

IMPACTOS DA INTRODUÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NAS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA: UMA BREVE REVISÃO

Guilherme Henrique Mão¹
Lilian Lefol Nani Guarieiro²

RESUMO

A tecnologia dos veículos elétricos está cada vez mais ganhando a atenção do setor automotivo. A corrida para atingir as metas agressivas de redução de emissões de CO₂ está fazendo com que alguns países estudem banir a venda de veículos com motores a combustão interna e, ao mesmo tempo, dar incentivo para carros elétricos (chamados de veículos de emissão zero), pois estes ainda possuem baixa participação de mercado. Neste contexto, este estudo teve como objetivo fazer uma breve revisão da literatura em relação à introdução deste novo tipo de veículo e seu real impacto no nível de emissão de gases do efeito estufa. Foi observado que, apesar de muitos considerarem que o veículo elétrico não emite poluentes, eles geram um aumento no consumo de energia e, para gerar eletricidade, há emissão de poluente e essa poluição gerada varia de acordo com a matéria-prima utilizada. Portanto, foi possível observar que, mesmo considerando as emissões indiretas, na maioria dos estudos, os automóveis elétricos ajudam na redução da emissão de CO₂. Porém, o resultado precisa ser analisado regionalmente, pois cada país possui uma matriz energética diferente. Algumas ressalvas foram feitas em relação aos outros poluentes e aos resultados inesperados das políticas de incentivo.

Palavras-chave: Veículos elétricos, Emissões de CO₂, Matriz energética, Efeito estufa.

1 INTRODUÇÃO

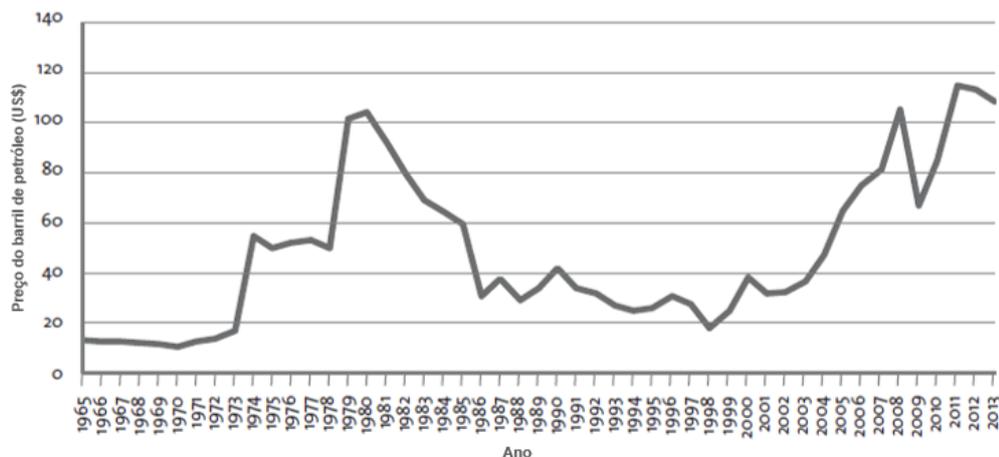
Atualmente, apesar de o veículo elétrico (em inglês, *electrical vehicle* ou EV), ser tratado como uma das maiores inovações do setor automotivo, a essência da sua tecnologia é datada de meados do século XIX. Segundo Høyer (2008), o surgimento desses veículos está diretamente relacionado com o desenvolvimento das baterias. Em 1859, Gaston Planté fez a primeira demonstração de uma bateria chumbo-ácido. Em 1881, Gustave Trouvé apresentou, na França, o primeiro automóvel elétrico utilizando a bateria de Planté. Na mesma década, veículos semelhantes foram apresentados na Inglaterra e EUA. Porém, no início do século XX, essa tecnologia entrou em declínio, causado, principalmente, pela introdução do sistema de produção em série, desenvolvido por Henry Ford, resultando em uma queda dos preços dos carros movidos a gasolina, pela autonomia maior destes e, também, pela queda no preço do petróleo (BARAN; LEGEY, 2011). Somente a partir dos anos 1970, devido ao aumento da conscientização ambiental, impulsionada pelo

¹ Pós-graduando em Engenharia Automotiva (Centro Universitário SENAI Cimatec). E-mail: guilhermemiao@gmail.com.br

² Doutorado em Química – Universidade Federal da Bahia – Professora Adjunta Centro Universitário SENAI CIMATEC. E-mail: lilian.guarieiro@fieb.org.br

crescimento da poluição atmosférica, e à primeira crise mundial do petróleo, resultando na elevação do preço do barril deste, conforme demonstrado pela Figura 1, os veículos elétricos voltaram a ter um cenário favorável ao seu ressurgimento (EHSANI et al., 2005).

Figura 1 - Evolução do preço bruto (US\$) do barril de petróleo



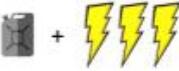
Fonte: Adaptade de VAZ; BARROS; CASTRO, 2015.

