

**LAÍS CAVAGLIANO**

**Análise da viabilidade técnica e econômica da substituição de veículos a combustão  
interna por veículos elétricos e veículos elétricos híbridos no Brasil**

**Laís Cavagliano**

**Análise da viabilidade técnica e econômica da substituição de veículos a combustão interna por veículos elétricos e veículos elétricos híbridos no Brasil**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Eliana Vieira Canettieri

C376a Cavagliano, Laís  
Análise da viabilidade técnica e econômica da substituição de veículos a combustão interna por veículos elétricos híbridos no Brasil / Laís Cavagliano – Guaratinguetá, 2021.  
63 f : il.  
Bibliografia: f. 57-63

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2021.  
Orientadora: Profª. Drª. Eliana Vieira Canettieri

1. Veículos elétricos. 2. Sustentabilidade. 3. Energia – Fontes alternativas. I. Título.

CDU 621.337

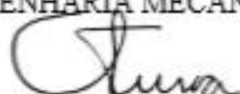
Luciana Máximo

Bibliotecária CRB-8/3595

**LAÍS CAVAGLIANO**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
"ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA  
Coordenador

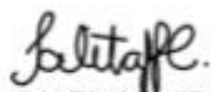
**BANCA EXAMINADORA:**



Prof. Dra. ELIANA VIEIRA CANETTIERI  
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA  
UNESP-FEG



TALITA MARIANE CRISTINO  
Membro Externo

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por me dar uma vida tão plena, repleta de privilégios e cercadas de pessoas boas. Em um ano tão difícil como esse, Ele foi muito bom comigo;

a minha orientadora, *Prof. Dra. Eliana Vieira Canettieri* que sempre se mostrou extremamente presente para auxiliar em todos os momentos desse trabalho. Sem a sua orientação e conselhos, esse trabalho não seria o mesmo; aproveito para agradecer a *Talita Mariane Cristino*, doutoranda de engenharia Mecânica, que participou da minha qualificação, foi extremamente prestativa, com comentários que agregaram muito ao meu trabalho.

ao meu pai, *Cesar Pier Georg Cavagliano* que, assim como eu, é Unespiano, e agora caminhando para se tornar um grande engenheiro, e a minha mãe, *Margareth Bacheivangi Cavagliano*, que foi a primeira pessoa que despertou minha paixão por números apesar de ser professora de Português, eles sempre foram exemplos para mim, de integridade e superação, e apesar de todas as dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos e a entrar em uma universidade pública;

ao meu irmão, *Leonardo Cavagliano*, que sempre tornou minha vida mais leve, e foi um motivo a mais para eu sempre voltar para casa, sei que sempre poderei contar com seu apoio;

ao meu namorado e também engenheiro, *Victor Tadashi Carnaúba*, sem ele com certeza não teria chegado ao fim do curso, compartilhando as mesmas dores, ouvindo todas as minhas reclamações e compartilhando minhas vitórias. Agradeço por me ajudar em todos os aspectos possíveis e tornar essa caminhada mais leve.

a *República das Ursas* que foi minha segunda família durante esses anos de faculdade e sempre me darão uma razão para voltar a Guaratinguetá, agradeço por sempre estarem presentes, em especial minha companheira de ano *Erika Isobata*, que sempre foi um exemplo para mim e me auxiliou muito no meu primeiro ano, com toda a adaptação; além disso, ao nosso companheiro de quatro patas, que está sempre disposto a dar amor e carinho pra quem quer que precise, sempre me acompanhando em longas jornadas de estudos;

a todos os professores, funcionários e colegas da faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, por toda dedicação, presteza e vontade de ajudar.

## RESUMO

Os veículos comerciais de passeio já foram movidos, inicialmente, a vapor, a eletricidade ou a gasolina. Devido ao desenvolvimento da indústria do petróleo, os veículos a gasolina acabaram por dominar o mercado. Depois de quase um século, os veículos elétricos reapareceram no atual cenário automotivo. Isso aconteceu por diversos fatores, entre eles: a maior consciência ambiental sobre os malefícios causados ao meio ambiente pela queima de petróleo pelos veículos com motores a combustão e preocupação com uma futura escassez no petróleo, que é uma fonte não renovável de energia. Juntando isso a uma pressão de organizações como a ONU com preocupações de desenvolvimento sustentável, os países tendem a adotar práticas com menor impacto ao meio ambiente. O presente trabalho visa analisar a viabilidade de substituição do atual veículo a combustão interna por veículos elétricos ou híbridos, bem como suas vantagens e desvantagens e os desafios a serem enfrentados no país no cenário atual. Com as análises das características econômicas, operacionais e o posicionamento político atual chegou-se à conclusão que atualmente um crescimento de frotas de veículos elétricos em grande escala no Brasil ainda é inviável, os híbridos elétricos por sua vez estão muito mais a frente e são muito mais viáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Veículos elétricos. Consciência ambiental. Veículos híbridos. Sustentabilidade. Energia renovável.

## **ABSTRACT**

Commercial passenger vehicles were initially powered by steam, electricity or gasoline. Due to the development of the oil industry, gasoline vehicles ended up dominating the market. After almost a century, electric vehicles have reappeared in the current automotive landscape. This happened due to several factors, among them: the greater environmental awareness about the harm caused to the environment by the burning of oil by vehicles with combustion engines and concern about a future shortage in oil, which is a non-renewable source of energy. Adding this to pressure from organizations like the UNO with concerns for sustainable development, countries tend to adopt practices with less impact on the environment. The present work aims to analyze the feasibility of replacing the current internal combustion vehicle with electric or hybrid vehicles, as well as its advantages and disadvantages and the challenges to be faced in the country in the current scenario. With the analysis of economic and operational characteristics and the current political positioning, it has been concluded that currently a large-scale growth of electric vehicle fleets in Brazil is still unfeasible, electric hybrids are much more ahead and more viable.

**KEYWORDS:** Electric vehicles. Environmental awareness. Hybrid vehicles. Sustainability. Renewable energy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo de quatro tempos do motor de Otto.....	14
Figura 2 - Matriz veicular Nacional nos anos de 2018 e 2019 .....	16
Figura 3 - Veículo híbrido elétrico: Configuração em série .....	19
Figura 4 - Veículo híbrido elétrico: Configuração paralela .....	20
Figura 5 - Veículo híbrido elétrico: Configuração série/paralela .....	21
Figura 6 - Geração de energia elétrica por fonte no Brasil - 2018 .....	25
Figura 7 – Oferta de Energia 2009 – 2018 .....	25
Figura 8 – Emissões totais (2018), em Mt CO <sub>2</sub> .....	27
Figura 9 – Incentivos aos Veículos Elétricos por UF .....	32
Figura 10 – Toyota Corolla Altis Premium 2021.....	34
Figura 11 – Toyota Corolla Altis Hybrid Premium 2021 .....	36
Figura 12 – Chevrolet Tracker Turbo Premier 2021 .....	37
Figura 13 – Chevrolet Bolt EV .....	38
Figura 14 – Carregador básico de fábrica.....	39
Figura 15 – Carregador rápido residencial .....	39
Figura 16 – Carregador Super-Rápido .....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vendas internas de combustível de 2014 a 2018 .....	15
Tabela 2 – Emissões de GEE provenientes da geração elétrica no Brasil (MtCO <sub>2</sub> ).....	28
Tabela 3 –Geração elétrica por fonte no Brasil (GWh).....	29
Tabela 4 – Tabelas de consumo/Eficiência Energética Veículos Automotores Leves .....	35
Tabela 5 – Comparação do cenário 1.....	40
Tabela 6 – Comparação do cenário 2.....	41
Tabela 7 – Cálculo do cenário 1.1 .....	44
Tabela 8 – Cálculo da Economia no cenário 1.1 .....	44
Tabela 9 – Cálculo do cenário 1.2 .....	44
Tabela 10 – Cálculo da Economia no cenário 1.2 .....	45
Tabela 11 – Cálculo do custo de operação do Chevrolet Tracker.....	45
Tabela 12 – Cálculo do custo de operação do Chevrolet Volt .....	45
Tabela 13 – Cálculo da Economia do veículo elétrico em relação ao veículo a combustão ....	45
Tabela 14 – Cálculo do custo de Operação do Chevrolet Tracker utilizando gasolina.....	46
Tabela 15 – Cálculo da Economia do veículo elétrico em relação ao veículo a combustão ....	46
Tabela 16 – Cálculo do IPVA do Corolla em 5 anos .....	47
Tabela 17 – Cálculo do IPVA do Tracker em 5 anos .....	47
Tabela 18 – Cálculo da revisão do Chevrolet Bolt em 10 anos.....	48
Tabela 19 – Cálculo da revisão do Chevrolet Tracker em 10 anos.....	49
Tabela 20 – Cálculo da revisão do Toyota Corolla em 6 anos.....	49
Tabela 21 – Cálculo da revisão do Toyota Corolla Hybrid em 6 anos .....	49
Tabela 22 – Dados dos custos do veículo híbrido vs veículo a combustão .....	50
Tabela 23 – Dados dos custos do veículo elétrico vs veículo a combustão.....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MCI	Motor de Combustão Interna
ANP	Agência Nacional de Petróleo
GEE	Gases do Efeito Estufa
ME	Motores Elétricos
VE	Veículos Elétricos
VH	Veículos Híbridos
VHE	Veículos Híbridos e Elétricos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
HC	Hidrocarbonetos
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
MP	Materiais Particulados
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
IPI	Imposto sobre Produtos Importados

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1	OBJETIVOS .....	12
1.1.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	12
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	12
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
2.1	ASPECTOS HISTÓRICOS E CARACTERÍSTICAS DE VEÍCULOS COM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA.....	13
2.1.1	<b>Combustíveis Mais Usados em Veículos a Combustão no Brasil</b> .....	15
2.2	VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS.....	16
2.2.1	<b>Origem dos Veículos Elétricos e Híbridos</b> .....	16
2.2.2	<b>Características e Classificação de Veículos Elétricos e Híbridos</b> .....	17
2.2.2.1	Configuração em Série .....	18
2.2.2.2	Configuração Paralela.....	20
2.2.2.3	Configuração Série/Paralela .....	21
2.2.3	<b>Baterias</b> .....	22
2.2.3.1	Características de Baterias para Veículos Elétricos e Híbridos .....	22
2.2.3.2	Descarte de Baterias .....	23
2.2.3.3	Riscos dos Metais Pesados no Ecossistema.....	24
2.3	IMPLICAÇÕES DO CENÁRIO ENERGÉTICO SOBRE POSSÍVEIS FROTAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS NO BRASIL .....	24
2.4	ASPECTOS AMBIENTAIS .....	26
2.4.1	<b>Poluentes Emitidos por Motores de Combustão Interna</b> .....	26
2.4.2	<b>Políticas de Controle de Emissões Veiculares</b> .....	27
2.4.3	<b>Emissões de Gases do Efeito Estufa na Produção de Energia Elétrica</b> .....	28
2.5	VANTAGENS E DESVANTAGENS .....	29
2.5.1	<b>Vantagens e Desvantagens dos Veículos a Combustão</b> .....	29
2.5.2	<b>Vantagens e Desvantagens dos Veículos Elétricos</b> .....	30
2.5.3	<b>Vantagens e Desvantagens dos Veículos Híbridos Elétricos</b> .....	31
2.6	ANÁLISE DAS INICIATIVAS E AÇÕES EM CURSO NO PAÍS E CONTEXTO REGULATÓRIO .....	32
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	33
3.1	VEÍCULOS QUE SERÃO COMPARADOS .....	33

