

EXPECTATIVA DA EMISSÃO DE CARBONO DE VEÍCULOS ALIMENTADOS PELA REDE ELÉTRICA NO CONTEXTO BRASILEIRO

Silvio de Andrade Figueiredo¹

¹Consultor Independente

E-mail: safprobox@gmail.com

RESUMO

As emissões do “tanque a roda” dos veículos elétricos cuja alimentação é feita por meio da rede elétrica, que são os veículos exclusivamente a bateria e os veículos “plug-in”, é praticamente nula. Entretanto, no que tange as emissões de gases de efeito estufa é imprescindível considerar o ciclo de vida completo associado a seu uso. Ou seja, é necessário também considerar as emissões do “poço ao tanque” desses veículos, sobretudo associadas à geração, distribuição e armazenamento da energia elétrica por eles utilizada. Este trabalho avalia essa questão diante da expectativa de evolução do setor de energia elétrica no Brasil.

1. INTRODUÇÃO

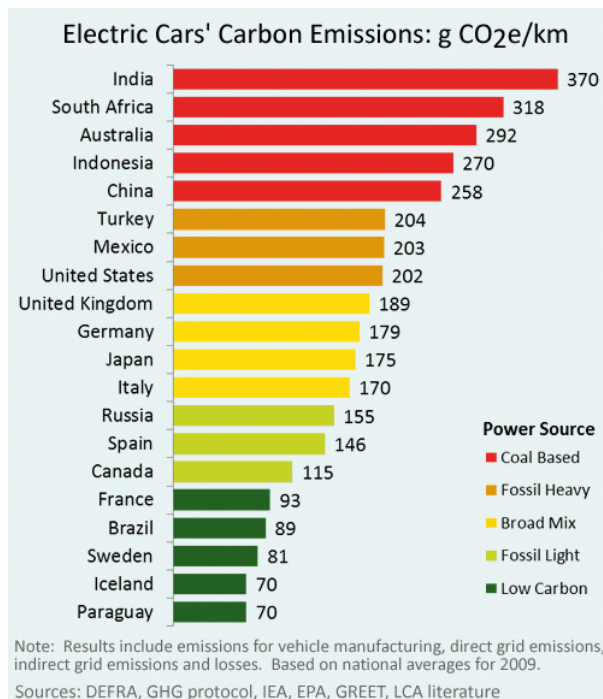
As emissões do “tanque a roda” (TTW, sigla em inglês) dos veículos elétricos cuja alimentação é feita por meio da rede elétrica, que são os veículos exclusivamente a bateria (BEV, sigla em inglês) e os veículos “plug-in” (PHEV, sigla em inglês) operando à bateria, são praticamente nulas quando comparadas com as emissões dos veículos dotados de motores de combustão. Só não o são rigorosamente nulas porque ainda há alguma emissão, como por exemplo, de material particulado decorrente do uso de pneus e freios. Entretanto, sobretudo no que tange às emissões de gases de efeito estufa (GEE), é imprescindível considerar o ciclo de vida completo associado ao emprego desses veículos. Ou seja, é necessário também considerar as emissões do “poço ao tanque” (WTT, sigla em inglês) desses veículos.

Aqui cabe ressaltar que os PHEVs, apesar de dotados de motores de combustão, são concebidos para operarem tipicamente à bateria, servindo esses motores somente para estender sua autonomia quando necessário. Por esse motivo, BEVs e PHEVs, que são os objetos deste trabalho, serão denominados de agora em diante neste texto simplesmente veículos elétricos. Apesar de também disporem de componentes elétricos em seu sistema de propulsão, os veículos híbridos elétricos (HEV, sigla em inglês) e os veículos convencionais serão tratados separadamente.

Visando subsidiar tecnicamente a avaliação do emprego de veículos elétricos no Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) do Ministério de Minas e Energia (MME) divulgou recentemente o documento “Eletromobilidade e Biocombustíveis” [1]. Este documento apresenta uma visão panorâmica dessa questão, revendo de forma genérica as tecnologias veiculares empregadas, requisitos de produção, mercado, emissões e infraestrutura requerida. Como os demais itens, a questão da emissão de GEE também é tratada de forma genérica.

Para exemplificar a dimensão da emissão do “poço a roda” (WTW, sigla em inglês) de GEE dos veículos elétricos é apresentado na Figura 1 o resultado de um estudo realizado em 2013 por um agrupamento científico denominado “Shrink That Footprint” [2], que mostra a emissão por quilômetro de CO₂ equivalente dos veículos elétricos em diversos países, o Brasil entre eles. Naturalmente os resultados são tanto mais favoráveis quanto menor o conteúdo de carbono das fontes de energia empregadas para gerar a energia elétrica.