Com a conscientização ambiental ganhando espaço na mídia, diversos fóruns sobre geração e consumo de energia passaram a acontecer ao redor do mundo. Em 1992, aconteceu, no Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como ECO-92, com participação de mais de 100 chefes de estado e com o propósito de discutir formas de desenvolvimento sustentável e determinar metas para melhoria das condições ambientais do planeta (BARAN; LEGEY, 2011). Na mesma década, órgãos governamentais foram criados na Califórnia para monitorar a qualidade do ar e incentivos fiscais foram oferecidos para as montadoras de veículos automotivos que atingissem as metas de vendas de veículos elétricos. A partir disso, as grandes montadoras passaram a investir no desenvolvimento destes e, em 1997, a Toyota lançou o híbrido Prius, que foi lançado mundialmente em 2000, tornando-se um sucesso mundial no segmento (BARAN; LEGEY, 2011). Uma das mais importantes conferências a tratar de desenvolvimento sustentável nos últimos anos aconteceu em 2015, em Paris, e foi a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, com participação de 195 países. Nesta, foi selado o Acordo de Paris, que tem como principal compromisso manter o aumento da temperatura mundial em menos de 2 °C acima dos níveis pré-industriais, mas com meta de mantê-la a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais. Cada país desenvolveu seu plano para atingir as metas individualmente, e estas foram chamadas de Contribuições Nacionalmente Determinadas (UNFCCC, 2018). Este cenário pressionou ainda mais o setor automotivo para acelerar a busca por tecnologias alternativas e menos poluentes.

Atualmente, as opções de carros eletrificados ainda são limitadas, sendo mais presentes nos mercados mais maduros e com maior poder econômico, como Europa e EUA. Diferentes opções de motorização que utilizam das tecnologias de eletrificação dos automóveis são oferecidas: os puramente elétricos (do inglês, *battery electric vehicle* ou BEV), os *plug-in* híbridos (do inglês, *plug-in hybrid electric*

vehicle ou PHEV) e os híbridos convencionais (do inglês, *hybrid electric vehicle* ou HEV), sendo que estes ainda necessitam, obrigatoriamente, de abastecimento de combustível convencional para seu funcionamento. Maiores detalhes em relação às diferenças entre os três tipos podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 - Principais diferenças entre HEV, PHEV e BEV

	 Hybrid Electric Vehicle (HEV)	 Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)	 Battery Electric Vehicle (BEV)
Fonte de energia			
Consumo			
Emissões de escapamento			Zero emissões 
Emissões de geração de energia	Zero emissões 		

Fonte: Adaptado de REQUIA et al., 2018.

A eletrificação do setor automotivo ainda está acontecendo de maneira gradual e lenta. O número de licenciamentos dessa modalidade de veículos, no Brasil, representou, em 2017, 0,2% de participação de mercado, de um total de aproximadamente 2,2 milhões de automóveis e comerciais leves licenciados no ano. Os carros *flex* ainda representam a maior parcela do mercado, conforme a Tabela 1.

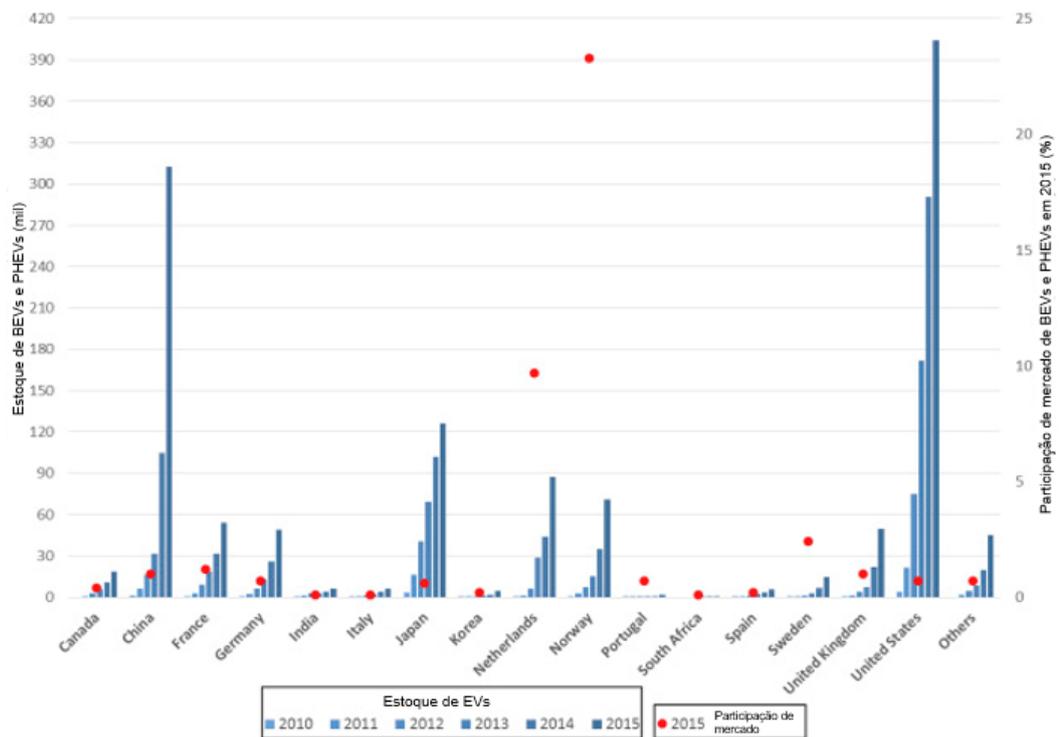
Tabela 1 - Evolução de vendas e participação de mercado dos EVs no Brasil.

