Renovação da Frota de Ônibus Urbanos: Redução de Consumo de Energia e de Impactos Ambientais

RAYMUNDO, H.[ab*], REIS, J.G.M.[a*]

a. *UNIP - Universidade Paulista, São Paulo.*

b. *Associação Nacional de Transportes Públicos ANTP.*

**Corresponding author, helcioru@uol.com.br*

Resumo

O presente artigo descreve o estágio atual de estudos desenvolvidos pela Comissão de Meio Ambiente da Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP, cujo objetivo é o de estimar a ordem de grandeza dos impactos, em termos de redução das emissões de poluentes locais e de Gases de Efeito Estufa, resultante da substituição da frota urbana atual de ônibus urbanos a diesel convencional nas cidades brasileiras por veículos menos poluentes e de menor consumo energético, representados por alternativas tecnológicas e energéticas disponíveis comercialmente. Além disso, mostra uma aplicação da metodologia desenvolvida pela comissão para simular um programa de substituição de frota dos ônibus urbanos do município de São Paulo. Os resultados desta simulação indicam que a substituição da frota por veículos menos poluentes e de menor consumo energético reduziria em 73% a emissão de CO, 90% de HC, 71% de NOx, 92% de MP e em 26% a emissão de CO2.

Palavras-chave: *ônibus urbano; tecnologia veicular; impacto ambiental; transporte público; planejamento de transporte.*

1. Introdução

A Comissão de Transporte e Meio Ambiente da ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS – ANTP desenvolve estudos no sentido de estabelecer um programa de renovação da frota de ônibus urbanos nas cidades brasileiras (ANTP, 2015). Essa renovação baseia-se em alternativas de propulsão comercialmente viáveis, de menor consumo energético e de menor impacto ambiental. Além disso, tais estudos têm como base o Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da ANTP e trabalhos realizados pelo INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO – IPT (2007), pela ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS – NTU (2009), pela FEDERAÇÃO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES DE PASSAGEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (2012), e pela SÃO PAULO TRANSPORTE S/A – SPTRANS (2015).

O objetivo dessa comissão na fase inicial dos seus estudos foi o de consolidar uma metodologia de trabalho de fácil aplicação, robusta e consistente. Se essa metodologia for viável, posteriormente, se ampliaria o escopo dos trabalhos no sentido de estudar também a viabilidade técnica das formas alternativas propulsão nos ônibus, bem como os aspectos de viabilidade econômico-financeira da renovação da frota brasileira de ônibus urbanos (ANTP, 2015).

O insumo básico para o desenvolvimento desses estudos foi denominado de "estágio tecnológico", "alternativa tecnológica" ou ainda "alternativa energética" dos ônibus em circulação no Brasil. Isso em

referência à sua forma de propulsão, ou seja, tipo de motor e de combustível utilizado, que, em primeira análise, se condiciona à época de fabricação do veículo.

O "estágio tecnológico" dos ônibus em circulação nas cidades de São Paulo e do Rio Janeiro, conforme caracterizado em SPTRANS (2015) e FETRANSPOR (2012), é conhecido com precisão. Da mesma forma, se dispõem também de informações confiáveis para a cidade de Curitiba e para o estado do Rio de Janeiro. Entretanto, no caso da Região Metropolitana de São Paulo e do estado de São Paulo, para realização de estudos de renovação de frota necessita-se de informações mais aprofundadas provenientes da EMPRESA METROPOLITANA DE TRANSPORTES URBANOS - EMTU/SP e do SINDICATO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS NO ESTADO DE SÃO PAULO.

O estudo realizado pela Comissão de Transporte e Meio Ambientes (ANTP, 2015), em sua fase inicial considerou apenas os dados informados pelas empresas operadoras de transporte, sem determinar as seguintes condições:

- Se a indústria teria capacidade para produzir, de forma sustentável, as "alternativas tecnológicas" propostas e que venham a ser consideradas nos cálculos, ou seja, se os veículos representativos dos "estágios tecnológicos" hoje aplicados experimentalmente e considerados passíveis de aplicação pelo setor de transporte urbano e coletivo de passageiros brasileiro poderão efetivamente ser produzidos e se serão comercialmente viáveis;

- O grau de viabilidade econômica e financeira das propostas de renovação da frota, pois sua aplicação afetaria as empresas operadoras (privadas), os gestores públicos e os usuários dos serviços que pagam as tarifas.

- As questões que envolvem o ciclo de vida dos combustíveis e energia elétrica utilizados nos ônibus urbanos e sua relação com as emissões de Gases de Efeito Estufa, tendo em vista que se supõe que as emissões a serem contabilizadas serão apenas as do uso final na queima dos combustíveis;

- A contabilização da participação de combustíveis fósseis usados intermitentemente nas usinas térmicas para produção de energia elétrica pela rede nacional interligada, ou seja, é considerada emissão nula de CO_2 para uso de energia elétrica para tração (trólebus), conforme prática da COMPANHIA METROPOLITANA DE SÃO PAULO – METRÔ (2015); e

- As emissões de ruído dos diferentes tipos de ônibus urbanos.

