721	1,197	1,115	0,838	0,930
	7	7	11	4	6	10	9
	1,018	1,215	1,667	1,261	1,515	1,217	1,486
	9	6	1	4	2	5	3
	0,652	0,652	0,922	1,030	0,925	0,817	0,884
	10	11	6	4	5	8	7
	2,781	2,977	3,309	3,489	3,554	2,872	3,300
	11	9	6	4	2	10	7

6 Recomendações para um plano de substituição de frota

Concentrando-se em uma visão estratégica para os atuais cerca de 6.000 veículos das Regiões Metropolitanas, além das novas contratações derivadas dos projetos de expansão de corredores e novas áreas de gestão da EMTU/SP, é necessário contextualizar a situação operacional em que um plano de substituição de frota se insere.

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a operação se dá preponderantemente em trânsito urbano e em alguns eixos rodoviários, sem tratamento específico para o transporte coletivo, exceto em alguns trechos da cidade de São Paulo. Destaca-se, no entanto, o corredor ABD, cuja infraestrutura e operação são um exemplo significativo de sistema de média capacidade com ônibus. Além dele, a EMTU/SP desenvolve um sistema de corredores em projeto e início de implantação, como o do corredor que ligará Guarulhos a São Paulo e o conjunto que ligará cidades a Oeste da Capital entre si e com São Paulo.

Na RMSP, os contratos de concessão estão em pleno desenvolvimento, exceção feita à área 5, da região do ABCD paulista, ainda sem contrato de concessão.

Na Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), a operação se dá em trânsito urbano e nos principais eixos rodoviários, também sem tratamento específico para transporte coletivo.

Neste caso a opção da EMTU/SP para a principal ligação urbana entre as cidades de São Vicente e Santos foi de um sistema de Veículos Leves sobre Trilhos (VLT), em fase de implantação.

Na Região Metropolitana de Campinas (RMC), a operação também se dá em trânsito urbano e eixos rodoviários. A opção da EMTU/SP foi pelo Corredor Metropolitano Vereador Biléo Soares (Noroeste), em ampliação, que interliga as cidades a noroeste de Campinas entre si e com a mesma. A concessão da operação de transporte coletivo intermunicipal por ônibus e demais veículos de baixa e média capacidade de todo o sistema regular da RMC, que terá o prazo de 15 anos, foi efetivada em agosto de 2014.

Além dessas três regiões metropolitanas já consolidadas, o Estado de São Paulo formalizou mais recentemente a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN) e a Região Metropolitana de Sorocaba. A EMTU/SP já é responsável pelo transporte coletivo intermunicipal na RMVPLN e, no momento, está efetuando estudos de demanda e projetos de corredores de ônibus para a região.

Então, quanto ao perfil dos serviços, a EMTU/SP outorga serviços preponderantemente de baixa capacidade, embora em vários casos tais serviços já justifiquem investimentos em andamento na estruturação de corredores de média capacidade. Como sua abrangência é metropolitana, seus veículos trafegam em vias urbanas e rodoviárias, em trechos urbanizados, em graus variados de conurbação. Em decorrência disso, a frota sob sua gestão reflete as necessidades determinadas por essas características operacionais.

Dois são os aspectos determinantes para que se coloque em marcha qualquer ação de substituição de frota, especialmente com mudança tecnológica: as questões das relações contratuais com os operadores e, principalmente, o financiamento e a remuneração do processo.

A forma de financiamento da substituição ou implementação de uma nova tecnologia é pré-requisito determinante tanto de sua viabilidade, como do ritmo e dos procedimentos, incluindo especialmente as relações contratuais necessárias entre os diversos atores do processo.

Assim, por essa forma de se encarar a questão, o planejamento para uma nova implementação de sistema não se diferencia metodologicamente daquele para a substituição de frota de um sistema já em operação. Ou seja, os fatores a serem abordados são os mesmos.

Apenas para novos projetos as possibilidades de condicionantes e ações a serem estabelecidas e desenvolvidas se tornam mais amplas, mas nada impede que, mesmo em sistemas já plenamente estabelecidos e com contratos consolidados, sejam introduzidas novas tecnologias e formas de financiamento necessárias à sua implementação.

Partindo-se do princípio de que a avaliação das tecnologias cumpriu corretamente sua finalidade, é o sistema ao qual será aplicada a tecnologia que irá definir as estratégias e os procedimentos para efetivação de sua implementação.

A EMTU/SP tem praticado, como forma de contratação preponderante para a prestação desses serviços, a concessão pura e simples da exploração dos mesmos, mediante a remuneração pela tarifa pública arrecadada junto aos usuários. Nestes casos, os investimentos em frota são de exclusiva responsabilidade dos concessionários e ressarcidos e remunerados pela tarifa arrecadada, não havendo qualquer mecanismo de subsídio por parte do Poder Público.

No caso dos corredores, a infraestrutura inicial normalmente é implantada pela EMTU/SP e entregue à operação dos concessionários. No caso do VLT da Baixada Santista, a opção foi por um modelo de Parceria Público-Privada (PPP), com investimento inicial do Poder Público em infraestrutura, sistemas e frota.

O porte dos investimentos exigidos, assim como a forma de contratação e a divisão de responsabilidades de cada caso definem também as características dos investidores e operadores que se apresentem e se habilitem para a execução dos serviços e, assim, seus interesses e capacitações para inovações.

Para a implantação de um programa de avanços tecnológicos, é fundamental que se avaliem os fatores condicionantes dos diversos agentes presentes no sistema, bem como aqueles que possam e devam ser atraídos para a viabilização do mesmo.

Podemos então abordar estas questões em três horizontes:

- Curto prazo: contratos vigentes;
- Médio prazo: novos contratos e/ou infraestruturas;
- Longo prazo: pesquisa, desenvolvimento e consolidação.

Recomendações a um plano de substituição de frota devem partir de uma análise prévia de tecnologias. No caso deste estudo, uma análise da aplicabilidade das tecnologias existentes foi a principal referência no alinhamento de estratégias de curto, médio e longo prazo. Analisando as condições de implantação das tecnologias escolhidas, com melhor pontuação na análise multicritério, pelo método Scoring, face às condições operacionais e de infraes-

trutura implantada, em implantação e planejada dos sistemas das três Regiões Metropolitanas, foram elas divididas em três grupos:

1. Curto prazo ⏩ B20
2. Médio prazo ⏩ Etanol, Híbridos, Trólebus
3. Longo prazo ⏩ demais tecnologias menos poluentes em pesquisa e desenvolvimento - Elétrico, a Hidrogênio

1. Curto prazo

De acordo com as análises efetuadas pela equipe do Consórcio, depreende-se que, a curto prazo, devem ser tomadas as medidas necessárias para viabilizar a utilização de um combustível que melhore bastante o desempenho ambiental do sistema de transporte e que venha se afirmando por políticas de investimentos públicos e privados, que é o B20.

Assim, a EMTU/SP não precisará, neste horizonte, promover grandes alterações no seu sistema, necessitando apenas encontrar os mecanismos de financiamento do adicional de custo que essa utilização representa no sistema e/ou racionalização, dentro dos mecanismos possíveis nos atuais contratos que gerencia.

Para a viabilidade dentro das condições atuais, da utilização do B20 de forma generalizada, já existem experiências a serem consultadas em âmbito nacional, tanto de órgãos públicos, como de operadores privados.

Assim, o processo de maturação desta tecnologia está bem avançado, já estando a mesma bem compreendida por todos os atores e, de certa forma, razoavelmente dominada.

A princípio, a utilização do B20 não implica em investimentos novos, nem em troca de frota.

Na prática, são duas as principais questões a serem analisadas: disponibilidade e custo da utilização do B20. Excetuados os trólebus, na totalidade da frota atual das Regiões Metropolitanas, o B20 pode ser utilizado.

A política do Governo Federal caminha para a direção da elevação da participação do Biodiesel na mistura com o Diesel, tendo passado, em 1º de julho de 2014, de 5% para 6%, e para 7% em 1º de novembro de 2014[39], pressionando assim o aumento da produção do Biodiesel, que é produzido basicamente a partir da soja, mas sem indicar como financiar o aumento dos custos decorrentes desse processo, o que, aparentemente, deixará a cargo do mercado.

A diferença de custo operacional do uso do B20 se restringe apenas a insignificantes ajustes de rotina de manutenção e ao diferencial de consumo e preço pago pela mistura face ao Diesel comum.

Esta diferença só tem duas fontes de financiamento atualmente: a tarifa ao usuário e o subsídio do Poder Público.

A prática do subsídio para utilização de combustíveis alternativos ao Diesel já foi adotada pela São Paulo Transporte no município de São Paulo e recentemente abandonada, por ser considerada demasiadamente onerosa. Na verdade, a restrição ao reajuste tarifário em andamento obrigou aquele órgão gestor a optar por essa solução, face à pressão orçamentária imposta pelo aumento de subsídios municipais.

A substituição do Diesel B7 pelo B20 tem três possibilidades de implementação: subsídio, aumento de tarifa ou racionalização operacional.

Até o momento, a política do Governo do Estado de São Paulo para o setor não abriga a figura do subsídio.

Quanto à possibilidade de aumento de tarifa, isso tem se tornado cada vez menos aplicável, face às condições sociais, econômicas e políticas de contestação dos valores tarifários praticados no setor.

Já quanto à racionalização operacional, sem perda tanto de atendimento à população, quanto de qualidade dos serviços, há implicação em investimentos em infraestrutura e/ou substituição do perfil da frota.

39 BRASIL. Medida Provisória Nº 647, de 28 de maio de 2014. Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, e dá outras providências. Brasília – DF: Diário Oficial da União, 29.5.2014. Aprovada pelo Senado em 02 de setembro de 2014.

Estas medidas podem e devem ser dosadas ao longo de um cronograma pré-estabelecido e com critérios acordados com os operadores contratados.

Ainda resta obter compromissos seguros dos fornecedores do B20 que garantam as demandas decorrentes de tais ações. Isto significa que, antes da definição de substituição total do Diesel comum pelo B20, é essencial um acerto formal entre Governo e produtores que garanta o fornecimento necessário.

Para os operadores, uma vantagem técnica da alternativa de utilização do B20 é a reversibilidade para o Diesel convencional sem custos de processo.

2. Médio prazo

A seguir, a médio prazo, existem as possibilidades de utilização do Etanol, dos Híbridos ou dos Trólebus. O uso do Etanol independe das condições operacionais de sua aplicação. Os Híbridos podem ser utilizados em demandas intermediárias, em trajetos adequados. Já os Trólebus devem ser utilizados nos corredores segregados.

Nestes casos, essas tecnologias devem ser previstas em novas contratações e exigem uma participação financeira mais intensa do Poder Público, apontando na direção do modelo de PPP.

A utilização do Etanol, portanto, tem como implicações algumas alterações no veículo frente aos ônibus movidos a diesel, como ajustes decorrentes da manutenção e do aumento de consumo e preço do combustível, além de ajustes nos sistemas de armazenamento e abastecimento das garagens.

Por esses motivos, a aplicação desta tecnologia se mostra recomendável apenas em novos contratos, onde já seriam previstas todas essas condições e abrigados os custos decorrentes no fluxo de caixa do projeto, com ou sem a utilização de subsídios específicos, que podem ser praticados na modelagem de PPP, já em conformidade com políticas do Governo Estadual.