Tipo de veículo	2013		2015		2017	
	Vendas (#)	Particip. (%)	Vendas (#)	Particip. (%)	Vendas (#)	Particip. (%)
Gasolina	189.109	5,3	136.150	5,5	68.902	3,2
Elétrico	491	0,0	846	0,0	3.296	0,2
Flex	3.169.114	88,5	2.194.020	88,4	1.927.221	88,6
Diesel	221.182	6,2	149.517	6,0	176.567	8,1

Fonte: Adaptado de ANFAVEA, 2018.

Nos mercados mais desenvolvidos, o cenário é semelhante, sendo os maiores destaques a Noruega, com mais de 20% de participação de mercado para as tecnologias elétricas de motorização, e a Holanda, com 10%, conforme observado na Figura 3.

Figura 3 - Participação de mercado dos BEVs e PHEVs



Fonte: Adaptado de REQUIA et al., 2018.

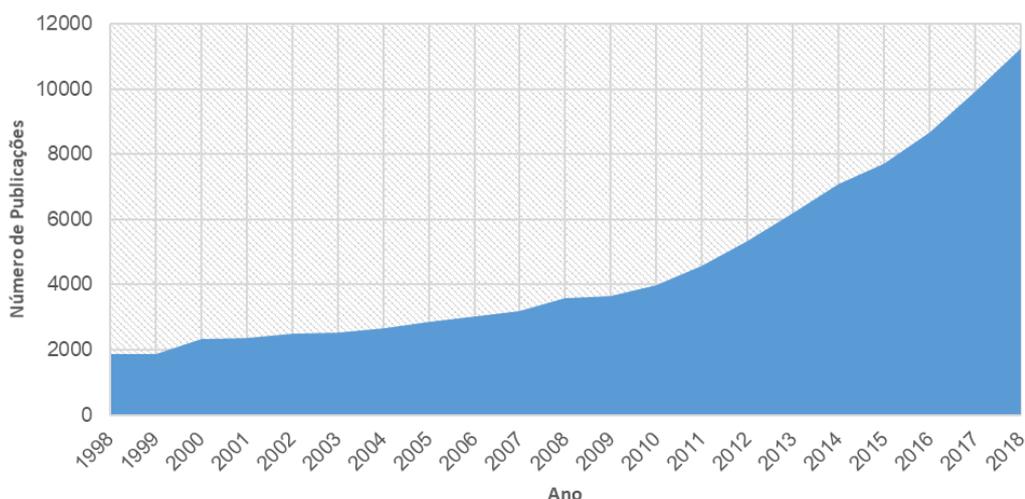
Porém, esse cenário está propenso a sofrer grandes alterações de maneira bem rápida, considerando que muitos dos grandes mercados automotivos, como China, Reino Unido, Alemanha, França e Índia, já admitem trabalhar em planos para banir a venda de veículos novos movidos por combustíveis fósseis entre 2030 e 2040 (CNN, 2017). A legislação de emissões atual da União Europeia é de 130 gCO₂/km, e a meta aprovada para 2021 é de 95 gCO₂/km para carros de passeio, cujo nível é medido pelo ciclo New European Driving Cycle (NEDC). Em 2017, foi apresentada a proposta de redução do nível de emissões em 15% para 2025 e 30% para 2030, ambas em relação à meta de 2021. A proposta ainda prevê incentivos para os chamados ZEVs (em inglês, *zero emission vehicle*), como os BEVs, e também para automóveis de baixa emissão (abaixo de 50 gCO₂/km), como, por exemplo, os PHEVs, sendo que as montadoras que atingirem uma participação de mercado maior do que o determinado, ganharão mais benefícios (EC, 2018). No Brasil, não foram divulgados ainda os detalhes da próxima legislação que irá vigorar no setor automotivo, chamada de Rota 2030, e quais serão suas diretrizes para os veículos elétricos, mas, por enquanto, é difícil projetar um grande aumento da participação de mercado destes.

Baseado neste cenário apresentado e considerando, conforme projeções, o banimento, nos próximos anos, dos veículos com motores a combustão interna nos principais mercados do mundo, o objetivo deste trabalho foi realizar uma breve revisão dos impactos da introdução dos veículos elétricos nas emissões de gases do efeito estufa.

