

# ESTRATÉGIAS PARA MITIGAR A EMISSÃO DE POLUENTES NO SETOR DE CARROS PARTICULARES

**Cecília de Gois Parente** (UFC) - ceciliagois1@gmail.com

**Davi Araujo Chaves Souza** (UFC) - davi.chaves.souza@gmail.com

**Caio Braga Sampaio** (UFC) - caio.sampaio@alu.ufc.br

**Samanta Gadelha Barbosa** (UFC) - samantagadelha@gmail.com

**Demercil Souza Oliveira** (UFC) - demercil@dee.ufc.br

## **Resumo:**

*Este trabalho busca avaliar, no âmbito da realidade brasileira, as emissões geradas pelos carros particulares de combustão interna, movidos a combustíveis fósseis, e as emissões geradas pelos veículos elétricos. É feito um estudo comparativo das emissões, utilizando-se o conceito de Well-to-Wheel, bem como, considerando diversos combustíveis derivados do petróleo e variadas fontes de geração de energia elétrica. Busca-se mostrar que a adesão de veículos elétricos, bem como, a utilização de fontes renováveis de energia, por exemplo, solar fotovoltaica e eólica, são estratégias fundamentais para mitigar a liberação de dióxido de carbono na atmosfera.*

**Palavras-chave:** *Veículos elétricos, Emissões, Energia Solar*

**Área temática:** *Mercado, economia, política e aspectos sociais*

**Subárea temática:** *Impactos sociais, econômicos e ambientais de energias renováveis*

# ESTRATÉGIAS PARA MITIGAR A EMISSÃO DE POLUENTES NO SETOR DE CARROS PARTICULARES

**Caio Braga Sampaio** – caio.sampaio@alu.ufc.br

**Cecília de Gois Parente** – ceciliagois1@gmail.com

**Davi Araujo Chaves Souza** – davi.chaves.souza@gmail.com

**Demercil de Souza Oliveira Júnior** – demercil@dee.ufc.br

**Samanta Gadelha Barbosa** – samantagadelha@dee.ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica.

**Resumo.** *Este trabalho busca avaliar, no âmbito da realidade brasileira, as emissões geradas pelos carros particulares de combustão interna, movidos a combustíveis fósseis, e as emissões geradas pelos veículos elétricos. É feito um estudo comparativo das emissões, utilizando-se o conceito de Well-to-Wheel, bem como, considerando diversos combustíveis derivados do petróleo e variadas fontes de geração de energia elétrica. Busca-se mostrar que a adesão de veículos elétricos, bem como, a utilização de fontes renováveis de energia, por exemplo, solar fotovoltaica e eólica, são estratégias fundamentais para mitigar a liberação de dióxido de carbono na atmosfera.*

**Palavras-chave:** *Veículos elétricos, Emissões, Energia Solar.*

## 1. INTRODUÇÃO

Com as mudanças climáticas devido ao aumento de temperatura da Terra, diversas medidas de controle da emissão de poluentes vêm sendo discutidas. Dentre as fontes emissoras, o setor de transporte é responsável por cerca de 20% (Carvalho, 2011) das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera, sendo a maior parte oriunda de veículos de pequeno porte. Assim, os veículos elétricos (VEs) surgem como uma alternativa para reduzir a liberação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera. Diante disso, esse novo mercado automotivo apresenta grande potencial e está em contínua expansão. Tal crescimento traz consigo uma demanda energética proporcional, que, por sua vez, oferece grandes oportunidades para o setor de energia elétrica, em particular para as fontes de energia renováveis.

Vários países projetaram metas para conter as emissões de CO<sub>2</sub> nas próximas décadas (Tamai, 2019), conforme mostrado na Fig. 1. É possível ver que para países como os Estados Unidos, a redução deve ser de aproximadamente 57% nos próximos 20 anos. Já na Arábia Saudita, os números se acentuam, necessitando reduzir até 60% das emissões em 14 anos. Isso sugere a urgência de tomada de decisões para mitigar a liberação de poluentes por parte desses países e é sabido que as metas não serão alcançadas se não houver mudanças no setor de transporte.

Para ratificar a superioridade de um VE quando comparado a um carro a combustão, já que aqueles se mostram como agentes de mudança, é necessário haver um massivo investimento no desenvolvimento de tecnologia dos componentes, uma vez que, o aprimoramento destes implica em uma melhor eficiência e um melhor desempenho do veículo, tornando-o mais limpo. A tendência é que, a curto prazo, o mercado incorpore cada vez mais veículos híbridos e veículos híbridos *plug-in*, e, a médio prazo, a proliferação dos VEs ocorra de forma natural, diante das suas vantagens, como peso, autonomia, número de componentes e baixa emissão de CO<sub>2</sub>, em comparação com os híbridos.

Este trabalho busca avaliar, no âmbito da realidade brasileira, as emissões geradas pelos carros particulares de combustão interna, movidos a combustíveis fósseis, e as emissões geradas pelos veículos elétricos a fim de denotar que estes são uma alternativa para reduzir as emissões de poluentes na atmosfera. Nesse contexto, também são descritos os principais subsistemas existentes em um carro elétrico, já que são fontes importantes de perdas e por consequência contribuem indiretamente com parte das emissões totais dos VE. Por esse motivo são temas relevantes e atuais de pesquisas e desenvolvimentos realizadas pelos principais fabricantes e centros de pesquisa.

