

CENÁRIOS DE PENETRAÇÃO DE SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DUAL-FUEL NO TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS POR ÔNIBUS

Márcio de Almeida D'Agosto

George Vasconcelos Goes

Daniel Neves Schmitz Gonçalves

Mariane Gonzalez da Costa

Programa de Engenharia de Transportes (PET/Coppe)
Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

Este trabalho conduz uma avaliação do uso de sistemas dual-fuel diesel-gás no transporte urbano de passageiros por ônibus. Para isso, foram desenvolvidos dois cenários de uso de energia e emissões com base na penetração na frota circulante de ônibus adaptados para sistemas diesel-gás em uma megacidade de um país emergente. O procedimento considera uma abordagem bottom-up para estimar o consumo energético total e as emissões do ciclo de vida para cada cenário. Como primeiro resultado, tem-se um o rendimento energético local para a nova categoria de ônibus. Adicionalmente, os cenários desenvolvidos apontam para uma redução de até 31% das emissões de CO_{2e} no cenário de 10% de penetração de ônibus dual-fuel na frota circulante. Como implicações políticas, evidencia-se uma alternativa estratégica de uso de energia setor. Ademais, o estudo pode subsidiar estimativas de uso de energia do setor com o objetivo de aumentar a segurança energética, altamente dependente do diesel.

Palavras-chave: Dual-fuel; Veículos alternativos; Cenários de energia; Gás natural veicular

ABSTRACT

This study assesses use of dual-fuel diesel-gas systems in urban passenger transportation. Hence, two scenarios of energy use and emissions were developed based on different degrees of penetration of diesel-gas systems in a megacity of an emerging country. The procedure considers a bottom-up approach for estimating the total energy consumption and life cycle emissions in each scenario. As a first result, the fuel economy of the new bus category was collected. In addition, the developed scenarios point to a reduction by 31% in CO_{2e} emissions, considering the scenario with 10% penetration of diesel-gas fleet. As policy implications, a strategic alternative to energy use in the sector emerges. In addition, this study may support transport sector energy use estimates in order to increase energy security, which is highly dependent on diesel.

Keywords: Dual-fuel; Alternative vehicles; Energy scenarios; Vehicular natural gas

1. INTRODUÇÃO

O uso de Gás Natural Veicular (GNV) tem crescido substancialmente nos últimos anos. Em 2004, o GNV era utilizado em 4 milhões de veículos no mundo, atingindo 27 milhões em 2019 (GVR 2013; NGV GLOBAL, 2019). Por conseguinte, o grau de penetração de veículos adaptados ou dedicados ao uso de GNV gera externalidades positivas e negativas nos aspectos ambientais, sociais e econômicos.

O impacto ambiental do uso do GNV no transporte urbano pode ser aferido pelo abatimento das emissões de GEE indiretos e poluentes atmosféricos¹, em comparação com outros combustíveis fósseis (MMA, 2014; CETESB, 2017). Indiretamente, o efeito é refletido na redução do custo com morbidade na saúde pública (Saudiva *et al.*, 2015). Além disso, o uso de GNV em detrimento de combustíveis automotivos convencionais (p. ex. gasolina e óleo diesel) possibilita a redução da emissão de dióxido de carbono (CO₂), o principal gás de efeito estufa (GEE) IPCC (2014).

Não obstante, a adoção de veículos dedicados ao uso de GNV no transporte urbano de passageiros por ônibus pode gerar externalidades operacionais negativas. Cita-se como fatores críticos: o custo de aquisição do veículo, eficiência energética, manutenção e custo com

¹ Como monóxido de carbono (CO) e material particulado (MP).

infraestrutura de abastecimento das concessionárias.

Ademais, os modelos de concessão praticados no Brasil são voltados para o uso de ônibus equipados com motores do Ciclo Diesel e suas variantes operacionais (vida útil, idade média, coeficientes de utilização etc.), o que reduz a atratividade para aquisição de veículos alternativos pelas concessionárias. Nesse tocante, a mitigação das externalidades ambientais, sociais e econômicas pode ser obtida com o aprofundamento de estudos sobre como incentivar o GNV como fonte energética, introduzindo-o na frota circulante de um país.