<b>3.1.1</b>	<b>Especificações dos Veículos do Cenário 1</b> .....	33
3.1.1.1	Toyota Corolla Altis Premium 2020 .....	33
3.1.1.2	Toyota Corolla Altis Hybrid Premium.....	36
<b>3.1.2</b>	<b>Especificações dos Veículos do Cenário 2</b> .....	37
3.1.2.1	Chevrolet Tracker Turbo Premier .....	37
3.1.2.2	Chevrolet Bolt EV .....	38
<b>3.1.3</b>	<b>Comparação das Especificações Técnicas dos Veículos dos dois Cenários</b> ...	40
3.2	ANÁLISE DOS CUSTOS DE OPERAÇÃO .....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	44
4.1	ANÁLISE DOS CUSTOS DE OPERAÇÃO .....	44
<b>4.1.1</b>	<b>Cálculo do custo operacional do Cenário 1.1</b> .....	44
<b>4.1.2</b>	<b>Cálculo do custo operacional do Cenário 1.2</b> .....	44
<b>4.1.3</b>	<b>Cálculo do custo operacional do Cenário 2.1</b> .....	45
<b>4.1.4</b>	<b>Cálculo do custo operacional do Cenário 2.2</b> .....	46
4.2	ANÁLISE DOS GASTOS COM IMPOSTOS.....	46
4.3	ANÁLISE DOS CUSTOS COM MANUTENÇÃO .....	48
4.4	RESULTADOS DO CÁLCULO DO CENÁRIO 1 E O PONTO DE VISTA AMBIENTAL .....	50
4.5	RESULTADOS DO CÁLCULO DO CENÁRIO 2 E O PONTO DE VISTA AMBIENTAL .....	51
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	53
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	55
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	56

## 1 INTRODUÇÃO

O interesse mundial por novas possibilidades energéticas é crescente em todos os setores, inclusive no setor de transportes. Isso é motivado por dois fatores: esse setor é um dos principais responsáveis pela emissão de poluentes e uma possível escassez de petróleo no futuro.

Na conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas, realizada em Paris no final de 2015, os chefes de Estado assumiram um compromisso de limitar o aumento da temperatura do planeta até 2050 em 2°C. Para cumprir essa meta, ações drásticas precisam ser tomadas. (NOVAIS, 2016)

E essa possibilidade de que os veículos do futuro serão elétricos se mostra cada vez mais nítida nos tempos atuais. Diversos países já pensam em suspender a venda de carros a gasolina e diesel no futuro, como o Reino Unido e a França que querem proibir sua venda a partir de 2040, a Índia, a partir de 2030 e a Noruega, já em 2025. O Brasil não ficou para trás nessa, existe um projeto de lei que institui a substituição de automóveis movidos a combustíveis fósseis a partir de 1º de janeiro de 2030, aprovado em fevereiro de 2020. (AGÊNCIA SENADO, 2020).

Para que isso aconteça, algumas montadoras já estão começando a focar em veículos “eletrificados”. Desde 2019, todos os novos modelos lançados pelo grupo PSA (Peugeot, Citroen, DS, Vauxhall e Opel) tinham versões híbridas ou elétricas, a Volvo e Jaguar Land Rover também anunciaram que pretendem abolir gradativamente os motores a combustão. (UOL, 2018). O grupo Renault anunciou que vai interromper as vendas de carros movidos a combustão na China para focar no mercado de carros elétricos. (TECMUNDO, 2020).

Durante a implementação do carro a combustão interna no começo do século XX, ele era a opção mais complicada, duvidosa, cara, poluente e criticada, porém na época era a única forma de energia facilmente armazenável e distribuível em todos os territórios por um preço aceitável, enquanto para energia elétrica não havia distribuição em todos os territórios. Atualmente, esse cenário mudou, existe infraestrutura de redes de distribuição de energia elétrica, o que favorece o cenário para veículos elétricos e híbridos.

Como pode-se ver, a indústria automobilística está passando por um período de reestruturação, em que há investimentos para implementação de novas tecnologias a fim de aumentar a eficiência energética e conseqüentemente diminuir a emissão de poluentes. Em meio a isso, há constantes discussões sobre se o veículo elétrico é uma boa opção para substituir veículos com motor de combustão interna, levando em consideração não só o

âmbito técnico, mas também o econômico. Toda a estrutura de manutenção e utilização de veículos a combustão já está pronta, mas para veículos elétricos essa base de infraestrutura ainda deve ser construída. Assim como em toda inovação, um investimento inicial é necessário, mas antes de ser feito, é importante que se realize uma análise de seus impactos e benefícios aos consumidores, ao meio ambiente, e de sua viabilidade.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar a viabilidade de substituição no cenário brasileiro dos veículos com motor de combustão interna, que são movidos majoritariamente por derivados do petróleo, por veículos elétricos ou por veículos elétricos híbridos.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Selecionar alguns veículos comerciais no Brasil para fim de comparação;
- Realizar um levantamento dos gastos dos veículos anualmente, de acordo com seus custos de operação, de revisão e os impostos pagos por esses veículos;
- Calcular em quantos anos os veículos elétricos ou híbridos vão pagar o custo extra para obtenção desses veículos

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ASPECTOS HISTÓRICOS E CARACTERÍSTICAS DE VEÍCULOS COM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

O primeiro Motor de Combustão Interna (MCI) foi desenvolvido pelo Engenheiro Mecânico Nikolaus August Otto (1832 – 1891), em 1866. Foi uma revolução na indústria, que na época utilizava largamente o motor a vapor. Se tratava de um motor cujo princípio de funcionamento é conhecido como Ciclo Otto, que consiste em transformações termodinâmicas que podem ser observadas nos automóveis até os dias atuais. (RANGEL, 2018).

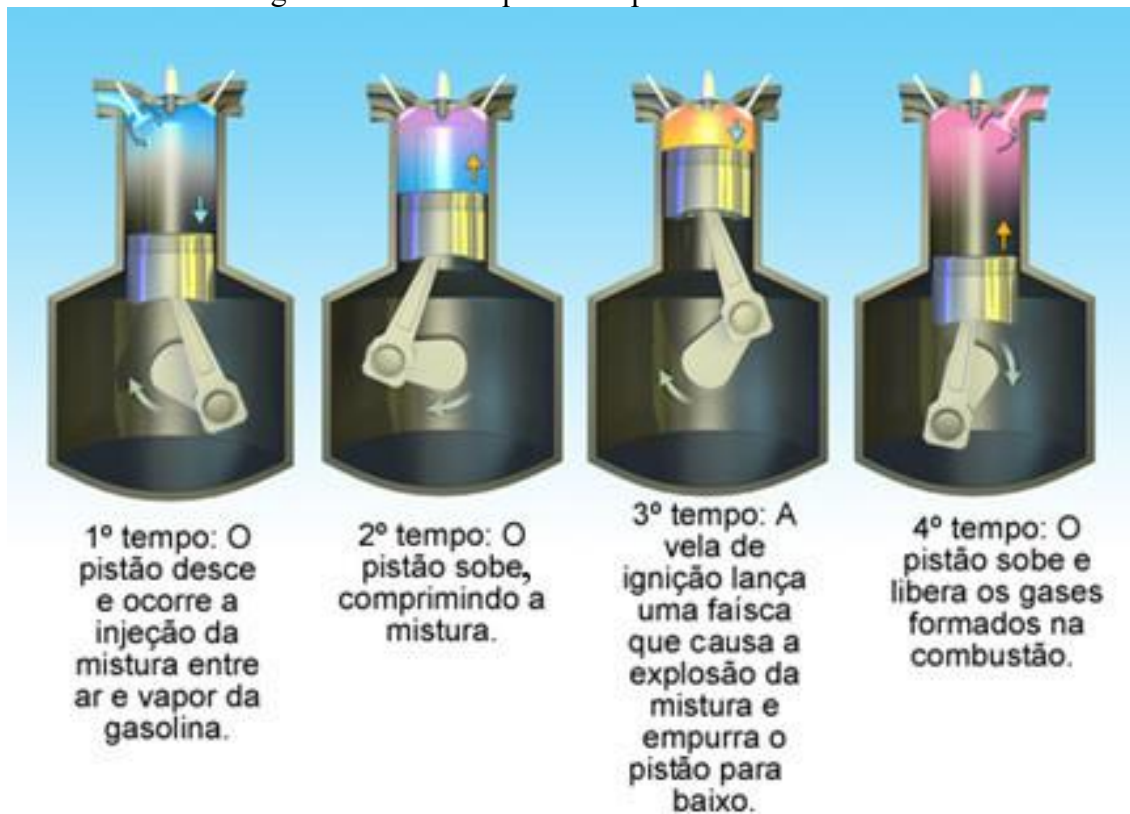
O primeiro automóvel movido por um motor de combustão interna foi inventado por Karl Friedrich Michael Benz. Após isso, diversas pessoas passaram a contribuir e aperfeiçoar esse motor, como o engenheiro Mecânico francês Alphonse Beau de Rochas (1815 – 1893), o empresário francês Armand Peugeot (1849 – 1915), o engenheiro industrial francês Louis Renault (1877 – 1944), entre outros. Porém a maior contribuição para aperfeiçoar sistematicamente o motor de combustão interna, aconteceu nos Estados Unidos no início do século XX. (MOWERY; ROSENBERG, 2005).