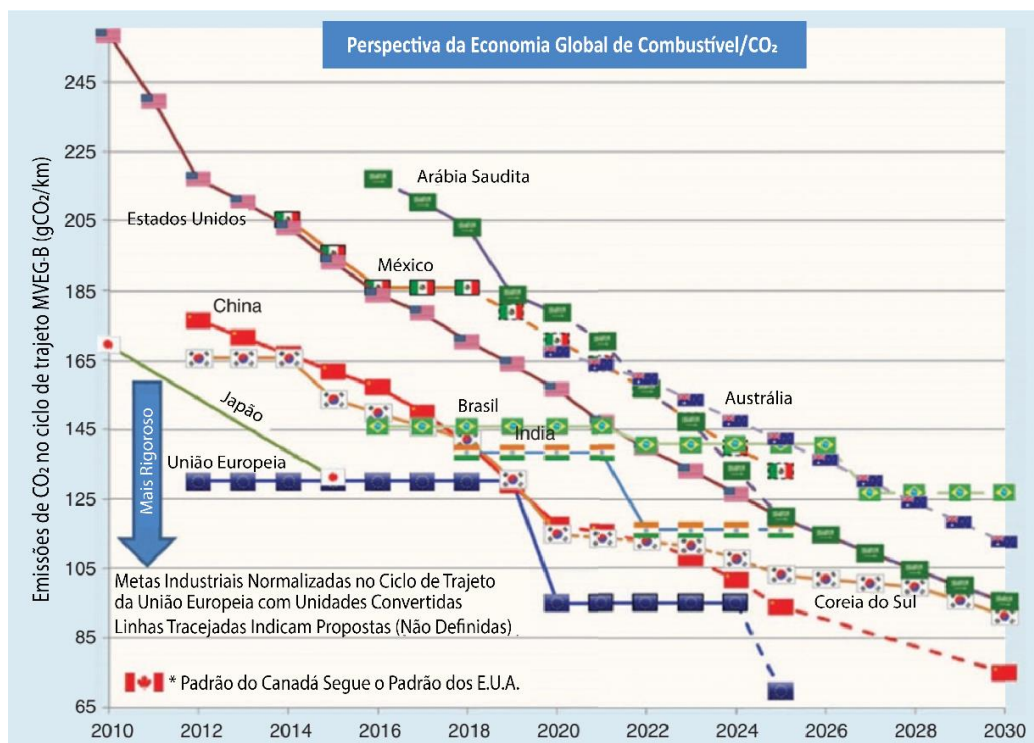


Figura 1 – Tendências da regulação de CO<sub>2</sub> nas próximas décadas.

## 2. TIPOS DE VEÍCULOS PARA MOBILIDADE URBANA.

Ainda hoje no mercado automotivo há predominância de carros movidos a combustão. Entretanto, a partir dos anos 2000, os carros com propulsão elétrica foram ganhando espaço no mercado devido principalmente à pressão ambiental, no que tange a emissão de poluentes na atmosfera. A sessão abaixo se trata do funcionamento dos vários tipos de motores presentes no mercado.

### 2.1 Carros movidos a combustão interna.

Veículos à combustão são os mais utilizados mundialmente. Seu sistema de tração consiste principalmente em um motor a combustão interna, de forma que a energia obtida pelo motor é transferida as rodas, gerando, assim, movimento do veículo. Tais modelos podem ser movidos por três tipos combustíveis: gasolina, álcool (etanol) e diesel. A gasolina é o combustível mais comum para veículos de pequeno porte. A tecnologia de combustão utilizada no motor é o ciclo Otto. Já para o uso do diesel, é necessário um tipo de motor diferente, pois para maior aproveitamento desse combustível o ciclo de combustão empregado deve ser o ciclo Diesel e, como esse tipo de motor possui um torque maior se comparado aos motores de ciclo Otto, veículos a diesel são de maior porte, como picapes ou caminhões. Já para o etanol, tem-se, predominantemente, o motor *flex*, que pode funcionar tanto abastecido com gasolina quanto com etanol. Essa tecnologia de motor foi criada no Brasil e teve seu lançamento em 2003 pela Volkswagen, ganhando popularidade no país e compondo atualmente grande parte da frota brasileira de carros.

Com a pressão ambiental, as emissões de poluentes por motores a combustão foram limitadas pelo governo, através do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Esse programa consiste na limitação da emissão por veículos automotores. Esses valores são revisados continuamente e cada revisão desses valores é denominado uma fase deste programa. Os valores estabelecidos pelo programa estão mostrados na Tab. 1. Nela, pode-se perceber a constante preocupação em diminuir os valores de emissão de poluentes a cada etapa. Este programa é de vital importância para a conservação do meio ambiente, pois essa limitação impõe o aumento do desenvolvimento de tecnologias de motores que diminuam a liberação de poluentes. Um dado de sua importância, é que em São Paulo os carros fabricados antes do PROCONVE, etapas L1 e L2, mesmo que sejam apenas 5% da frota, contribuem com 35% da emissão total de poluentes (CETEB, 2017).

Tabela 1 – Valores da emissão máxima de poluentes por veículos automotores estipulados pelo PROCONVE.