2 METODOLOGIA

Este artigo foi elaborado baseado numa revisão da literatura, utilizando como banco de dados o *Science Direct* (www.sciencedirect.com) e o SciELO (<http://www.scielo.org>), considerando as publicações até 2018, sendo que no SciELO não foi encontrado nenhum artigo diretamente relacionado ao tema e o Science Direct é o que possui maior número de publicações pertinentes ao presente artigo. Foram encontrados, inicialmente, quase 120 mil artigos com a palavra-chave “*electrical vehicle*”. Utilizando a palavra-chave “*electrical vehicle*” combinada com “*CO₂ emission*” e “*energy matrix*”, o número de resultados foi reduzido para aproximadamente 888 publicações. Foi possível observar que o aumento no interesse pela eletrificação no setor automotivo também pode ser notado nesses bancos de dados, com o crescimento anual significativo no número de publicações com a palavra-chave “*electrical vehicle*”, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Aumento anual do número de publicações com a palavra-chave “*electrical vehicle*”



Fonte: Adaptado de SCIENCE DIRECT, 2018.

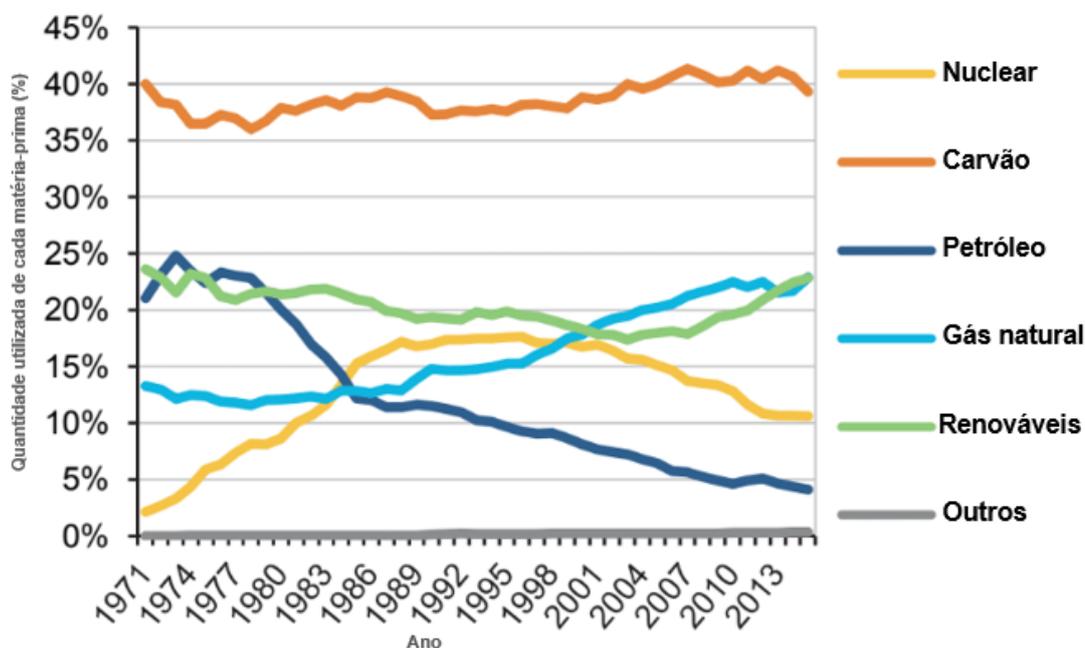
Apesar do grande número de publicações relacionadas ao tema, conforme observado nas pesquisas, o número de artigos encontrados, pertinentes ao assunto, em português foi baixo. Os critérios de seleção para a base teórica deste trabalho foram o período, considerando somente artigos publicados nos últimos 10 anos, reduzindo para 398 o total de publicações, o número de citações e os periódicos com avaliações acima de B1, de acordo com a classificação da Qualis.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apesar de muitos meios de comunicação chamarem os veículos elétricos de ZEV, a introdução deles vai gerar um aumento no consumo de energia elétrica, portanto, eles ainda irão contribuir para o efeito estufa de forma indireta. Segundo a *International Energy Agency* (IEA), 42% das emissões mundiais de gás carbônico, do total do setor de energia vêm da queima de combustíveis para geração de eletricidade e calor (IEA, 2017a). Entre as principais fontes para geração de

eletricidade, a mais utilizada globalmente é o carvão, como pode ser observado na Figura 5.

Figure 5 - Matriz energética mundial



Fonte: Adaptado de IEA, 2017b.