Por outro lado, isso só poderia ser aplicado mediante garantia das distribuidoras de fornecimento do combustível com seu aditivo. Neste aspecto, o Etanol é particularmente preocupante, pois além da sazonalidade natural de sua produção, ele sofre com a concorrência da produção de açúcar e com as variações de utilização na frota de veículos leves e sua adição à gasolina. Também não se tem maior prática com relação ao mercado do aditivo necessário.

Assim, pequenas frotas que não apresentaram escalas de consumo suficientes para justificar os interesses dos fornecedores e distribuidores de combustível e aditivo geraram a descontinuidade dos programas de utilização do Etanol desta forma. Por isso, na opção por esta solução é recomendável que seja efetuado um estudo relativo à forma de garantir quantidade e preço deste insumo, bem como à escala de consumo do mesmo e dos componentes mecânicos dos motores e da manutenção de infraestrutura de distribuição.

Tudo isso deve ser assegurado por acertos e contratos firmados entre os operadores e os fornecedores, com a participação do Poder Público.

Devido aos valores de investimento associados aos veículos Híbridos existentes, sua aplicabilidade só se justifica no atendimento de demandas maiores. Então, para ser viabilizada sua utilização, o melhor é que se faça uso dessa tecnologia em corredores segregados ou, pelo menos, em faixas exclusivas. Neste caso, em relação ao Trólebus, ele apresenta a vantagem de seu itinerário independer de rede aérea, com relativa flexibilidade de trajeto.

Assim, para a absorção dos custos com investimentos em veículos e infraestrutura, o ideal também é a contratação na forma de PPP, com investimentos compartilhados entre Poder Público e Iniciativa Privada. Tal modelo encontra abrigo nas instituições financiadoras e de fomento tradicionais.

Dessa forma, quanto aos Trólebus, sua aplicabilidade ideal é nos corredores segregados, onde seu rendimento está mais que confirmado.

Tanto nos corredores existentes, como nos futuros, sua utilização deve ser estudada em detalhes. Se de um lado o investimento necessário é elevado, a durabilidade dos veículos também é bastante mais elevada, como está amplamente demonstrado, o que permite contratações de longo prazo, visando a amortização desses investimentos.

O mercado nacional fornecedor dos veículos e da infraestrutura é experiente, apesar de pequeno, mas existem questões quanto ao fornecimento de energia que devem ser tratadas com cuidado.

Com a privatização do setor de distribuição, as empresas que assumiram as redes se desinteressaram pela continuidade do atendimento ao sistema. Assim, duas são as possibilidades a serem estudadas: a utilização de corrente alternada ou a assunção do sistema pelos operadores, desde as subestações alimentadoras da rede. Mesmo assim, a contratação da energia deve ser muito bem tratada, tanto na garantia de fornecimento, quanto ao preço a ser praticado.

Assim, para a absorção dos custos com investimentos em veículos, infraestrutura e manutenção da rede, o ideal, também nas novas contratações, é a forma de PPP, com investimentos compartilhados entre Poder Público e Iniciativa Privada.

Então, para a aplicação de Trólebus e/ou Híbridos existe de imediato um potencial de 240 veículos já operados nos 33 km do corredor ABD, além de toda a ampliação prevista de cerca de 367 km a mais para as Regiões Metropolitanas de São Paulo.

3. Longo prazo

Para as tecnologias selecionadas para utilização a longo prazo, as expectativas são de continuidade do desenvolvimento experimental, até que se criem condições para a utilização das mesmas em lotes de testes operacionais.

Os ônibus movidos a baterias e a célula a combustível hidrogênio apontam para a efetivação de testes de desenvolvimento e experimentação em situações reais de operação que, nesses casos, dependem do Poder Público e dos fornecedores interessados em participar do mercado de transporte coletivo.

No caso dos ônibus movidos a bateria, a tecnologia pode atender a trajetos previamente aparelhados com infraestrutura de recarga de energia, enquanto o Hidrogênio não tem essa limitação. Nos dois casos, os custos de desenvolvimento e experimentação, assim como a implantação das condições iniciais para operacionalização da frota futura recairão fortemente sobre o Poder Público, com colaboração dos fornecedores interessados no mercado de transporte coletivo.

A tecnologia de ônibus a bateria, sem uso de rede aérea, já possui fornecedores bastante ativos em desenvolvimento de mercado para os seus veículos. No entanto, não sendo através de redes aéreas, é necessária a implantação de infraestrutura específica para o carregamento das baterias nos itinerários e terminais a serem atendidos.

Assim, se não existem grandes óbices técnicos quanto aos veículos, é necessário que se implante essa estrutura para eles sejam testados em situações operacionais reais.

Também no futuro, caso essa tecnologia seja aprovada, ela só poderá ser utilizada onde houver a infraestrutura, ou seja, que sua utilização será limitada pela disponibilidade desses recursos.

Por esses motivos, a realização de testes em operação real fica dependente da implantação, em algum ponto da rota, dos recursos de abastecimento necessários.

Neste caso, não há como onerar os operadores com essas obrigações, nem mesmo com a aquisição de veículos, que além de tudo terão mercado ainda incerto de revenda.

Assim, o operador que vier a participar do processo de testes apenas deverá prestar os serviços de campo, oferecendo talvez os espaços para sua infraestrutura de manutenção, mas não terá como executá-la.

A extensão Diadema – São Paulo (Morumbi) do corredor ABD possui as características físicas e operacionais adequadas para tal experimentação, caso a EMTU/SP resolva dar continuidade a esse desenvolvimento.

Restariam dois pontos a serem resolvidos: o acordo com a operadora do corredor e a forma de financiamento desse processo. Quanto ao operador, é evidente que não caberia a este arcar com os custos, exceto da operação em si dos serviços. Neste caso, deve caber ao Poder Público e aos fornecedores interessados em colocar seus produtos alavancar os investimentos em frota e infraestrutura necessárias e custear a manutenção das mesmas.

Uma fonte possível destes recursos é a FINEP, que administra um fundo específico para este fim. Para tanto, o órgão gestor deve apresentar um projeto específico a esse respeito àquele órgão. De qualquer forma, tudo se inicia com um projeto específico para a tentativa de utilização de um lote de veículos com essa tecnologia.

Dentre todas as tecnologias até aqui analisadas, o caso do Hidrogênio é o que tem maiores dificuldades de utilização a mais curto prazo, mas esta tecnologia já é bastante conhecida pela EMTU/SP. Assim, a sua aplicabilidade ainda depende de algumas etapas, que a própria EMTU/SP, aliás, domina profundamente.

É uma tecnologia que, se aprovada, pode ser utilizada amplamente, pois não depende de infraestrutura fora das instalações de garagem e pode ser aplicada em qualquer porte e padrão de veículo.

No entanto, os elevados custos de veículos, infraestruturas de garagem e produção e armazenamento de hidrogênio, assim como de consumo de energia para sua produção indicam que essa tecnologia só se viabilizará pelo retorno econômico, principalmente de redução absoluta de todas as formas de poluição.

Por isso, é uma tecnologia que apenas se viabilizará através de recursos públicos e de instituições multilaterais de desenvolvimento para financiar as pesquisas e sua implantação.

Em todos os casos de médio e longo prazo existem possibilidades de compartilhamento desses custos com o Governo Federal e com agências e instituições de fomento ao desenvolvimento técnico e econômico, multilaterais, nacionais e internacionais.

Estratégia de implantação do plano

A implementação de um plano de substituição tecnológica de frota por parte de um gestor público de transportes como a EMTU/SP deve cuidar de diversos interesses públicos e privados, que, muitas vezes, são contraditórios.

Tais contradições podem ou não ser solúveis a curto, médio ou longo prazo. Assim, além de metas e objetivos claros, o planejamento deve identificar, para sua viabilização, tanto os atores (stakeholders) que atuam e atuarão a favor e contra esta viabilização, como suas motivações, envolvimento, capacidades técnica e financeira, área e abrangência de atuação e função no processo. São esses atores que levarão o plano de substituição pretendido aos objetivos almejados.

Para sistematizar a análise das ações de gestão necessárias e ajustadas aos objetivos planejados, deve-se também identificar os atores que agirão no processo, agentes dessas vantagens e deficiências, segundo seus interesses estratégicos, táticos e operacionais específicos e sua forma e capacidade de ajudar ou obstar a implementação do plano, face aos objetivos e metas do mesmo.

Como já visto, estes agentes podem ser buscados entre:

- Poder Público
- Operadores
- Fornecedores
- Usuários
- Público em Geral
- Entidades e Comunidades Técnicas e Científicas
- Financiadores e Empreendedores

Para organizar as informações a respeito desses atores e permitir uma análise e um planejamento adequados das ações de gerenciamento da substituição tecnológica pretendida, devem-se registrar todos os agentes identificados e as informações disponíveis de cada um deles e realizar pesquisas de informações adicionais a respeito dos mesmos, inclusive dos seus interlocutores, quando houver, para as posteriores ações de gestão necessárias.

Também aspectos históricos, contratuais, institucionais e legais podem e devem ser avaliados nesse processo, de forma a amparar ações que viabilizem os objetivos desejados, o que deve ocorrer concomitantemente.

No caso de tecnologias muito inovadoras, é desejável, para desenvolvimento e aperfeiçoamento das características da tecnologia pretendida, que sejam detalhadas pesquisas específicas para esse fim, de forma a atender as expectativas e obter aprovação e apoio dos usuários e do público em geral.

Especialmente na fase inicial de testes de introdução dos novos veículos em lotes experimentais, essas pesquisas permitem ajustes muito importantes, que muitas vezes são muito simples, mas decisivos para o sucesso do projeto.

Além de aspectos técnicos envolvidos nessa aprovação e apoio, essas pesquisas podem pautar a comunicação do projeto específico de substituição tecnológica através das mídias adequadas.

Elaboração de um Mapa Geral das Partes Interessadas

O objetivo da análise dos atores é apresentar um mapa abrangente das partes interessadas no projeto de substituição tecnológica desejada, classificadas em públicas, privadas e não governamentais, com avaliação de suas forças de conhecimento do setor, sua posição em relação ao projeto, os recursos e as capacidades técnicas, operacionais e financeiras que dispõem.

No final dessas avaliações, se poderão estabelecer as ações possíveis e necessárias, o sequenciamento dessas ações, seus prazos e responsáveis para a implantação do projeto de substituição de tecnologia pretendido, assim como as ações para consolidação e continuidade da mesma, após a fase de implantação.

Quanto aos usuários e o público em geral, em alguns casos podem existir entidades organizadas que defendam determinadas tecnologias, o que é raro no Brasil, e que podem ser incluídas no levantamento dos atores, mas algumas instituições, como a própria ANTP e as operadoras públicas e privadas, realizam pesquisas de avaliação das diversas modalidades de transporte junto ao público e aos usuários, que detalham, em alguns quesitos, as expectativas e os motivos de aprovação e desaprovação de cada modalidade. Tais pesquisas podem ser utilizadas como referência para se estabelecer parâmetros adequados às especificações técnicas e operacionais desejáveis da tecnologia e para o planejamento da substituição da frota.

Já para os demais atores, organizados e institucionalizados, o levantamento deve ser feito diretamente junto aos mesmos, mas é muito desejável que isso seja executado com um padrão homogêneo para todos eles e de tal maneira que permita identificar quais os principais aliados e opositores, suas capacidades e forças técnicas, financeiras e institucionais para exercer apoio ou oposição ao desenvolvimento tecnológico almejado. Assim, essa avaliação deve permitir direcionar os esforços de gestão do processo para organizar as forças favoráveis e potencializá-las, e para minimizar ou neutralizar as contrárias.