FASE	RESOLUÇÃO CONAMA	PERÍODO	CO (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	EVAPORATIVA (g/Teste)	CO-MARCHA LENTA (% Vol)
L1	18/86	1989-1991	24,0	2,0	6,0	3,0
L2	18/86	1992-1996	12,0	1,4	6,0	2,5
L3	15/95	1997-2004	2,0	0,6	6,0	0,5
	315/02	Maio/2003			2,0	
L4	315/02	2005 (40%)	2,0	0,25 ou 0,60	2,0	0,5
		2006 (70%)				
		2007 (100%)				
L5	315/02	2009-2013	2,0	0,12 ou 0,25	2,0	0,5
	415/09	2012			1,5/2,0	
L6	415/09	2013	1,3	0,08	1,5/2,0	0,2
		2014				
		2015				

## 2.2 Carros de propulsão elétrica e híbridos.

Dentre as configurações existentes de carros elétricos, as três mais utilizadas atualmente são: veículos híbridos, plug-in e os puramente elétricos. Automóveis híbridos (Chan e Bouscayrol, 2010) possuem um eixo de ignição interna que aciona um gerador. Este, por sua vez, dispõe de uma pequena bateria para amortecê-lo e, assim, absorver energia na frenagem. Dessa forma, o motor elétrico destes carros atua em conjunto com o motor a combustão, constituindo um sistema com armazenamento de energia para um maior alcance e uma saída com capacidade de carga e descarga para aceleração e frenagem regenerativa. Além disso, em comparação com os totalmente elétricos, híbridos apresentam um maior sistema mecânico - aproximadamente 25% -, pequenas baterias (1-2 kWh) e não possuem nenhum tipo de conexão com a rede, ou seja, não é permitido carregar o veículo em residências, por exemplo.

Após a disseminação dessa tecnologia e em virtude de suas desvantagens, surgem os modelos híbridos *plug-in* (Chan e Bouscayrol, 2010). Em detrimento dos híbridos, estes dispõem de uma bateria com maior capacidade, aproximadamente 6 kWh ou mais, e possuem conexão com a rede, ou seja, o veículo pode ser carregado e operar no modo elétrico. Então, nota-se que, para esses automóveis, os motores tanto elétricos quanto à combustão atuam no deslocamento do carro. Assim, os híbridos *plug-in* possuem um alcance de quilometragem estendido e em alguns casos emitem uma parcela reduzida de poluentes, visto que para pequenas viagens, como nos interiores urbanos, a autonomia do veículo pode ser oriunda apenas do motor elétrico.

A respeito dos veículos totalmente elétricos, estes possuem um sistema de tração que depende, exclusivamente, de motores elétricos, o que sugere algumas vantagens. Com o fornecimento de um elevado torque em baixas rotações, não há necessidade de um complexo sistema de transmissão, diminuindo, assim, as perdas relacionadas ao processo quando comparado com os veículos dependentes de motores a combustão. Dessa forma, o funcionamento interno de um veículo totalmente elétrico, como mostrado na Fig. 2, depende, principalmente, dos seguintes componentes: motor elétrico, inversor, módulo de potência auxiliar (APM) e banco de baterias, o qual possui a subdivisão em alta tensão, responsável pela tração do veículo, e baixa tensão, relacionado aos demais sistemas eletrônicos.

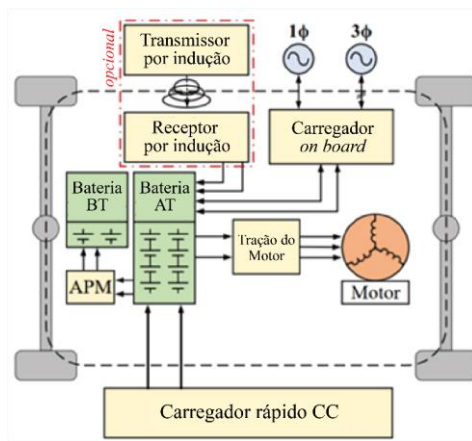


Figura 2 - Típico sistema de potência de um VE e modos de carregamento.

Os motores elétricos, como citados anteriormente, em geral, possuem uma curva similar à vista na Fig. 3, que mostra que o torque máximo é fornecido de forma instantânea e permanece constante durante baixas e médias rotações, enquanto a potência cresce linearmente. Já para altas rotações, o torque decresce e a potência é mantida constante. Atualmente, a maioria dos VEs faz uso de motores CA, pois possuem maior eficiência e potência, em relação aos motores CC. O acionamento dos motores é feito a partir de um dispositivo inversor, responsável pela conversão CC-CA, da tensão do banco de baterias para a tensão de alimentação do motor, atuando no controle de torque e potência do mesmo.

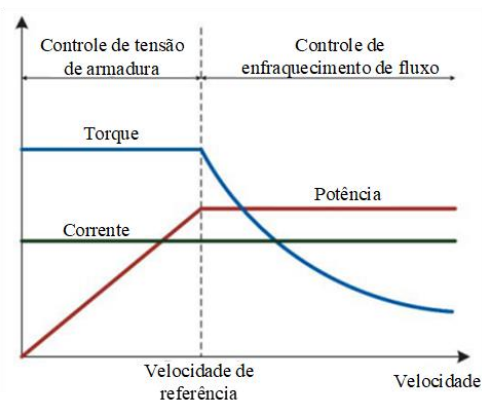


Figura 3 - Acionamento de um motor CC.

Diferentemente de um carro à combustão ou de um veículo híbrido, as cargas dos sistemas de baixa tensão, não são realizadas a partir de um alternador. Em VEs, a alimentação de tais sistemas depende do módulo de potência auxiliar (APM), o qual realiza uma conversão de energia do banco de baterias de alta de tensão, carregando as baterias de baixa tensão, além de ser responsável por uma isolamento galvânica entre os dois sistemas.

A bateria é parte fundamental dos VEs, por se tratar do suprimento de energia para o motor. Dada sua extrema importância, esta tem sido objeto recorrente de estudo de modo que pesquisadores e fabricantes estão atentos a novas tecnologias de fabricação e gerenciamento de energia. Com o avanço da tecnologia de baterias Íon-Lítio e o massivo investimento no melhoramento e desenvolvimento de novas tecnologias de baterias, apesar das dificuldades técnicas, prevê-se um salto tecnológico considerável nos próximos anos (IEA, 2017; KEIM, 2018). Os avanços na penetração de veículos elétricos passam diretamente pelas capacidades das baterias de oferecerem autonomia satisfatória para os veículos.