Motores de Combustão interna são aqueles que utilizam os próprios gases de combustão como fluido de trabalho, os principais ciclos envolvidos nesses, são o Otto e Diesel. Cada um deles possui suas características, mas seus princípios de operação são iguais. Por serem baseados em queima de combustível, liberam poluentes na atmosfera e majoritariamente utilizam fontes não renováveis de energia. A diferença entre o Ciclo Otto e o Diesel, é que o primeiro funciona pela aspiração da mistura ar-combustível, promovendo a combustão através de uma faísca, enquanto o segundo aspira apenas o ar, e após a compressão, o combustível é pulverizado, promovendo a queima devido ao elevado calor e pressão gerados pela compressão do ar de admissão. (SANTOS, 2017).

Os motores de ciclo Otto utilizam ignição por centelha, utilizando como combustíveis gasolina, gás ou álcool, o combustível que mais é utilizado no mundo hoje é a gasolina. Funcionam em um ciclo de quatro tempos. Na primeira parte há uma expansão na câmara de combustão, onde o processo ocorre, causando entrada de combustível e ar. Em seguida ocorre uma compressão na câmara. No terceiro passo, ocorre a explosão, onde uma faísca é liberada em seu interior, gerando uma ignição que expande novamente a câmara de combustão, e por fim o escape, em que os gases formados na combustão são expelidos e as válvulas para

entrada de ar e combustível são abertas, reiniciando o processo. (RANGEL, 2018). Esse processo pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Ciclo de quatro tempos do motor de Otto



Fonte: Rangel (2018).

Já os motores do ciclo Diesel, também são motores de combustão interna, mas com ignição por compressão, os combustíveis utilizados nele são o diesel, o biodiesel e suas misturas. O ar admitido no cilindro nesse motor é comprimido pelo pistão ou êmbolo, atingindo uma temperatura de 500 a 700°C, devido a compressão, fazendo com que essa mistura se inflame espontaneamente, por conta do calor resultante da compressão do ar. Normalmente veículos pesados como caminhões, trens e navios são impulsionados pelo ciclo ideal de Diesel. (TILLMAN, 2013).

Outro tipo muito comum, são os veículos *flex fuel* que utilizam MCI do tipo ciclo Otto, e funcionam com mais de um combustível misturados no mesmo tanque, geralmente gasolina e álcool. A mistura é detectada e o veículo ajusta a injeção de combustível. Esse motor é encontrado somente em automóveis e veículos comerciais leves. Esses veículos além de proporcionar a flexibilidade em relação a escolha de combustível, reduz as emissões de CO<sub>2</sub>. (SANTOS, 2017).

### 2.1.1 Combustíveis Mais Usados em Veículos a combustão no Brasil

A maior parte da frota de veículos brasileira utiliza óleo diesel, gasolina e álcool. Por regulamentação, no Brasil, os veículos de passeio não podem utilizar motores de ciclo Diesel, portanto esses, são abastecidos por gasolina, álcool e em menor escala, por gás natural. (AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS, 2019). O óleo diesel é usado em caminhões e ônibus, e veículos comerciais leves.

De acordo com a Avaliação do Mercado de Combustíveis de 2019 da ANP (2019), no ano de 2018, as vendas internas de diesel ficaram em 55.558 mil m<sup>3</sup>, de gasolina 38.353 mil m<sup>3</sup> e 29.740 mil m<sup>3</sup> de etanol, como mostra a Tabela 1.

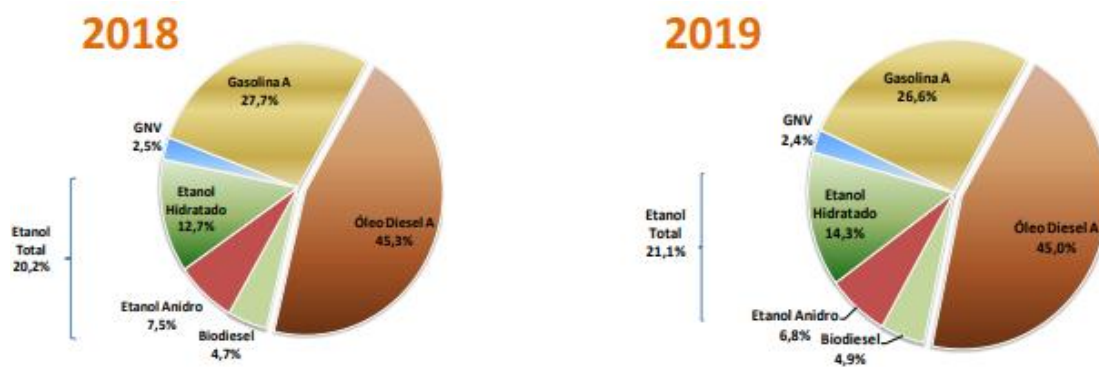
Tabela 1 - Vendas internas de combustível de 2014 a 2018

Combustível (mil m <sup>3</sup> )	2014	2015	2016	2017	2018	Varição 18/17
Diesel B	60.032	57.211	54.279	54.772	55.558	↑ 1,4%
Diesel A	56.621	53.206	50.479	50.470	50.167	→ -0,6%
Biodiesel (B100)	3.410	4.005	3.799	4.302	5.391	↑ 25,3%
Gasolina C	44.364	41.137	43.019	44.150	38.352	↓ -13,1%
Gasolina A	33.273	30.204	31.404	32.230	27.997	↓ -13,1%
Etanol Anidro	11.091	10.934	11.615	11.921	10.355	↓ -13,1%
Etanol Hidratado	12.994	17.863	14.586	13.642	19.385	↑ 42,1%
Etanol Total	24.085	28.796	26.201	25.563	29.740	↑ 16,3%
Ciclo Otto Total	57.358	59.000	57.605	57.792	57.736	→ -0,1%
GLP	13.410	13.249	13.398	13.389	13.257	→ -1,0%
Óleo Combustível	6.195	4.932	3.333	3.385	2.316	↓ -31,6%
QAV	7.470	7.355	6.765	6.637	7.144	↑ 7,6%
GAV	76	64	57	51	48	↓ -5,6%
<b>Total</b>	<b>144.541</b>	<b>141.811</b>	<b>135.436</b>	<b>136.026</b>	<b>136.060</b>	<b>→ 0,0%</b>

Fonte: ANP (2019).

Neste mesmo quadro, podemos observar uma ampliação da Participação dos Biocombustíveis, com destaque para o aumento do Etanol Hidratado e o Biodiesel, o que continuou acontecendo do ano de 2018 e 2019, como pode-se observar na Figura 2. Nesta mesma figura, é possível ver a matriz veicular nacional, com o óleo diesel ocupando o primeiro lugar em volume consumido, seguido pela gasolina e etanol.

Figura 2 - Matriz veicular Nacional nos anos de 2018 e 2019



Fonte: ANP (2020).

## 2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS

Os Veículos elétricos não são uma novidade dentro da indústria automotiva. Muitas tentativas de introduzi-los no mercado como uma alternativa aos veículos MCI falharam. A análise principal feita para explicar tal fato é de que as baterias são muito caras e sua autonomia não é competitiva comparada aos MCI.

Define-se veículo elétrico como veículos que utilizam pelo menos um motor elétrico para o acionamento das rodas. Os principais tipos são: veículo elétrico a bateria, veículo elétrico a célula combustível e veículo elétrico híbrido. Os veículos elétricos possuem como características baixos ruídos, e baixas ou nula emissões de poluentes. (SANTOS, 2017).

### 2.2.1 Origem dos Veículos Elétricos e Híbridos

Os veículos elétricos surgiram em meados do século XIX, na mesma época que foi criada a bateria de chumbo-ácido, em 1859. A partir de 1880, diversos veículos foram desenvolvidos com esse tipo de bateria, anos antes de surgir o primeiro veículo com MCI em 1886. Em 1901, Thomas Edison, desenvolveu uma bateria de níquel-ferro, com 40% a mais de densidade energética que as de chumbo-ácido. (NOVAIS, 2016).

Porém o contexto em que nasceu esses veículos não se mostrava favorável à solução de problemas técnicos, como por exemplo, os relacionados a infraestrutura de abastecimento. Enquanto isso, a evolução dos veículos a combustão era menos complexa e mais barata. Isso acontecia, pois o petróleo era abundante no mundo, enquanto a eletricidade estava restrita a poucas localidades e demandava altos custos de distribuição. Com todos esses fatores, Henry

Ford implantou um sistema de produção em série que barateava os veículos a combustão pela metade do preço dos veículos elétricos. Com o surgimento do motor de partida em 1912 substituindo as manivelas dos veículos a combustão, foi decretado o fim do mercado para veículos elétricos. (NOVAIS, 2016).

Na década de 70, quando houve um disparo no preço dos combustíveis fósseis devido a guerra entre os países produtores de petróleo, o governo passou a dar incentivos em países desenvolvidos para promover tecnologias alternativas. Isso fez com que o carro elétrico ressurgisse, porém com uma eletrônica muito mais desenvolvida, microcomputadores e diversos tipos de bateria. Esses veículos fizeram muito sucesso, ameaçando a indústria de petróleo, o que criou um conflito de interesses, que tirou os veículos elétricos de pauta. (NOVAIS, 2016).

Em relação a origem dos veículos elétricos Híbridos, em 1903 houve a produção de um automóvel com características de um híbrido em série (Definição na seção 2.2.2.1), o qual era composto por um gerador elétrico, dois pequenos motores elétricos que forneciam tração as rodas dianteiras e alimentado por um pequeno motor à combustão interna. Outro modelo foi produzido entre 1901 e 1906, o qual tinha características de um híbrido em paralelo (Definição na seção 2.2.2.2). O motor a combustão interna era utilizado para fornecer tração as rodas e carregar uma bateria, enquanto o motor elétrico fornecia potência extra ao eixo de tração ou funcionava sozinho, durante o trânsito lento. (HOYER, 2008)

Atualmente, quem conhece a história dos veículos elétricos, se pergunta como uma tecnologia que já deu errado no passado pode ser a tecnologia do futuro. A explicação vem da nova conjuntura mundial, onde a preocupação com as mudanças climáticas e a consciência que os recursos naturais são finitos vem de encontro com os grandes avanços da eletrônica. Em um mundo cada vez mais populoso, a sustentabilidade será cada dia mais prioridade dentro das indústrias, e quem não se adaptar, acabará ficando para trás.

## **2.2.2 Características e Classificação de Veículos Elétricos e Híbridos**

Como foi possível observar, os carros elétricos e híbridos elétricos surgiram da origem do desenvolvimento do próprio automóvel, no final do século XIX. Nessa época, preocupações ambientais e de eficiência não existiam como nos tempos atuais. Ainda assim, havia uma preocupação em aumentar os níveis de desempenho de motores a combustão interna (MCI) ou melhorar a autonomia dos veículos baseados em motores elétricos (ME). O que gerou avanços importantes, como a frenagem regenerativa, que permite recuperar a

energia cinética perdida pelo veículo por conta da travagem, esse avanço foi fundamental para o aumento da eficiência e autonomia dos veículos elétricos.