Assim, devem ser listadas, discutidas e acertadas com os gestores do processo as entidades a serem avaliadas, sejam Publicas, Privadas, ONGs ou Acadêmicas, nacionais e mesmo internacionais presentes no cenário do sistema em que será introduzida a nova tecnologia, e sua classificação em áreas de abrangência e funções nesse processo.

Outro produto desse trabalho deve ser a identificação das lacunas que devam ser cobertas e a busca dos atores que possam ser atraídos para esse fim, para promover sua aproximação e incorporação ao projeto.

Os critérios gerais de escolha das partes interessadas para este mapeamento são os seguintes:

Entidades Públicas ⏩ Nesta categoria, estão todos os agentes públicos que tenham um mandato sobre o assunto em questão, em termos de definição de políticas, regulamento, promoção, financiamento, assistência, suporte técnico ou operação direta, como é o caso de empresas públicas que gerenciam ou operam sistemas de transporte público. Dado que os ministérios e secretarias geralmente abrangem um grande número de componentes sob seu comando, as divisões e diretorias relevantes devem ser especificadas em cada componente específico. O caso é semelhante com os bancos de desenvolvimento, como o BNDES, com suas divisões específicas. No caso dos Ministérios e Secretarias de Estados e Municípios, estes possuem áreas específicas do setor, com responsabilidade orçamentária. Assim, esses agentes e escritórios devem constar também. Finalmente, os financiadores internacionais deverão ser analisados neste grupo.

Entidades Privadas ou Público/Privadas ⏩ Esta categoria engloba três grandes grupos.

O primeiro compreende sindicatos, uniões, federações ou associações que reúnam empresas privadas e que sejam instituições abrangentes, com um grande número de membros, de uma grande variedade de setores, e representem cadeias de valor tradicionais ou altamente relevantes da economia e sejam grandes o suficiente para influir nos processos de decisão.

O segundo grupo engloba qualquer grande federação ou associação de provedores de equipamentos, veículos, combustíveis, energia, infraestrutura, sistemas, operação ou serviços na área de transporte coletivo.

O terceiro destaca os principais fornecedores individuais de equipamentos, de combustíveis e energia, sistemas, montadoras, operadoras, projetistas, consultoras, construtoras, gerenciadoras etc., que estejam envolvidas com a proposta de substituição em planejamento ou possam vir a ser envolvidas ou afetadas por ela.

Entidades Acadêmicas, Centros de Pesquisa, ONGs, etc. ⏩ Este grupo inclui áreas de estudos de transporte em grandes universidades federais ou estaduais, bem como entidades de reflexão, ONGs e fundações que realizem eventos e iniciativas de reflexão e aprimoramento em áreas que são relevantes para o setor de transporte coletivo. Entram aqui também as entidades reguladoras de tecnologia, os institutos de aferição de desempenho e certificadores.

Avaliação das Entidades

Dentre todos, deverão ser selecionados os atores mais importantes do mapeamento geral para realizar a análise final. Esta análise será qualitativa e identificará o apoio ou oposição potenciais dos mesmos para a implantação do projeto planejado.

Deverão inicialmente ser acertados os critérios de definição do posicionamento de cada um deles, em relação ao projeto planejado, para definição de seu apoio, neutralidade ou oposição, seu grau de envolvimento e conhecimento, sua disposição para agir no processo de forma neutra, contrária ou favorável, sua condição financeira e técnica próprias e sua capacidade de alavancar esses recursos ems suas ações. Inicialmente, a pontuação de cada um dos vários fatores poderá ser graduada de 1 a 5 pontos, dos níveis baixo, médio baixo, médio, médio alto e alto, de acordo com os critérios acertados neste estágio. Os critérios para estas pontuações deverão ser referendados por um grupo multidisciplinar e ajustados previamente.

Deverão ser definidas e ajustadas também as classificações possíveis a serem aplicadas a cada entidade analisada quanto à Abrangência de Atuação e também quanto às Funções Exercidas pelas mesmas na implantação do projeto planejado.

Realizados os levantamentos e definidos os critérios, eles serão aplicados à análise dos dados de cada entidade relacionada e registrados numa planilha, para as análises e ponderações do planejamento necessário.

Com esses registros acumulados, será calculada a média de pontuação para cada um dos atores analisados, para cada um dos fatores.

Assim, tem-se a avaliação de cada ator analisado quanto às notas atribuídas à Força Financeira Própria e à Capacidade de Mobilizar Recursos, assim como a Média de Força Financeira; as notas atribuídas a seus Recursos Técnicos e à sua Capacidade de Mobilização de Recursos Técnicos e Operacionais e sua Média de Força Técnica.

Será então calculada a média das suas duas notas, que indicará sua Força estimada relativa entre todas as entidades analisadas.

Estas avaliações serão registradas e descritas sumariamente e serão agregadas e demonstradas em gráficos, para visualização e análises, e agrupadas pelas classificações de setores considerados, de Abrangência e de Função, previamente estabelecidos.

Desta forma, se terá um quadro abrangente dos atores e dos fatores a serem considerados, para as análises seguintes demandadas pelo trabalho e para as propostas para implantação do projeto selecionado.

No levantamento das informações dos principais atores, é fundamental obter-se a quantificação das capacidades técnicas, operacionais e financeiras dos mesmos, referidas a quantidades e prazos de produção de soluções, insumos e produtos necessários ao projeto, para que se possa contrapor as mesmas às necessidades e capacidades de utilização desses recursos no projeto.

Outro aspecto fundamental a ser buscado é a identificação das lacunas de abrangência e função não cobertas pelos atores identificados, para busca de soluçãões para as mesmas, através dos mesmos ou de novos atores.

Para exemplificar, é apresentada a seguir uma planilha que pode ser produzida a partir desse processo, com alguns critérios de qualificação e notas também exemplificativos para cada qualificação.

Esta planilha pode ser traduzida por gráficos a partir de totalizações de cada fator avaliado, de forma a permitir uma visão estratégica mais geral dos pontos fortes e fracos do projeto, a fim de ajudar o gestor a direcionar os esforços e prioridades de reforço e neutralização desses fatores.

Tabela 6.1– Exemplo de Planilha de Qualificação dos Atores

PLANILHA DE QUALIFICAÇÃO DE ATORES				
NOME	Nome da Instituição			
CATEGORIA	Público / Privado / Academia / ONG / Internacional / Fundação / Outros			
POSIÇÃO FACE À TECNOLOGIA				
☐ Contrária	☐ Moderada Contra	☐ Neutra	☐ Moderada a Favor	☐ Favorável
ENVOLVIMENTO				
☐ Baixo	☐ Médio Baixo	☐ Médio	☐ Médio Alto	☐ Alto
MOTIVAÇÃO PARA AGIR				
☐ Baixa	☐ Médio Baixa	☐ Média	☐ Médio Alta	☐ Alta
RECURSOS FINANCEIROS PRÓPRIOS				
☐ Baixo	☐ Médio Baixo	☐ Médio	☐ Médio Alto	☐ Alto
NOTA				
☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
CAPACIDADE PARA MOBILIZAR RECURSOS FINANCEIROS				
☐ Baixo	☐ Médio Baixo	☐ Médio	☐ Médio Alto	☐ Alto
NOTA				
☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
NOTA FINANCEIRA MÉDIA				
RECURSOS TÉCNICOS PRÓPRIOS				
☐ Baixo	☐ Médio Baixo	☐ Médio	☐ Médio Alto	☐ Alto
NOTA				
☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
CAPACIDADE PARA MOBILIZAR RECURSOS TÉCNICOS				
☐ Baixo	☐ Médio Baixo	☐ Médio	☐ Médio Alto	☐ Alto
NOTA				
☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
NOTA TÉCNICA MÉDIA				
FORÇA				
ABRANGÊNCIA DE ATUAÇÃO	Serviços / Projetos / Negócios / Políticas / Tecnologias / Construção / Veículos / Equipamentos / Sistemas / Gestão / Utilização / Outros			
FUNÇÃO	Implantar Infraestrutura / Produzir Veículos / Desenvolver Tecnologia / Proteger Meio Ambiente / Prover Saúde / Fazer Operação / Executar Gestão / Prover Financiamento / Empreender / Intermediar / Integrar / Regular / Legislar / Utilizar / Outros			

Cronograma físico-financeiro da renovação de frota proposta

Para a apresentação de um cronograma de renovação de frota e na forma de exemplificação para a substituição tecnológica no caso da EMTU/SP, devem-se efetuar algumas opções dos dados a serem utilizados na sua elaboração, de forma a apresentar-se os conceitos a serem aplicados no seu desenvolvimento e admitindo-se também algumas decisões estratégicas, como consequências das etapas anteriores da metodologia até aqui descrita.

Assim, o cronograma conceitual apresentado considerou que o curto prazo se refere aos contratos de concessão em execução e/ou contratação, em sua forma atual, com um limite de até 6 (seis) anos, a partir do início do programa de renovação tecnológica da frota.

Para médio prazo, consideraram-se novos contratos ou ajustes de contratos ainda em elaboração, com início de substituição tecnológica a partir do sétimo ano, até o horizonte de 15 (quinze) anos.

Para longo prazo, foi considerado o horizonte entre o décimo sexto e o trigésimo ano do programa, quando se espera que sejam viabilizados os investimentos também de mais longo prazo.

O primeiro critério conceitual que foi adotado é de que o cronograma apresentado reflete a ótica do operador e, por isso, não inclui investimentos em infraestrutura, logística e desenvolvimentos tecnológico e de fornecedores. Assim, esses investimentos serão viabilizados pela participação do Poder Público, responsável pelo atendimento dos interesses coletivos e sociais, devendo estar inseridos em políticas governamentais.

Conforme apontado no decorrer do estudo, a mão de obra não apresenta diferenças significativas, portanto, não foi incluída no cronograma, por não suscitar diferenças entre tecnologias a ser implantadas.

Outra opção se refere à escolha das tecnologias a serem utilizadas, que decorre das análises anteriores, assim como da disponibilidade de dados confiáveis de preços, custos e da maior viabilidade de fornecimento de veículos e insumos operacionais nos horizontes analisados, para que o exercício proposto tenha referências mais próximas da realidade.

Assim, das alternativas de médio e longo prazo, foram escolhidos respectivamente o Híbrido e o Elétrico, em detrimento do Etanol, do Trólebus e do a Hidrogênio, apresentadas nas fases anteriores.

No entanto, o procedimento e as parametrizações empregadas poderão ser aplicadas a qualquer momento às demais tecnologias estudadas ou a qualquer outra que surja mais à frente.

Quanto aos quantitativos de participação das tecnologias no total da frota, foram consideradas porcentagens de sua aplicabilidade às condições operacionais de sistemas de atendimento de demandas locais ou de corredores de ligações regionais, estes de baixa ou média capacidade. Assim, inicialmente e de forma conservadora, no curto prazo considerou-se que 70% da frota Diesel será abastecida com B20, ao invés de B7.

Por outro lado, será sempre necessária a participação de uma frota mais simples e versátil, sem investimentos específicos em infraestrutura ou priorização no tráfego, para os atendimentos nas pontas mais periféricas das demandas. Assim, foi considerado que, no mínimo, 40% da frota, entre as três tecnologias escolhidas para o cronograma desenvolvido, será de veículos movidos a B20.