A capacidade das baterias varia conforme o tipo de VE - híbrido ou totalmente elétrico - bem como com o porte do mesmo. Veículos híbridos têm baterias de pequena capacidade, já que o motor principal é à combustão; os veículos totalmente elétricos de entrada oferecem autonomia em torno de 200 km, com baterias em torno de 40 kWh, enquanto que veículos mais robustos têm autonomia em torno de 400 km e baterias que podem chegar a 100 kWh. A Tab. 2 exemplifica alguns modelos de VEs com suas respectivas características.

Tabela 2 - Características de Veículos Elétricos Atuais

MODELO	TIPO DE VEÍCULO	AUTONOMIA ELÉTRICA (KM)	BATERIA	TIPO DE CARREGAMENTO	TEMPO MÁXIMO DE CARREGAMENTO
Toyota Prius	Híbrido Plug-In	40	8,8 kWh	Level 1/ Level 2	5.5 H / 2 H
Vw E-Up!	Totalmente Elétrico	95	16 kWh	Level 1/ Level 2 / DC Fast	5 H/ 5 H / 24 Min
Vw E-Golf	Totalmente Elétrico	190	32 kWh	Level 1/ Level 2 / DC Fast	24 H/ 9 H / 30 Min
Nissan Leaf	Totalmente Elétrico	220	36 kWh	Level 1/ Level 2/ Level 3	22 H/ 8 H /30 Min
Renault Zoe R110	Totalmente Elétrico	260	41 kWh	Level 1/ Level 2	4.5 H / 2.2 H
Tesla Model X	Totalmente Elétrico	425	95 kWh	Level 1/ Level 2/ Supercharger	10 H/ 7 H /42 Min
Tesla Model S	Totalmente Elétrico	480	95 kWh	Level 1/ Level 2/ Supercharger	10 H/ 7 H /42 Min

À medida que a capacidade das baterias cresce, é importante observar as características de carregamento, de modo a se obter maior autonomia e potência. Em geral, os veículos elétricos suportam carregamento monofásico, trifásico e CC (carregamento mais rápido); as características de cada modo dependem da arquitetura da bateria e da capacidade do carregador. É importante salientar que o processo de carga das baterias acarreta em perdas que aumentam o consumo de energia elétrica durante esse processo.

### 3. EMISSÃO DE POLUENTES

Diante das preocupações atuais no que tange o controle da temperatura do planeta, a mitigação da emissão de dióxido de carbono se faz necessária em diversos setores da indústria automotiva, já que esta possui grande parcela de contribuição nas emissões de gases de efeito estufa. Este trabalho busca evidenciar emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelos carros particulares de combustão interna, movidos a combustíveis fósseis, bem como, as geradas pelos veículos elétricos, tomando diversas fontes de geração de energia.

#### 3.1. Emissão de poluentes por veículos a combustão.

No Brasil, os dois principais tipos de combustíveis para veículos particulares são a gasolina tipo C e o etanol. A gasolina tipo C é constituída pela mistura da gasolina pura com o etanol anidro. A porcentagem de etanol presente no combustível é estipulada pelo governo, e atualmente está em 27%. Já o etanol comum usado no abastecimento é o etanol hidratado, que consiste em etanol anidro misturado com água, em uma porcentagem de 7%.

Com isso, para se fazer uma análise mais detalhada das emissões de CO<sub>2</sub>, os carros foram divididos em relação ao combustível e o motor utilizado. Para a medição do uso de combustível por litro e emissão de gCO<sub>2</sub> por km foi utilizado o relatório de emissões veiculares do estado de São Paulo (Inmetro, 2017).

Com os dados citados acima, para denotar a variação dos índices de poluição, calculou-se a emissão de CO<sub>2</sub> de um carro durante toda sua vida útil, sendo estimada em 10 anos e com distância média percorrida de 15000km/ano. Como durante o refino do petróleo existe uma emissão de CO<sub>2</sub> considerável, esse fator também foi considerado durante o cálculo. Essa emissão é de 0,298kgCO<sub>2</sub>/L para gasolina (ETSAP, 2014), 0,33kgCO<sub>2</sub>/L para etanol hidratado e 0,345 kgCO<sub>2</sub>/L para etanol anidro (Gazonne, 2014), como a gasolina C é mistura de etanol e gasolina pura, a proporção de cada combustível foi considerada para o cálculo. Os valores calculados estão listados na Tab. 3.

Tabela 3 - CO<sub>2</sub> liberado durante a vida útil de um veículo leve.

TIPO DE COMBUSTÍVEL	ANO DE LANÇAMENTO	kgCO <sub>2</sub> /KM	KM/L	kgCO <sub>2</sub> /VIDA ÚTIL DEVIDO A COMBUSTÃO	kgCO <sub>2</sub> /VIDA ÚTIL DEVIDO AO REFINO	kgCO <sub>2</sub> /VIDA ÚTIL TOTAL
Gasolina C	2010	0,206	10,90	30900	4278,2	35175,2
Flex-Gasolina C	2010	0,177	12,30	26550	3791,2	30341,2
Flex-Etanol	2010	0,710	8,50	25650	5823,5	31473,5
Gasolina C	2017	0,175	13,10	26250	3549,0	29799,0
Flex-Gasolina C	2017	0,154	14,30	23100	3261,0	26361,0
Flex-Etanol	2017	0,147	9,80	22050	4758,4	26808,4

Para efeito de comparação, foram escolhidos alguns veículos comercializados no Brasil e de forma a abranger uma maior representatividade de resultados, os veículos foram escolhidos variando-se sua categoria e cilindrada. Os cálculos de todos os parâmetros foram feitos da mesma maneira que no caso anterior, porém, considerando-se apenas o veículo que utiliza a gasolina como combustível. Os dados de consumo de combustível por litro e emissão de CO<sub>2</sub> por quilômetros relativos aos veículos, foram retirados da tabela de consumo/eficiência energética elaborada pelo Inmetro (2019).