Figura 1. Emissão por quilômetro de CO₂ equivalente em diversos países



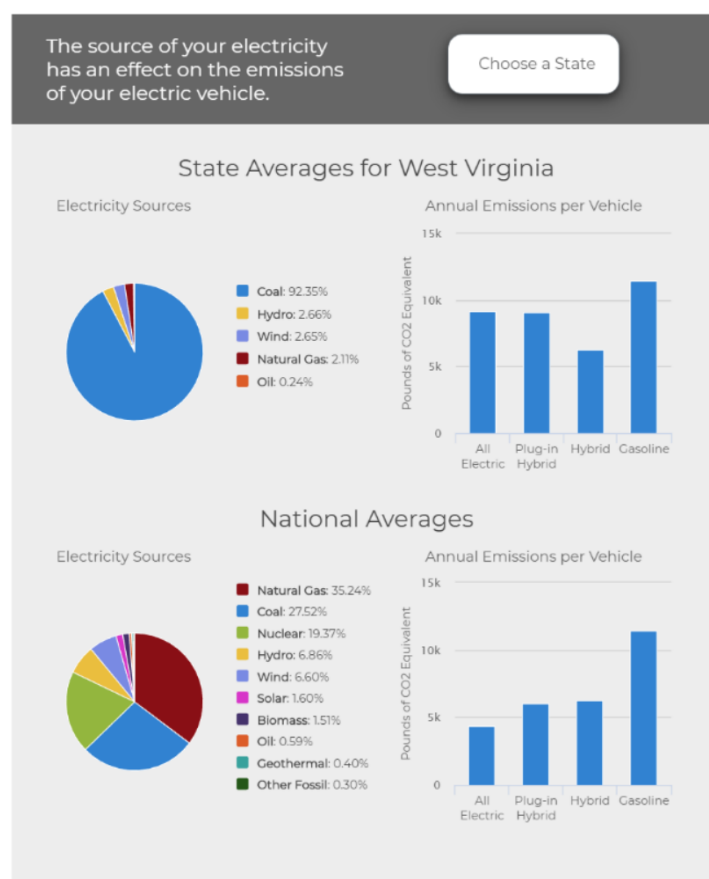
Fonte: SHRINK THAT FOOTPRINT. “Shades of Green: Electric Cars’ Carbon Emissions Around the Globe”. (2013)

Critério semelhante é hoje empregado pelo Ministério de Energia dos Estados Unidos (USDOE, sigla em inglês), para avaliar a emissão desses veículos em cada um dos estados, como pode ser visto na página “Emissions from Hybrid and Plug-In Electric Vehicles” do “Alternative Fuels Data Center” do “Office of Energy Efficiency & Renewable Energy” (vide https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_emissions.html) ilustrada na Figura 2.

Para destacar a importância desse aspecto, nesta ilustração foi propositalmente selecionado o estado de “West Virginia” por ser este o que apresenta a condição mais desfavorável ao uso de veículos elétricos. Por outro lado, observar que a média nacional estadunidense, mostrada na parte inferior dessa figura, é significativamente mais favorável ao uso dos BEVs, indicando uma redução da ordem de 62% da emissão de GEE.

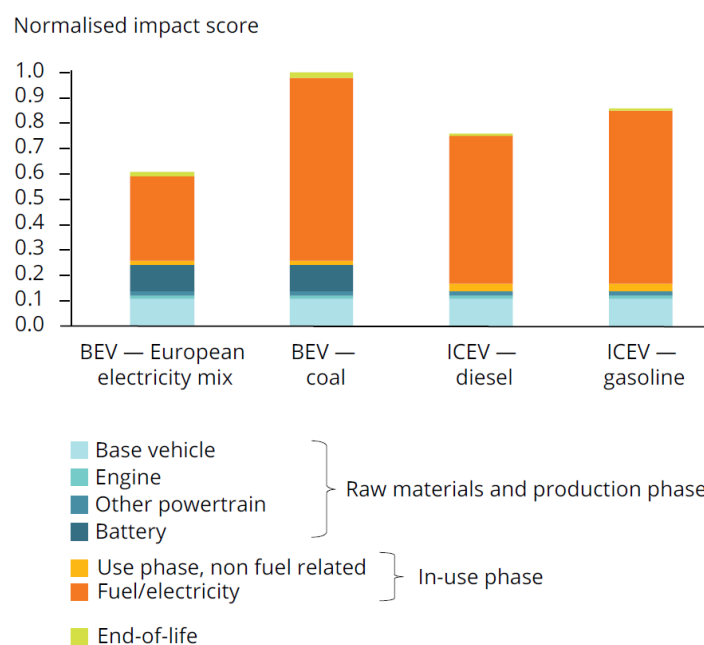
No contexto da Comunidade Europeia, em seu recente “Electric Vehicles from Life Cycle and Circular Economy Perspectives - TERM 2018” [3], a Agência Europeia do Meio Ambiente (EEA, sigla em inglês) conclui que na média a redução da emissão de GEE do “poço a roda” proporcionada pelos BEVs em relação a veículos a gasolina equivalentes é de 26% a 30%, mas que em alguns casos, onde geração é feita com carvão, que essa emissão é significativamente superior. Esses resultados estão ilustrados na Figura 3.