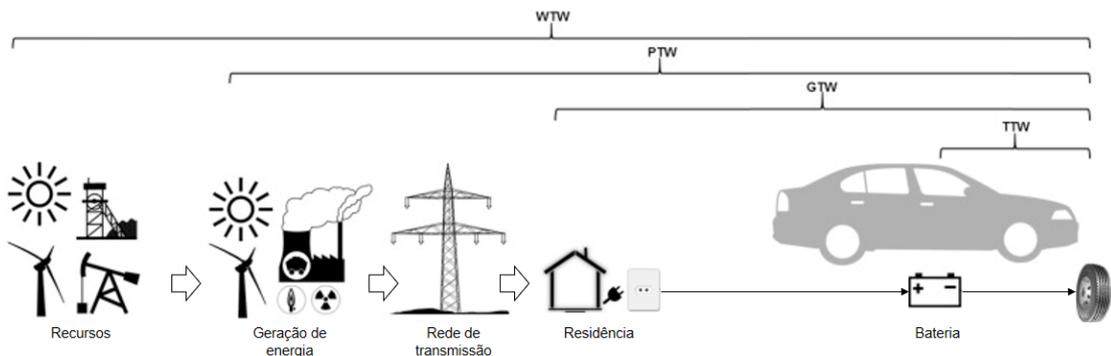
Uma comparação precisa dos níveis de emissões de gases do efeito estufa para cada matéria-prima é difícil de ser obtida porque ele é diferente dependendo do local, pois está diretamente relacionada com a tecnologia aplicada em cada planta. Porém, foi possível observar que as mais poluentes, do ponto de vista da contribuição para o efeito estufa, são as usinas que utilizam combustíveis fósseis (WU et al., 2018), sendo o carvão a matéria-prima que mais emite CO₂ (VARGA, 2013; PENG et al., 2018). Portanto, a utilização dos EVs precisa ser analisada com cautela antes de concluir que somente a eletrificação do setor automotivo irá resolver o problema de emissão de gases do efeito estufa.

As publicações consideradas para este estudo fazem uma análise para mercados automotivos específicos. Dessa forma, não foram encontrados artigos abordando os impactos dos veículos elétricos em escala global. Outro fator observado foi que a maioria dos estudos focam nos impactos de emissões de gases do efeito estufa, levando em consideração somente as emissões de gás carbônico ou fazendo a equivalência dos outros gases emitidos para o gás carbônico, chamando de CO₂ equivalente ou CO_{2,e}. Como foram analisados cenários para cada país separadamente, ou blocos de países, os resultados observados em relação à emissões de CO₂ foram variados.

Para fazer a correlação entre automóveis eletrificados e suas emissões indiretas, vários tipos de análises podem ser adotadas. Uma das análises mais utilizadas é a chamada *well to wheel* (WTW). Esta considera todos os impactos dos EVs, desde a extração da matéria-prima para a geração de energia, as perdas nos transportes, as emissões das usinas elétricas, perdas na distribuição e nas redes de

transmissão, o recarregamento do carro, até a energia gasta pelo veículo. As outras análises, que são a *plant to wheel* (PTW), a *grid to wheel* (GTW) e a *tank to wheel* (TTW), estão dentro da WTW, porém desconsideram alguma das etapas dela para o cálculo das emissões. A Figura 6 demonstra as diferenças entre cada uma.

Figura 6 - Tipos de análises para Evs



Fonte: ENSSLEN et al., 2018.

Estudos como os de Cavallaro et al. (2017), Hao et al. (2013), Kloess; Müller (2011), Manjunath; Gross (2017), Moro (2017), Orsi et al. (2016), Pasaoglu et al. (2012), Peng et al. (2018), Scown et al. (2013), van Vliet et al. (2010) e Yabe et al. (2012) são exemplos de análise WTW. Já Álvarez et al. (2015), Holtsmark; Skonhoft (2014), Teixeira; Sodré (2018) e Varga (2013) podem ser citados como exemplos de TTW. Temos ainda um tipo de análise mais completa, que é a análise do ciclo de vida, chamada de LCA (*Life Cycle Assessment*), esta considera todos os fatores da WTW, acrescentando os impactos do ciclo de vida do veículo (produção e transporte de materiais e as etapas de manufatura, descarte e reciclagem do veículo).

A LCA foi aplicada ou revisada por Choma; Ugaya (2017), Requia et al. (2018) e Wu et al. (2018). O estudo de Varga (2013) é um de exemplo de análise TTW para a Romênia. Sua metodologia foi baseada em simulações no AVL Cruise, que é um *software* de simulação de *powertrain*, tanto em nível de sistema quanto em nível veicular, para quatro diferentes veículos (Citroën C-ZERO, Mitsubishi i-MiEV, Renault Kangoo Z.E., Fluence Z.E.), que foram os primeiros EVs importados para o país, considerando as especificações de cada veículo para alimentar o *software*, com o objetivo de obter a quantidade de energia consumida, em kW, no ciclo da NEDC. Com os resultados obtidos, ele calculou então o nível de emissões baseado na matriz energética romena, que, de acordo com os dados de 2008 utilizados pelo estudo, tem como principal fonte, para geração de energia, o carvão (aproximadamente 42%). As outras fontes principais são: renováveis (26%), gás natural (17%) e nuclear (13%). A partir dos dados de emissões para cada um dos tipos de produção energética, o estudo obteve a média de emissões para cada veículo estudado. O valor máximo obtido foi o do Kangoo ZE (115,9 gCO₂/km) e o mínimo foi o do Citroen C-Zero (84 gCO₂/km). Ainda foi comparado com o resultado médio dos carros médios com motor de combustão interna da Europa, que estão na faixa de 110-120 gCO₂/km. Teixeira e Sodré (2018) publicaram uma análise dos impactos nas emissões de CO₂ em uma cidade do interior de Minas Gerais, através da substituição da frota de táxis, de motores convencionais por elétricos. A metodologia é semelhante à utilizada por Varga (2013). A principal diferença ente as

duas publicações foi a matriz energética de cada país, sendo que a do Brasil é muito mais focada em fontes renováveis, gerando resultados mais vantajosos para os veículos elétricos (de 9 a 18 gCO₂/km).