Tabela 4 - CO<sub>2</sub> liberado durante a vida útil de um veículo leve à Gasolina C.

MODELO	CATEGORIA	kgCO <sub>2</sub> /KM	KM/L	kgCO <sub>2</sub> /VIDA ÚTIL DEVIDO A COMBUSTÃO	kgCO <sub>2</sub> /VIDA ÚTIL DEVIDO AO REFINO	kgCO <sub>2</sub> /VIDA ÚTIL TOTAL
Golf 2.0 Gti	Médio	0,125	9,9	18750	4710,3	23460,3
VM Up! 1.0	Subcompacto	0,089	14,2	13350	3284,0	16634,0
Toyota Corolla Gli 1.8	Grande	0,114	7,4	17100	6301,7	23401,7
Hyundai Hb20s 1.6	Médio	0,107	11,5	16050	4055,0	20105,0
Ferrari 488 3.9	Esportivo	0,197	6,2	29550	7521,3	37071,3
Chevrolet Camaro 2ss 6.2	Esportivo	0,183	6,4	27450	7286,3	34736,3

Observando a Tab. 4, pode-se perceber a correlação existente entre a cilindrada e o consumo de combustível, desconsiderando os carros esportivos. Isso ocorre pois para veículos do mesmo porte, quanto maior a cilindrada menor é a eficiência em relação ao consumo de gasolina e a poluição por quilômetro. Entretanto, no caso dos dois carros esportivos apresentados, esse efeito não ocorre pois como são carros com aerodinâmica e peso diferentes entre si, o efeito da diferença de cilindradas dos motores é suprimido.

### 3.2. Emissão de poluentes por veículos elétricos.

O conceito de *Well-to-Wheel*, traduzido como de poço à roda, justifica como, de fato, VEs podem ser a melhor opção para a preservação ambiental. Tal conceito é utilizado quando a taxa de emissão de gás carbônico das fontes de energia responsáveis pelo abastecimento dos veículos é levada em consideração. Assim, uma certa taxa equivalente para a emissão de poluentes é utilizada, possibilitando a análise de como automóveis com zero emissões em estrada podem impactar o ambiente.

Para o estudo das emissões equivalentes de CO<sub>2</sub> para veículos elétricos, levantou-se a eficiência de diferentes categorias, por exemplo, Subcompactos, Compactos, Sedan e SUV. A partir disso, calculou-se, com as mesmas considerações que para veículos a combustão, a energia demandada por tais modelos para percorrer 15000km/ano durante uma vida útil de 10 anos.

Tabela 5 - Energia demandada para diferentes modelos de VEs para percorrer 15000km/ano, durante 10 anos.

VEÍCULO	CATEGORIA	EFICIÊNCIA [kWh/km]	BATERIA [kWh]	ENERGIA NECESSÁRIA [kWh]
Chery Eq	Subcompacto	0,13	32	19123
Renault Zoe R110	Compacto	0,16	41	23653
VM E-Up!	Compacto	0,17	16	25263
Nissan Leaf	Compacto	0,16	36	24545
VM E-Golf	Compacto	0,17	32	25263
Tesla Model X	SUV	0,22	95	33529
Tesla Model S	SEDAN	0,20	95	29687

Dessa maneira, levando em consideração que a emissão média das seguintes fontes presentes na matriz energética brasileira, em toneladas de CO<sub>2</sub>/GWh, é 888 para termelétricas a carvão mineral, 26 para hidrelétricas, 29 para geração nuclear, 26 para geração eólica e 85 para geração solar (WNA Report, 2011), foi possível estimar um intervalo de valores para as emissões que seriam ocasionadas pelo fornecimento de energia para o carregamento desses VEs durante as condições citadas anteriormente.

Além da emissão equivalente, devido ao consumo de energia das fontes citadas, é importante considerar as emissões ocasionadas pela produção das baterias de VEs. Estimando que tal produção gere cerca de 254 kg de CO<sub>2</sub>/kWh (Romare M, Dahllöf L, 2017), é possível calcular a emissão total equivalente. Com isso, para esses modelos a emissão devido a produção de baterias varia entre 4 e 24 Toneladas de CO<sub>2</sub> dependendo da autonomia do veículo.

Tabela 6 - Valores de emissões totais de CO<sub>2</sub> para o carregamento dos VEs em 15000km/ano, durante 10 anos.

VEÍCULO	GERAÇÃO HIDRÁULICA [kgCO <sub>2</sub> /VIDA ÚTIL]	GERAÇÃO TERMELETRICA [kgCO <sub>2</sub> /VIDA ÚTIL]	GERAÇÃO NUCLEAR [kgCO <sub>2</sub> /VIDA ÚTIL]	GERAÇÃO EÓLICA [kgCO <sub>2</sub> /VIDA ÚTIL]	GERAÇÃO SOLAR [kgCO <sub>2</sub> /VIDA ÚTIL]
Chery Eq	8625	25110	8683	8625	9753
Renault Zoe R110	11029	31419	11100	11029	12425
VM E-Up!	4721	26498	4797	4721	6211
Nissan Leaf	9782	30940	9856	9782	11230
VM E-Golf	8785	30562	8861	8785	10275
Tesla Model X	25002	53904	25102	25002	26980
Tesla Model S	24902	50493	24991	24902	26653

Com os valores da Tab. 6, é possível identificar, para cada veículo, a proximidade dos valores numéricos da quantidade de emissões de poluentes entre as fontes de energia, com exceção da geração termelétrica, a qual possui valores muito superiores as demais fontes. Além disso, vale ressaltar que veículos de mesma eficiência, de acordo com a Tab. 5, como VM E-Up! e VM E-Golf, por exemplo, porém com capacidades de baterias diferentes, possuem níveis de emissão bem distintos, o que pode ser justificado pela proporção direta entre a capacidade da bateria e a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido em sua fabricação.