Em futuro próximo, os estudos da Comissão de Transporte e Meio Ambiente da ANTP poderão desenvolver cenários especulativos de evolução das tecnologias de propulsão hoje existentes e estimular o estabelecimento de testes de sensibilidade, dada a provável variância e incerteza de muitos dos indicadores a serem considerados no processo de constituição de um programa de renovação de frota, independentemente de sua abrangência e amplitude.

Nessas condições, este artigo tem como objetivo utilizar o estudo preliminar da Comissão de Meio Ambiente da ANTP e apresentar, a título de exemplo teste, a aplicação da metodologia desenvolvida num exercício de renovação da frota de ônibus urbanos da cidade de São Paulo.

2. Metodologia

Como apresentado, o objeto dos estudos da Comissão de Transporte e Meio Ambiente da ANTP é o de permitir construir e analisar "alternativas tecnológicas" de substituição da frota de ônibus urbanos das cidades brasileiras de maior eficiência energética e de menor nível de emissão de poluentes locais e dos Gases de Efeito Estufa. Assim essa comissão desenvolveu uma metodologia composta de quatro etapas descritas a seguir:

- **Etapa 1: Estimativa das Emissões e Consumo de Combustível da Frota Existente (Convencional Diesel)**

A estimativa de emissões e consumo de combustível é obtida por cinco quesitos a serem observados:

a. Determinação da frota existente, objeto da estimativa de emissão de poluentes e do CO_2, por tipo de ônibus, que segundo a nomenclatura da SPTRANS (2015), é formada por veículos do tipo micro-ônibus (inclui o subtipo mini-ônibus), Ônibus Básico (inclui o subtipo midi-ônibus), Ônibus Padron, Ônibus Articulado e Ônibus Biarticulado;

b. Atribuição do "estágio tecnológico" em termos das Fases do PROGRAMA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES - PROCONVE (se P4, P5 ou P7, respectivamente Euro II, III ou V), de acordo com ano de fabricação do veículo, por tipo de ônibus;

c. Consignação, em planilhas separadas, das quantidades de ônibus por tipo e das quilometragens anuais percorridas informadas localmente ou inferidas. Esta variável inicialmente está parametrizada 250 km/dia para todos os veículos da cidade de São Paulo, por exemplo, o que corresponde ao percurso médio anual de 91.250 quilómetros, padrão médio da frota de ônibus da gerenciada pela SPTRANS;

d. Consignação nas planilhas os fatores atualizados de emissão de poluentes e CO_2, este último estimado a partir do consumo típico de diesel para cada categoria de veículo, em g/km, encontrados no trabalho do MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2011), correspondentes a cada "estágio tecnológico" de cada tipo de ônibus; e

e. Cálculo, a partir da quantidade de ônibus por tipo, da quilometragem anual média e dos fatores de emissão de cada poluente e do CO2, pelo produto simples dessas três grandezas, das emissões totais anuais atuais de cada poluente para cada tipo de veículo. Os resultados finais são expressos em gramas/ano e convertidos em ton./ano.

- **Etapa 2: Composição da Frota Virtual Alternativa – (Programa de Renovação da Frota)**

A composição da frota virtual alternativa é definida a partir de sugestão das autoridades locais ou da Comissão de Meio Ambiente da ANTP. Para isso, define-se a quantidade dos ônibus novos e seminovos, em termos da tecnologia de propulsão, para os casos de:

a. Diesel convencional Euro III (PROCONVE 5), consumindo misturas de diesel de baixo teor de enxofre com "retrofit";

b. Diesel convencional S-10, compatível como o Euro V (PROCONVE 7), consumindo misturas de diesel de baixo teor de enxofre com 10% de diesel de cana (AMD10);

c. Misturas de diesel, com 20% de biodiesel (B20);

d. Híbrido diesel-elétrico;

e. Diesel dedicado, operando com etanol hidratado aditivado;

f. Gás natural - GNV dedicado;

g. Sistema diesel-gás;

h. Ônibus Elétrico (bateria); e

i. Trólebus.

- **Etapa 3: Estimativa das Emissões e Consumo de Combustível da Frota Virtual Alternativa**

A estimativa das emissões e consumo de combustível da frota virtual é definida considerando os seguintes pontos:

a. Consignação das quantidades de veículos, as quilometragens anuais e os fatores atualizados de emissão de poluentes e CO2 (este último estimado a partir do consumo típico de diesel para cada categoria de veículo), em g/km. Os fatores de emissão para as tecnologias alternativas são estimados por meio de fatores de proporcionalidade obtidos no trabalho da FETRANSPOR (2012); e

b. Cálculo, a partir da quantidade de veículos, da quilometragem anual média e dos fatores de emissão de cada poluente e CO2, por meio do produto simples dessas três grandezas, as emissões totais anuais atuais de cada poluente para cada categoria de veículo. Igualmente à Etapa 2, os resultados finais são expressos em g/ano e convertidos em ton./ano.