No Brasil, a oferta de GNV aumentou 208% entre 2000 e 2018, atingindo 40 bilhões de metros cúbicos (ANP, 2019). No setor de Transportes, o aumento foi mais expressivo, de 607%, atingindo 20 bilhões de metros cúbicos em 2018 (EPE, 2019). A descoberta recente de uma bacia em Sergipe pode representar um acréscimo de 20 milhões de m³/dia na oferta desse combustível (Reuters, 2019). Anteriormente, estudos apontavam a necessidade do desenvolvimento de estratégias alternativas para aproveitar o volume excedente de gás natural, sobretudo no Estado do Rio de Janeiro (Pereira et al., 2017),

Outrossim, há uma lacuna na literatura quanto às variáveis fundamentais para estudos de uso de energia e emissões de GEE, como o rendimento energético dos ônibus diesel-gás (MMA, 2014; CETESB, 2017, IBTS, 2019). Com isso, a introdução de fontes energéticas alternativas no transporte urbano de passageiros por ônibus pode surgir como uma alternativa viável para absorver a oferta de GNV, aproveitando o potencial local dessa fonte energética. Reduz-se, portanto, a vulnerabilidade (em termos de segurança energética) dos países dependentes da importação de petróleo, em decorrência da oferta e variações do preço deste insumo e de seus derivados. No Brasil, o transporte de passageiros é fundamentalmente dependente do diesel (EPE, 2019).

Dessa forma, sistemas de alimentação *dual-fuel* diesel-gás, emergem como alternativa de frota no meio urbano. Rabl (2002) introduziu a questão no transporte de passageiros por ônibus em cidades europeias, resultando em mitigações das emissões e seus custos indiretos. Resultados semelhantes são apontados por Chikishev *et al* (2017), também na Europa, e Xu *et al* (2015), nos Estados Unidos. Infere-se que a problemática é potencializada em economias emergentes, caracterizadas por centros urbanos adensados, com vias estreitas e congestionadas, além de sistemas deficientes de transporte público (Oliveira *et al.*, 2017).

Este trabalho conduz uma avaliação técnica do uso de sistemas *dual-fuel* diesel-gás no transporte urbano de passageiros por ônibus. Para isso, foram desenvolvidos dois cenários de penetração na frota circulante de ônibus equipados com sistemas *dual-fuel* diesel-gás em uma megacidade de um país emergente, Rio de Janeiro, Brasil, avaliando as emissões de GEE e o consumo energético total.

A partir desta introdução, este artigo se divide em quatro seções. A seção 2 discorre sobre o procedimento desenvolvido para a coleta de dados primários e secundários sobre rendimento energético e fatores de emissão para os veículos *dual-fuel* adaptados para o uso de GNV. Na seção 3, o procedimento é aplicado e são apresentadas as análises dos resultados. A seção 4 apresenta as conclusões do estudo e implicações políticas.

2. PROCEDIMENTO

O procedimento desenvolvido considera seis etapas metodológicas complementares. As variáveis-chave que são produtos da sua aplicação são: (1) o rendimento energético de veículos equipados com sistema *dual-fuel* diesel gás; (2) consumo energético total da frota; (3) emissões de GEE em CO₂ equivalente (CO₂e).

A Figura 1 ilustra o procedimento utilizado para identificar o rendimento energético e, conseqüentemente, as emissões e o consumo energético total dos ônibus equipados com sistema diesel-gás. Na etapa de planejamento, tem-se a identificação da área de estudo do experimento, da concessionária de ônibus, seleção do veículo e delimitação do itinerário do teste.

A atividade de coleta de dados primários e secundários de ônibus convencionais, equipados exclusivamente com motores do Ciclo Diesel, pode ser conduzida com dados da literatura ou obtidos em teste de campo. No caso da atividade de coleta de dados primários e secundários dos ônibus *dual-fuel*, optou-se por coletar os dados do teste em campo, dado a pouca literatura no tema. Adicionalmente, são identificados os fatores de emissão dos veículos a diesel e a GNV (g/km, kg/m³ ou kg/TJ).

A consistência dos dados é avaliada com base em estudos de referência e dados de concessionárias que aferem o rendimento energético dos ônibus (km/l). Além disso, analisa-se a intensidade energética (kJ/pass-km) esperada de um veículo equipado com motores do Ciclo Diesel ou com uma utilização gradual de GNV.