Para o médio prazo, embora apresente menor custo operacional para o operador, o Trólebus se mostra menos atraente devido à ausência de novos corredores segregados e o alto custo da implantação e manutenção da rede aérea.

Desta forma, a entrada da tecnologia do Híbrido, que não exige investimentos mais pesados em infraestrutura, no médio prazo, substituirá os demais 60% da frota.

Por fim, no longo prazo, supôs-se que metade da frota de híbridos será substituída por veículos elétricos. A princípio, adotou-se a longo prazo o veículo Elétrico, que possui custos operacionais inferiores aos do veículo a Hidrogênio. Para que houvesse uma referência única, foi analisado apenas o veículo tipo Padron.

Tabela 6.2 – Dados Financeiros

	VALOR DE CADA VEÍCULO*	VALOR OPERACIONAL (VEIC.KM RODADO**)	VALOR MENSAL OPERACIONAL POR VEÍCULO (6.000KM/MÊS)
TECNOLOGIA	**R$**	**R$/km**	**R$/mês**
DIESEL	540.000	1,37	8.218
B20	540.000	1,42	8.521
HÍBRIDO	700.000	1,21	7.286
ETANOL	600.000	2,35	14.080
TRÓLEBUS	850.000	0,92	5.501
ELÉTRICO	2.000.000	1,61	9.689
HIDROGÊNIO	2.000.000	2,47	14.814

*VEÍCULO PADRON

**CONSIDERA COMBUSTÍVEL, RODAGEM, LUBRIFICANTE E PEÇAS/ACESSÓRIOS.

Considerando então essas premissas, o Cronograma físico-financeiro da substituição tecnológica proposta, para uma frota atual, em números redondos de 6.000 veículos Diesel, é o seguinte:

Tabela 6.3 – Cronograma Físico-Financeiro

TECNOLOGIA	ATUAL	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO	LONGO PRAZO
Diesel/B7	100%	30%	0%	0%
B20	0%	70%	40%	40%
Híbrido (alt. Etanol/Trólebus)	0%	0%	60%	30%
Elétrico (alt. Hidrogênio)	0%	0%	0%	30%
Anos	-	de 2 a 6 anos	de 7 a 15 anos	a partir de 15 anos
Valor TOTAL de frota no final do período	6.000 x R$ 540.000 **R$ 3.240.000.000,00**	6.000 x R$ 540.000 **R$ 3.240.000.000,00**	2.400 x R$ 540.000 3.600 x R$ 700.000 **R$ 3.816.000.000,00**	2.400 x R$ 540.000 1.800 x R$ 700.000 1.800 x R$ 2.000.000 **R$ 6.156.000.000,00**
Valor residual	15%	15%	15%	15%
Idade máxima	10 anos	10 anos	B20 = 10 anos / Híbrido = 20 anos	B20 = 10 anos / Híbrido = 20 anos / Elétrico = 25 anos
Investimento em Frota Anual	85% x (Vtotal / 10) **R$ 275.400.000,00**	85% x (Vtotal / 10) **R$ 275.400.000,00**	85% x (Vtotal B20 /10 + Vtotal Híbrido/20) **R$ 217.260.000,00**	85% x (Vtotal B20 /10 + Vtotal Híbrido/20 + Vtotal elétrico/25) **R$ 286.110.000,00**
Custo Anual (s/ mão de obra)	6.000 x 12 x Cmensal B7 **R$ 591.674.291,04**	1.800 x 12 x Cmensal B7 4.200 x 12 x Cmensal B20 **R$ 606.976.039,98**	2.400 x 12 x Cmensal B20 3.600 x 12 x Cmensal Híbrido **R$ 560.160.132,95**	2.400 x 12 x Cmensal B20 1.800 x 12 x Cmensal Híbrido 1.800 x 12 x Cmensal Elétrico **R$ 612.064.356,95**
TOTAL por ano (inv-frota + custo)	**R$ 867.074.291,04**	**R$ 882.376.039,98**	**R$ 777.420.132,95**	**R$ 898.174.356,95**

OBS: O VALOR RESIDUAL DO VEÍCULO A DIESEL É COMPATÍVEL COM A EXPERIÊNCIA DE MERCADO. PARA AS DEMAIS TECNOLOGIAS, FOI ESTIMADO INICIALMENTE ESTE MESMO VALOR, PARA REPRESENTAR O APROVEITAMENTO DE PEÇAS E COMPONENTES. SOMENTE A CONSOLIDAÇÃO DE MERCADO NO FUTURO PODERÁ INDICAR O VALOR RESIDUAL MAIS ADEQUADO.

Os cenários de curto e longo prazo apresentam acréscimo de custos e devem prever remuneração adicional ao operador. Para curto prazo, o aumento de custo é da ordem de R$2.500,00 por veículo/ano, enquanto o de longo prazo supera os R$5.000,00.

Em termos financeiros, o cenário mais favorável é o de médio prazo, pois gera redução de custos em relação à condição da frota atual (não incluindo investimentos em infraestrutura). Da tabela anterior, depreende-se a economia de quase R$15.000,00 por veículo/ano.

Tabela 6.4 – Custos adicionais em relação ao cenário atual

PERÍODO	CUSTO ADICIONAL POR ANO	ANÁLISE POR VEÍCULO
Curto Prazo	R$ 15.301.748,94	Aumento de custo em R$2.550,29 veic./ano *
Médio Prazo	-R$ 89.654.158,09	Redução de custo em R$14.942,36 veic./ano*
Longo Prazo	R$ 31.100.065,91	Aumento de custo em R$5.183,34 veic./ano*

*EM RELAÇÃO À FROTA TOTAL DE VEÍCULOS DIESEL /B7.

Benefícios Ambientais da Proposta ›› Para a avaliação dos benefícios ambientais decorrentes do programa apresentado, foram utilizados os valores obtidos no decorrer do estudo, apresentados na Tabela 6.5 a seguir.

Tabela 6.5 – Dados de Referência para Cálculo de Benefícios Ambientais

TECNOLOGIA VEICULAR	EMISSÕES NOx (g/km)	EMISSÕES CO (g/km)	EMISSÕES HC (g/km)	EMISSÕES MP (g/km)	EMISSÕES CO_2 (g/km)	EMISSÕES SOx (g/km)
DIESEL	12,31	2,19	0,16	0,30	1461,00	0,00470
B20	12,56	1,94	0,14	0,27	1392,00	0,00094
B100	13,41	1,22	0,06	0,17	338,00	0
ETANOL	5,58	0,00	0,43	0,04	270,00	0
ELÉTRICO	0,00	0,00	0,00	0,00	82,00	0
HÍBRIDO	9,76	0,60	0,10	0,03	1386,00	0,00470
TRÓLEBUS	0,00	0,00	0,00	0,00	148,00	0
HIDROGÊNIO	0,00	0,00	0,00	0,00	200,00	0

Utilizando-se os valores da tabela acima e valores monetários de emissão de cada poluente, é possível estimar os benefícios anuais com o programa de substituição tecnológica indicado.

Para esse cálculo, manteve-se a consideração de frota de 6.000 veículos e outras referências operacionais utilizadas na Avaliação Econômico-Financeira, como a quilometragem mensal de 6.000 km por veículo.

Como consequência desses parâmetros e da hipótese de substituição proposta, os benefícios ambientais estimados do programa aumentam com a evolução dos prazos: R$2,3 milhões anuais no curto prazo, crescendo para R$7,5 milhões anuais no médio e chegando a R$31,3milhões anuais no longo prazo. Os benefícios totais por tipo de poluente são listados na Tabela 6.6 a seguir.

Tabela 6.6 – Benefícios Ambientais da Proposta

	BENEFÍCIO ANUAL COM REDUÇÃO DAS EMISSÕES						
	NOx	CO	HC	MP	CO_2	SOx	TOTAL
Curto Prazo	-R$ 271.320	R$ 53.029	R$ 18.778	R$ 166.526	R$ 2.352.179	R$ 15.532	R$ 2.334.724
Médio Prazo	R$ 2.217.073	R$ 319.385	R$ 59.016	R$ 1.379.787	R$ 3.535.574	R$ 8.876	R$ 7.519.710
Longo Prazo	R$ 6.756.645	R$ 373.929	R$ 99.255	R$ 1.451.155	R$ 22.586.763	R$ 17.196	R$ 31.284.944

*VALORES DE DEZ/2012

Considerações Finais » O Plano de Substituição proposto teve como objetivo principal a utilização de tecnologias alternativas mais adequadas às condições operacionais existentes na rede atual da EMTU/SP e nos futuros corredores previstos.

Há que se ressaltar que os benefícios proporcionados pela substituição tecnológica dos ônibus não são exclusivos da redução de emissão de poluentes. Buscar veículos com propulsão alternativa ao diesel é investir em qualidade de vida e conforto para o usuário e para a população que convive com os ônibus metropolitanos.

A eficiência energética do transporte é a pauta da gradativa implantação tecnológica, onde, em longo prazo, destacam-se os ônibus elétricos e os a hidrogênio, cujas emissões de elementos poluentes pelo escapamento são nulas, com influência direta na melhoria do meio ambiente e, consequentemente, da saúde pública.

Existem ainda desafios para a inserção de algumas tecnologias na operação regular e em elevado número de veículos nas frotas, especialmente quanto à infraestrutura e à adaptação de mercado. Esses desafios devem ser alvos do poder público, no sentido de criar incentivos para a sua viabilidade.

Incentivos que estimulem os empresários a adotar novas tecnologias devem ser objeto dos contratos futuros. Sob a ótica do operador, o cenário de substituição tecnológica de médio prazo é inclusive de redução dos custos operacionais.

Sob a ótica do governo, a substituição tecnológica proposta contribui para a redução da dependência de combustíveis fósseis e supera, a partir de médio prazo, a redução de 20% da emissão de dióxido de carbono (CO_2) no âmbito da operação gerenciada pela EMTU/SP. Esses resultados atendem a uma das diretrizes estabelecidas na Política Estadual de Mudança Climática (PEMC) e ao Plano Estadual de Energia.

Como exercício de quantificação dos resultados a serem buscados com o processo estabelecido, passa-se a uma simulação do impacto ambiental da proposta de substituição tecnológica aplicada aos futuros contratos de concessão nas RMs da EMTU/SP e a sugestões para a sua operacionalização.