### 2.3. Comparativo entre os dois modelos de veículos.

Para analisar a contribuição de cada tipo de veículo para emissão de poluentes, considerou-se os dados da Tab. 4 e da Tab. 6. Na Fig. 4, considerando uma vida útil de 10 anos e 15000 km rodados anualmente, é possível comparar modelos a combustão e totalmente elétricos que se assemelham em termos de potência. A comparação foi feita tomando diversas fontes de geração de energia para abastecer os carros elétricos e considerando a Gasolina C como combustível para os veículos a combustão. Os dados foram obtidos considerando que toda a energia demandada pelo carro durante sua vida útil foi oriunda de apenas uma dessas fontes de energia listadas na Fig. 4.



É importante ressaltar que não foi considerado nos cálculos a energia gasta para fabricar o veículo, ou seja, a produção de sua composição mecânica, já que não representa uma quantidade significativa das emissões (Autovista Group, 2019). Entretanto, é sabido que a constituição de um motor a combustão demanda muito mais peças que a de um motor elétrico. Logo, necessitaria de mais energia para a produção, com isso, uma maior emissão de poluentes.

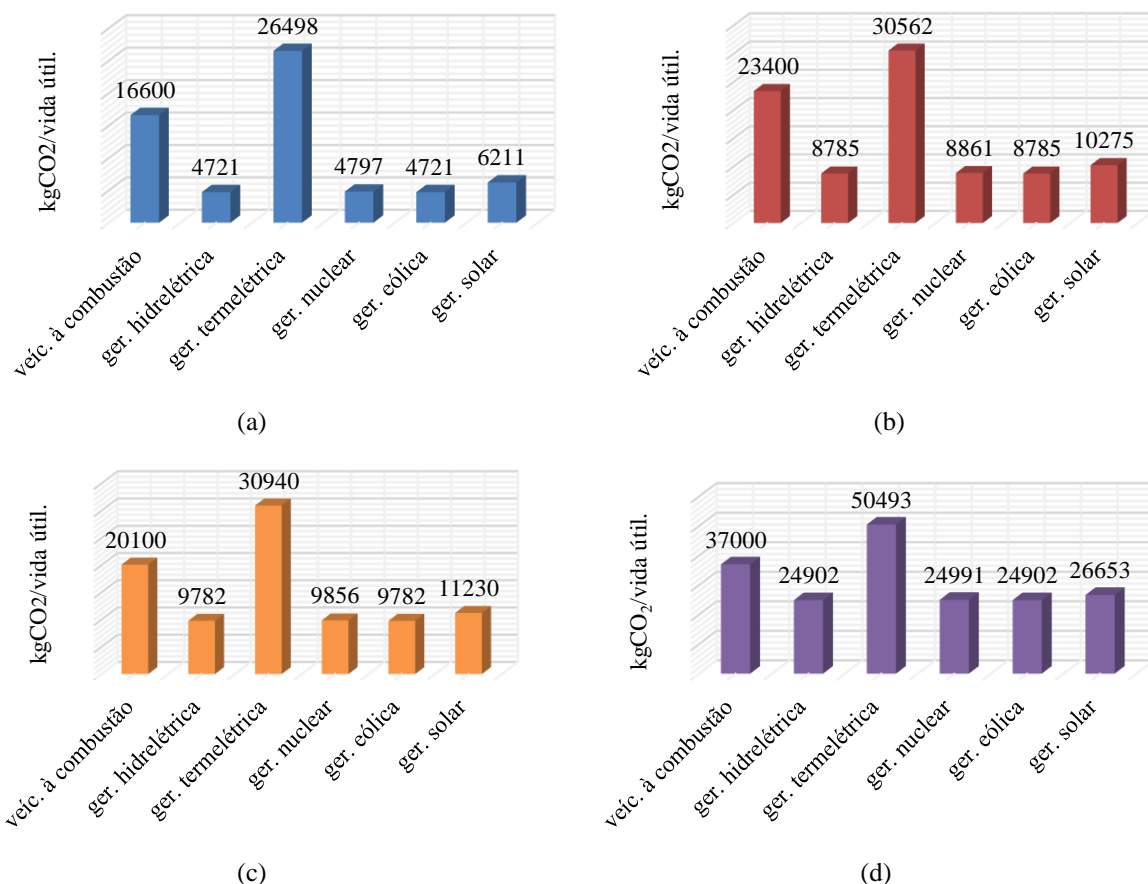
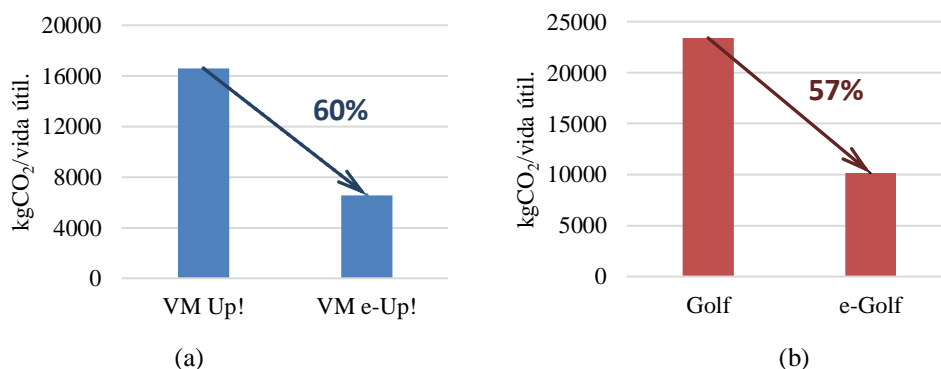