Atualmente, o principal entrave da comercialização de veículos elétricos se dá pelo grau de desenvolvimento atual das baterias. Apesar dos esforços que vem sendo feitos em relação ao desempenho das mesmas, elas ainda não atendem totalmente as exigências requeridas para os veículos elétricos, principalmente quando tratamos da autonomia do veículo, densidade de energia e densidade de potência. Ou seja, essas atendem veículos que precisam desempenhar distâncias relativamente curtas.

Pode-se definir veículos elétricos (VE) a bateria como um veículo acionado por um ou mais motores elétricos cuja energia é suprida por uma ou mais baterias. Baterias essas que devem ser recarregadas a partir de uma rede elétrica ou fonte de energia elétrica externa ao veículo. Existem algumas configurações que podem possuir sistemas de frenagem regenerativa, como mencionado acima. O motor elétrico usa a energia química armazenada nas baterias recarregáveis, que após isso, é convertida em energia elétrica para alimentar um motor que fará a conversão em energia mecânica.

Já os veículos híbridos (VH) inclui dois ou mais sistemas de propulsão, sendo que os mais usuais são os veículos híbridos elétricos (VHE), onde existe a combinação de dois sistemas de propulsão, um baseado em MCI e outro em um ou vários motores elétricos (ME). Podemos ter 3 configurações para esse: série, paralelo e paralelo/série. (SANTOS, 2017).

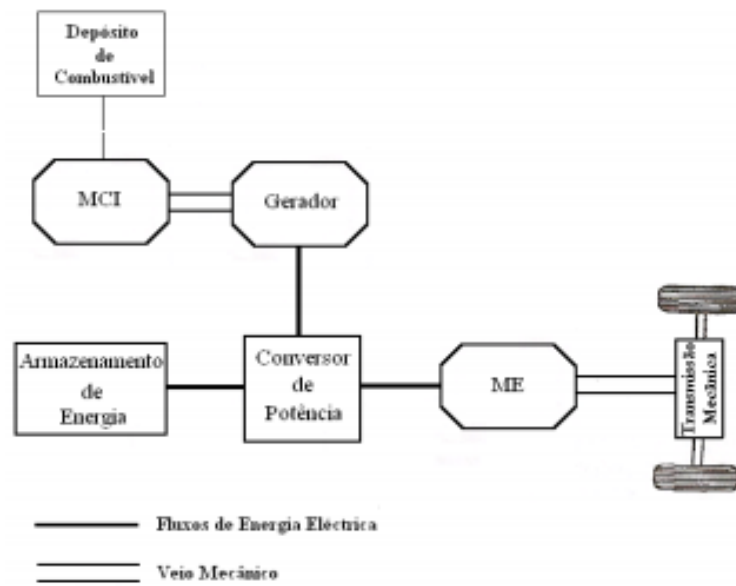
Os veículos híbridos, portanto, tem o objetivo de juntar as vantagens dos veículos convencionais, que utiliza MCI com as vantagens dos veículos elétricos. Assim, combina-se elevada autonomia e potências dos MCI e elevada eficiência e emissão baixa, dos VE.

As configurações dos VHE se diferenciam pelo modo como é inserido o motor de combustão interna no sistema de propulsão elétrica, como poderemos ver nas seções a seguir.

#### 2.2.2.1 Configuração em Série

Na configuração em série o MCI aciona apenas um gerador que alimenta o ME de tração do veículo, esse gerador também efetua o carregamento das baterias, ou seja, é um VE assistido por um MCI como pode ser observado na Figura 3. (MELO, 2010).

Figura 3 - Veículo híbrido elétrico: Configuração em série



Fonte: Melo (2010).

Pode-se considerar os seguintes modos de funcionamento (MELO, 2010):

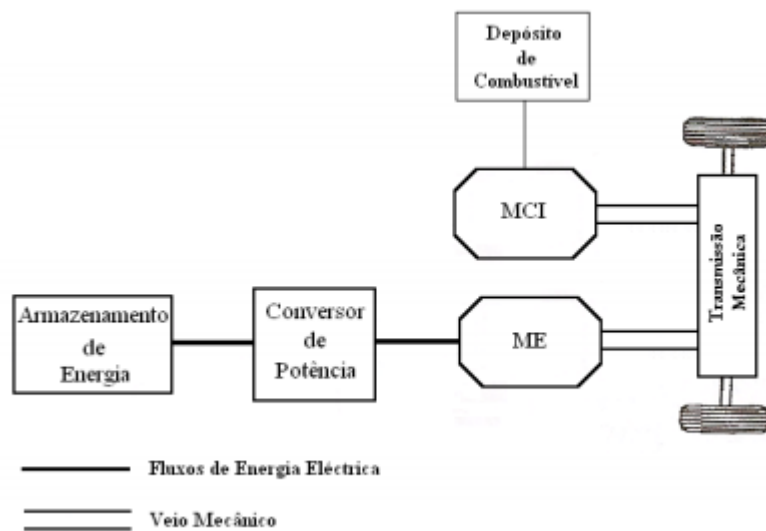
- Energia de propulsão – Baterias: A energia de propulsão provém unicamente das baterias, isso ocorre quando o MCI é desligado;
- Energia de propulsão – MCI: Toda energia de propulsão vem do sistema gerador/MCI;
- Energia de propulsão – modo híbrido: A potência de tração é feita pelo MCI e pelas baterias;
- Energia de propulsão e carregamento das baterias: O sistema MCI/gerador fornece energia tanto para propulsionar o veículo, como para carregar as baterias;
- Frenagem regenerativa: Quando o MCI é desligado e o ME funciona como gerador, carregando as baterias;
- Carregamento das baterias: Sem que haja propulsão, o sistema MCI/gerador carrega as baterias;
- Carregamento híbrido das baterias: o sistema MCI/gerador e o ME efetua o carregamento das baterias.

Essa configuração em que há ligação mecânica com um gerador, ao invés de diretamente com um conversor de potência, torna o regime de funcionamento mais flexível, permitindo otimizar o funcionamento do MCI.

### 2.2.2.2 Configuração Paralela

Na configuração paralela, o MCI e o ME podem fornecer potência em paralelo as rodas do veículo. Conceitualmente, é um veículo convencional (MCI) com assistência elétrica (ME). Portanto, ambos os motores são acoplados aos eixos de transmissão, através de duas embreagens independentes, onde a propulsão pode ser feita pelo MCI, pelo ME ou por ambos, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Veículo híbrido elétrico: Configuração paralela



Fonte: Melo (2010).

Os possíveis modos de funcionamento dessa configuração, são os seguintes (MELO, 2010):

- Propulsão ME: O MCI é desligado e o veículo funciona apenas com o motor elétrico;
- Propulsão MCI: O ME é desligado e o veículo funciona apenas com o motor de combustão;
- Propulsão Híbrida: Os dois motores contribuem para a propulsão do veículo;
- Propulsão MCI dividida: uma parte da potência do MCI é usada na propulsão enquanto a outra carrega as baterias, portanto, o ME funciona como gerador;
- Frenagem simples (apenas regenerativa): O MCI é desligado e o ME funciona como gerador, efetuando o carregamento das baterias;

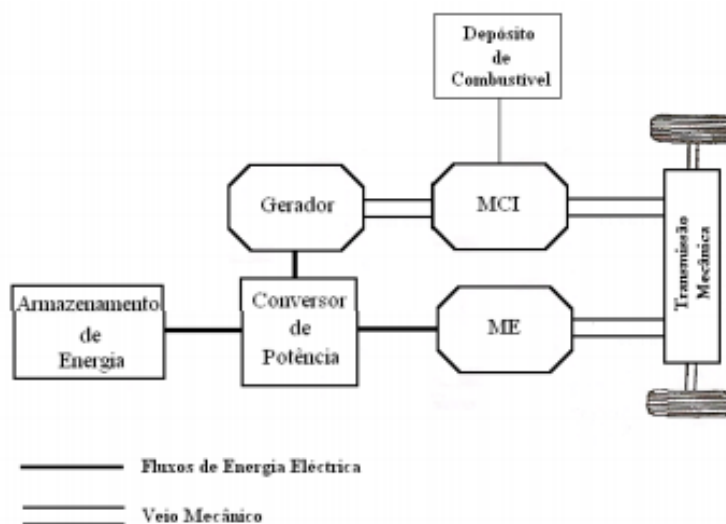
- Frenagem regenerativa e mecânica: O ME funciona como gerador; o MCI funciona como freio mecânico.

Ou seja, nesse caso o motor elétrico funciona como gerador quando na frenagem regenerativa e quando a potência mecânica no eixo do MCI for maior que o necessário na propulsão do veículo.

### 2.2.2.3 Configuração Série/Paralela

Essa configuração une as características das duas anteriores, buscando juntar as vantagens de ambas. Na Figura 5 podemos observar essa configuração.

Figura 5 - Veículo híbrido elétrico: Configuração série/paralela



Fonte: Melo (2010).

Comparando com a estrutura em série, existe uma ligação mecânica a mais no eixo de transmissão, e a estrutura paralela, existe uma máquina elétrica a mais (o gerador). Os modos de funcionamento do sistema série/paralelo podem ser concebidos com a combinação dos dois modos de funcionamento anteriores. Portanto, os veículos híbridos acabam sendo muito flexíveis, mas isso aumenta a complexidade do sistema de propulsão, necessitando de sistemas de controle complexos, e sistemas de gestão de fluxos de energia, capazes de otimizar a eficiência dos modos de operação. (MELO, 2010).

### 2.2.3 Baterias

A indústria de baterias automotivas vem passando por transformações, isso por conta da crescente eletrificação mesmo veículos com MCI tendem a usar baterias mais avançadas. Além disso, a difusão de veículos elétricos e híbridos representa uma mudança ainda maior na indústria. A indústria de baterias automotivas, no Brasil, é uma das poucas de autopeças com maior parte de empresas de capital nacional. (CASTRO; BARROS; VEIGA, 2013).

A bateria é o principal componente de um carro elétrico e se mostra um grande gargalo na indústria do carro elétrico atualmente, pois representa 40% do custo do veículo atualmente. (SANTOS, 2017).

#### 2.2.3.1 Características de Baterias para Veículos Elétricos e Híbridos

A bateria é um acumulador que transforma energia química em energia elétrica, por meio de uma equação de oxirredução geralmente. O polo negativo é conhecido como anodo, no qual ocorre a oxidação, e o positivo é o catodo, onde ocorre a redução. Os elétrons sempre percorrem o caminho do anodo para o catodo, gerando energia elétrica. (CASTRO; BARROS; VEIGA, 2013).