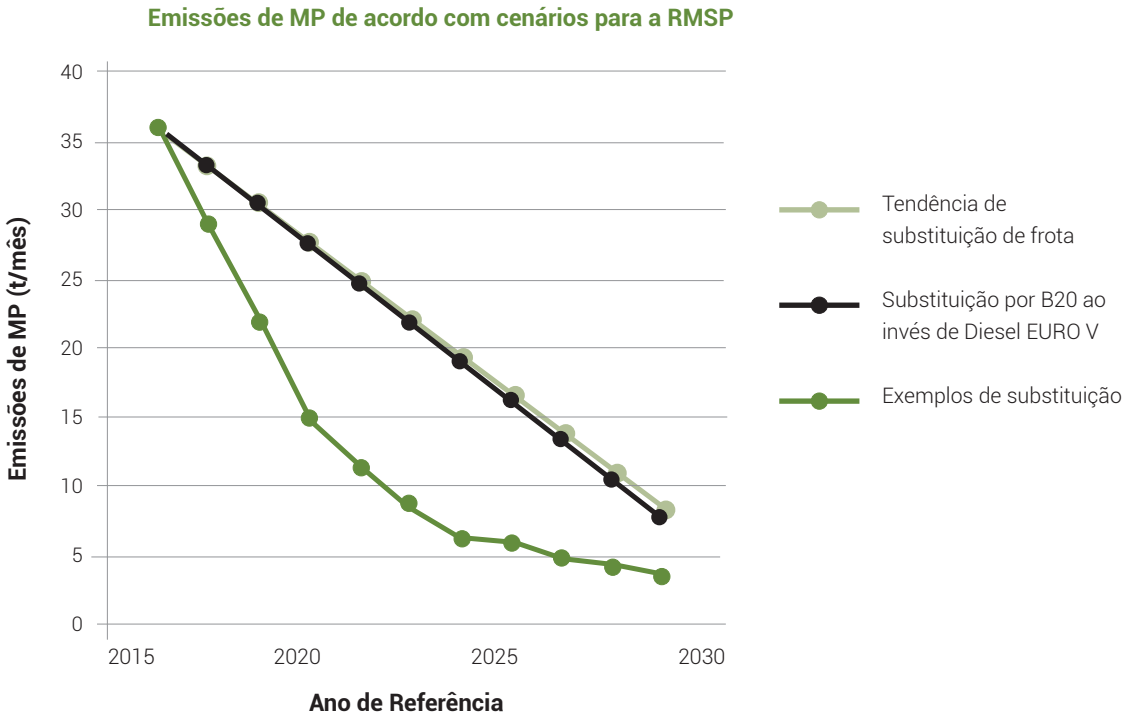
Neste sentido, e tendo como referência a Tabela 6.3 – Cronograma Físico-Financeiro, destaca-se inicialmente um período de dez anos, a partir de 2016, estendendo-se assim até 2026, considerando-se o prazo de licitação dos novos contratos, que então se supõe, terão duração inicial de dez anos.

De forma exemplificativa, são apresentados a seguir os dados comparativos de emissão de um dos poluentes, o material particulado (MP), em três cenários, aos quais foram aplicados os critérios e parâmetros utilizados neste trabalho.

O Cenário I é referencial e demonstra apenas o cumprimento das determinações contratuais e legais de substituição da frota das concessionárias da EMTU/SP de 2012, com a passagem da fase P-5 para a fase P-7 do PROCONVE (equivalentes a EURO III e EURO V, respectivamente).

O Cenário II é a simulação da adoção paulatina do diesel B20 na frota a ser renovada a partir de 2017. O Cenário III é a simulação da renovação da frota atual conforme os critérios da Tabela 6.3. Todos os cenários tomam como ponto inicial, em 2016, 80% da frota com EURO III e 20% da frota já alterada para EURO V, como estimativa das substituições decorrentes das condições contratuais vigentes.

Figura 6.1 – Estimativa de emissões de MP para três cenários de substituição de frota



Os resultados deste estudo permitem estabelecer objetivos de reduções de emissões, a princípio atingíveis, ao menos pela solução de composição tecnológica da frota indicada através da metodologia deste trabalho. Nesse sentido, recomenda-se um aprofundamento da questão por parte da EMTU/SP para avaliar o melhor método de inserção de cláusulas contratuais como estímulo à adoção de tecnologias menos poluentes.

No caso de aplicação desses objetivos como balizadores da seleção de propostas dos futuros licitantes, os mesmos poderão ser considerados como limites mínimos de redução das emissões, não sendo obrigatória a exata composição tecnológica da frota conforme a hipótese do estudo.

Para avaliação e comparação das diversas propostas, será necessário apresentar nas referências técnicas do edital os mesmos parâmetros das várias tecnologias estabelecidos neste estudo, que definiram a solução básica considerada.

Por outro lado, no caso de se optar pelo incentivo aos licitantes, pela remuneração para utilização das tecnologias com maior eficiência ambiental, também é possível aplicar as referências metodológicas demonstradas anteriormente para o cálculo dos custos adicionais decorrentes. Tais valores, neste caso, poderiam ser os limites máximos do subsídio que o Poder Público ofereceria aos licitantes, consistindo ônus dos mesmos as escolhas tecnológicas mais dispendiosas que garantam melhor pontuação de suas propostas, incluindo as infraestruturas adicionais necessárias e não previstas como responsabilidade do Poder Público.

Outro mecanismo garantidor da efetivação da substituição proposta pelo futuro concessionário, além do não aporte dos adicionais de remuneração estabelecidos, pode ser também o desconto dos valores relacionados ao não cumprimento das metas ambientais contratadas, conforme a proposta ganhadora.

Uma maneira possível para viabilizar e operacionalizar este mecanismo é a formação de um fundo financeiro específico para repasse ou retenção dos valores a serem creditados ou debitados do contratado, o qual pode prever o aporte de verbas públicas, de taxas contratuais dos concessionários e recolhimento de multas de várias origens, especialmente as relacionadas ao transporte e ao meio ambiente, entre outras fontes.

Enfim, existem diferentes formas e fórmulas para que a otimização energética e ambiental possa ser aplicada ao transporte público de baixa e média capacidade. Não se pode perder de vista a necessidade de se conscientizar cada vez mais todos os atores envolvidos no sistema de transporte, bem como o foco no atendimento aos anseios da população das Regiões Metropolitanas quanto ao tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMYRIS. Diesel de Cana. Disponível em http://www.amyris.com/Content/Detail.aspx?ReleaseID=166&NewsAreaID=21&ClientID=1 – Acesso em abr/2013.

ANP. Legislação. Disponível em http://nxt.anp.gov.br/NXT/ gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2011/dezembro/ranp%2065%20-%202011.xml - Acesso em set/2012.

ANTP. Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público. Revista dos Transportes Públicos – Ano 21, 1º trimestre, 1999.

APTA. 2012 Public Transportation Fact Book, Appendix A Historical Tables, March 2012, Table 20: Alternate Fuel Powered Vehicles by Mode, p.27. Disponível em http://www.apta.com/resources/statistics/Documents/FactBook/2012-Fact-Book-Appendix-A.pdf – Acesso em ago/2013.

BATISTA, B. Tecnologia de motores e consumidores. Brasília, CNT, 2009. Disponível em http://www.senado.gov.br/comissoes/ci/ap/ AP20091125_BrunoBatista.pdf - Acesso em set/2012.

BIODIESELBR. Diesel Combustível. s/ed. Disponível em http://www.biodieselbr.com/biodiesel/diesel/diesel-combustivel.htm –Acesso em set/2012.

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

BRASIL ESCOLA. Óleo diesel. Disponível em http://www.brasilescola.com/quimica/oleo-diesel.htm – Acesso em set/2012.

BRESSAN, J. A. S.; BAKONYI, S. M. C. O biodiesel como combustível alternativo no transporte coletivo de Curitiba, 2010. Disponível em http://www.imap.curitiba.pr.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=268&Itemid=90 - Acesso em jan/2013.

CARVALHO, C. H. R. Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros. IPEA, 2011.

CE Delft. Handbook on Estimation of External Costs in the Transportation Sector, 2008.

CEM/CEBRAP. Mapa RMs 1. Disponível em http://www.centrodametropole.org.br/index.php?section=content&subsection_id=4&content_id=164 - Acesso em set/2012.

CETESB. Informações básicas. Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/informacoes-basicas/20-historico - Acesso em set/2012.

CETESB. Plano de controle de Poluição veicular do Estado de São Paulo (2011-2013). São Paulo, Cetesb, 2010.

CETESB. Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2011. [recurso eletrônico] / CETESB. - São Paulo : CETESB, 2012. (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103). Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios - Acesso em set/2012.

CITEPA. Road transport – passenger cars, light duty vehicles, heavy duty vehicles. Synopsis Sheet. s/ed., 2005.

COELHO, S. T. et al. Projeto BEST - Etanol para o Transporte Sustentável - Uma Contribuição ao Meio Ambiente das Metrópoles. XIII Congresso Brasileiro de Energia - XIII CBE, 09 a 11 de novembro de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CONAMA, Resolução Nº 315/2002 - "Dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle de Emissões Veiculares -PROCONVE" - Data da legislação: 29/10/2002 - Publicação DOU nº 224, de 20/11/2002, págs. 90-92.

CONAMA, Resolução Nº 403/2008 - "Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE para veículos pesados novos (Fase P-7) e dá outras providências." - Data da legislação: 11/11/2008 - Publicação DOU nº 220, de 12/11/2008, págs. 92-93.

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

COOPER, E. et al. Exhaust emissions of transit buses. EMBARQ. Disponível em http://www.embarq.org/sites/default/files/EMB12_WorkingPaper_Fuels_0.pdf – Acesso em set/2012.

CRTM Madrid. The Barometer of public transport in the European metropolitan areas 2009. Paris, EMTA. Disponível em http://www.emta.com/IMG/pdf/emta_barometer_6_pages.pdf - Acesso em set/2012.

DENATRAN. Frota 2012. Disponível em http://www.denatran.gov.br/frota.htm - Acesso em set/2012.

Deutschlands ältester O-Busbetrieb. Los trolebuses - la solución inteligente para el transporte público urbano en Europa. Disponível em http://www.bbg-eberswalde.de/trolebus.php - Acesso em set/2012.

Elektro. Elektro pesquisa nova tecnologia para ônibus elétrico. Disponível em http://www.elektro.com.br/Paginas/noticias/ExibeNoticia.aspx?ID=62 - Acesso em set/2012.

DALBEM, M.C.; BRANDÃO, L.; MACEDO-SOARES, T.D.A. Avaliação econômica de projetos de transportes: melhores práticas e recomendações para o Brasil. In Revista de Administração Pública – RAP. Rio de Janeiro, FGV, RAP 44 (1): 87-117, jan-fev, 2010. Disponível em http://www.scielo.br/pdf/rap/v44n1/v44n1a05.pdf - Acesso em jan/2013.

EMPLASA. Macrometrópole Paulista. São Paulo. Disponível em: https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.emplasa.sp.gov.br%2Femplasa%2Fmacrometropole%2Fmacrometropole.pps&ei=MpXtULWFIY_69gTNhoD4DA&usg=AFQjCNEYX88ulumlPvqOfM8P-OFQWjjo_w&sig2=nAy1ZjZnKEwLACwn80IDEw - Acesso em out/2012.

EMTU/SP. MAPA-SIM Baixada Santista. Disponível em http://www.emtu.sp.gov.br/EMTU/Images/Conteudo/MAPA-SIM_PDF.JPG - Acesso em set/2012.

EMTU/SP. Região Metropolitana de São Paulo. http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/institucional/quem-somos/sao-paulo.fss - Acesso em set/2012.

EMTU/SP. Programa de Corredores Metropolitanos http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/projetos/investimentos-implantacoes/programa-de-corredores-metropolitanos.fss - Acesso em set/2012.

EMTU/SP. SIM Baixada Santista. http://www.emtu.sp.gov.br/ emtu/projetos/investimentos-implantacoes/sim-baixada-santista.fss - Acesso em set/2012.

EMTU/SP. Trecho do Corredor Noroeste. http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/projetos/investimentos-implantacoes/trecho-do-corredor-noroeste.fss - Acesso em set/2012.

EMTU/SP. Projetos: ônibus a hidrogênio. http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/projetos/projetos-de-desenvolvimento-tecnologico/onibus-a-hidrogenio.fss - Acesso em set/2012.

EMTU/SP. Rede de transporte: Corredor Metropolitano ABD (São Mateus – Jabaquara). http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/redes-de-transporte/corredores-terminais/corredor-metropolitano-abd.fss - Acesso em set/2012.

