

ANÁLISE COMPARATIVA DO CONSUMO ENERGÉTICO E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA GERADO POR VEÍCULOS ELÉTRICOS E À COMBUSTÃO INTERNA EM UM SISTEMA DE *BUS RAPID TRANSIT*

Camila Padovan da Silva

Universidade de Brasília

Programa de Pós-Graduação em Transportes

Augusto Cesar de Mendonça Brasil

Universidade de Brasília

Programa de Pós-Graduação em Transportes

RESUMO

Os veículos elétricos (VE) vêm ganhando destaque mundial, prometendo ser uma possível solução para se ter uma mobilidade sustentável. Entretanto, sua verdadeira capacidade em contribuir para a redução nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) só pode ser avaliada satisfatoriamente comparando-se à avaliação do seu ciclo de vida com uma semelhante para veículos a combustão interna (VCI). Dito isso, a pesquisa, ainda em desenvolvimento, objetiva verificar e comparar o consumo energético e emissões de GEE, gerado por veículos elétricos e à combustão interna, em dois contextos: operando em um sistema *Bus Rapid Transit* (BRT) e em um sistema convencional de transporte público por ônibus. A análise abrange o setor de transporte público do Distrito Federal. Dessa forma, será possível identificar se a implantação de um sistema de transporte público somente funcionando por veículos elétricos consome, de fato, menos energia do sistema e emite menos poluentes prejudiciais ao meio ambiente.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem se falado muito a respeito da degradação ambiental, principalmente a respeito da qualidade do ar em grandes centros urbanos. As principais fontes de emissões em regiões urbanas são fixas (indústrias, queimadas, etc.) ou móveis (veículos automotores, aviões, etc.), sendo que o elevado número de veículos nas cidades torna as emissões destas fontes móveis responsáveis por grande parte dos poluentes emitidos.

Mesmo o Brasil tendo uma matriz energética com grande participação de fontes renováveis, o que contribui para que as emissões de gases de efeito estufa (GEE) oriundas do setor elétrico sejam relativamente baixas, quando comparadas às de países desenvolvidos, há resistência no governo federal em se modificarem antigos paradigmas (Lucon e Goldemberg, 2009).

Os derivados de petróleo (óleo diesel, gasolina, GLP e querosene) tendem a se manter como os maiores contribuintes para as emissões totais até em 2030, sendo responsáveis por cerca de 50% do total de emissões de CO₂ (Schaeffer, s.d.). Em 2015, o setor de transporte respondeu por 49,7% do consumo total de petróleo e em 2014, por 35% do consumo global de energia (IEA, 2017; Orsi *et al.*, 2016). Entre 1970 e 2010, as emissões de GEE do setor de transporte global aumentaram em 250%, uma taxa significativamente maior do que outros setores (IPCC, 2014).

O Brasil é signatário do Protocolo de Kyoto/1977 e membro da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Em dezembro de 2015, a Vigésima Primeira Conferência das Partes (COP-21) da UNFCCC decidiu adotar o Acordo de Paris, onde o Brasil informou a intenção de reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025 e como contribuição indicativa subsequente, reduzir as emissões de GEE em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030 (MMA, 2017).

Na busca de reduzir as emissões de GEE e minimizar os impactos ambientais causados pelo

uso de combustíveis fósseis, o país tem adotado medidas como: A Política Nacional de Mobilidade Urbana, instituída pela Lei nº 12.587/2012 e estabelece em seu artigo 24 a elaboração do Plano Municipal de Mobilidade Urbana, como condição para o acesso a recursos federais destinados à mobilidade urbana a partir de abril de 2015. Esta lei tem relação com outras políticas nacionais recentemente aprovadas, com destaque para a Política Nacional de Mudanças Climáticas, instituída por meio da Lei Federal nº 12.187/2009. Esta lei estabelece atribuições complementares entre as três esferas do governo para a redução de emissões de GEE. Estas duas políticas nacionais, por sua vez, estão relacionadas aos esforços necessários para a promoção da melhoria da qualidade do ar, principalmente nos grandes centros urbanos (IEMA, 2014).

Em contrapartida ao compromisso nacional, nos últimos dez anos, a frota nacional de veículos cresceu 119% (IEA, 2009). De acordo com o PDTU/DF (2010), o Distrito Federal aumentou a frota em 74% de 2001 a 2009. Considerando a elevada renda do DF, a taxa de motorização tende a crescer ainda mais, gerando mais problemas como congestionamentos, poluição do ar e sonora, aumento de área destinada a estacionamento, ocorrência de acidentes, entre outros.