Peng et al. (2018) faz uma análise WTW, comparando *Internal Combustion Engine Vehicle* (ICEV), PHEV e BEV em condições reais de direção para o Canadá, a China, os EUA, o Japão e a Europa. São consideradas as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O, e convertidas para dióxido de carbono equivalente (CO_{2,e}). Os resultados de consumo de combustível foram de acordo com testes de laboratórios organizados por órgãos responsáveis para cada país e, posteriormente, multiplicados por um fator de 1,3, usado para converter os dados de laboratório para condições reais de direção (iCET, 2016). Foi observado que o consumo de energia de um ICEV é de, aproximadamente 3 vezes o consumo de um EV (ORSI et al., 2016). De uma maneira geral, os resultados foram favoráveis para os veículos elétricos, sendo que este obteve os piores índices na China devido à matriz energética do país focada no carvão. O Canadá, por ser um país com matriz focada em fontes renováveis, obteve os melhores índices. Em relação aos ICEVs, os piores resultados foram no Canadá, pois o ciclo da gasolina neste país é mais poluente em relação aos outros. O melhor resultado foi observado na Europa. A tabela 2 consolida os principais resultados observados nos artigos.

Tabela 2 - Principais resultados de emissões de gases do efeito estufa

Publicação	Tipo de análise	País	Veículo	Motorização	Emissões
Varga (2013)	TTW	Romênia	Carro médio - Toyota Prius	ICEV (G) EV HEV	110-120 gCO ₂ /km 84-116 gCO ₂ /km 104 gCO ₂ /km
Teixeira; Sodré (2018)	TTW	Brasil	-	BEV	9-18 gCO ₂ /km
Peng et al. (2018)	WTW	China	-	ICEV (G)	248 gCO _{2,e} /km
			-	BEV	170 gCO _{2,e} /km
			-	PHEV	172 gCO _{2,e} /km
		EUA	-	ICEV (G)	263 gCO _{2,e} /km
			-	BEV	131 gCO _{2,e} /km
			-	PHEV	163 gCO _{2,e} /km
Europa	-	ICEV (G)	195 gCO _{2,e} /km		
	-	BEV	56 gCO _{2,e} /km		
	-	PHEV	104 gCO _{2,e} /km		
Orsi et al. (2016)	WTW	Brazil	-	ICEV (E10)	212 gCO ₂ /km
			-	ICEV (E85)	47 gCO ₂ /km
			-	PHEV	108 gCO ₂ /km
			-	BEV	18 gCO ₂ /km
		China	-	ICEV (E10)	226 gCO ₂ /km
			-	ICEV (E85)	118 gCO ₂ /km
			-	PHEV	174 gCO ₂ /km
			-	BEV	182 gCO ₂ /km
		EUA	-	ICEV (E10)	223 gCO ₂ /km
-	ICEV (E85)		113 gCO ₂ /km		
-	PHEV		157 gCO ₂ /km		
-	BEV	140 gCO ₂ /km			
Cavallaro (2017)	WTW	Alemanha	Carro médio	ICEV (G)	249 gCO ₂ /km

			-	HEV	163 gCO ₂ /km
			-	PHEV	120 gCO ₂ /km
			-	BEV	241 gCO ₂ /km
		Reino Unido	Carro médio	ICEV (G)	244 gCO ₂ /km
			-	HEV	163 gCO ₂ /km
			-	PHEV	119 gCO ₂ /km
			-	BEV	142 gCO ₂ /km
		França	Carro médio	ICEV (G)	264 gCO ₂ /km
			-	HEV	163 gCO ₂ /km
			-	PHEV	119 gCO ₂ /km
			-	BEV	147 gCO ₂ /km
Holtmark e Skonhoft (2014)	TTW	Matriz energética mundial	Toyota Prius Nissan Leaf	HEV EV	110 gCO ₂ /km 113 gCO ₂ /km

Apesar da tentativa de comparar os estudos, ainda não é possível obter total correlação entre eles, pois, mesmo possuindo metodologia semelhantes, alguns consideram fatores não utilizados em outros, o que pode resultar em diferenças entre os resultados de cada um. Porém, algumas metodologias já estão bem difundidas, sendo o *Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation* (GREET) a mais utilizada. Ele é um *software* que faz análises WTW e foi desenvolvido pelo laboratório dos EUA Argonne National Laboratory (ORSI et al., 2016). Outros estudos apresentam metodologias próprias, que eles julgam ser as mais adequadas, para medir os impactos dos carros elétricos para as emissões de gases do efeito estufa, como, por exemplo, os artigos Manjunath; Gross (2017) ou Delluchi (2003).