EMTU/SP. Rede de transporte: fretamento. http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/redes-de-transporte/fretamento/o-que-e-fretamento.fss - Acesso em set/2012.

EMTU/SP. Rede de transporte: reserva técnica operacional. http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/redes-de-transporte/regular/rto-reserva-tecnica-operacional.fss - Acesso em set/2012.

EMTU/SP. Rede de transporte: o que é regular. http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/redes-de-transporte/sistema-de-transporte.fss - Acesso em set/2012.

EMTU/SP. Relatório de Gestão Operacional. DO-Diretoria de Gestão Operacional. Jan/2013.

EPD. Legislative council panel on environmental affair: trial of electric buses by franchised bus companies. 2012.

Disponível em http://www.epd.gov.hk/epd/english/news_events/legco/files/EA_Panel_20120528b_eng.pdf - Acesso em set/2012.

ESTADÃO. Notícia. Ônibus grátis para aliviar metrô. Disponível em: http://blogs.estadao.com.br/jt-cidades/tag/linha-4-amarela/ - Acesso em fev/2013.

ESTADO DE MINAS. Ônibus movido a gás natural é testado na Savassi. Belo Horizonte, 10/06/2011. Disponível em http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2011/06/10/interna_gerais,233109/onibus-movido-a-gas-natural-e-testado-na-savassi.shtml - Acesso em set/2012.

EurObserv'ER. Observatório de energias renováveis da União Europeia. BAROMÈTRE DES BIOCARBURANTS, 2006.

EUROPA. Reducción de las emisiones contaminantes de los vehículos ligeiros. Síntesis de la legislación de la EU. Disponível em http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/l28186_es.htm - Acesso em set/2012.

FAGÁ, M. T. W.; OLIVEIRA, A. D. F. Impactos da Substituição de Diesel por Gás Natural no Transporte Público Urbano – Engo. 2005.

FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION IN COOPERATION WITH THE TRANSIT DEVELOPMENT CORPORATION. Guidebook for Evaluating Fuel Choices for Post-2010 Transit Bus Procurements. Washington, D.C., Transit Cooperative Research Program (TCRP), 2011. Disponível em http://www.trb.org/Publications/Blurbs/165390.aspx - Acesso em mar/2013.

FERREIRA, E. R. e SAMPAIO, S. S. O Sistema Trólebus no Brasil, UNESP – Rio Claro.

FETRANSPOR. Biodiesel B20 – O Rio de Janeiro anda na frente. Rio de Janeiro, 2011.

FTA. Alternative fuels study: a report to congress on options for increasing the use of alternative fuels in transit vehicles. Disponível em http://www.fta.dot.gov/documents/Alternative_Fuels_Study_Report_to_Congress.pdf - Acesso em set/2012.

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

HyFLEET:CUTE. What is HyFLEET:CUTE?. Disponível em http://www.global-hydrogen-bus-platform.com/ - Acesso em set/2012.

GRUNKARUT, M. Gás Metano. Disponível em http://coopermiti.com.br/coopermiti_admin/pdfs/d6c6f1f63b347a-6489d661c14b9282a2.pdf - Acesso em jan/2013.

IAP. Indicadores da qualidade do ar. Disponível em http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=59 - Acesso em set/2012.

IBGE - http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/popul - Acesso em set/2012.

IDAE. Nuevos Combustibles y Tecnologías de Propulsión, 2008. Disponível em: http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Nuevos_Combustibles_6_2d83b8b8.pdf – Acesso em set/2012.

IEA. Biofuel Productuion. ETE02, 2007. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/essentials2.pdf - Acesso em set/2012.

The Route to Cleaner Buses: a guide to operating cleaner, low carbon buses. 2003. UK, Energy Saving Trust, 2003. Disponível em http://www.ieelibrary.eu/images/all_ieelibrary_docs/207_cleanbusguide.pdf – Acesso em set/2012.

IPEA, IBGE, UNICAMP/IE/NESUR. Caracterização e Tendências da Rede Urbana do Brasil. Brasília, IPEA, 2001. Disponível em http://ia601202.us.archive.org/31/items/caracterizaoeten20013bras/caracterizaoeten20013bras.pdf - Acesso em set/2012.

IPEA, IBGE, UNICAMP/IE/NESUR. Caracterização e tendências da rede urbana do Brasil : desenvolvimento regional e estruturação da rede urbana. Brasília: IPEA, 2001. Disponível em http://ia601202.us.archive.org/31/items/caracterizaoeten20013bras/caracterizaoeten20013bras.pdf - Acesso em set/2012.

Institute for Prospective Technological Studies; Joint Research Centre – European Commission. Techno-economic analysis of Bio-diesel production in the EU: a short summary for decision-makers. Report EUR 20279 EN, 2002.

ITDP. Os Trólebus na cidade de São Paulo: uma Análise Preliminar. 2008. ORT

ITDP. Manual do BRT - Bus Rapid Transit: guia de planejamento. Brasília, Ministério das Cidades, 2008. Disponível em http://www.itdp.org/documents/Manual%20de%20BRT%20em%20Portuguese%20(Intro).pdf - Acesso em set/2012.

ITDP (Instituto de Políticas de Desenvolvimento e Transporte). Os trólebus na Cidade de São Paulo: Uma Análise Preliminar. São Paulo, ITDP, fev/2008. Disponível em http://www.itdp.org/documents/trolebus-saopaulo.pd - Acesso em mar/2013.

JusBrasil. Desenvolvimento tecnológico veicular e meio ambiente. Disponível em http://www.jusbrasil.com.br/diarios/36160082/dosp-empresarial-17-04-2012-pg-9 - Acesso em set/2012.

LANDAHL, G. (coord.). BioEthanol for Sustainable Transport. Sthockholm, Environmental and Health Administration, s/d. Disponível em http://www.best-europe.org/upload/BEST_documents/info_documents/BEST_FinalReport_rev-feb10.pdf - Acesso em set/2012.

Lei Ordinária nº 10950/1991 de São Paulo - DISPÕE SOBRE O USO DO GÁS NATURAL COMO COMBUSTÍVEL DOS ÔNIBUS URBANOS E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. (Revogada pela Lei nº 13241/2001).

LIMA, V. Trólebus. Disponível em: http://rotapernambucana.wordpress.com/ historia/trolebus/ - Acesso em set/2012.

MAC KNIGHT V. e YOUNG, C. E. F. Custo da poluição gerada pelos ônibus urbanos na RMSP. 2006. Disponível em http://www.cntdespoluir.org.br/Paginas/Publicacoes-externas.aspx?cat=Polui%C3%A7%C3%A3o%20atmosf%-C3%A9rica - Acesso em mar/2013.

METRÔ SÃO PAULO. São Paulo Estatísticas / Demanda de passageiros por linha-ano: 2011. Disponível em: http://datahub.io/ca/dataset/sao-paulo-metro-estatisticas/resource/df2e5e78-f501-4d91-a3b3-a4bc8b201c73 - Acesso em set/2012.

METRÔ SÃO PAULO. Informações sobre a demanda de 2012. Disponível em: http://www.metro.sp.gov.br/metro/numeros-pesquisa/demanda.aspx - Acesso em fev/2013.

METRÔ E CPTM. Benefícios econômicos e Renovação da Frota. Transporte Metropolitano, Julho de 2007.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Fatores de emissão. Disponível em http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora - Acesso em set/2012.

MOVIMENTO RESPIRA SÃO PAULO. Modelo de Corredor Atual. Disponível em http://www.respirasaopaulo.com.br/MODELO%20CORREDOR%20ATUAL.GIF - Acesso em set/2012.

MOVIMENTO RESPIRA SÃO PAULO. Modelo de Corredor Proposto. Disponível em http://www.respirasaopaulo.com.br/MODELO%20CORREDOR%20PROPOSTO.GIF - Acesso em set/2012.

MOVIMENTO RESPIRA SÃO PAULO. Trólebus, Problemas e Soluções. Disponível em http://www.respirasaopaulo.com.br/page2a.htm - Acesso em set/2012.

NAE. Biocombustíveis - Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. nº. 2. Brasília, Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2005. Disponível em http://www.feagri.unicamp.br/energia/cnae_biocombustiveis.pdf - Acesso em set/2012.

NIST (National Institute of Standards and Technology). Energy and Storage Delivery. Disponível em http://www.nist.gov/mml/msed/electronics_materials/fuelcell.cfm - Acesso em abr/2013.

KRAYCHETE, G. Como fazer um estudo de viabilidade econômica. Disponível em: ftp://ftp.unilins.edu.br/jccampos/Curso%20Gradua%E7%E3o%20Automa%E7%E3o%20-%20Gest%E3o%20de%20Projeto/Viabilidade/COMO%20FAZER%20UM%20ESTUDO%20DE%20VIABILIDADE%20ECON%D4MICA.pdf - Acesso em jan/2013.

METRÔ São Paulo. Pesquisa Origem e Destino 2007. Disponível em http://www.metro.sp.gov.br/metro/numeros-pesquisa/pesquisa-origem -destino-2007.aspx - Acesso em set/2012.

IBGE/SEADE. Informações dos Municípios Paulistas – IMP. Disponível em http://www.seade.gov.br/produtos/imp/ - Acesso em set/2012.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável. Brasília, 2004. Disponível em http://www.capacidades.gov.br/media/doc/acervo/5a1566905bdf787cb0385521af19a938.pdf - Acesso em set/2012.

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

MOREIRA, W. A. Diesel de cana-de-açúcar abastece ônibus da capital. Revista On-line Portal do Ônibus. Disponível em: http://www.revistaportaldoonibus.com/index.php/noticias-sptrans/136-canadeacucar - Acesso em abr/2013.

Portal da Câmara Municipal de São Paulo. Prefeitura apresenta novo ônibus movido a bateria. Disponível em http://www.camara.sp.gov.br/ index.php?option=com_content&view=article&id=12486:prefeitura-apresenta-novo-onibus-movido-a-bateria-&catid=112:podcast&Itemid=199 - Acesso em set/2012.

REICH, Stephe L. & KOLPKOV, Alexander. Tracking costs of alternatively fueled buses in Florida - Final report. The Center for Urban Transportation Research (CUTR), Florida Department of Transportation National Center for Transit Research, Tampa, 2011. Disponível em http://www.nctr.usf.edu/wp-content/uploads/2012/02/77927-final-report.pdf - Acesso em mar/2013.

RUKOWICZ, S.; FAGHRI, A. & TAROMI, R. CORSIM Application of Alternative Fuels for Transit Buses. Disponível em http://www.transportchicago.org/uploads/5/7/2/0/5720074/8-corsim_application_of_alternative_fuels_for_transit_buses.pdf - Acesso em set/2012.

SALDIVA. P. H. N.; ANDRADE, M. F.; MIRAGLIA, A. G. E. e ANDRÉ, P. A. Etanol e Saúde Humana: uma abordagem a partir das emissões atmosféricas. Disponível em http://www.sindalcool.com.br/estudos/ETANOL_SA%C3%9ADE_HUMANA_ABORDAGEM_A_PARTIR_DAS_EMISS%C3%95ES _ATMOSF%C3%89RICAS.pdf - Acesso em abr/2013.

SALDIVA. P. H. N.; POPE, C. A.; SCHWARTZ, J.; LICHTENFELS, A. J.; SALGE, J. M.; BARONE, L. e BOHM, G. M. Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in Sao Paulo. Arch Environ Health, vol.50, n.2, p.159-163, mar./apr. 1995.