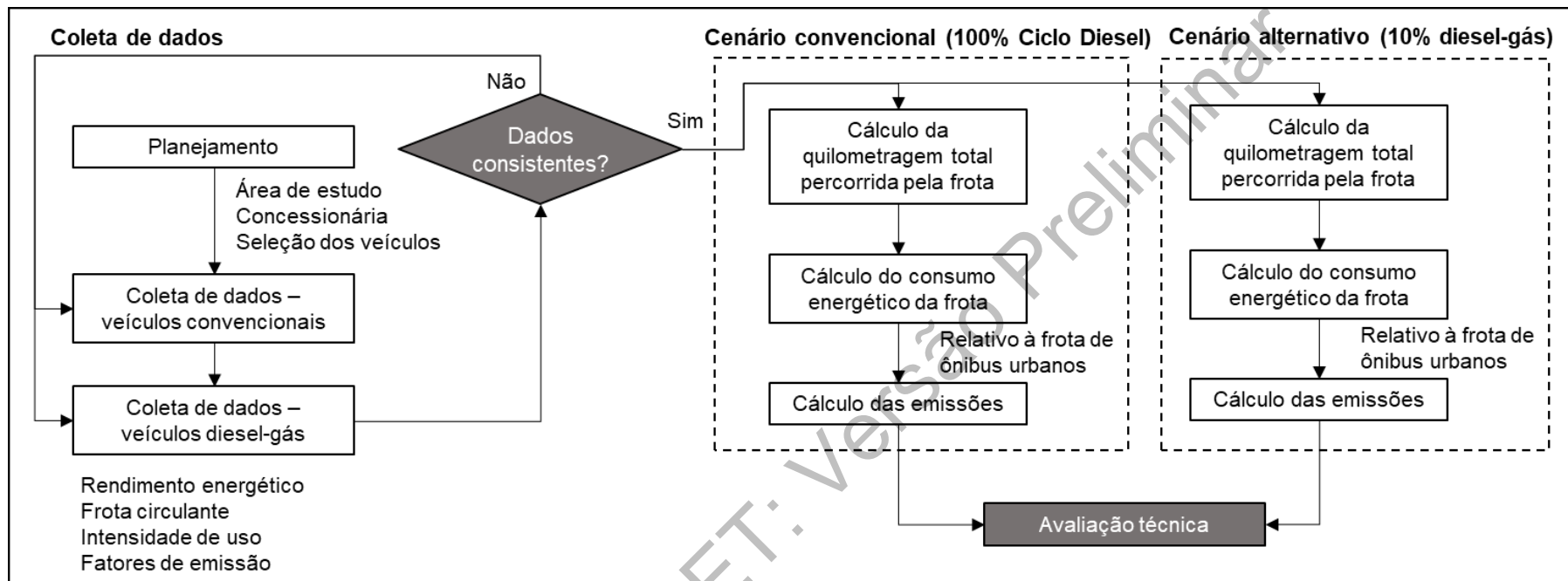


Figura 1: Procedimento para avaliação técnica do uso de sistemas diesel-gás no transporte urbano de passageiros

Fonte: Autores

Após a identificação do rendimento energético de veículos equipados com sistemas *dual-fuel*, bem como dos fatores de emissão para cada categoria de ônibus, calcula-se o consumo energético e as emissões de CO₂ e por meio de uma abordagem metodológica *bottom-up* (La Rovere *et al.*, 2019).

A Equação 1 mostra o cálculo *bottom-up* do consumo energético da frota circulante.

$$C_{i,v,a} = FC_{v,i,a} \cdot \frac{IU_{i,v,a}}{RE_{v,i,a}} \quad (1)$$

Em que,

- $C_{i,v,a}$: consumo anual do combustível tipo (i), veículo (v) e ano (a); (m³/ano);
- $FC_{v,i,a}$: frota circulante do veículo (v), combustível tipo (i), ano (a) (veículo/ano);
- $IU_{i,v,a}$: distância percorrida pelo veículo (v), combustível tipo (i) e ano (a) (km/ano);
- $RE_{v,i,a}$: Rendimento energético do veículo (v), do combustível tipo (i), ano (a) (km/l).