A maioria dos artigos considerados foi favorável ao uso dos veículos elétricos em detrimento dos ICEV, porém, alguns concluíram que a substituição não mudaria o atual cenário de emissões de gases do efeito estufa ou fazem ressalvas em relação aos EVs. O estudo de Wu et al. (2018), descreve que os níveis emissões de gases do efeito estufa não sofreriam alterações. Huo et al. (2013), em uma das poucas publicações consideradas para este estudo que aborda outros poluentes além do dióxido de carbono, afirmam que a substituição dos ICEVs por BEVs na China traz benefícios em relação ao CO₂, porém aumenta as emissões de materiais particulados, NO_x e SO₂. Outro problema, observado em Holtmark; Skonhoft (2014), foi que, na Noruega, a política de incentivos dados para os carros elétricos (isenção de pedágio, recarga grátis, uso de faixas exclusivas para ônibus), ao invés de incentivar a população, principalmente a de alta renda, a trocar o veículo convencional por EVs, está fazendo com que eles comprem estes como um segundo carro para a casa, mantendo os tradicionais e, em alguns casos, a população está deixando de usar o transporte público e passando a usar os veículos eletrificados. A solução apresentada, neste caso, seria taxar e restringir o uso de veículos, ao invés de dar incentivos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado na revisão feita para este estudo, um dos principais fatores que vão fazer os veículos elétricos entregarem os resultados esperados é a matriz energética de cada país. Como cada país possui fontes de geração de energia diferentes, os

resultados e as políticas de incentivo devem sempre ser analisadas regionalmente para concluir se o BEV é a tecnologia mais vantajosa do ponto de vista de emissões de gases do efeito estufa. Em alguns países, os biocombustíveis apresentaram níveis de emissões melhores que os elétricos.

Também foi possível concluir que, mesmo reduzindo as emissões, na maioria dos casos, somente o uso da tecnologia de eletrificação no setor automotivo não é suficiente para atingir as metas de poluentes estabelecidas. Portanto, é importante aumentar o uso de fontes de geração de energia renováveis, atrelada à implementação de tecnologias menos poluentes neste setor. Apesar disso, somente a substituição dos ICEVs para EVs já ajudaria a tirar a poluição dos grandes centros e levaria para locais mais afastados, onde, normalmente, as usinas de geração de eletricidade estão localizadas.

No Brasil, apesar de possuir uma matriz energética extremamente favorável para a aplicação dos carros elétricos, do ponto de vista do efeito estufa, a falta de investimento em infraestrutura (pontos de carga, por exemplo), atrelado ao alto preço dessa tecnologia, além da falta de uma política de incentivos definida, faz com que, atualmente, o setor automotivo ainda seja dominado pelos ICEVs.

Outros serviços e tecnologias que não foram citados, mas que podem contribuir para a diminuição da poluição é o serviço de compartilhamento de carros (*Car Sharing*) e os veículos autônomos. Estes dois, somados aos BEVs, podem levar a uma frota menos poluente e, ao mesmo tempo, menor em números absolutos, resultando em uma queda nos níveis de emissões de gases do efeito estufa.

REVISION OF THE ELECTRICAL VEHICLES INTRODUCTION AND ITS IMPACTS ON GREENHOUSE GASES EMISSIONS

Guilherme Henrique Mião
Lilian Lefol Nani Guarieiro

ABSTRACT

The technology of electrical vehicles has been increasingly gaining the automotive sector attention. The aggressive goals for reductions of CO₂ emissions is leading some countries to consider banning the sales of internal combustion engines vehicles and, at the same time, they are giving incentives for electrical vehicles (called zero emission vehicles) because these still have low market share. This study aims to provide a literature revision regarding the introduction of electrical vehicles and its real impacts on greenhouse gases emissions. It was noted that, despite EVs image of zero pollutant emission, they increase the energy consumption. There are pollutant emissions related to energy generation and it varies according to the source of the energy. Even in this scenario, though, and based on the publications considered for this study, it was possible to conclude that BEVs can help reduce CO₂ emissions. However, the results must be analyzed regionally, since each country or region a specific energy matrix, which results in different levels of emissions. Also, there were reservations regarding other pollutants and unexpected results of electrical vehicle incentive policies.

Keywords: Electrical Vehicle. CO₂ emissions. Energy matrix. Greenhouse effect.

REFERÊNCIAS

ÁLVAREZ, Roberto. et al. Analysis of low carbon super credit policy efficiency in European Union greenhouse gas emissions. **Energy**, v. 82, p. 996-1010, 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. Estatísticas. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/estatisticas-2017.html>>. Acessado em: 10 maio 2018.

BARAN, Renato; LEGEY, Luiz Fernando Loureiro. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, mar. 2011.

CABLE NEWS NETWORK. These countries want to ban gas and diesel cars. Disponível em: <<http://money.cnn.com/2017/09/11/autos/countries-banning-diesel-gas-cars/index.html>>. Acesso em: 16 maio 2018.