SETRANS. Transportes novos combustíveis. Disponível em http://www.rj.gov.br/web/setrans/exibeconteudo?article-id=1018232 - Acesso em set/2012.

SILVA, C. B. P. e MIRAGLIA, S. G. E. Valoração dos Benefícios do Metrô para a saúde pública com a redução da poluição do ar em São Paulo. VIII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Cuiabá, 2009.

SMT & SVMA. Plano de Controle de poluição veicular no município de São Paulo. São Paulo, fevereiro, 2012.

SPTRANS (DT/SES/CTI e Superintendência de Especificação dos Serviços). Indicadores da SPTrans Disponível em http://www.sptrans.com.br/indicadores/ - Acesso em jan/2013.

SPTrans. Ônibus híbrido. Disponível em http://www.sptrans.com.br/sptrans_acao/hibrido.aspx - Acesso em set/2012.

SMT de São Paulo. Programa Ecofrota – Sustentabilidade na gestão do Transporte. Disponível em http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/transportes/noticias/?p=42088 - Acesso em set/2012.

SETOP de Belo Horizonte. Governo de Minas apresenta ônibus a gás para transporte na região metropolitana de BH. Outubro de 2012. Disponível em http://www.transportes.mg.gov.br/index.php/banco-de-noticias/1-banco-de-noticias/1521-governo-de-minas-apresenta-onibus-a-gas-para-transporte-na-regiao-metropolitana-de-bh.html - Acesso em set/2012.

STM, São Paulo. Monitoramento da demanda 2008- 2011. Disponível em: http://www.stm.sp.gov.br/images/stories/stm/demanda_2012.pdf - Acesso em set/2012.

STM. Pesquisa origem-destino Região Metropolitana de Campinas 2003. Disponível em http://www.stm.sp.gov.br/images/stories/Pitus/Pitu2015/ arquivos/apres_2.pdf - Acesso em set/2012.

STM. Pesquisa origem-destino Região Metropolitana da Baixada Santista 2007. Disponível em http://www.stm.sp.gov.br/ images/stories/Pitus/Pitu2020/Pdf/apresentaODBaixada.pdf - Acesso em set/2012.

STM. Atualização da Rede Metropolitana de Alta e Média Capacidade de Transporte, 2013.

STM. Plano Integrado de Transportes Urbanos para 2020, plano para a RMSP, realizado em 1999.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Transit Capacity and Quality of Service Manual 2nd Edition. Estados Unidos da América, Washington D.C. 2003.

UDOP. Álcool como combustível: solução ou problema? Disponível em http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=26286#nc - Acesso em set/2012.

UNEP. Cleaning up urban bus fleets. 2009. Disponível em http://www.unep.org/transport/pcfv/PDF/Retrofit.pdf - Acesso em set/2012.

URBS. Sustentabilidade. Disponível em http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/comunidade/sustentabilidade - Acesso em set/2012.

URBS. Notícias. Disponível em http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/ noticia/intercambio - Acesso em Jan/2013.

VASCONCELLOS, E. A. e LIMA, I. M. O. Quantificação das Deseconomias do Transporte Urbano: Uma Resenha das Experiências Internacionais. Texto para Discussão nº586, Brasília, agosto de 1998.

VASCONCELLOS, E. A. Transporte e Meio Ambiente – Conceito e informações para análise de impactos. Ed. do Autor. São Paulo, 2006.

Victoria Transport Policy Institute. Transportation Cost and Benefit Analysis II – Air Pollution Costs, 2010.

WILLIAM, B. Whistler BC Fuel Cell Buses Achieve Operational Milestone. EV WORLD (Electric Vehicle World). Disponível em: http://evworld.com/news.cfm?newsid=28769 - Acesso em abr/2013.

WIKSTRÖM, M.; FOLKESSON, A.; ALVFORS, P. First experiences of ethanol hybrid buses operating in public transport. World Renewable Energy Congress 2011. Linköping, Sweden, may, 2011. Disponível em http://www.ep.liu.se/ecp/057/vol13/020/ecp57vol13_020.pdf - Acesso em set/2012.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Ônibus movido a etanol - EMTU/SP. 15
Figura 1.2 – Ônibus movido a hidrogênio - EMTU/SP. 16
Figura 1.3 – Trólebus - EMTU/SP. 17
Figura 1.4 – Ônibus híbrido diesel-elétrico - EMTU/SP. 17
Figura 1.5 – Ônibus elétrico movido a bateria - EMTU/SP. 18
Figura 2.1 – Emissões de poluentes por tipo de fonte emissora por estação de medição da CETESB e total das Regiões Metropolitanas de São Paulo e Campinas em 2010. 22
Figura 2.2 – Estimativa da participação de cada categoria veicular na emissão de poluentes nas Regiões Metropolitanas em 2011 (emissões de CO/HC/NOx/MP_{10}/SO_2 em toneladas). 23
Figura 4.1 – Gráfico com a composição dos principais custos por tecnologia veicular, considerando uma operação de 10 anos. 37
Figura 4.2 – Gráfico com Valor Presente por categoria de custo/benefício para a operação de cada tecnologia em relação ao diesel. 41
Figura 5.1 – Processo metodológico da análise multicritério. 45
Figura 5.2 – Esquema de conversão de indicadores em escala comum. 48
Figura 6.1 – Estimativa de emissões de MP para três cenários de substituição de frota. 75

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Características gerais das Regiões Metropolitanas de São Paulo, Campinas e Baixada Santista. 12
Tabela 2.1 – Relação de Poluentes Atmosféricos e efeitos. 20
Tabela 2.2 – Índices de saturação de poluentes mapeados pela CETESB para 2011. 21
Tabela 2.3 – Significado dos Índices de saturação de poluentes. 21
Tabela 2.4 – Custo em saúde dos poluentes, diversos estudos. 25
Tabela 2.5 – C sto das emissões em toneladas. 26
Tabela 3.1 – Características gerais das tecnologias de propulsão estudadas. 32
Tabela 4.1 – Subsídio necessário para viabilizar a tecnologia financeiramente. 39
Tabela 4.2 – Valor Presente das Tecnologias Veiculares em relação ao diesel. 41
Tabela 4.3 – Síntese da Avaliação Econômico-Financeira. 42
Tabela 5.1 – Tabela resumo de critérios e indicadores. 47
Tabela 5.2 – Resumo de ponderações e ponderação média. 49
Tabela 5.3 – Tabela resumo de valores dos indicadores qualitativos e quantitativos. 54
Tabela 5.4 – Tabela normalizada de avaliações. 56
Tabela 5.5 – Classificação das alternativas segundo o método Scoring. 58
Tabela 5.6 – Classificação desagregada das tecnologias veiculares por grupos de critérios. 60
Tabela 6.1– Exemplo de Planilha de Qualificação dos Atores. 70
Tabela 6.2 - Dados Financeiros. 72
Tabela 6.3 - Cronograma Físico-Financeiro. 72
Tabela 6.4 – Custos adicional em relação ao cenário atual. 73
Tabela 6.5 - Dados de Referência para Cálculo de Benefícios Ambientais. 73
Tabela 6.6 - Benefícios Ambientais da Proposta. 74

EQUIPE TÉCNICA

Sistran Engenharia, Ineco e Ineco do Brasil

COORDENAÇÃO

Gabriel Feriancic

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Gabriel Feriancic

CONSULTORES

Claudio Macedo
Jaime Waisman

EQUIPE TÉCNICA

Aldara Tadeo Martín
Alexandre Frazao d'Andrea
Emilio García Miguel
Emilio Miralles Claver
Gabriel Feriancic
Geraldo Camargo de Carvalho Júnior
José Batlles Abad
Karine Murachco
Patricia Rey Romero
Stanislav Feriancic
Victor Frazão Barreto Alves

EMTU/SP – EMPRESA METROPOLITANA DE TRANSPORTES URBANOS DE SÃO PAULO S.A.

Pedro Luiz de Brito Machado
Ivan Carlos Regina
Marcos Correia Lopes
Adriana Capotosto
Alysson Talaisys Bernabel
Meire Maki Akamine
Arlindo José Locheti Gusson
Thami Izumi da Cruz

ANTP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS

Marcos Pimentel Bicalho
Geraldo José Calmon de Moura

FICHA TÉCNICA

Projeto gráfico | Ampersand Comunicação Gráfica
Fotos | Cedidas pelos autores
Revisão ortográfica | Pedro Lage
novembro de 2014
Impressão |

CONSELHO DIRETOR (BIÊNIO 2014/2015)

Ailton Brasiliense Pires | presidente

Antonio Luiz Mourão Santana (Oficina); Claudio de Senna Frederico (Artificium); Jilmar Augustinho Tatto (SMT/São Paulo); Joaquim Lopes da Silva Jr. (EMTU/SP); João Gustavo Haenel Filho (SOCICAM); José Antonio Fernandes Martins (SIMEFRE); José Geraldo Baião (AEAMESP); Joubert Fortes Flores Filho (OPPORTRANS); Lélis Marcos Teixeira (Rio-Ônibus); Leo Carlos Cruz (CETURB-GV); Leonardo Ceragioli (Prodata Mobility); Luiz Antonio Carvalho Pacheco (Metrô/SP); Marcos Bicalho dos Santos (SETRABH); Mário Manoel Seabra Bandeira (CPTM); Nelson Barreto C. B. de Menezes (Grande Recife); Oscar José Gameiro Silveira Campos (STVP/SBC); Otavio Vieira da Cunha Filho (NTU); Paulo Henrique do Nascimento Martins (ManausTrans); Plínio Oswaldo Assmann (membro benemérito); Ramon Victor Cesar (BHTRANS); Renato Gianolla (URBES Sorocaba); Roberto Gregório da Silva Junior (URBS Curitiba); Vanderlei Luis Cappellari (EPTC Porto Alegre); Vicente Abate (ABIFER)

Membros Natos
Jurandir Ribeiro Fernando Fernandes (ex-presidente); Rogério Belda (ex-presidente)

Suplentes
Atílio Pereira (SMTT Guarulhos); Francisco Carlos Cavallero Colombo (CBTU/RJ); Humberto Kasper (TRENSURB Porto Alegre); Julio Grilo (TACOM); Nazareno S. N. Stanislau Affonso (RuaViva); Wagner Colombini Martins (LOGIT); Willian Alberto de Aquino Pereira (Sinergia)

Conselho Fiscal
Roberto Renato Scheliga (membro benemérito); João Carlos Camilo de Souza (SETPESP); Carlos Alberto Batinga Chaves (TTC)

ANTP/São Paulo
Rua Marconi, 34, 2º andar, conjs. 21 e 22, República, CEP 01047-000, São Paulo, SP | Tel.: (11) 3371.2299 | Fax: (11) 3253.8095 | E-mail: antpsp@antp.org.br | Site: www.antp.org.br

Equipe ANTP
Luiz Carlos M. Néspoli | superintendente
Nazareno Stanislau Affonso | escritório de Brasília
Eduardo Alcântara Vasconcellos | assessor técnico
Cassia Maria Terence Guimarães | administração/finanças
Valéria Aguiar | eventos

Prêmio ANTP Qualidade
Denise M. C. Gazzinelli Cruz (coordenadora nacional); Alexandre Resende; João Batista R. Moraes Neto; Paulo Afonso Lopes da Silva; Valeska Peres Pinto

Sistema de Informações da Mobilidade Urbana
Eduardo A. Vasconcellos; Adolfo Mendonça