Figura 2. Emissão anual de CO₂ equivalente por veículo elétrico nos EUA.



Fonte: USDOE/AFDC “Emissions from Hybrid and Plug-In Electric Vehicles” (2019)

Figura 3. Impacto relativo na mudança climática dos BEVs na União Europeia.



Fonte: EU/EEA “Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives - TERM 2018” (2018)

Convém também observar nessa figura as contribuições relativas de cada parcela associada às fases de produção, uso e reciclagem desses veículos. Observar que no que tange as fases de produção do veículo básico, do motor e de outros componentes do trem de potência não existem diferenças significativas entre eles. E se por um lado os veículos convencionais geram mais GEE durante o uso não relacionado ao suprimento energético (“non fuel related”), os BEVs geram, em princípio, mais GEE para sua reciclagem (“end-of-life”). A soma destas duas parcelas para os dois tipos de veículos também resultam valores próximos, praticamente anulando as diferenças entre eles relacionadas a estas parcelas.

No que refere à emissão de GEE, onde de fato os veículos elétricos se diferenciam dos convencionais é na parcela relacionada à energia consumida para movimentar o veículo, seja ela originariamente combustível ou energia elétrica. Por outro lado, a emissão de GEE para a produção da bateria é também expressiva. Como a produção da bateria também requer muita energia elétrica, o eventual benefício do veículo elétrico também dependerá da fonte de energia empregada nesse processo.

Para o computo dessa emissão associada à produção da bateria no momento tipicamente se considera as condições onde elas são usualmente produzidas, China, Coreia do Sul e Japão. Como esses países utilizam muita termogeração com combustíveis fósseis, isso reduz o eventual benefício dos veículos elétricos. O ICCT [4] levantou diversos estudos associados a essa questão e adotou em sua avaliação um valor médio de 175 kg CO₂e/kWh, estimativa que será utilizada adiante.

Geração de energia por meio fontes térmicas podem também causar a emissão de poluentes tóxicos, mas seu impacto local dependerá da localização dessas unidades geradoras em relação às regiões onde haja maior concentração de poluentes. Além disso, potencialmente é mais fácil mitigar e controlar emissões tóxicas que ocorrem de forma centralizada nessas unidades geradoras do que fazê-lo em uma frota dispersa de veículos.

Não é incomum observar-se em artigos defendendo o uso de veículos elétricos a declaração que, como a geração de energia elétrica produzida no Brasil é renovável, a emissão de GEE desses veículos é nula. Um dos objetivos deste trabalho é esclarecer e aprofundar um pouco esse assunto. O outro objetivo é o de destacar alguns aspectos adicionais, além daqueles já identificados pela EPE, que devem ser levados em consideração no planejamento da potencial eletrificação da frota brasileira. Como será visto, trata-se de um tema bastante complexo onde existe uma série de pontos que ainda precisam ser amadurecidos.

O aprofundamento dessa análise requereria um trabalho mais elaborado que somente poderia ser realizado com apoio institucional. Ainda assim, mesmo sendo uma avaliação preliminar, espera-se que este trabalho contribua para o entendimento da questão da emissão de GEE dos veículos elétricos no contexto brasileiro, que vem sendo um dos importantes motivadores para o uso desse tipo de veículo.

2. EMISSÃO DE GEE DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO CONTEXTO BRASILEIRO

Os resultados internacionais anteriormente apresentados referem-se a um momento no tempo, aquele cujos dados que alimentaram a elaboração do seu cálculo foram coletados. Mas essa realidade pode mudar ao longo dos anos caso o perfil de geração elétrica se altere visando atender ao crescimento da demanda ou a um requisito estratégico, econômico ou ambiental.

Faz mais sentido avaliar a emissão de GEE dos veículos elétricos no Brasil quando estes possam representar uma parcela mais significativa da frota. Consequentemente é necessário antever como será o perfil da geração de energia elétrica no Brasil quando isto possivelmente acontecer. Com esse objetivo foi utilizado o documento “Plano Decenal de Energia 2027” do MME/EPE [5]. Como pode ser observado nesse documento, mesmo a projeção da expansão do sistema por uma década é um tema bastante complexo e naturalmente envolve incertezas.