Para veículos elétricos e híbridos. essas baterias necessitam ter grande carga de energia, pois além de acionar os acessórios do veículo, ela também é responsável pela sua propulsão. Assim, as baterias de chumbo-ácido não se mostram suficientes para essa tecnologia, pois sua densidade energética é pequena, portanto, o mercado de baterias para veículos híbridos e elétricos está direcionado para a utilização de baterias de íon-lítio. Apesar de serem as mais utilizadas atualmente, além dela e da de chumbo, ainda existem as de níquel e as de sódio que disputam esse mercado. (SANTOS, 2017).

As principais características que as baterias utilizadas nos veículos elétricos devem ter são capacidade de potência energia armazenada, além disso, é importante que ela tenha alta confiabilidade, alto desempenho, ampla faixa de temperatura de operação, elevada vida útil, segurança, entre outros fatores. Sendo que com o passar do tempo, seu desempenho pode se degradar. (ROSOLEM et al., 2012).

Por conta desses fatores as baterias de lítio são as mais utilizadas atualmente, além do grande conhecimento que temos nessa tecnologia devido ao seu uso em outros segmentos, como smartphones, notebooks, entre outros. O lítio é o mais leve dos metais usados em baterias e fornece a maior densidade de energia por peso.

Por outro lado, as baterias de sódio tendem a ser mais baratas e são totalmente recicláveis, então, existem projetos em andamento para sua utilização. Por ser composta por matérias-primas abundantes na natureza, como o cloreto de sódio, ferro, cobre e níquel, pode vir a se tornar uma ótima alternativa.

A bateria é o componente menos durável do VE, e alguns fatores interferem em sua durabilidade tais como: temperatura, excessos de recarga e as descargas completas das baterias. Alguns fabricantes dizem que sua vida útil é em torno de 150.000 km ou 5 anos. Outros dizem que com a tecnologia atual, seu tempo de vida chega a 10 anos ou mais do que 1500 ciclos. Ciclos são relativos à carga e descarga por completo, descargas parciais não são contabilizadas como um ciclo completo. (SANTOS, 2017).

Atualmente, apesar de ainda não serem utilizadas nos veículos comerciais, foi desenvolvida a bateria de lítio-enxofre, que tem a capacidade de armazenar energia o suficiente para que um veículo percorra até 2000 quilômetros em uma única carga. A primeira fábrica dessas baterias, a Oxis Energy, será instalada em Juiz de Fora, no Brasil. Com um investimento de aproximadamente 245 milhões de reais o projeto visa começar a operar em 2023, com uma produção inicial de 300 mil células de bateria por ano, podendo chegar até 5 milhões. O objetivo do presidente da Oxis Energy é eliminar os ônibus movidos a motores de combustão interna. (CESAR, 2020)

#### 2.2.3.2 Descarte de Baterias

A primeira legislação específica sobre descartes de pilhas e baterias ocorreu em 1999 (Resoluções CONAMA: nº257, de 30/06/99; e nº 263, de 12/11/99), porém essa somente abrange pilhas e baterias que contenham cádmio, chumbo e mercúrio. Portanto, a bateria de lítio-íon que não possui regulamentação de descarte na legislação brasileira, pode ser descartada junto ao resíduo sólido comum. Essas não podem entrar em contato com altas temperaturas, não podem estar perto de ondas eletromagnéticas ou expostas a impactos mecânicos, não devem ser incineradas, entre outros fatores, pois isso, pode gerar explosão ou vazamento. O certo seria serem coletadas, armazenadas, tratadas e dispostas adequadamente.

### 2.2.3.3 Riscos dos Metais Pesados no Ecossistema

A presença de metais pesados no ambiente pode causar efeitos biológicos, uma vez que muitos desses são tóxicos a qualquer tipo de vida, podendo gerar danos em muitos ecossistemas de forma muitas vezes irreversíveis. Em muitos casos, a intoxicação só será observada no longo prazo. Esses metais pesados podem ser introduzidos no meio aquático através da lixiviação e no meio aéreo pelos gases da incineração.

Os principais metais encontrados em baterias são Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg), Arsênio (As), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Níquel (Ni) e Lítio (Li). Sendo que entre esses os potencialmente tóxicos que apresentam maior risco a saúde humana são: Cr, Cd, Pb, Hg, As. O mercúrio é extremamente volátil, e o seu vapor é altamente tóxico, podendo causar danos ao sistema nervoso central. O cádmio, com apenas 1,0 grama, pode ser letal aos seres humanos. O chumbo que está sendo ingerido constantemente nos alimentos, pode causar encefalopatia. O arsênio causa problemas no sistema nervoso central e cardiovascular e assim como cromo é carcinógeno (Fígado, rim e pulmão). (SANTANA, 2014).

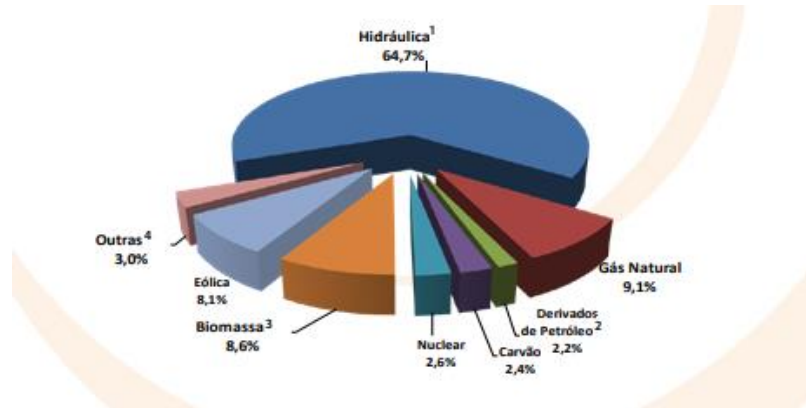
Como pode-se observar muitos dos metais presentes nas pilhas e baterias são bastante tóxicos, portanto é importante que se faça boa gestão do descarte, ou reciclagem desse objeto, até porque muitos de seus elementos são raros na natureza.

## 2.3 IMPLICAÇÕES DO CENÁRIO ENERGÉTICO SOBRE POSSÍVEIS FROTAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS NO BRASIL

As emissões de veículos são responsáveis por diversas doenças respiratórias, sem contar as emissões de gases do efeito estufa, que podem causar diversos danos ambientais. Uma das alternativas para mitigar tais emissões é a adoção de veículos elétricos, que diretamente, emitem pouca ou nenhuma poluição. Se a maior parte da energia viesse de fontes limpas, a emissão desses veículos seria irrelevante.

O problema é quando a geração de energia elétrica provém de fontes consideradas sujas, como o carvão e o petróleo. (VONBUN, 2015). No entanto, a matriz energética brasileira se destaca como uma das mais limpas no mundo, uma vez que grande parte da energia utilizada no país vem de fontes renováveis. Na Figura 6 pode-se ver as fontes de geração de energia elétrica no Brasil no ano de 2018.

Figura 6 - Geração de energia elétrica por fonte no Brasil - 2018

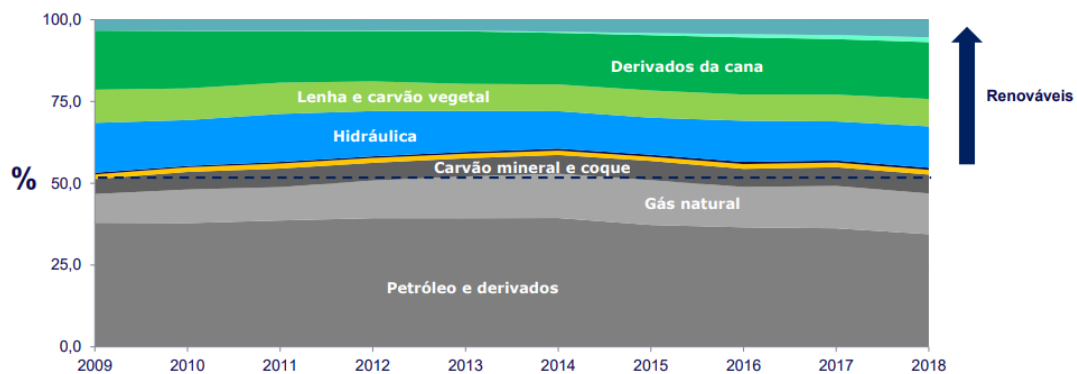


Fonte: EPE (2019).

A hidroeletricidade foi priorizada desde a década de 1960 com a atuação da Eletrobrás, no contexto atual, essa fonte é a mais econômica em termos de custos da energia produzida. A oferta interna de energia elétrica deve ser maior que o consumo total final, devido as perdas e a necessidade de uma margem de segurança em relação a demanda estimada.

Porém, se considerar outros tipos de energia, as fontes renováveis não são predominantes no Brasil como pode-se ver na Figura 7.

Figura 7 – Oferta de Energia 2009 – 2018



Fonte: EPE (2019).

Isso se deve ao setor de transportes ocupar o primeiro lugar em consumo de energia no Brasil, com 32,7% de uso. (EPE, 2019). Isso explica a demanda de petróleo e derivados.

Uma das preocupações que se tem relacionadas aos veículos elétricos é sobre o impacto que eles trariam a rede elétrica se fossem utilizadas em larga escala no Brasil, porém estudos feitos pela Itaipu Binacional demonstram que se o País decidisse usar toda sua capacidade de

produção para incluir veículos elétricos no mercado (em torno 3,4 milhões de novos veículos por ano), o impacto no aumento do consumo seria de 3,3% ao ano.

Portanto, para substituir toda a frota, no Brasil, necessitaria de 10 anos de produção de somente veículos elétricos, então, após esse tempo, o aumento do consumo seria de 33%, um grande impacto caso não houvesse nenhuma ampliação na capacidade de geração, o que não reflete a realidade. No entanto, países mais otimistas estão prevendo a entrada de veículos elétricos numa razão de 10% ao ano sobre suas frotas. Caso o Brasil adote esse padrão otimista, o aumento no consumo de energia seria de somente 0,33% ao ano. (NOVAIS, 2016)

Entre 2017 e 2018, por exemplo, a capacidade de geração de eletricidade no Brasil foi expandida em 3,6%. A maior expansão foi em geração solar, que cresceu 92% em relação ao ano anterior.