2. OBJETIVO

Neste contexto, em vista de mudanças desse cenário, esse estudo objetiva verificar e comparar o consumo energético e emissões GEE, gerado por veículos elétricos e à combustão interna, em dois contextos: operando em um sistema BRT e em um sistema convencional de transporte público por ônibus.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um grande desafio ainda enfrentado é a dominância de veículos particulares sobre o transporte público de alta capacidade (Hensher, 2007). Segundo Hensher (2007), alguns países estão perdendo participação nos transportes públicos, no entanto, outros começaram a reverter com sucesso o declínio da participação de mercado, principalmente por meio de investimentos em sistemas de ônibus baseados em infraestrutura, comumente chamados de *Bus Rapid Transit* (BRT). Embora os ônibus convencionais tenham um menor impacto ambiental em relação aos veículos particulares, ele ainda libera gases prejudiciais no ambiente urbano, onde as pessoas vivem. Portanto, as emissões dos ônibus urbanos devem ser reduzidas para alcançar uma cidade sustentável (Dreier *et al.*, 2018). Estudos vem mostrando que os veículos elétricos (VE) são opções em potencial quando se trata de redução de emissões veiculares. Segundo Majumdar *et al.* (2015), a emissão de GEE pode ser reduzida em 37% se adotado um sistema composto por VE. Além disso, estudos apontaram que o sistema de BRT pode trazer benefícios como a redução do tempo de viagem, alta capacidade de transporte de passageiros, se comparados com outros modos, redução no número de acidentes e emissão de poluentes (Cuéllar *et al.*, 2016).

Porém não se pode ter um cálculo universal de comparação de emissões entre os VE e veículos a combustão interna, pois o ciclo de vida de emissões de gases poluentes varia de acordo com o sistema no qual está inserido, onde contém características intrínsecas a ele (Ma *et al.*, 2012).

Mesmo havendo estudos que mostram a comparação entre veículos elétricos e à combustão interna, em relação a emissões de GEE (Campbell *et al.*, 2009; Saitoh *et al.*, 2005), esses estudos levam em conta somente a emissão direta (queima de combustível), além de

assumirem que os VE emitem significativamente menos esses poluentes e são altamente eficientes sem estarem inseridos em um cenário real.

Quaisquer decisões sobre como minimizar o problema das emissões de GEE do transporte público exigem compreensão das emissões quantitativas do atual sistema de transporte e tecnologias alternativas (Song *et al.*, 2017). Há muitos métodos para mensuração dessas emissões, mas a avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta ideal para avaliação dessas novas tecnologias (Ally e Pryor, 2016). A ACV é um efetivo processo analítico usado para avaliar os impactos ambientais em todas as fases de um ciclo de vida de emissões dos veículos, que incluem a extração de material, manufatura, uso, manutenção e fim de vida (Duan *et al.*, 2015). A ACV pode revelar a importância dos processos e materiais “ocultos” relativos a um produto ou componente individual (Song *et al.*, 2013). Este estudo segue uma abordagem denominada *Well-to-Wheels* (WTW), uma subclasse de ACV desenvolvida especificamente para o estudo da produção e uso de combustíveis automotivos (Orsi, 2016).

4. MÉTODO

Esse estudo foca na estimativa do consumo do uso de energia e emissões de GEE para a operação de ônibus, usando o Distrito Federal como estudo de caso. Para isso, será aplicado o conceito de WTW. Essa abordagem consiste em dois estágios: *Well-to-Tank* (WTT), que contabiliza a produção e fornecimento do combustível; e *Tank-to-Wheel* (TTW) que contabiliza o consumo energético da operação desses veículos na cidade. Assim, o escopo dessa análise será descobrir o ciclo de vida desses veículos, incluindo as seguintes fases:

- Ciclo de Vida do Combustível:
 - a. A produção e transporte de mercadorias de estoque;
 - b. A produção e distribuição de energia e eletricidade;
 - c. O veículo em fase de uso (também conhecido como TTW).

- Ciclo de Vida do Veículo:
 - a. A produção de materiais;
 - b. A fabricação, distribuição e montagem dos veículos;