Do mesmo modo, a Equação 2 evidencia o protocolo de cálculo das emissões de CO₂.

$$E_i = C_i \cdot FE_i \quad (2)$$

Em que,

- E_i : emissões de GEE do combustível tipo (i) (Gg);
- C_i : consumo anual do combustível tipo (i) (l/ano);
- FE_i : fator de emissão do GEE do combustível tipo (i) (kg/l ou tC/TJ).

As emissões são calculadas com base no conceito da análise ciclo de vida das emissões. Assim, são computadas as emissões das fases de produção, distribuição e uso final do combustível (D'Agosto *et al.*, 2009). No caso deste estudo, utiliza-se o fator de emissão de ciclo de vida específico da cidade do Rio de Janeiro obtido no estudo de D'Agosto *et al.* (2015).

3. APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO

Esta seção descreve a aplicação do procedimento desenvolvido, especificando cada atividade metodológica.

3.1. Planejamento

O experimento foi aplicado na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. Caracteriza-se como uma megacidade emergente com 6,7 milhões de habitantes (IBGE, 2018) e com um sistema de transporte deficitário, caracterizado pela redução da atividade de passageiros e aumento da idade média da frota operante e reserva (FETRANSPOR, 2019). Para manter os parâmetros de controle, o teste foi restrito a poucos segmentos de vias. Assim, é importante ressaltar que não representa com acurácia um perfil de operação diário desse tipo de atividade (aproximadamente 200 km/dia em vias com capacidades distintas).

Para a condução do teste, utilizou-se um veículo convencional de 12 metros de comprimento e distância entre eixos de 6 metros, equipado com motor traseiro. A carroceria tem capacidade para 71 passageiros (33 assentos e 38 passageiros em pé). O veículo de teste foi equipado com o sistema diesel-gás denominado *eDG-Flex* (Vecchi, 2010).

Ademais, foram instalados 4 cilindros de alta pressão totalizando 120m³. O gás natural é

armazenado na sua forma comprimida a uma pressão de 200 bar. Cada cilindro tem volume hidráulico de 120 litros e possui uma válvula de segurança de acionamento elétrico. As tubulações de alta pressão são de 8 mm de diâmetro em aço inoxidável. A caixa de abastecimento possui dois pontos de abastecimento a fim de se reduzir o tempo de abastecimento do veículo. Por fim, um tanque de 275 litros para armazenagem de óleo diesel foi instalado.

A Figura 2 apresenta o veículo de teste, bem como a caixa de abastecimento e da instalação dos cilindros de gás natural.



Figura 2: Adaptação do veículo para o sistema *dual-fuel* diesel gás

Fonte: Autores

O desempenho operacional do ônibus urbano equipado com sistema diesel-gás é avaliado por meio da obtenção da eficiência energética (km/l_e) – quilometro por litro equivalente de óleo diesel e consumo energético total e índice de substituição volumétrica ($\text{m}^3 \text{GNV}/\text{m}^3 \text{diesel}$).

O itinerário segue o ciclo *City Suburban*, que envolve a simulação da operação em linhas tronco (com poucas paradas) e alimentadoras (com mais paradas) em um circuito fechado. As medidas de desempenho operacional obtidas para a operação do ônibus equipado com sistema diesel-gás são comparadas com aquelas obtidas para outros ônibus movidos a óleo diesel, com configuração semelhante e que operam na mesma linha do sistema de transporte público municipal.

3.2. Coleta de dados

O experimento controlado foi realizado durante seis dias, em circuito controlado. Seguiu-se o protocolo para teste de veículos protótipos do fabricante (MAN *Latin America*). Especificamente:

- Considera o levantamento da curva de aceleração e determinação da velocidade máxima;
- São realizadas medições de massa de combustível para obter o rendimento energético;
- O veículo é testado em condição de vazio, com $\frac{1}{2}$ carga e com plena carga;

- Utiliza-se o procedimento *back to back*, considerando um veículo de referência na situação de “líder” e “seguidor” (Ambrósio *et al.*, 2017);
- O teste deve durar no mínimo 4 dias para cada situação de carga, trocando o ônibus (O) e o motorista (M) de posição no teste de forma a tender a situação de “líder” e “seguidor”;
- Foram obedecidos os critérios de abastecimento (p. ex. nivelamento do terreno, bomba, compressor etc.).