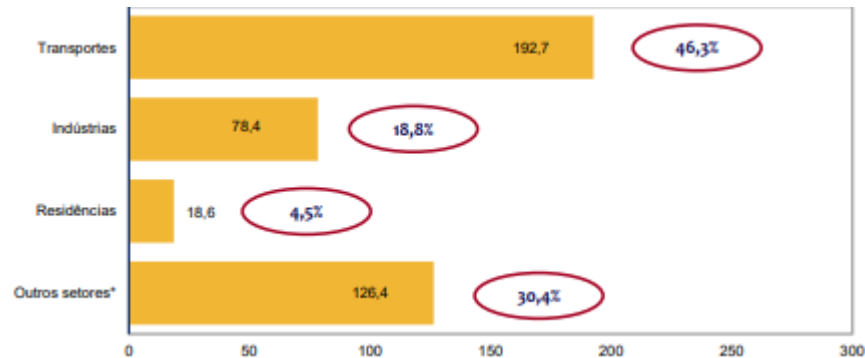
## 2.4 ASPECTOS AMBIENTAIS

A questão ambiental vem se tornando cada vez mais decisiva à medida que os danos a humanidade se tornam mais visíveis. De acordo com o Relatório Stern (2006), desde a revolução industrial, existem indícios que a temperatura média do planeta já aumentou em 0,7°C. Além do aquecimento global, existem os efeitos locais das altas concentrações de poluentes no ar, como o aumento de problemas respiratórios e chuvas ácidas.

Reduzir emissões de CO<sub>2</sub> é essencial para o controle do aquecimento Global, fato que foi posto em pauta durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável em setembro de 2015, composto por 17 objetivos para serem atingidos até 2030, em que um deles é o Combate às Alterações Climáticas, a ODS 13. (ONU, 2015).

### 2.4.1 Poluentes Emitidos por Motores de Combustão Interna

Como já citado no presente artigo, o setor de transporte é o que mais consome energia no Brasil (32,7% do total) (EPE, 2019). Como consequência, o setor é um grande responsável pelas emissões de CO<sub>2</sub>, representando 46,3% do total, como pode-se observar na Figura 8.

Figura 8 – Emissões totais (2018), em Mt CO<sub>2</sub>

Fonte: EPE (2019).

Além de CO<sub>2</sub>, os principais poluentes veiculares são os Hidrocarbonetos (HC) ou compostos orgânicos voláteis (COV), o monóxido de carbono (CO), os materiais particulados (MP), os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) e o Ozônio. (CARVALHO, 2011).

#### 2.4.2 Políticas de Controle de Emissões Veiculares

A atividade do setor de transportes é responsável por emissões de diversas substâncias perigosas na atmosfera, como visto na seção anterior, por isso, busca-se através de legislações e mudanças técnicas, limitar as emissões desse setor. No Brasil, esses limites são estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE).

O PROCONVE instituído em 1986 visa reduzir a emissão de poluentes atmosféricos e de ruído de todos os modelos de veículos automotores vendidos no território nacional. Esse programa estabelece limites de emissão que se tornam cada dia mais restritivos, e que reduziram de forma significativa a emissão desde o início da sua implantação.

A PROCONVE considera a qualidade do combustível e a concepção do motor como os principais fatores da emissão dos poluentes. O Brasil, por ter adicional 27% de etanol anidro à gasolina, passou a produzir um combustível de ótima qualidade do ponto de vista ambiental. Isso trouxe uma redução imediata de cerca de 50% de redução na emissão de CO da frota antiga de veículos. (CETESB, 2020)

### 2.4.3 Emissões de Gases do Efeito Estufa na Produção de Energia Elétrica

A grande vantagem dos veículos elétricos é sua emissão nula de poluentes e gases do efeito estufa em seu funcionamento, porém, isso pode não ser tão verdadeiro dependendo do país da onde a frota circula. Em muitos países europeus, a eletricidade no geral é gerada por fontes não renováveis e poluentes, como carvão. Então, mesmo que os elétricos não gerem diretamente a poluição atmosférica e o aquecimento do planeta, a energia que alimenta suas baterias o faz. Então, a pegada de carbono aumenta. Outro fator é a energia gasta na fabricação de baterias, que é muito grande também. (VONBUN, 2015)

No Brasil, porém, a matriz energética é baseada em fonte hidráulica considerada limpa e renovável, por isso, os carros elétricos tendem a ser mais vantajosos do ponto de vista ambiental. Essa vantagem permanece mesmo quando comparado aos veículos movidos a etanol, que é um combustível menos agressivo ao ambiente. (VONBUN, 2015)

No momento atual, a quantidade de gases do efeito estufa emitida na geração elétrica está diminuindo, dado que a geração por energias renováveis tem crescido nos últimos anos, isso é um fator favorável a implantação de veículos elétricos, uma vez que o principal motivo para implantação deles, vem das emissões desprezíveis.

A Tabela 2 apresenta as emissões associadas a geração elétrica em milhões de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> (MtCO<sub>2</sub>).

Tabela 2 – Emissões de GEE provenientes da geração elétrica no Brasil (MtCO<sub>2</sub>)

	2014	2015	2016	2017	2018	Δ% (2018/2017)	Part. % (2018)	
<b>Total</b>	<b>94,07</b>	<b>89,61</b>	<b>64,44</b>	<b>61,14</b>	<b>52,71</b>	<b>-13,8</b>	<b>100</b>	<b>Total</b>
Sin	71,00	68,96	45,35	43,14	33,68	-21,9	63,9	Sin
Autoprodução	15,77	16,44	16,72	16,89	17,08	1,1	32,4	Self-production
Sistemas isolados	7,30	4,20	2,37	1,11	1,95	75,7	3,7	Isolated systems

Fonte: EPE (2019).

Pela análise da Tabela 3, pode-se notar uma tendência na diminuição das emissões que pode ser explicada pelo aumento da participação de fontes renováveis, e diminuição das não renováveis como observado.

Tabela 3 –Geração elétrica por fonte no Brasil (GWh)\

	2014	2015	2016	2017	2018	Δ% (2018/2017)	Part. % (2018)	
<b>Total</b>	<b>590.542</b>	<b>581.228</b>	<b>578.898</b>	<b>589.327</b>	<b>601.396</b>	<b>2,0</b>	<b>100</b>	<b>Total</b>
Hidráulica <sup>1</sup>	373.439	359.743	380.911	370.906	388.971	4,9	64,7	Hydraulics
Gás Natural	81.073	79.490	56.485	65.593	54.622	-16,7	9,1	Natural Gas
Derivados de Petróleo <sup>2</sup>	30.834	25.014	11.808	12.458	9.293	-25,4	1,5	Petroleum products
Carvão	18.385	18.856	17.001	16.257	14.204	-12,6	2,4	Coal
Nuclear	15.378	14.734	15.864	15.739	15.674	-0,4	2,6	Nuclear
Biomassa <sup>3</sup>	44.987	47.394	49.236	50.740	51.876	2,2	8,6	Biomass
Eólica	12.210	21.626	33.489	42.373	48.475	14,4	8,1	Wind
Outras <sup>4</sup>	14.235	14.371	14.103	15.261	18.281	19,8	3,0	Other

Fonte: EPE (2019).

## 2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS

### 2.5.1 Vantagens e Desvantagens dos Veículos a Combustão

A principal desvantagem do processo de combustão utilizado para converter a energia dos combustíveis derivados do petróleo em movimento são os altos índices de poluição que gera, o que prejudica o meio ambiente e a saúde humana, principalmente em áreas mais povoadas. Entre os poluentes encontrados, pode-se citar o monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, entre outros.

Essa combustão também gera gases do efeito estufa (GEE), principalmente o CO<sub>2</sub>, e ainda o óxido nitroso, o carbono negro, e o metano os quais acredita-se que contribuem para a mudança climática. Além disso, a maioria dos combustíveis dos motores de combustão interna provém de fontes fósseis, fonte não renovável. (SANTOS, 2017).

Outra desvantagem é que os motores de combustão possuem um rendimento muito baixo. Os motores de ciclo Otto tem um rendimento de em torno de 22 a 30%, enquanto os motores Diesel estão na faixa dos 30 a 38%, segundo o Instituto de física da UFRGS (2017). A perda de eficiência se dá pelas perdas térmicas e mecânicas ocasionadas pelo atrito entre as diversas peças do motor. Além disso, há a perda da extração do combustível que ocasiona um rendimento ainda menor, por exemplo, ao transformar petróleo em Diesel e utilizá-lo como combustível, somente 15% da energia do processo será convertida em movimento. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Um dos pontos que está sendo amplamente estudado e discutido dentro da indústria mecânica é a melhoria na qualidade e eficiência dos motores produzidos, principalmente

diante da necessidade de redução das emissões e da otimização no uso dos combustíveis. Por isso, um dos grandes enfoques dos estudos, são os biocombustíveis, tais como o etanol e o biodiesel, mas também cada vez mais pesquisas sobre veículos elétricos e híbridos.

Porém, comparando com os veículos elétricos, os carros MCI possuem grandes vantagens: sua autonomia e tempo de abastecimento. Veículos a combustão possuem uma autonomia em torno de 650 a 800 km, e seu abastecimento gira em torno de 5 minutos, contando com uma grande infraestrutura de postos de combustíveis distribuídos em todo país.

Com relação aos custos, os custos de aquisição dos veículos convencionais são consideravelmente menores aos dos veículos elétricos. Além disso, os veículos MCI conseguem alcançar velocidades superiores as proporcionadas pelos veículos elétricos, por isso, alguns consumidores podem ser frustrados pela sua potência.

### **2.5.2 Vantagens e Desvantagens dos Veículos Elétricos**

Existem inúmeras vantagens e desvantagens na utilização dos veículos elétricos segundo Tanaka (2013); Barbosa, Oliveira e Souza (2010) e Arruda e Gomez (2015). A primeira vantagem é a grande redução da poluição ambiental, pois o veículo não emite nenhum poluente quando em operação. A poluição sonora também diminui, pois os motores elétricos praticamente não transmitem ruídos. Nos veículos elétricos também, o gasto operacional é pequeno quando comparado ao veículo a combustão, pois a energia elétrica é mais barata do que quando comparada aos combustíveis de origem fóssil.

Além disso, diferente dos veículos com MCI, os VE's não consomem energia quando ficam parados no trânsito, pois o motor elétrico pode ser desligado nas paradas do veículo. A eficiência do motor elétrico (entre 90 e 95%) em operação é muito maior comparando com os motores de combustão interna (inferior a 30%). A manutenção dos veículos elétricos é muito menos constante que dos veículos convencionais, por possuírem menos componentes que os mesmos.

Quanto a emissão de poluentes, considera-se somente que em operação esses veículos não emitem poluentes gasosos, porém, dependendo da matriz energética, as emissões podem continuar ocorrendo na geração elétrica. Assim, para o veículo ser realmente eficiente do ponto de vista ambiental, a energia que chega as baterias deve ser gerada por fontes renováveis.