Figura 4 – Comparativo das emissões por kgCO<sub>2</sub>/vida útil de um carro à gasolina e de um elétrico para diversas fontes de geração de energia. (a) VM Up e VM e-Up. (b) Golf e e-Golf. (c) Hyundai HB20S e Nissan LEAF. (d) Ferrari 488 e Tesla model S.

Analisando a Fig. 4, nota-se que para diferentes fontes de geração de energia a emissão de poluentes é variável. Por exemplo, se toda a energia necessária para abastecer um carro elétrico fosse proveniente de termelétricas a carvão mineral, percebe-se que a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera por VEs seria maior que a emissão oriunda de um carro a combustão. Entretanto, verifica-se que para fontes limpas de energia a emissão é bastante reduzida, representando em alguns casos uma atenuação de 50% quando comparado com veículos movidos a gasolina.

Todavia, tomando-se a matriz elétrica brasileira, é possível mensurar quanto de dióxido de carbono é emitido por meio de uma média ponderada. Os dados de kgCO<sub>2</sub>/vida útil listados na Tab. 5 foram ponderados pela porcentagem de contribuição de cada fonte na geração de energia de acordo com o Ministério de Minas e Energia (2019), ou seja, 64% da matriz é composta por geração hidráulica, 11% derivados de petróleo, 2% energia nuclear, 1% geração solar e 10% proveniente de geração eólica. Vale ressaltar que nesses cálculos não foram considerados as contribuições da geração da biomassa e outras fontes, que somadas representam aproximadamente 11% da matriz.



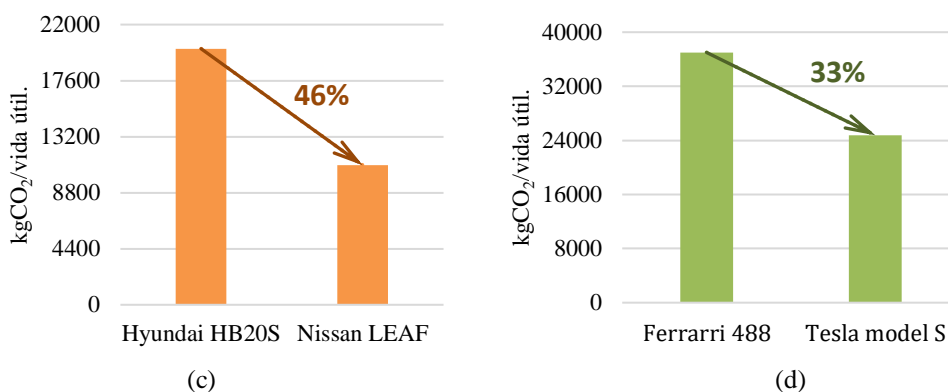


Figura 5 – Comparativo das emissões por kgCO<sub>2</sub>/vida útil de um carro à gasolina e de um elétrico, considerando a matriz elétrica brasileira.

Na Fig. 5, observa-se que os veículos totalmente elétricos se apresentam como uma proposta viável para mitigar a emissão de poluentes. A comparação de carros semelhantes na Figura permite notar que em (a) e (b) a redução fica por volta de 60%, o que justifica a crescente mudança no mercado automotivo. Além disso, calculando a média das emissões de carros a combustão listados na Tab. 4 e a média das emissões de carros elétricos listados na Tab. 6, considerando a média ponderada por fonte de energia é possível concluir, por meio de uma média das emissões dos modelos analisados, que carros elétricos reduzem em 12% as emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera, quando comparados aos a combustão.

#### 2.4. Comparativo entre modelos com a atualização da matriz elétrica.

Com o surgimento de novas demandas ambientais e o advento de práticas sustentáveis, a matriz elétrica de um país se renova e novas projeções de expansão de energia são tomadas. No documento preliminar do Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 (EPE, 2019) é possível ver o panorama da matriz elétrica brasileira para 2029, considerando os incrementos de geração de energia renovável tanto centralizada quanto distribuída. Tais incrementos são desafiadores quando estimam um acréscimo de 11GW de capacidade instalada na micro e minigeração, tendo, nesse montante, 63% da energia gerada oriunda de geração fotovoltaica. Isso reflete um aumento de 2% e 6% de contribuição da energia solar e eólica na matriz elétrica.

Prevê-se, portanto, um arranjo de 58% da geração de energia oriunda de hidrelétricas, 9% derivados do petróleo, 3% nuclear, 16% eólica e 3% de geração solar. Assim, é possível projetar quantos kgCO<sub>2</sub> serão emitidos pelos VEs e analisar sua respectiva redução, tomando a matriz elétrica projetada para 2029. É importante ressaltar que nesse estudo não foram consideradas as contribuições da biomassa e outras fontes na geração de energia que juntas correspondem a, aproximadamente, 11% da matriz. Além disso, não foi considerada a melhoria da performance do carro ao longo dos anos.