As informações de quilometragem percorrida, horários e volume de combustível entre os abastecimentos foram tabuladas e analisadas estatisticamente. Nesse processo, foram eliminados *outliers* e demais medições inconsistentes (p. ex. caso algum protocolo para teste não fosse cumprido).

Os fatores de emissão dos GEE foram coletados com base nos relatórios MMA (2014) e CETESB (2017), além do procedimento para estimativa *Tier 2* do fator de emissão de GNV com base no conteúdo de carbono e densidade energética do combustível (IPCC, 2006). Para converter em unidades de CO₂, foram consideradas as métricas de Potencial de Aquecimento Global (GWP) do 5º *Assessment Report*, ou seja, 28 para o gás metano (CH₄) e 265 para o Óxido Nitroso (N₂O) em um horizonte de 100 anos (IPCC, 2014).

A Tabela-síntese 1 apresenta os resultados dos dados coletados na literatura e no experimento conduzido.

Tabela 1: Tabela-síntese dos dados coletados

Dados	Unidade	Valor	Fonte
Distância por veículo	km/ano	83.789	Fetranspor (2019)
Consumo por veículo (100% Ciclo Diesel)	l/ano	32.476	Estimado
Consumo por veículo (10% <i>dual-fuel</i>)	l/ano	32.663	Estimado
Rendimento energético (Ciclo Diesel)	km/l	2,58	CETESB (2017); Fetranspor (2019)
Rendimento energético (<i>Dual-fuel</i> diesel-gás)	km/l	2,44	Coletado no experimento (diesel-gás)
Intensidade energética (Ciclo Diesel)	kJ/pass-km	400–560	IBTS (2019)
Intensidade energética (<i>Dual-fuel</i> diesel-gás)	kJ/pass-km	504	Estimado
Índice de substituição	%	63	Coletado no experimento (diesel-gás)
Fator de emissão CO ₂ (D100)	kg/l	2,63	MMA (2014)
Fator de emissão CO ₂ (B100)	kg/l	2,46	MMA (2014)
Fator de emissão CO ₂ (GNV)	kg/l	2,07	MMA (2014)
Fator de emissão CO ₂ - ciclo de vida (D100)	kg/l	2,97	D’Agosto <i>et al.</i> (2015)
Fator de emissão CO ₂ - ciclo de vida (B100)	kg/l	0,76	D’Agosto <i>et al.</i> (2015)
Fator de emissão CO ₂ - ciclo de vida (GNV)	kg/l	2,17	D’Agosto e Ribeiro (2009)
Preço diesel S10	R\$	3,79	ANP (2019)
Preço GNV	R\$	-	ANP (2019)
Frota operante	veículo	7.977	Fetranspor (2019)

¹ Convertido de kg/m³ para kg/l

Fonte: autores

É importante ressaltar que no Brasil o diesel comercializado no uso final contém 10% de biodiesel em sua mistura (B10). Isso acarreta a necessidade de se ponderar os fatores de emissão para que reflitam a mitigação oriunda do uso de biocombustível. Em uma avaliação de ciclo de vida, esse critério representa abatimentos significativos nas emissões.

A intensidade energética estimada para o sistema *dual-fuel* diesel-gás é de 504 kJ/pass-km.

Assim, o resultado está dentro do intervalo esperado para o no transporte urbano de passageiros por ônibus no Brasil, ou seja, entre 400 e 560 kJ/pass-km (IBTS, 2019).

3.3. Aplicação e análise dos resultados

Esta seção apresenta os resultados da coleta em campo do rendimento energético para veículos *dual-fuel* diesel-gás, projetando as externalidades ambientais a partir da penetração dessa nova categoria de veículos na frota circulante do município do Rio de Janeiro.

Foram desenvolvidos dois cenários para o experimento: (1) 100% frota circulante de ônibus urbanos equipados com motores do Ciclo Diesel; (2) 10% de penetração de veículos *dual-fuel* diesel-gás na frota circulante.

O teste de performance considera o levantamento da curva de aceleração até atingir a velocidade de 80 km/h. A curva de aceleração escalonada, apresentada na Figura 3, tem melhor desempenho final no veículo equipado com sistema diesel-gás, uma vez atingiu a velocidade final em tempo 11,69% inferior ao veículo convencional equipado com motor do Ciclo Diesel.