Outro ponto importante a ser citado é quanto ao descarte e reciclagem das baterias, pois muitos componentes empregados nessas baterias podem ser extremamente tóxicos a saúde humana e ao meio ambiente, o que tornaria o veículo elétrico insustentável.

Entre as desvantagens dos veículos elétricos, pode-se citar seu preço que ainda é muito elevado, e muito além do poder de compra da maioria dos consumidores brasileiros. Sua baixa autonomia também pode ser citada como um ponto negativo. Além disso seu tempo de recarga é muito alto, e não há infraestrutura no Brasil para carregamento rápido. E também existe a necessidade de troca de baterias após o tempo de vida útil, o que representa um elevado investimento dado o preço das baterias.

### **2.5.3 Vantagens e Desvantagens dos Veículos Híbridos Elétricos**

Sobre os modelos híbridos elétricos, eles apresentam algumas vantagens em relação aos modelos puramente elétricos, sendo que a maior delas é sua grande autonomia, podendo superar até mesmo um veículo convencional. Um veículo híbrido faz menos uso do motor a combustão do que um veículo convencional, fazendo com que ele use mais o motor elétrico que dispõe, aumentando sua autonomia de combustível de 25 a 40% em relação a um veículo convencional, caso o modelo do híbrido seja do tipo Plug-in, onde existe a opção de carregamento das baterias com energia da rede elétrica, sua economia poderá ser de até 65%, ou seja, sua eficiência é muito alta. Por conta desses fatores, a frequência para abastecer esses veículos é menor, o que também é uma vantagem. Seus custos de operação também são menores, devido a possibilidade de operar maior tempo utilizando o motor elétrico, que utiliza energia da bateria, que são carregadas durante a frenagem ou em rede (caso o veículo seja do tipo Plug-in).

Apesar dos veículos híbridos ainda usar MCI, a redução dos gases dos efeitos estufas ainda são altas, estimativas apontam que essa redução pode ser de até 50% na quantidade de CO<sub>2</sub> emitido. (FILHO, 2009). Para esses veículos não é necessário tanto investimento em uma infraestrutura de carregamento, além disso, esses veículos geralmente são mais baratos que o puramente elétricos.

As principais desvantagens desses veículos são que eles são mais poluentes que os elétricos, o custo de aquisição também é relativamente alto, comparando com os modelos convencionais, e seu sistema mecânico é mais complexo do que os veículos elétricos, de modo que seu custo de manutenção se torna mais caro.



### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 VEÍCULOS QUE SERÃO COMPARADOS**

Todos os carros puramente elétricos vendidos no Brasil são importados de países da Ásia, da Europa e dos Estados Unidos, não havendo nenhuma marca que produza no Brasil. Os híbridos geralmente têm uma parte da produção no Brasil, mas ainda não são 100% produzidos aqui. Embora o imposto de importação para esses veículos tenha sido quase zero, a baixa escala de produção e o valor do câmbio continuam deixando o preço desse veículo inacessível para a maioria dos brasileiros. (EXAME, 2020).

Foram escolhidos 4 veículos para fim de comparação em dois cenários:

Cenário 1: um elétrico híbrido e um a combustão equivalente ao mesmo modelo;

Cenário 2: um veículo elétrico e um a combustão equivalente ao mesmo modelo.

A escolha dos veículos foi feita de tal forma que as especificações deles sejam as mais parecidas possíveis, para que se haja maior exatidão nos resultados de comparação. A comparação irá levar em consideração os veículos funcionando com etanol e gasolina comum. O etanol por ser um combustível renovável mais limpo, pode se mostrar uma alternativa interessante quando usada em um veículo híbrido.

Para o cenário 1 foram escolhidos o Toyota Corolla Altis Premium, que tem sua versão híbrida, o Toyota Corolla Altis Hybrid Premium. As especificações deles estarão nos próximos tópicos.

Para o cenário 2 os modelos escolhidos foram veículos da Chevrolet que tem especificações muito parecidas: o novo elétrico da Chevrolet Bolt EV e o novo Tracker Turbo Premier. Lembrando que o Chevrolet Bolt EV é um veículo importado enquanto o Tracker é produzido no Brasil.

##### **3.1.1 Especificações dos veículos do Cenário 1**

###### **3.1.1.1 Toyota Corolla Altis Premium 2020**

Para realizar a comparação no cenário 1 foi escolhido o Toyota Corolla Altis Premium, que possui as mesmas especificações do híbrido. O Preço desse modelo consultado em agosto de 2020 foi de R\$137.890,00. O Corolla é um carro que existe desde 1966, sendo o carro mais vendido da história. (TOYOTA, 2020)

Figura 10 – Toyota Corolla Altis Premium 2021



Fonte: TOYOTA (2020)

Essa versão possui um motor quatro cilindros em linha 2.0, 16 V, duplo comando continuamente variável, injeção direta e indireta, ciclo Atkinson, com 177 cavalos de potência e 21,4 kgf.m de torque (Abastecido com 100% etanol). Esse veículo tem uma aceleração de 0 – 100 km/h de 9 segundos e seu consumo na cidade com gasolina é de aproximadamente 10,6 km/L e com álcool de 7,2 km/L, enquanto na estrada aumenta para 12,6 km/L com gasolina e 8,8 km/L com etanol. (TOYOTA, 2020). Segundo o selo de etiquetagem do Inmetro esse modelo está classificado na categoria A, como podemos ver na Tabela 4.

Tabela 4 – Tabelas de consumo/Eficiência Energética Veículos Automotores Leves

Categoria	Marca(7)	Modelo(7)	Motor	Versão	(*)	Sim (S) Não (N)	Mecânica (M) Elétrica (E) Eletro-hidráulica (E-H)	Gasolina (G)			Redução Relativa ao Limite	Etanol	Gasolina / Diesel		Consumo Energético (MJ/km)	Comparação Relativa na Categoria	Comparação Absoluta Geral	Selo CONPET de Eficiência Energética				
								Flex (F) Diesel (D)	CO <sub>2</sub> fóssil (g/km)	CO <sub>2</sub> fóssil (g/km)			CO <sub>2</sub> fóssil (g/km)	Cidade (km/l)					Estrada (km/l)			
MÉDIO	VW	T-Cross	1.0-12V	Comfortline 200 TSI	A-6	S	E	F	0,028	0,698	0,027	C	0	113	7,6	9,5	10,8	13,4	1,82	C	B	-
MÉDIO	VW	T-Cross	1.4-16V	Highline 250 TSI	A-6	S	E	F	0,027	0,364	0,011	B	0	112	7,7	9,3	11,0	13,2	1,82	C	B	-
GRANDE	NISSAN	Novo Sentra	2.0-16V	S	CVT	S	E	F	0,006	0,434	0,017	B	0	123	6,7	9,1	9,9	12,7	2,00	C	C	-
GRANDE	NISSAN	Novo Sentra	2.0-16V	SV	CVT	S	E	F	0,006	0,434	0,017	B	0	123	6,7	9,1	9,9	12,7	2,00	C	C	-
GRANDE	NISSAN	Novo Sentra	2.0-16V	SL	CVT	S	E	F	0,006	0,434	0,017	B	0	123	6,7	9,1	9,9	12,7	2,00	C	C	-
GRANDE	NISSAN	Leaf	Elétrico	TEKNA	AUTO	S	E	G	0,000	0,000	0,000	A	\	0	\	\	38,7	31,9	0,58	A	A	SDH
GRANDE	KIA	Cerato	2.0-16V	FF EX / LX / SX / GT 2,0 A1	A-6	S	E	F	0,024	0,374	0,006	B	0	124	6,5	9,3	9,6	13,1	2,02	C	C	-
GRANDE	CAOA CHERY	Arrizo 5	1.5-16V Turbo	RX	CVT	S	E	F	0,019	0,148	0,010	B	0	125	6,7	8,4	9,9	12,1	2,04	C	C	-
GRANDE	CAOA CHERY	Arrizo 5	1.5-16V Turbo	RXT	CVT	S	E	F	0,019	0,148	0,010	B	0	125	6,7	8,4	9,9	12,1	2,04	C	C	-
GRANDE	CAOA CHERY	Arrizo 5 E	E	E	A	S	E	E	0,000	0,000	0,000	A	\	0	\	\	39,3	34,5	0,35	A	A	SDH
GRANDE	SUBARU	WRX	2.0-16V	E	CVT	S	E	G	0,010	0,098	0,017	A	\	143	\	\	8,6	11,1	2,32	E	C	-
GRANDE	SUBARU	WRX	2.5-16V	STI	M-6	S	E	G	0,028	0,372	0,022	B	\	201	\	\	6,2	7,9	3,28	E	E	-
GRANDE	HYUNDAI	Elantra	2.0-16V	Elantra	A-6	S	E	F	0,024	0,322	0,021	B	0	123	6,5	9,1	9,6	13,4	2,02	C	C	-
GRANDE	AUDI	A3 Sedan	1.4-16V	Prestige	A-6	S	E	F	0,027	0,402	0,013	B	0	105	7,8	9,9	11,7	14,2	1,72	A	B	SDH
GRANDE	AUDI	A3 Sedan	1.4-16V	Prestige Plus	A-6	S	E	F	0,027	0,402	0,013	B	0	105	7,8	9,9	11,7	14,2	1,72	A	B	SDH
GRANDE	AUDI	A3 Sedan	2.0-16V	Performance	DCT-6	S	E	G	0,013	0,198	0,022	A	\	119	\	\	10,3	12,8	1,94	C	C	-
GRANDE	AUDI	Q3	1.4-16V	Prestige	DCT-6	S	E	F	0,024	0,331	0,008	B	0	123	6,9	8,1	10,2	11,9	2,02	C	C	-
GRANDE	AUDI	Q3	1.4-16V	Prestige Plus	DCT-6	S	E	F	0,024	0,331	0,008	B	0	123	6,9	8,1	10,2	11,9	2,02	C	C	-
GRANDE	AUDI	Q3	1.4-16V	Black	DCT-6	S	E	F	0,024	0,331	0,008	B	0	123	6,9	8,1	10,2	11,9	2,02	C	C	-
GRANDE	AUDI	RS3 Sedan	2.5-20V	Black	DCT-7	S	E	G	0,006	0,322	0,034	A	\	161	\	\	7,6	9,9	2,61	E	D	-
GRANDE	HONDA	Civic	2.0-16V	LX / EX / EXL / Sport	CVT	S	E	F	0,020	0,177	0,022	B	0	116	7,2	8,9	10,5	13,0	1,91	B	C	-
GRANDE	HONDA	Civic	1.5-16V Turbo	Touring	CVT	S	E	G	0,006	0,142	0,007	A	\	104	\	\	11,8	14,4	1,68	A	B	SDH
GRANDE	HONDA	Civic	1.5-16V Turbo	Coupe SI	M-6	S	E	G	0,008	0,189	0,007	A	\	110	\	\	11,2	13,7	1,78	A	B	SDH
GRANDE	TOYOTA	Corolla	1.8-16V	Altis Premium H	CVT	S	E	F	0,008	0,057	0,001	A	0	84	10,9	9,9	16,3	14,5	1,38	A	A	SDH
GRANDE	TOYOTA	Corolla	1.8-16V	Altis HV	CVT	S	E	F	0,008	0,057	0,001	A	0	84	10,9	9,9	16,3	14,5	1,38	A	A	SDH
GRANDE	TOYOTA	Corolla	2.0-16V	XEI	CVT	S	E	F	0,009	0,134	0,007	A	0	107	8,0	9,7	11,6	13,9	1,73	A	B	SDH
GRANDE	TOYOTA	Corolla	2.0-16V	GLI	CVT	S	E	F	0,009	0,134	0,007	A	0	107	8,0	9,7	11,6	13,9	1,73	A	B	SDH
GRANDE	TOYOTA	Corolla	2.0-16V	Altis Premium	CVT	S	E	F	0,009	0,134	0,007	A	0	107	8,0	9,7	11,6	13,9	1,73	A	B	SDH

Fonte: INMETRO (2020).