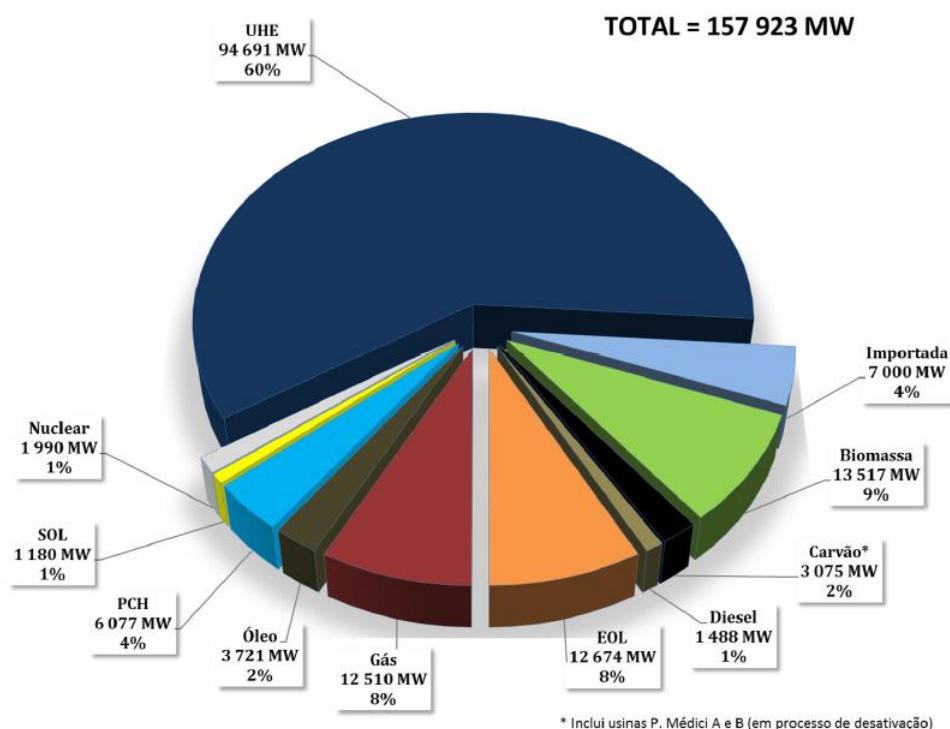
A expansão do Sistema Integrado Nacional (SIN), que incorpora a geração e a transmissão de energia elétrica, utiliza Modelo de Decisão de Investimentos (MDI) que tem por objetivo minimizar o custo total de investimento e operação, face aos requerimentos para atender às demandas de energia regionais, inclusive àquela máxima instantânea. Se a demanda veicular crescer significativamente, esta nova demanda precisará entrar no cômputo do MDI. Cabe aqui ressaltar que esse planejamento requererá não somente a projeção da expansão da frota de veículos elétricos, mas também de sua infraestrutura de abastecimento. Por exemplo, há uma série de razões para se desejar a recarga rápida dos veículos elétricos, o que inclusive ajudaria a promover seu uso. No entanto, além dessa alternativa constituir um compromisso econômico, ela pode impactar significativamente na demanda regional do sistema.

As perspectivas da expansão apresentadas no Plano Decenal são as seguintes. A maior parte de potenciais novas usinas hidrelétricas (UHE) localizam-se na Região Norte, onde existem grandes desafios para sua implantação, entre os principais a própria questão ambiental. Convém ressaltar, entretanto, que se efetivamente implantadas, as emissões de GEE devidas à derrubada ou alagamento de vastas extensões da floresta amazônica terão que ser computadas. Por outro lado, há um significativo potencial em usinas hidrelétricas de pequeno porte (PCH e CGH), a geração eólica (EOL) tem se mostrado extremamente competitiva e o custo da geração fotovoltaica (SOL ou UFV) vem decrescendo conforme esperado. Há ainda o potencial da bioeletricidade produzida da queima de resíduos agrícolas sólidos, sobretudo o bagaço da cana, e de biogás, predominantemente metano, produzido a partir de resíduos urbanos, animais e agrícolas. Mas estas duas últimas têm maiores ressalvas. Por exemplo, o desenvolvimento do etanol de segunda geração reduziria a disponibilidade de resíduos agrícolas para termogeração e a maior dispersão das matérias primas para produção do biogás reduz sua economicidade e perspectivas de controle.