Divisão América Latina/DAL –UITP
Eleonora Pazos; Fernando de Caires Barbosa

Escritório Brasília (ANTP/BSB)
Nazareno Stanislau Affonso
SCS, Q. 4, Ed. Mineiro, Bl. A, S. 506, CEP 70304-000, Brasília, DF | Tel. e fax: (61) 3202.0899 | E-mail: antpmdt@gmail.com

Coordenadores Regionais
Regional Centro-Oeste (ANTP/CO)
Antenor José de Pinheiro Santos;
e-mail: perito@antenorpinheiro.com
Espírito Santo (ANTP/ES)
Denise de M. Cadete Gazzinelli Cruz
Av. Hugo Viola, 1.001, Bl. A, Sala 215, Mata da Praia, CEP 29060-420, Vitória, ES | Tel. e fax: (27) 3223.9100
e-mail: denise@antp.org.br
Minas Gerais (ANTP/MG)
Ricardo Mendanha Ladeira
Rua Januária, 181 - Floresta, CEP 31110-060, Belo Horizonte, MG | Tel: (31) 3224.0906 | e-mail: antpmg@antp.org.br
Norte (ANTP/N)
Patrícia Bittencourt Tavares das Neves
Av. Duque de Caxias, 863, apto. 301, Marco, CEP 66093-400, Belém, PA | Cel.: (91) 8804.7651 | e-mail: pbneves@ufpa.br
Nordeste (ANTP/NE)
César Cavalcanti de Oliveira GR/CTM
Cais de Santa Rita, 600 - Santo Antonio, CEP 50020-360, Recife, PE | Tel.: (81) 3182.5609 | Fax: (81) 3182.5610
e-mail: cesar.antp@gmail.com
Paraná (ANTP/PR)
Rosangela Maria Battistella
Av. Pres. Affonso Camargo, 330, CEP 80060-090, Curitiba, PR | Tel.: (41) 3320.3211 | e-mail: rosangela@antp.org.br
Rio de Janeiro (ANTP/RJ)
Willian Alberto de Aquino Pereira
Praia do Flamengo, 278, cj. 52, CEP 22210-030, Rio de Janeiro, RJ | Tel. e fax: (21) 2553.3994
e-mail: sinergia@transporteideias.com.br

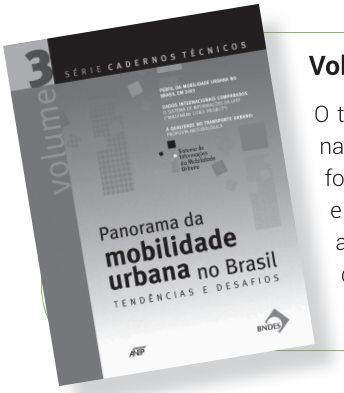
Conheça os outros Cadernos Técnicos editados pela ANTP

Volume 1 • Bilhetagem Automática e Gestão nos Transportes Públicos

Publicado em 2003, após a realização de um Seminário sobre o mesmo tema, o Caderno mostra o estado da arte do setor de bilhetagem eletrônica, considerada pela ANTP como um importante instrumento de ação pública e não apenas como uma ferramenta da operação privada. Os textos contidos no Caderno descrevem o panorama nacional, discutem o impacto de nova tecnologia na melhoria e nos custos dos sistemas de transporte coletivo, no emprego e na gestão pública, apontam as tendências da evolução tecnológica e relatam algumas experiências implementadas em cidades brasileiras.

Volume 2 • Transporte Metroferroviário no Brasil

Coordenado pela Comissão Metroferroviária da ANTP, este Caderno apresenta o perfil dos serviços de transportes urbanos de passageiros sobre trilhos no Brasil. Os textos destacam os sistemas integrados, as oportunidades de novos projetos no setor, as perspectivas mundiais de desenvolvimento tecnológico e as condições de acessibilidade para as pessoas portadoras de deficiência. Do ponto de vista da gestão das empresas operadoras, outros textos abordam o perfil de consumo de energia, a gestão dos ativos das empresas e a gestão dos riscos.



Volume 3 • Panorama da Mobilidade Urbana no Brasil

O terceiro Caderno mostra o perfil da mobilidade urbana no Brasil, em 2003, com base na análise dos dados do Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da ANTP. De forma sintética são apresentados os principais dados e indicadores de mobilidade, custo e produtividade nas cidades brasileiras com mais de 60 mil habitantes. O Caderno ainda apresenta alguns indicadores internacionais sistematizados pela União Internacional de Transportes Públicos (UITP) e uma proposta de desenvolvimento de um Índice de Desenvolvimento do Transporte Urbano (IDT).

Volume 4 • Acessibilidade nos Transportes

O Caderno de número 4 foi produzido pelo Grupo de Trabalho da Acessibilidade da ANTP e traz um amplo balanço dos avanços e dos desafios que o setor vem enfrentando na construção de cidades acessíveis para todos. Em seus 17 artigos, são abordadas desde a evolução da luta dos movimentos sociais pela equiparação de oportunidades e remoção das barreiras, até um breve balanço das condições reais de uso dos diversos modos de transporte público por pessoas com dificuldades de locomoção. Também são comentados temas como: criação de espaços institucionais de gestão, desenho urbano, financiamento, construção de indicadores, entre outros.

Volume 5 • Integração nos Transportes Públicos

Os artigos apresentados neste Caderno reafirmam o princípio da integração como um atributo essencial na construção de redes de transporte coletivo urbano. Os textos foram distribuídos em quatro capítulos que tratam, respectivamente, de conceitos gerais (dimensão política, conceito de rede e experiência latino-americana com sistemas estruturadores), dos aspectos institucionais (gestão integrada, gestão metropolitana e premissas para financiamento pelo BNDES), da política tarifária (integração temporal e de desafios) e da integração física e operacional (bilhetagem eletrônica, terminais, iniciativa empresarial e integração com o transporte hidroviário e com o não motorizado).

Volume 6 • Transporte e Meio Ambiente

O Caderno "Transporte e Meio Ambiente" foi estruturado a partir de dois seminários realizados em São Paulo, em 2006 e 2007, que contaram também com apoio financeiro do BNDES, o que permitiu a participação de diversos especialistas, inclusive internacionais. O seu primeiro artigo e as linhas de ação da Comissão de Meio Ambiente da ANTP apresentam o conceito ampliado de sustentabilidade e os princípios que têm norteado as ações da ANTP. Os textos seguintes tratam das relações dos transportes urbanos com diversos temas presentes na discussão ambiental: o aquecimento global, as medidas de controle de emissões veiculares que estão sendo aplicadas no país, as fontes energéticas alternativas aos derivados de petróleo, o programa de eficiência energética da Petrobras, as políticas urbanas e o processo de licenciamento ambiental entre outros textos.

Volume 7 • Transporte Cicloviário

Este Caderno vem num momento oportuno, quando a bicicleta vive no Brasil uma fase de popularidade e transição impulsionada por uma nova consciência ecológica. Ele busca alertar que a bicicleta é um meio de transporte alternativo e viável e que a sociedade pode considerá-la uma ferramenta eficiente para melhorar a qualidade de vida urbana. Esta é a mensagem da Comissão Técnica de Bicicleta da ANTP.

Volume 8 • Sistemas Inteligentes de Transportes

Este Caderno organizado pela Comissão de ITS da sigla internacional para "Sistemas Inteligentes de Transportes" tem por finalidade difundir as experiências implantadas em nosso país – bilhetagem eletrônica, operação metroferroviária e de rodovias, funcionalidades para BRTs, Centrais de Controle e Monitoramento e Informações aos Usuários.

Volume 9 • Transporte por Fretamento

Este Caderno organizado pela ANTP em parceria com a FRESP trata deste segmento de transporte que ganha espaço na matriz da mobilidade urbana em muitas cidades brasileiras e que, segundo a Lei Federal 12.587/2012 deve ser considerado parte integrante do Sistema Nacional de Mobilidade Urbana.

Volume 10 • Excelência na Gestão do Transporte e Trânsito

Este Caderno, elaborado pela Comissão Técnica da Qualidade e Produtividade visa consolidar a experiência acumulada pela Comissão, visando estimular as organizações do setor para a adoção de modelos de gestão, clarificando os conceitos envolvidos e os caminhos de implantação.

Volume 11 • Marketing e Comunicação

O Caderno consolida o papel da Comissão de Marketing da ANTP como um fórum permanente para desenvolvimento de propostas para melhorar o desempenho e a atratividade do setor de transporte público e do trânsito urbano. Apresenta também um resumo dos resultados da Bienal de Marketing da ANTP.

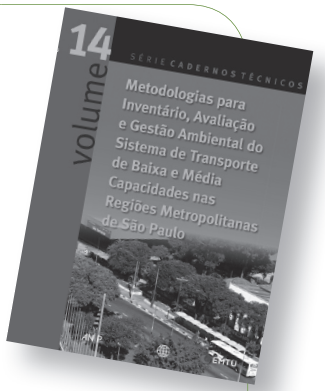
Volume 12 • Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa no Município de São Paulo

O Inventário de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Município de São Paulo, realizado no âmbito do Programa STAQ (Sustainable Transport and Air Quality) com recursos do GEF repassados pelo Banco Mundial, contém o levantamento das fontes e dos sumidouros e a respectiva contabilização das emissões e remoções dos GEE resultantes das atividades humanas. O Caderno Técnico ANTP nº 12 apresenta a metodologia utilizada e os seus principais resultados, pretendendo contribuir para sua aplicação em outras cidades, como uma ferramenta básica para desenvolvimento de políticas que possibilitem a redução dessas emissões.

Volume 13 • Avaliação de Vulnerabilidade Ambiental e Socioeconômica para o Município de Curitiba

O inventário apresenta uma matriz de análise de riscos ambientais para a Cidade de Curitiba, a partir do mapeamento de fenômenos associados às estruturas de transporte. O trabalho permitiu a identificação de setores vulneráveis e a localização das infraestruturas e populações expostas aos riscos ambientais, permitindo orientar uma política de gerenciamento desses riscos e o desenvolvimento de planos de adaptação às mudanças climáticas, reduzindo ou mitigando tais situações. O estudo foi desenvolvido dentro do Programa "Transporte Sustentável e Qualidade do Ar – STAQ (Sustainable Transport and Air Quality), financiado com recursos do Global Environment Facility (GEF) repassados pelo Banco Mundial.

Volume 14 • Metodologias para Inventário, Avaliação e Gestão Ambiental do Sistema de Transporte de Baixa e Média Capacidades nas Regiões Metropolitanas de São Paulo



A metodologia foi desenvolvida para avaliar as condições de sustentabilidade de um sistema de transporte coletivo operado por ônibus, considerando instalações administrativas, garagens dos operadores, terminais urbanos e condições operacionais. Os indicadores desenvolvidos no estudo permitem avaliar tanto a adequação dos sistemas, a partir da aplicação de tecnologias e práticas sustentáveis disponíveis no mercado, quanto o desempenho das frotas e das instalações de apoio dos operadores dos serviços. Em caráter experimental, a metodologia foi aplicada para coleta de dados em uma pequena amostra dos serviços metropolitanos administrados pela EMTU/SP.

Para maiores informações acesse o site da ANTP, www.antp.org.br ou entre em contato com Luciana (11) 3371-2290 ou luciana@antp.org.br

Trans-Bus
METROPOLITANO
EMTU
GOVERNO DE
SÃO PAULO
303