CAVALLARO, Federico et al. Should BEVs be subsidized or taxed? A European perspective based on the economic value of CO₂ emissions. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 2017.

CHOMA, Ernani Francisco; UGAYA, Cássia Maria Lie. Environmental impact assessment of increasing electric vehicles in the Brazilian fleet. **Journal of Cleaner Production**, v. 152, p. 497-507, 2017.

DELUCCHI, Mark. A lifecycle emissions model (LEM): lifecycle emissions from transportation fuels, motor vehicles, transportation modes, electricity use, heating and cooking fuels, and materials. 2003.

EHSANI, Mehrdad et al. **Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles**. CRC press, 2018.

ENSSLEN, Axel et al. Empirical carbon dioxide emissions of electric vehicles in a French-German commuter fleet test. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 263-278, 2017.

EUROPE COMMISSION. Proposal for post-2020 CO2 targets for cars and vans. Disponível em: <https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/proposal_en>. Acesso em: 15 maio 2018.

HØYER, Karl Georg. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. **Utilities Policy**, v. 16, n. 2, p. 63-71, 2008.

HAO, Han; WANG, Hewu; OUYANG, Mingguo. Fuel conservation and GHG (Greenhouse gas) emissions mitigation scenarios for China's passenger vehicle fleet. **Energy**, v. 36, n. 11, p. 6520-6528, 2011.

HOLTSMARK, Bjart; SKONHOFT, Anders. The Norwegian support and subsidy policy of electric cars. Should it be adopted by other countries?. **Environmental science & policy**, v. 42, p. 160-168, 2014.

HUO, Hong et al. Climate and environmental effects of electric vehicles versus compressed natural gas vehicles in China: A life-cycle analysis at provincial level. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 3, p. 1711-1718, 2013.

iCET (the Innovation Center for Energy and Transportation). Real-world Passenger Vehicle Fuel Consumption Analysis, Beijing, China (2015). Disponível em: <<http://www.icet.org.cn/admin/upload/2015080439650285.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2017 - Highlights. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustionHighlights2017.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. World Energy Balances 2017: Overview. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyBalances2017Overview.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2018.

KLOESS, Maximilian; MÜLLER, Andreas. Simulating the impact of policy, energy prices and technological progress on the passenger car fleet in Austria — A model based analysis 2010–2050. **Energy Policy**, v. 39, n. 9, p. 5045-5062, 2011.

MANJUNATH, Archana; GROSS, George. Towards a meaningful metric for the quantification of GHG emissions of electric vehicles (EVs). **Energy Policy**, v. 102, p. 423-429, 2017.

MORO, A. **Transportation Research Part D**, (2017). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.012>>. Acesso em: 10 maio 2018.

ORSI, Francesco et al. 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, p. 197-209, 2016.

PASAOGLU, Guzay; HONSELAAR, Michel; THIEL, Christian. Potential vehicle fleet CO2 reductions and cost implications for various vehicle technology deployment scenarios in Europe. **Energy Policy**, v. 40, p. 404-421, 2012.

PENG, Tianduo; OU, Xunmin; YAN, Xiaoyu. Development and Application of an Electric Vehicles Life-cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions Analysis Model. **Chemical Engineering Research and Design**, 2017.

REQUIA, Weeberb J. et al. How clean are electric vehicles? Evidence-based review of the effects of electric mobility on air pollutants, greenhouse gas emissions and human health. **Atmospheric Environment**, 2018.

SCOWN, Corinne D. et al. Achieving deep cuts in the carbon intensity of US automobile transportation by 2050: complementary roles for electricity and biofuels. **Environmental science & technology**, v. 47, n. 16, p. 9044-9052, 2013.

TEIXEIRA, Ana Carolina Rodrigues; SODRÉ, José Ricardo. Impacts of replacement of engine powered vehicles by electric vehicles on energy consumption and CO2 emissions. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 59, p. 375-384, 2018.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. The Paris Agreement. Disponível em: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>>. Acesso em: 16 maio 2018.

VAN VLIET, Oscar PR et al. Techno-economic comparison of series hybrid, plug-in hybrid, fuel cell and regular cars. **Journal of Power Sources**, v. 195, n. 19, p. 6570-6585, 2010.

VARGA, Bogdan Ovidiu. Electric vehicles, primary energy sources and CO2 emissions: Romanian case study. **Energy**, v. 49, p. 61-70, 2013.

VAZ, Luiz Felipe Hupsel; BARROS, Daniel Chiari; CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de. Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento. **BNDES Setorial, Rio de Janeiro**, n. 41, 2015.

WU, Zhixin et al. Life cycle greenhouse gas emission reduction potential of battery electric vehicle. **Journal of Cleaner Production**, v. 190, p. 462-470, 2018.

YABE, Kuniaki et al. Market penetration speed and effects on CO₂ reduction of electric vehicles and plug-in hybrid electric vehicles in Japan. **Energy Policy**, v. 45, p. 529-540, 2012.