Contrapondo-se às alternativas renováveis, a opção com maior potencial que vem sendo utilizada no Brasil é a geração termelétrica (UTE) com gás natural. Esta alternativa se fortalecerá a partir do momento que se efetivarem as expectativas de produção de gás natural do Pré-Sal, a partir da qual a oferta desse gás se ampliará significativamente. Existem ainda as termelétricas a carvão mineral nacional, mas que, em função das restrições ambientais, tem condições de financiamento mais desfavoráveis e, consequentemente, têm menor competitividade. Outras opções consideradas são novas usinas termonucleares (UTN), tecnologias de armazenamento (usinas hidrelétricas reversíveis e acumuladores) e a integração do SIN com os sistemas elétricos de países vizinhos.

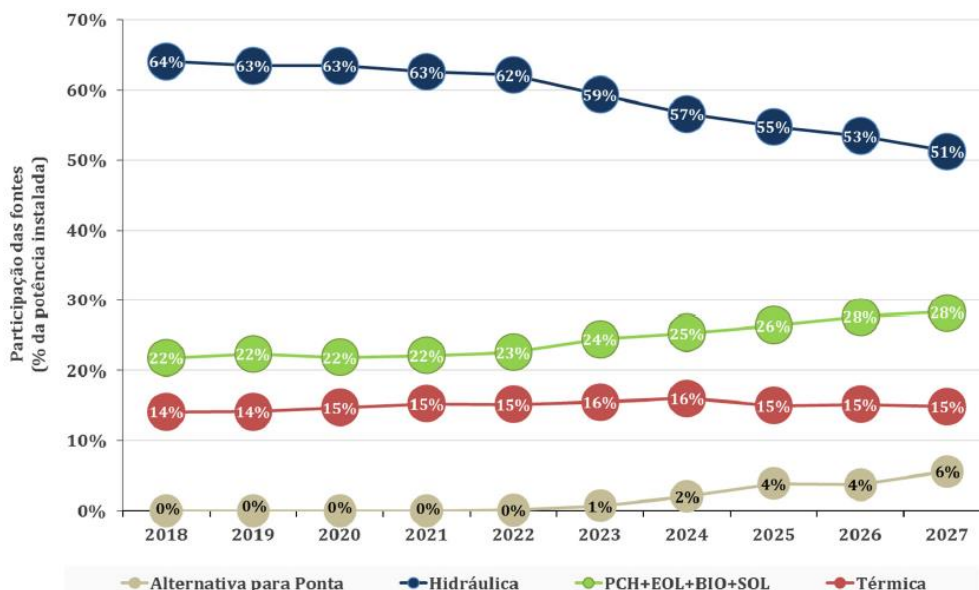
A atual capacidade instalada brasileira segregada por fontes é mostrada na Figura 4. E a evolução dessa distribuição agrupada pelo tipo de fonte é mostrada na Figura 5.

Figura 4. Capacidade instalada brasileira em maio de 2018



Fonte: MME EPE. Plano Decenal de Energia 2027. (2018).

Figura 5. Projeção da participação por tipo de fonte



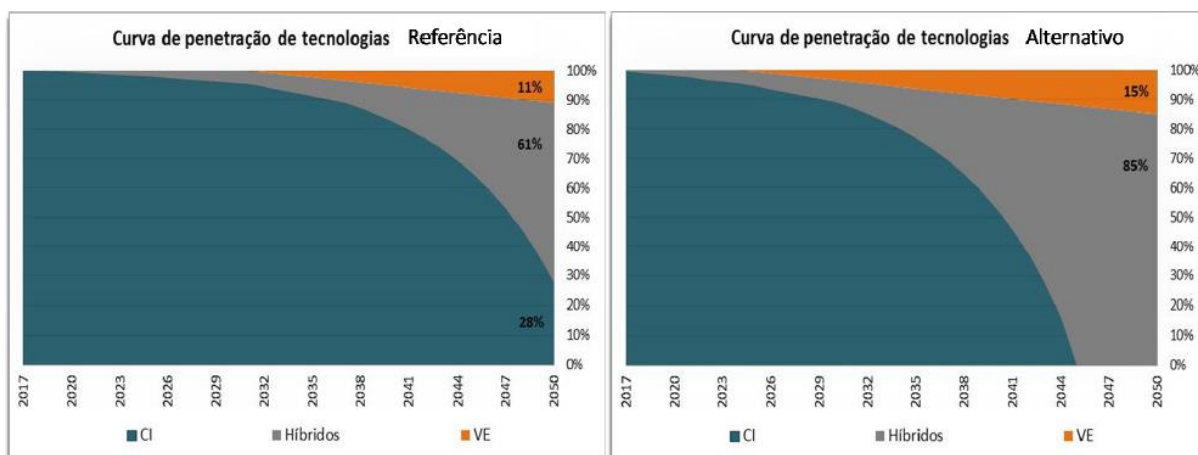
Fonte: MME EPE. Plano Decenal de Energia 2027. (2018).