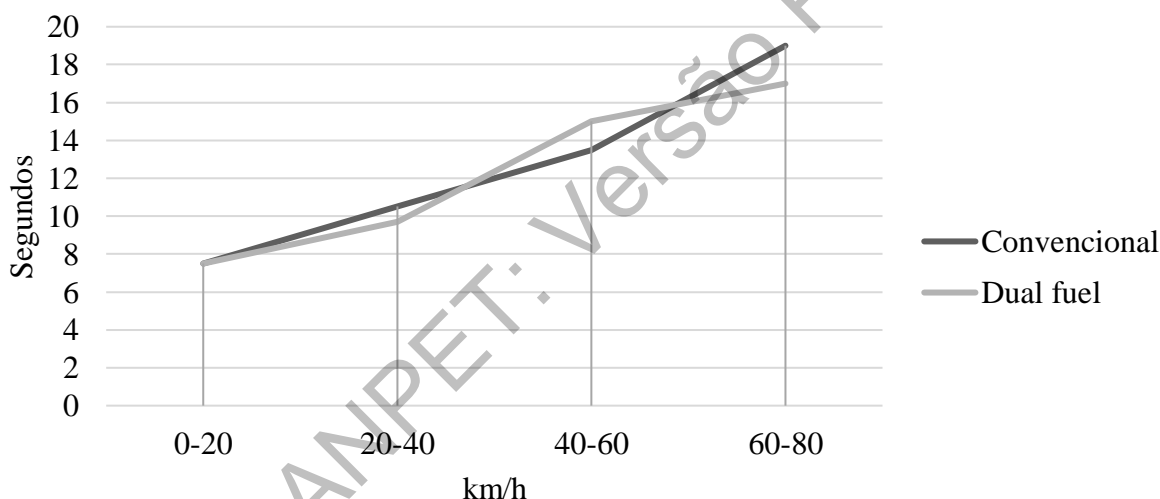


Figura 3: Curva de aceleração escalonada

Todavia, o veículo equipado com sistema diesel-gás apresentou pior desempenho para a faixa entre 20 km/h e 60 km/h, porém, obteve recuperação para velocidade superior a 60 km/h. O rendimento energético equivalente, obtido com significância estatística de 95% e incerteza de 3% sobre a média, é evidenciado na Figura 4.

Como variável de entrada para o cálculo do consumo energético e das emissões de GEE, obteve índice de substituição volumétrica médio de 0,6308 com 3% de incerteza sobre a média para confiança estatística de 95%.

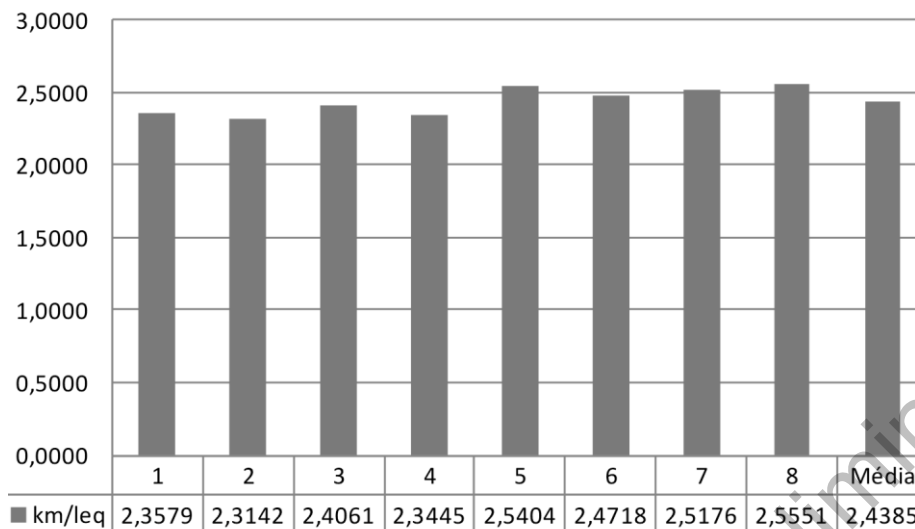


Figura 4: Rendimento energético observado do veículo *dual-fuel* (km/l)
Fonte: Autores

Os resultados apontam para um rendimento médio de 2,44 km/l para o veículo equipado com sistema *dual-fuel*. Comparativamente, os valores das medidas de rendimento energético equivalente do veículo convencional e do veículo *dual-fuel* apontam para uma eficiência energética superior do veículo convencional (12,8% em média), variando entre (+7,2% e +20,7%).