- **Etapa 4 Comparação de Emissões entre Frota Existente e Frota Virtual Alternativa e Cálculos Finais de Redução da Carga Poluidora Resultante:**

Essa comparação é dada pela subtração simples da emissão de cada poluente e do CO2 da situação correspondente às Etapas 2 e 3 e pelo cálculo do porcentual da redução obtida.

Desse modo, este trabalho realiza as quatro etapas da metodologia desenvolvida pela Comissão de Meio Ambiente da ANTP, tendo como dados utilizados para alimentar os cálculos, a estimativa da emissão de poluentes produzidos pelos ônibus em circulação, lastreada nos trabalhos realizados por IPT (2007) e FETRANSPOR (2012), adotando-se, ainda, as formas de cálculo do MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2011). Além disso, em especial, foram utilizados os dados da COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (2011), que, ao invés de considerar os dados dos cadastros de frota de ônibus registrada no DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO - DENATRAN ou do DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO DE SÃO PAULO - DETRAN/SP, que se vale de curvas de sucateamento para estimar a frota de veículos efetivamente em utilização.

Por fim, utilizou-se para definir os termos de saúde pública e de impacto ambiental, os parâmetros de caracterização do MP (material particulado), NOx (óxidos de nitrogênio) e o CO2 (dióxido de carbono). No âmbito das "alternativas energéticas", "estágios tecnológicos" ou "alternativas tecnológicas" da nova frota, foram consideradas as opções comercialmente viáveis disponíveis, inclusive trólebus, na tentativa de conciliar a realidade dos municípios brasileiros ao atendimento à legislação (como, por exemplo, a Lei Municipal Nº 14.933 - Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo (SPTRANS, 2015), e a Lei Estadual Nº 13.798 - Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC (SÃO PAULO, 2009), que estabelecem substituição compulsória das frotas de ônibus por veículos movidos exclusivamente a combustíveis renováveis.

3. Resultados e Discussões

Após a aplicação das quatro etapas da metodologia, a comparação entre o total de emissões e de particulados dos veículos a diesel de São Paulo com os de energia renováveis resultante da metodologia de análise, é mostrada na Figura 1.

Total de Emissões Anuais da Frota de Ônibus Urbanos da Cidade de São Paulo - Frota Proposta - Composição de Alternativas Energéticas					
	Total CO	***Total HC***	***Total NOx***	***Total MP***	***Total CO2***
(g/ano)	415189397	23614444	2345122252	11111327	1.065.540.000.000
(ton/ano)	415	24	2.345	11	1.065.542
Total de Emissões Anuais da Frota de Ônibus Urbanos da Cidade de São Paulo - Frota Atual - Diesel					
	Total CO	***Total HC***	***Total NOx***	***Total MP***	***Total CO2***
(g/ano)	1557000000	234821843	8027837250	142222148	1.443.190.000.000
(ton/ano)	1.557	235	8.028	142	1.443.194
Redução (%)	***73***	***90***	***71***	***92***	***26***

Fig. 1. Comparação de Emissões entre Frota Atual e Frota Alternativa e Cálculos Finais de Redução da Carga Poluidora Resultante.

Pela Figura 1 observam-se significativas reduções da carga poluidora, principalmente em termos de CO, HC, NOx e MP. A redução de CO2, entretanto, é discreta, exatamente pela aplicação limitada de opções de "estágios tecnológicos" envolvendo combustíveis renováveis. Deve ainda ser observado que a título de aperfeiçoamento da metodologia, poderá ser verificado junto aos fabricantes de veículos se a mistura B20 pode ser utilizada em veículos da Fase P7, sem restrições técnicas e operacionais, de modo a preservar a garantia do fabricante e o desempenho dos motores e das emissões. Precisa-se também verificar junto aos fabricantes se os "kits" diesel-gás podem se configurar como uma opção factível para instalação em micro-ônibus e mini ônibus.

Na simulação restrita à frota municipal de ônibus da cidade de São Paulo, partiu-se do pressuposto de que todos os veículos diesel da frota existente, anteriores ao PROCONVE 7 (Euro V), serão substituídos por veículos da Fase P7, com AMD10, B20 ou kit diesel-gás, trólebus, ônibus elétricos (bateria) ou diesel dedicado, operando com etanol hidratado aditivado.