Nesta figura é possível observar que se prevê um decréscimo da participação da geração hidráulica (UHE), a qual será compensada em parte por geração térmica, mas principalmente por outras fontes renováveis. Entretanto, a complementação que será requerida para atender picos de demanda a partir de 2023 (“alternativa para a ponta”), segundo a EPE, deverá ser feita por meio de termelétricas e tecnologias de armazenamento.

Em face dessa realidade, uma nova questão surge: qual será o impacto da frota de veículos elétricos na demanda? Ela aumentará essa demanda de pico e, conseqüentemente, requererá o uso de termelétricas?

Infelizmente as projeções do “Plano Decenal de Energia 2027” e do documento “Eletromobilidade e biocombustíveis” elaborados pela EPE tem somente uma pequena superposição. Enquanto o primeiro, como o próprio título indica, se estende apenas até 2027, o segundo documento prognostica dois cenários para a introdução de veículos elétricos no Brasil, conforme mostrado na Figura 6. O primeiro, denominado “cenário referência”, prevê que veículos elétricos comecem a ser vendidos de forma mensurável somente a partir de 2031 e atinjam em 2050 uma participação no total de veículos leves licenciados de 11%. No segundo, denominado “cenário alternativo”, que pressupõe a adoção de políticas públicas que acelerem a introdução de veículos elétricos, a venda mais expressiva ocorreria a partir de 2024, e a participação em 2050 atingiria 15%. Ambos cenários preveem também uma grande substituição de veículos convencionais por HEVs, os quais fogem do escopo deste trabalho.

Figura 6. Projeção da participação de veículos elétricos na frota brasileira de leves.



Fonte: MME EPE. Eletromobilidade e biocombustíveis. (2018).

Na prática, no que tange aos veículos elétricos, a intersecção das projeções do “Plano Decenal” e deste último documento ocorre somente no “cenário alternativo”. É possível verificar no gráfico correspondente que nesse caso a participação de veículos elétricos na frota de veículos leves em 2027 seria de aproximadamente 2%.

Conforme consta em seu documento “Demanda de energia dos veículos leves: 2018-2030” [6], supostamente desconsiderando a introdução dos veículos elétricos, a EPE estima que o consumo de gasolina equivalente em 2027 será de aproximadamente 62 milhões de m³ por ano. Aplicando o fator de conversão utilizado pela EPE, esse consumo equivale a cerca de 555 TWh por ano. Dois por cento desse valor é aproximadamente 11,1 TWh por ano.

No entanto, conforme consta na literatura, a eficiência “TTW” de um veículo elétrico é de 2 a 4 vezes superior a do veículo equivalente a motor de combustão. Rigorosamente seria necessário utilizar a diferença de eficiência “WTW”, mas para efeito dessa estimativa será adotado que um veículo leve elétrico seja três vezes mais eficiente que seu equivalente a

gasolina, o que resultaria em um consumo da frota de veículos elétricos em 2027 de 3,7 TWh por ano. O consumo total de eletricidade previsto no Plano Decenal para 2027, não levando em consideração essa possível demanda adicional dos veículos elétricos, é de 753 TWh por ano. Consequentemente, essa demanda adicional representaria um acréscimo de 0,5% sobre a demanda projetada. Este valor, apesar das incertezas a ele associadas, em princípio parece causaria pouco impacto no sistema elétrico em 2027.

Mas convém fazer algumas ressalvas. Essa demanda adicional seria um valor aproximado para uma configuração de recarga lenta. Para a desejada recarga rápida, a demanda máxima (de pico) pode crescer na mesma proporção do acréscimo da velocidade de recarga.

A projeção realizada pela EPE no Plano Decenal adota uma taxa de crescimento econômico do país no período 2017 a 2027 no “cenário referência” de 2,8% ao ano, e uma taxa do crescimento do consumo de eletricidade nesse mesmo período, sem considerar veículos elétricos, de 3,6%. Esse acréscimo de demanda ocasionada pelos veículos elétricos, conforme previsto pela EPE no cenário alternativo, ocorreria em dois anos, ou seja, a uma taxa da ordem de 0,25% ao ano. Ou seja, apesar do pequeno impacto que os veículos elétricos causariam na demanda total de energia elétrica em 2027, essa demanda adicional anual devida à implantação da eletromobilidade é expressiva frente à taxa anual de crescimento do sistema e, naturalmente, precisará ser considerada em seu planejamento.