Conforme dados coletados e expostos na Tabela 1, para uma frota circulante de 7.977 veículos (Fetranspor, 2009), estima-se que o cenário com 10% de penetração de veículos *dual-fuel* diesel-gás na frota circulante apresenta uma redução de 32% das emissões de CO₂e em relação ao cenário convencional. O resultado é exposto na Tabela 2.

Tabela 2: Emissões em CO₂e para ambos os cenários no município do Rio de Janeiro

Emissões (t)	CO ₂	CO ₂ e	Variação
Ciclo Diesel (B10)	748.571	771.028	-
<i>Dual-fuel</i> diesel-gás	513.386	528.787	-31%

Fonte: Autores

Observa-se que a introdução progressiva de ônibus urbanos equipados com sistemas *dual-fuel* diesel-elétrico pode ocasionar em abatimento anual de 31% das emissões de GEE. Todavia, salienta-se que a relação de preços do GNV e do diesel no mercado é um fator crítico para a escolha da concessionária no modelo de operação. Em 2019, os preços praticados no município do Rio de Janeiro para o GNV são 22% menores em relação ao preço do diesel. Visto que o rendimento energético obtido do sistema *dual-fuel* diesel-elétrico é 12% menor do que os veículos convencionais, há também vantagem econômica no seu consumo final.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho conduziu uma avaliação técnica do uso de sistemas *dual-fuel* diesel-gás no transporte urbano de passageiros por ônibus. Para isso, foram desenvolvidos dois cenários de uso de energia e emissões: (1) 100% frota circulante de ônibus urbanos equipados com motores do Ciclo Diesel; (2) 10% de penetração de veículos *dual-fuel* diesel-gás na frota circulante.

O procedimento desenvolvido considera uma abordagem *bottom-up* para estimar o consumo energético total e as emissões do ciclo de vida para cada cenário. De forma preliminar, coletou-se em campo o rendimento energético dos ônibus equipados com sistemas *dual-fuel* diesel-gás, bem como variantes operacionais de concessionárias do município do Rio de Janeiro, Brasil.

Como primeiro resultado, tem-se o rendimento energético local para essa nova categoria de ônibus urbano (2,44 km/l), podendo ser aproveitado em estudos de uso de energia e emissões do setor de Transportes, sobretudo em cenários prospectivos. Adicionalmente, os resultados evidenciam o potencial de abatimento anual de 31% das emissões de GEE, considerando o cenário com 10% de penetração de veículos *dual-fuel* diesel-gás na frota circulante.

As implicações políticas dos resultados deste estudo abrangem desde uma variável de entrada local (rendimento energético), permitindo aprimorar abordagens *bottom-up* de níveis superiores (*Tiers 2 e 3*) (IPCC, 2006), além de fornecer uma alternativa estratégica de uso de energia. Pode-se, portanto, aumentar a segurança energética do país ao reduzir a dependência do consumo de diesel (que representa cerca de 100% do transporte de passageiros por ônibus brasileiro) (EPE, 2019). Especificamente, é possível que o transporte urbano de passageiros por ônibus seja uma opção de demanda do GNV, o que representa uma oportunidade de receita para o Estado do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS

- Ambrósio, V., Krogmann, A., Fernandes, C., Braga, C. N., Leitão, I., & Nemčíková, M. (2017). Marian Midsize Shrines: three itineraries between Portugal and Slovakia. *International Journal of Religious Tourism and Pilgrimage*, 5(3), 9.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Sistema de Levantamento de Preços. Síntese dos preços praticados: Brasil. Resúmo II; 2019. <<http://www.anp.gov.br/preco/>>. Acesso em: junho/2019.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Produção Nacional de Gás Natural. 2019 <http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2017). Emissões veiculares no estado de São Paulo - 2016. <https://doi.org/0103-4103>
- Chikishev, E., Chikisheva, A., Anisimov, I., & Chainikov, D. (2017, January). Natural gas use on minibuses, engaged in the carriage of passengers and baggage on the regular routes, as a measure for decrease in harmful environment effects. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 50, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
- Conceição, G.W. (2006) A Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental da Inserção do Gás Natural em Frotas do Transporte Coletivo Urbano de Passageiros. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Planejamento Energético.
- CTGAS-ER (2010) Petrobrás e Prefeituras assinam convênio de gás natural para ônibus. Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis. Disponível na URL <http://www2.ctgas.com.br/templates/template02.asp?parametro=6756>
- D'Agosto, M. A., de Oliveira, C. M., do Couto Assumpção, F., & Deveza, A. C. P. (2015). Assessing Cleaner Energy Alternatives for Bus Transit in Rio de Janeiro: A Life Cycle Inventory Analysis. *Journal of Environmental Protection*, 6(11).
- D'Agosto, M. A., & Ribeiro, S. K. (2009). Assessing total and renewable energy in Brazilian automotive fuels. A life cycle inventory (LCI) approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1326-1337.
- Electricidad Interamericana (2010) Importadores de buses y operadores del Transantiago negocian uso de gas.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética, Balanço Energético Nacional - 2019. Ano Base 2018, Ministério de Minas e Energia, DF, Brasil, 2019.
- FETRANSPOR. Setor em Números. Disponível em: <https://www.fetranspor.com.br/mobilidade-urbana-setor-em-numeros>. Acesso em: junho/2019.
- Lastres, L.F.M. (1998) Desenvolvimento de Sistema de Conversão para Utilização de Gás Natural em Motores Diesel Superalimentados. Petrobras/CENPES.
- IBGE (2010). Estimativas populacionais. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=o-que-e>.
Acesso em: junho/2019.

- IBTS – Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável. Transportes no Brasil – Panorama e Cenários Prospectivos para atendimento da Contribuição Nacionalmente Determinada, 2019.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006: “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme”, in: Eggleston, H.S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K. (Eds.): Volume 4, Chapter 11, N 2 O Emissions from Managed Soils, and C 2 O Emissions from Lime and Urea Application (Hayama, Japan: IGES).
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- MMA, 2014. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013: Ano-base 2012, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF.
- NGV Global, 2019, Current Natural Gas Vehicle Statistics. www.iangv.org/current-ngv-stats/, Acesso em: junho/2019.
- Oliveira, C., Albergaria De Mello Bandeira, R., Vasconcelos Goes, G., Schmitz Gonçalves, D., & D’Agosto, M. (2017). Sustainable vehicles-based alternatives in last mile distribution of urban freight transport: A systematic literature review. *Sustainability*, 9(8), 1324.
- Pereira, A; Goncalves, D. N. S; D’Agosto, M. A; Goes, G. V. Matriz Energética do Estado do Rio de Janeiro 2017-2031. 2018.
- Rabl, A. (2002). Environmental benefits of natural gas for buses. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 7(6), 391-405.
- Reuters. (2019). Petrobras faz a maior descoberta desde o pré-sal, em Sergipe e Alagoas. Disponível em: <<https://br.reuters.com>>. Acesso em: junho/2019.
- Saldiva, P. H. N., André, P. A. de, Vormittag, E. da M. P. A. de A., Rodrigues, C. G., Cavalcante, J. A., e Schrempp, L. P. (2015) Avaliação dos Impactos na saúde pública e sua valoração devido à implementação progressiva do componente biodiesel na matriz energética de transporte.
- Vecchi, L. (2010) Dual Fuel Technology. Fórum Diesel SAE Brasil. Curitiba, Brasil.
- Wannagat, F. (2010) Blue Corridor and other projects on the use of gaseous full for transportations. Economic Commission for Europe. Committee on Sustainable Energy. Working Party on Gas – Twentieth Session. Disponível na URL http://www.unece.org/energy/se/pp/wpgas/20wpg_0110/20Jan10/3_Wannagat.pdf.

Márcio de Almeida D’Agosto (dagosto@pet.coppe.ufrj.br)

George Vasconcelos Goes (ggoes@pet.coppe.ufrj.br)

Daniel Neves Schmitz Gonçalves (danielnsg@pet.coppe.ufrj.br)

Mariane Gonzalez da Costa (marigonzaez@poli.ufrj.br)

Programa de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia - Rua Horácio Macedo, Bloco G, 2030 - 101 - Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 21941-450