A análise do sistema WTW representa a esfera de influência na qual os tomadores de decisão nas cidades e/ou operadores de ônibus podem ativamente reduzir as emissões de GEE do sistema de transporte de ônibus da cidade, por exemplo, substituindo ônibus urbanos antigos por alternativas mais sustentáveis e ao mesmo tempo econômicas. Em contraste, outras etapas de uma avaliação de ciclos de vida tais como a produção de veículos, a eliminação de veículos e a reciclagem estão bastante relacionados pelas atividades dos fabricantes de veículos. A análise WTW fornece uma indicação da magnitude do impacto que as mudanças feitas pelos planejadores da cidade podem alcançar em termos de economia de energia e redução de emissões no sistema de transporte de ônibus. A contribuição do descarte e manutenção de veículos é fora do escopo da análise deste estudo. No entanto, no que diz respeito ao limite de sistemas desta análise, deve-se notar que as emissões liberadas nesses dois estágios são insignificantes quando comparadas à fase de operação do ponto de vista do ciclo de vida (Faria *et al.* 2013; Ribau *et al.*, 2014).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ally, J.; Pryor, T. (2016) *Life cycle costing of diesel, natural gas, hybrid and hydrogen fuel cell bus systems, An Australian case study*. Energy Policy v.94, 2016, p.285-294.
- Campbell, J.E.; Lobell, D.B. e Field, C.B. (2009) *Greater transportation energy and GHG offsets from bioelectricity than ethanol*. Science v.324, n.5930, 2009, p.1055–1057.
- Cuéllar, Y.; Buitrago-Tello, R. e Belalcazar-Ceron L.C. (2016) *Life cycle emissions from a bus rapid transit system and comparison with other modes of passenger transportation*. Journal Ciencia, Tecnologia y futuro. v. 6, n. 3, p.123-134
- Dreier, D.; Silveira, S.; Khatiwada, D. Keiko V.O. Fonseca, K. V.O.; Nieweglowski, R. e Schepanski, R. (2018). *Well-to-Wheel analysis of fossil energy use and greenhouse gas emissions for conventional, hybrid-electric and plug-in hybrid electric city buses in the BRT system in Curitiba, Brazil*. Transportation Research Part D v.58, 2018, p.122–138.
- Duan, H.; Hu, M.; Zhang, Y.; Wang, J.; Jiang, W.; Huang, Q. e Li, J. (2015) *Quantification of carbon emissions of the transport service sector in China by using streamlined life cycle assessment*. Journal of Clean Production v.95, 2015, p.109-116.
- Faria, M.V., Baptista, P.C., Farias, T.L., 2014. Electric vehicle parking in European and American context: economic, energy and environmental analysis. Transp. Res. Part A Policy Pract. v.64, p.110–121.
- Hensher, D.A. (2007) *Sustainable public transport systems: Moving towards a value for money and network-based approach and away from blind commitment*. Transport Policy v.14, n.1, 2007, p.98-102
- IEA (2009) *Transport, energy and CO2*. International Energy Agency. Disponível em <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf>> Acesso em 11/06/18.
- IEA (2017) *Key world energy statistics*. Paris., France. International Energy Agency. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld_Statistics_2017.pdf> Acesso em 15/06/18.
- IEMA (2014) *Estimativa de redução das emissões atmosféricas resultante da implantação do Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte*. Relatório final. Disponível em <<http://www.energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2015/10/2014-10-09-Estimativa-de-emiss%C3%B5es-atmosf%C3%A9ricas-do-Plano-de-Mobilidade-Urbana-de-Belo-Horizonte-1.pdf>> Acesso em: 11/06/2018.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2014) *WG III Fifth Assessment Report*, IPCC.
- Lucon, O. e Goldemberg, J. (2009) *Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil*. Estudos Avançados. v.23, n.65, 2009, p.121-130.
- Ma, H.; Balthasar, F.; Tait, N.; Riera- Palou, X. e Harrison, A. (2012) *A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles*. Energy Policy. v.44, 2011, p.160-173.
- Majumdar, D.; Majhi, B. K.; Dutra, A.; Mandal, R. e Jash, T. (2015) *Study on possible economic and environmental impacts of electric vehicle infrastructure in public road transport in Kolkata*. Clean Technologies and Environmental Policy. v. 17, 2015, p.1093-1101.
- MMA (2017) Acordo de Paris <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>> acessado em 11/06/2018.
- Orsi, F., Muratori M., Rocco, M., Colombo, E. e Rizzoni, G. (2016) *A multi-dimensional well-to-wheels analysis of passenger vehicles in different regions, Primary energy consumption, CO2 emissions., and economic cost*. Applied Energy v.169, 2016, p.197-209.
- PDTU/DF (2010) *Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do DF e entorno*. Governo do Distrito Federal – Secretaria de Estado de Transportes. Disponível em: <http://editais.st.df.gov.br/pdtu/final/relatorio_final.pdf>. Acessado em: 20/06/2018
- Ribau, J.P., Silva, C.M., Sousa, J.M.C., 2014. *Efficiency, cost and life cycle CO2 optimization of fuel cell hybrid and plug-in hybrid urban buses*. Appl. Energy v.129, p.320–335.
- Saitoh, T.S. (2005) *A grand design of future electric vehicle to reduce urban warming and CO2 emission in urban area*. Renewable Energy v.30, 2005, p.1847-1860.
- Schaeffer, R.(s.d.) *Redução de emissões opções e perspectivas para os setores de energia, transporte e indústria*. Projeto “Coalizão de Empresas pelo Clima”. Fundação Brasileira para o desenvolvimento sustentável.

Camila Padovan da Silva (camilapadovans@hotmail.com)

Augusto Cesar de Mendonça Brasil (ambrasil@unb.br)

Programa de Pós-Graduação em Transportes, Anexo SG-12, 1º andar, Campus Universitário Darcy Ribeiro – Asa Norte, Universidade de Brasília, CEP:70910-900, Brasília, DF, Brasil