De qualquer forma, mesmo que essa fração se altere em função de condições locais, por exemplo, em função de perdas devidas à transmissão, e também da condição de recarga, em um primeiro momento dificilmente esse consumo veicular impactaria de forma significativa no perfil do tipo de geração do país. Consequentemente, para esta estimativa será utilizada a composição de fontes derivada da capacidade de geração já instalada e contratada até 2027 que constam no Plano Decenal e os fatores de emissão médios por tipo de fonte de geração elétrica que constam na Tabela A.III.2 “Emissions of selected electricity supply technologies (gCO₂eq/kWh)”, divulgada pelo IPCC em 2014 [7]. Os resultados obtidos são apresentados comparativamente na Tabela 1.

Tabela 1. Cálculo do fator de emissão de CO₂eq da geração de energia elétrica no Brasil

Tipo	2018	2027			Fator de emissão
	Instalado	Contratado	Subtotal	%	gCO2eq/kWh
	MW				
hidráulica (UHE + PCH + CGH)	100.768	8.109	108.877	60,3%	24
gás natural (UTE)	12.510	7.425	19.935	11,0%	490
óleo + diesel (UTE)	5.209		5.209	2,9%	644
carvão (UTE)	3.075		3.075	1,7%	820
eólica (EOL)	12.674	3.998	16.672	9,2%	11
biomassa	13.517	524	14.041	7,8%	230
fotovoltaica (SOL)	1.180	2.459	3.639	2,0%	48
nuclear (UTN)	1.990		1.990	1,1%	12
importada	7.000		7.000	3,9%	24
Total			180.438	Média ponderada	122

A esta emissão devida à geração elétrica será adicionada a emissão devida à produção da bateria. Conforme já mencionado anteriormente, será utilizado o critério empregue pelo ICCT [4]. Após o levantamento de diversos estudos relacionados à produção das baterias, ele adotou em sua avaliação o valor médio de 175 kg CO₂e/kWh. Ainda segundo o ICCT, assumindo que um veículo elétrico tenha uma bateria com capacidade de 30 kWh (foi utilizado como referência o Nissan Leaf 2017) e que ela tenha uma durabilidade de 150 mil km, resulta nessas condições em uma emissão associada à produção da bateria de 35 g CO₂e/km. Considerando que o fator de emissão médio nacional obtido acima, que a perda média na transmissão nacional é, segundo a EPE, de 15,9%, e que a autonomia em condições reais de uso do veículo acima referido é de 171 km, resulta em uma emissão associada ao consumo energético do veículo elétrico de aproximadamente 25 g CO₂e/km. Somando as parcelas devidas à produção da bateria e ao consumo energético resulta em 60 g CO₂e/km.

Para comparar as tecnologias no que tange à emissão de GEE de veículos leves no contexto brasileiro será utilizado nesta estimativa preliminar critério similar ao empregue pelo USDOE/AFDC em sua URL “Emissions from Hybrid and Plug-In Electric Vehicles” mencionada anteriormente, porém, onde possível, adotando-se premissas mais pertinentes com a realidade nacional. As premissas empregadas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Premissas empregadas

Tipo de veículo	Parâmetro	Valor	Unidade
Todos	quilometragem média anual	12.000	km
convencional	emissão média gasolina C (E27)	134	gCO ₂ eq/km
	emissão média etanol	45	gCO ₂ eq/km
híbrido (HEV)	emissão média gasolina C (E27)	73	gCO ₂ eq/km
	emissão média etanol	25	gCO ₂ eq/km
“plug-in” (PHEV)	emissão média gasolina C (E27)	86	gCO ₂ eq/km
	emissão média com eletricidade nacional	60	gCO ₂ eq/km
	% da km com eletricidade	55%	---
somente a bateria (BEV)	emissão média com eletricidade nacional	60	gCO ₂ eq/km

Os fatores de emissão médios adotados de automóveis rodando a gasolina C (E27) e a etanol são os que constam em estudo da AEA [8] para automóveis modelo 2017. Com relação ao PHEV foram utilizados os dados pertinentes utilizados pelo USDOE/AFDC (vide https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_emissions_sources.html), por eles se basearem em dados estatísticos de uma frota já existente nos Estados Unidos e ainda incipiente no Brasil. Em particular, a emissão por km desse veículo foi obtida em função da relação do consumo deste e o consumo do veículo elétrico que constam nessa fonte.

A opção HEV a etanol foi incluída na tabela porque, apesar de até data desta redação ainda não ter sido divulgado seus dados do consumo, a Toyota já anunciou que introduzirá no mercado um híbrido flex que poderá rodar com etanol. O valor estimado baseia-se na relação das emissões médias dos veículos convencionais rodando com etanol e gasolina e na relação das emissões médias do HEV e do veículo convencional rodando com gasolina.