Os dados de kgCO<sub>2</sub>/vida útil listados na Tab. 5, referente ao VM e-Up!, foram ponderados pela porcentagem de contribuição de cada fonte na geração de energia de acordo com a matriz de 2029. Na Fig. 6 é possível ver que, para o VM e-Up!, há uma redução de 5% nas emissões de poluentes nos próximos 10 anos, sugerindo que, com o incremento de 8% de geração eólica e solar na matriz, se reduziu 5%, portanto, nota-se que com a adesão de novas fontes de geração de energia limpa, o potencial de um VE como alternativa para reduzir a liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera aumenta.

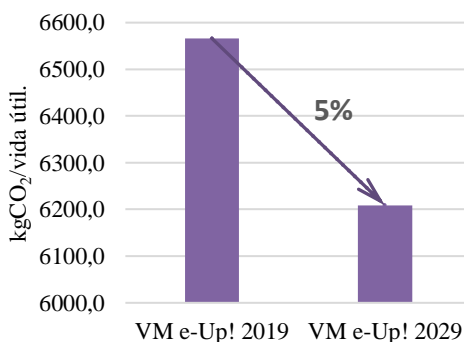


Figura 6 – Comparativo das emissões por kgCO<sub>2</sub>/vida útil do VM e-Up! considerando a matriz de 2019 e a projetada para 2029.

Diante do que foi exposto, é notório que para reduzir as emissões de um veículo, seja ele a combustão, seja elétrico, diversos fatores devem ser levados em consideração, tais como o processo de geração do combustível, sendo a

eletricidade ou derivados do petróleo, bem como, a construção, tecnologia e potência do veículo. O processo de refino da gasolina, por exemplo diante dos dados estudados, representa uma parcela significativa do montante total de kgCO<sub>2</sub> emitido durante a vida útil do carro. Para os veículos que utilizam Gasolina C, o refino atinge 12% do total de kgCO<sub>2</sub> liberados para a atmosfera.

Já nos veículos elétricos, a parcela de contribuição de CO<sub>2</sub> para produção da bateria é ainda maior. Tomando a média do CO<sub>2</sub> emitido para fabricar as baterias dos carros listados na Tab. 5 e a média ponderada do montante de CO<sub>2</sub> emitido por vida útil, conclui-se que a produção da bateria corresponde a 74% de todo o CO<sub>2</sub> emitido por um carro elétrico. Isso denota, portanto, a necessidade de aprimorar o processo de fabricação das baterias, bem como, sua vida útil a fim de aumentar a autonomia do veículo. Ademais, aplicar novas estratégias e novos arranjos no sistema de potência dos VEs que permitem aproveitar e processar mais energia, diminui a dependência da bateria, o que reduz emissão de poluentes, custo e aumenta a adesão por parte dos consumidores.

## 6. CONCLUSÃO.

Os resultados deste trabalho mostraram como os VEs se apresentam como uma alternativa para mitigar a emissão de poluentes atmosféricos, principalmente em países onde há um grande investimento em geração de energia oriunda de fontes limpas. Diante do estudo feito neste trabalho, percebeu-se que, tomando um país como o Brasil que possui uma matriz elétrica diversificada, os VEs quando comparados com os carros a combustão reduzem em 12% a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido. Entretanto, a demanda por novas tecnologias de baterias e componentes do carro elétrico, além de limitar sua contribuição na redução de poluentes, retarda sua inclusão no mercado automotivo. Isso se deve ao fato de que a ausência dessas tecnologias implica na baixa autonomia do veículo, o que não o torna atrativo para os consumidores.

## REFERÊNCIAS

- Autovista Group, 2019. Conflit reports on the carbon footprint of EVs. Disponível em: < <https://autovistagroup.com/news-and-insights/conflicting-reports-carbon-footprint-evs>>.
- Carvalho, C. H. R. de, 2011. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).
- Chan C. C., Bouscayrol A., Chen K. 2010. Electric, Hybrid, and Fuel-Cell Vehicles: Architectures and Modeling. IEEE Transactions on Vehicular Technology, v. 59, n. 2, p. 589-598.
- Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP), 2014. *Oil Refineries*.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2019. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029.
- Gazonne, D. L., 2014. Balanço de emissões de CO<sub>2</sub> por biocombustíveis no Brasil, Histórico e perspectivas.
- IEA, 2017. Global EV Outlook, IEA Publications. Disponível em: < [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEV\\_Outlook2017.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEV_Outlook2017.pdf)>.
- Inmetro, 2019. Tabela de Consumo/Eficiência Energética Veículos Automotores Leves.
- Ministério de Minas e Energia, 2019. Resenha Energética Brasileira.
- Romare M., Dahllöf L., 2017. The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries. IVL Swedish Environmental Research Institute Report. p.27.
- Secretaria do Meio Ambiente CETESB, Companhia Ambiental do estado de São Paulo. 2017. Emissões Veiculares no estado de São Paulo.
- WNA Report, 2011. Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources, p. 6.
- Tamai, G., 2019. What are the hurdles to full vehicles electrification, IEEE Electrification Magazine, vol. 7, n. 1, pp. 5-11.

## STRATEGIES TO MITIGATE POLLUTANT EMISSIONS IN THE PRIVATE CARS SECTOR.

**Abstract.** *This work evaluates, considering the Brazilian context, the emissions generated by intern combustion light duty vehicles, which use fossil fuel, and the emissions generated by electric vehicles. A comparative study was carried out between these two cars, considering the concept of Well-to-Wheel and also those derived fossil fuels and various energy generation sources. One shows that the adhesion of electric vehicles and the use of renewable energy sources, for example, photovoltaic and wind generation, are fundamentals strategies to mitigate the release dioxide liberation into atmosphere.*

**Key words:** *Electric Vehicles, Emission, Solar Energy*