Em relação ao agrupamento dos veículos, juntaram-se mini-ônibus com micro-ônibus e mídi-ônibus com ônibus convencionais, devido porte aproximado em cada um dos dois casos. Observou-se que, ao final do cálculo das quantidades totais de veículos de cada "alternativa tecnológica", foi apurada um "mix" que pode ou não convergir para a visão geral da matriz de tecnologias inicialmente imaginada. Se isso ocorre, o tomador de decisão, na versão final da metodologia, poderá, por aproximações sucessivas, ajustar as quantidades de veículos até atingir o resultado final imaginado inicialmente, e assim, definir o "mix" final de veículos da frota alternativa para, a partir daí, estabelecer a estimativa das emissões e dos investimentos em capital referente à aquisição dos novos ônibus correspondentes;

É importante notar que há controvérsias sobre os valores de CO2 fóssil evitados com o uso de diesel convencional puro e de misturas AMD10 e B20. Optou-se, na fase inicial dos estudos, em considerar nos cálculos a quantidade de CO_2 de origem não fóssil contida originalmente nas emissões do diesel convencional (que, na verdade, não é puro, mas tem atualmente 7% de adição de biodiesel). Assim, esse parâmetro, que corrigiria os fatores de emissão de CO2 fóssil, seria revisado.

Quanto à alternativa de usar "filtros de material particulado adaptados" como "retrofit" nos ônibus usados, decidiu-se que novas simulações poderão incluir alternativas adicionais com "retrofit", configurando, eventualmente uma alternativa da alternativa. Em municípios com escassez de recursos para renovação da frota, os "retrofit" podem representar a melhor alternativa. Os "retrofits" também poderão ser usados em municípios com mais recursos para maximização dos ganhos ambientais em quaisquer veículos diesel que não tenham sido fabricados originalmente com filtros (o que no Brasil representa 100% da frota atual), durante alguns anos até antes do início da Fase P8, pois tal condição não será alterada.

4. Conclusões e Perspectivas

Os resultados limitados à cidade de São Paulo mostram que, mesmo numa simulação única, logram-se consideráveis reduções de emissão de poluentes, menor consumo energético, e, consequentemente benefícios para a população em geral.

A expectativa é que a metodologia desenvolvida possa ser ampliada para aplicação em qualquer cidade brasileira, a partir da fixação de hipóteses de parametrização dos fatores exógenos (produção de energia elétrica, logística e infraestrutura de abastecimento dos combustíveis e preço), formas de operação (trânsito intenso, corredor compartilhado e via privativa) e redução da emissão de poluentes.

Ademais, espera-se que a metodologia contribua para simular as mais variadas possibilidades de alternativas de composição da frota alternativa e que possam ser introduzidos, nas próximas fases dos estudos da Comissão de Meio Ambiente da ANTP, elementos de apuração de custos e de viabilidade técnica, econômica e financeira da implantação de Programas de Renovação da Frota de Ônibus Urbanos nas Cidades Brasileiras, visando reduzir o consumo de energia e a emissão de poluentes locais e dos Gases de Efeito Estufa.

Referências Bibliográficas:

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS – ANTP. Biblioteca da Comissão de Meio Ambiente da ANTP. http://www.antp.org.br/website/biblioteca/search.asp?dgpCode=D78399C6-2443-4222-AEE7-65169C27E9B1. Acessado em Fevereiro/2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO – IPT, 2007. Relatório Técnico Nº. 91.377-205 - Ensaios Comparativos de Ônibus Urbanos. Laboratório de Energia Térmica, Motores, Combustíveis e Emissões - CETAE, São Paulo, Br.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS – NTU, 2009. Perspectivas de Alteração da Matriz Energética do Transporte Público Urbano por Ônibus: Questões Técnicas, Ambientais e Mercadológicas. Environmentality – Tecnologia com Conceitos Ambientais Ltda., São Paulo.

SÃO PAULO TRANSPORTE S/A – SPTRANS. Lei Municipal nº 14.933 - Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo. Diretoria de Serviços de Transporte – DS, Superintendência de Serviços Veiculares – SSV e Gerência de Desenvolvimento Tecnológico – GDT. http://www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2012/11/21/5650F345-A5CB-4763-910B-80D04B28ACA4.pdf. Acessado em Janeiro/2015.

FEDERAÇÃO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES DE PASSAGEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – FETRANSPOR, 2012. Alternativas Tecnológicas para Ônibus no Rio de Janeiro. Instituto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia e Programa de Engenharia de Transportes – PET/COPPE/UFRJ da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Br.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO S/A – Metrô. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa. http://www.metro.sp.gov.br/metro/sustentabilidade/inventario-emissoes-gases.aspx. Acessado em Janeiro/2015.

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

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB, 2011. Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2011. CETESB, São Paulo.

SÃO PAULO. Lei Nº 13.798, de 9 de Novembro de 2009 - Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC. Disponível em: http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/01/lei_13798_portugues.pdf. Acessado em Janeiro/15.