Com base na Tabela 2 calcularam-se as emissões médias anuais para cada tipo de veículo e combustível e seu valor relativo adotando-se a como referência emissão média de um veículo convencional rodando a E27. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Estimativa da emissão média anual por veículo por categoria e combustível

Tipo de veículo	“Combustível”	Emissão anual por veículo	Valor relativo
		kgCO ₂ eq	
convencional	gasolina C (E27)	1604	100%
	etanol	544	34%
híbrido (HEV)	gasolina C (E27)	878	55%
	etanol	298	19%
“plug-in” (PHEV)	gasolina C/eletricidade	857	53%
só bateria (BEV)	eletricidade	718	45%

Destaque-se que os bons resultados tanto do etanol como os dos veículos elétricos são ambos, por diferentes motivos, favorecidas pela realidade brasileira. De qualquer forma, utilizando dados secundários provenientes de fontes reconhecidas e algumas premissas que podem ser esmeradas, mas cujos valores não são inadmissíveis, especificamente sob o ponto de vista da emissão de GEE, os resultados obtidos indicam que os ganhos proporcionados pelo uso do etanol nacional superam os ganhos obtidos pelos veículos elétricos.

Obviamente esses resultados foram fortemente influenciados pelas premissas empregadas, as quais, como anteriormente mencionado, conviriam fossem revistas e estendidas no tempo. Entre estas as que apresentam maior variação na bibliografia e, conseqüentemente, possivelmente serão fruto de maior controvérsia são aquelas derivadas da análise do ciclo de vida, primeiro da produção de baterias, e segundo do etanol. Outros dados que devem ser reavaliados são aqueles derivados da realidade norte-americana, muito diversa da nossa.

3. CONCLUSÕES

Os objetivos deste trabalho foram: mostrar algumas etapas a serem consideradas para se alcançar esse resultado e apresentar uma estimativa consistente sobre o efetivo benefício dos veículos elétricos no que tange às emissões de GEE. Lembrar que mesmo calculados com base em dados razoavelmente robustos, os resultados aqui apresentados são preliminares.

Em princípio, apesar de todas as incertezas das premissas e limitações do contexto considerado, sobretudo devido à pequena superposição no tempo das projeções utilizadas, é possível afirmar que: 1) o impacto da frota de veículos elétricos projetada até 2027 na demanda do sistema elétrico nacional não seria muito significativa; 2) a redução da emissão de GEE dos veículos elétricos é próxima daquela proporcionada pelos veículos movidos a etanol, sobretudo se este combustível for empregado em um veículo híbrido.

Naturalmente, mesmo que visando atender a uma meta de redução da emissão de GEE, o resultado aqui apresentado não é o único critério que precisa ser avaliado. Sob o ponto de vista do país, devem ser também considerados, além de outras questões ambientais, aspectos

estratégicos, tecnológicos, econômicos e legais. Somente a partir uma análise mais abrangente será possível identificar qual alternativa será mais custo-efetiva.

Veículos elétricos requerem não somente em um grande esforço de desenvolvimento de novas tecnologias por parte da indústria automotiva, mas demandam também avaliações de contextos muito mais amplos do que aqueles anteriormente típicos para o setor. Este desafio se soma a diversos outros que se anunciam para um horizonte próximo, tais como o “ride sharing” (ex. Uber), “car sharing”, veículos autônomos (“self-driving”) e outros modais.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Eletromobilidade e biocombustíveis**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, janeiro de 2019. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Eletromobilidade%20e%20Biocombustiveis.pdf>>, acesso em 15/05/2019.
- [2] SHRINK THAT FOOTPRINT. **Shades of Green: Electric Cars’ Carbon Emissions Around the Globe**. Inglaterra: 2013. Disponível em <<http://shrinkthatfootprint.com/electric-car-emissions>>, acesso em 21/05/2019.
- [3] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. Disponível em <<https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-from-life-cycle>>, acesso em 05/08/2019.
- [4] The International Council on Clean Transportation. **Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions**. Washington DC: ICCT, 2018. Disponível em <<https://theicct.org/publications/EV-battery-manufacturing-emissions>>, acesso em 05/08/2019.
- [5] BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2018. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2027>>, acesso em 15/05/2019.
- [6] BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Demanda de energia dos veículos leves: 2018-2030**. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2018. Disponível em <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-331/topico-421/Demanda_Veiculos_Leves_2018-2030.pdf>, acesso em 20/05/2019.
- [7] IPCC. **Climate Change 2014 - Mitigation of Climate Change - Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Annex III: Technology-specific Cost and Performance Parameters**. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2014. Disponível em <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf>, acesso em 20/05/2019.
- [8] AEA. **Eficiência energética sustentável**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Automotiva, 2017. Disponível em <http://www.automotivebusiness.com.br/abinteligencia/pdf/AEA_EficienciaEnergeticaSustentavel.pdf>, acesso em 20/05/2019.