### 3.1.1.2 Toyota Corolla Altis Hybrid Premium

O Toyota Corolla Altis Hybrid Premium é um veículo híbrido convencional que recarrega suas baterias com funcionamento do motor e na frenagem regenerativa. Os híbridos do tipo plug-in ainda não estão tão disseminados no Brasil. O Preço desse modelo consultado em agosto de 2020 foi de R\$145.390,00. Entre os carros Híbridos existentes tinha uma versão mais simples do Corolla custando R\$137.890,00, porém, essa versão foi escolhida para equiparar a comparação com o modelo a combustão, o qual a única diferença de equipamentos extras do carro é seu computador de bordo de 7”, enquanto o do modelo a combustão é de 4,2”. Esse é o primeiro modelo híbrido flex do mundo, o que pode aumentar muito sua vantagem sustentável. (TOYOTA, 2020).

Figura 11 – Toyota Corolla Altis Hybrid Premium 2021



Fonte: Mundo do automóvel para PCD (2020).

Essa versão possui o mesmo motor da versão anterior, com 101 cavalos de potência e 14,5 kgf.m de torque com gasolina/ etanol mais 16,6 kgf.m elétrico. Esse veículo tem uma aceleração de 0 – 100 km/h em 11,3 segundos e seu consumo na cidade com gasolina é de aproximadamente 16,3 km/L e com álcool de 10,9 km/L, enquanto na estrada diminui para 14,5 km/L com gasolina e 9,9 km/L com etanol. (TOYOTA, 2020). Segundo o selo de etiquetagem do Inmetro esse modelo está classificado na categoria A de eficiência.

### 3.1.2 Especificações dos Veículos do Cenário 2

#### 3.1.2.1 Chevrolet Tracker Turbo Premier 2021

Para realizar a comparação de veículos a combustão *versus* veículos elétricos foram considerados diversos veículos, porém muitos deles eram veículos de luxo, o que poderia distorcer as comparações, no mercado atual brasileiro não existem muitos veículos elétricos disponíveis, e todos que existem são importados. Entre os modelos existentes um muito recente no mercado é o Chevrolet Bolt, que tem características muito similares ao do Chevrolet Tracker. O Tracker é um SUV de porte compacto. O Preço desse modelo consultado em agosto de 2020 foi de R\$116.490,00. (CHEVROLET, 2020)

Figura 12 – Chevrolet Tracker Turbo Premier 2021



Fonte: CHEVROLET (2020).

Essa versão possui um motor de três cilindros em linha 1.2, 12 V, com 133 cavalos de potência e 21,9 kgf.m de torque (Abastecido com 100% etanol). Esse veículo tem uma aceleração de 0 – 100 km/h de 9,4 segundos e seu consumo na cidade com gasolina é de

aproximadamente 11,2 km/L e com álcool de 7,7 km/L, enquanto na estrada aumenta para 13,5 km/L com gasolina e 9,4 km/L com etanol. (CHEVROLET, 2020)

### 3.1.2.2 Chevrolet Bolt EV

O veículo Bolt chegou com uma proposta de grande autonomia, com ele é possível dar a partida apenas tocando um botão e acelerar de 0 a 100km/h em 7,3 segundos, possui uma potência de 203 cavalos. Sua bateria tem capacidade de 66 kWh, 8 anos de garantia e autonomia de 416 km. Existe um sistema no veículo para consultar como a energia total está sendo usada em um gráfico de barras que exibe a cada 8 km a eficiência energética dos últimos 80 km, é possível ver a quantidade de energia usada durante a condução, o condicionamento da bateria e os controles de temperatura. Além disso pode-se ver os fatores que influenciam o consumo de energia, como a forma de condução, o terreno e as configurações de temperatura. (CHEVROLET, 2020) O veículo chegou ao Brasil com 50 unidades limitadas custando a partir de R\$175.000,00 segundo a Revista Quatro Rodas.

Figura 13 – Chevrolet Bolt EV



Fonte: CHEVROLET (2020).

O veículo conta com um sistema de frenagem regenerativa que converte energia cinética liberada na frenagem em energia elétrica para abastecer a bateria. Para carregar o Chevrolet Bolt EV pode-se utilizar um carregador básico (fornecido junto com o veículo) por meio de uma tomada residencial comum (220 VAC/10 A), com taxa de carregamento de

aproximadamente 10km por hora de carga (aproximadamente 40 horas para carregar completamente). (CHEVROLET, 2020).

Figura 14 – Carregador básico de fábrica



Fonte: CHEVROLET (2020).

Outra forma de carregar é com o carregador rápido (240 VAC/32 A), que pode ser instalado em residências e prédios, carregando o Bolt EV com taxa de carregamento de 40km/hora de carga (aproximadamente 10 horas para carregar completamente). Esse equipamento é vendido separadamente. (CHEVROLET, 2020).

Figura 15 – Carregador rápido residencial



Fonte: CHEVROLET (2020).

A forma mais rápida para carregar esse veículo são em estações públicas de carregamento super-rápido (eletropostos), que usam corrente contínua, em que a taxa de carregamento é aproximadamente 145 km em 30 minutos (menos de 1 hora e meia para

carregar completamente). Além disso existe aplicativos como o *PlugShare* que facilitam para encontrar uma estação de carregamento rápido. (CHEVROLET, 2020).

Figura 16 – Carregador Super-Rápido



Fonte: CHEVROLET (2020).

### 3.1.3 Comparação das especificações técnicas dos veículos dos dois cenários

No cenário 1 temos as seguintes condições:

Tabela 5 – Comparação do cenário 1

	Cenário 1	
	Toyota Corolla Altis Premium 2020	Toyota Corolla Altis Hybrid Premium
Custo [BRL]	137.890,00	145.390,00
Tipo de motor	quatro cilindros em linha 2.0, 16 V	quatro cilindros em linha 2.0, 16 V
potência [cv]	177	101
torque [kgf.m]	21,4	14,5
Consumo cidade	10,6 km/L gasolina e 7,2 km/L etanol	16,3 km/L gasolina e 10,9 km/L etanol
Consumo estrada	12,6 km/L gasolina e 8,8 km/L etanol	14,5 km/L gasolina e 9,9 km/L etanol
Categoria	A	A

Fonte: Elaboração própria.

No cenário 2 temos as seguintes condições:

Tabela 6 – Comparação do cenário 2

	Cenário 2	
	Chevrolet Tracker Turbo Premier 2021	Chevrolet Bolt EV
Custo [BRL]	116.490,00	175.000,00
Tipo de motor	três cilindros em linha 1.2, 12 V	Motor elétrico
potência [cv]	133	203
torque [kgf.m]	21,9	36,7
Consumo cidade	11,2 km/L gasolina e 7,7 km/L etanol	0.18kWh/km
Consumo estrada	13,5 km/L gasolina e 9,4 km/L etanol	0.18kWh/km
Categoria	A	A

Fonte: Elaboração própria.

### 3.2 ANÁLISE DOS CUSTOS DE OPERAÇÃO

Os custos operacionais dos veículos convencionais e dos híbridos convencionais, dependem do custo médio do combustível empregado e do consumo de combustível. O custo de Operação de um veículo elétrico depende da eficiência energética do veículo e do custo da energia elétrica empregada para recarregar a bateria. Para o presente estudo será considerado um usuário residente do estado de São Paulo, que utiliza o carro para deslocamentos cotidianos.

Um estudo elaborado pelo KBB (Kelley Blue Book) (2019) constatou que os carros rodam uma média de 35,6 km por dia no estado de SP, ou 13 mil km por ano. Essa será a média utilizada para essa análise – 13.000 km/ano, ~1.100 km/mês.

Analisando os valores de combustível praticados no estado de São Paulo entre junho e agosto de 2020, será considerado R\$ 3,91 o preço da gasolina e R\$ 3,52 o preço do etanol. (ANP, 2020). Para o valor da energia elétrica foi considerado o preço da tarifa do terceiro bimestre de 2020 que foi de R\$0,562/kWh. (SÃO PAULO, 2020). Entre os dois cenários disponíveis, comparação entre o veículo convencional e elétrico e comparação entre o veículo convencional e híbrido, serão considerados cenários intermediários considerando o uso de gasolina e etanol. Esses cenários serão chamados de cenário 1.1, 1.2, 2.1 e 2.2 que serão descritos a seguir.

**Cenário 1.1** – Comparação entre veículo a combustão usando o etanol e veículo híbrido usando etanol.

**Cenário 1.2** – Comparação entre veículo a combustão usando gasolina e veículo híbrido usando gasolina.

**Cenário 2.1** – Comparação entre veículo a combustão usando etanol e veículo elétrico.

**Cenário 2.2** – Comparação entre veículo a combustão usando gasolina e veículo elétrico.

Os custos de operação no cenário 1 serão dados pela mesma equação, isso porque o Toyota Corolla Híbrido não é do tipo *plug-in*, ou seja, ele não depende de uma energia elétrica externa. A equação (1) apresenta uma relação para o cálculo desse cenário.

$$c_o = \frac{c_c}{C_q} \quad (1)$$

Em que:

$c_o$  – Custo de Operação do Veículo a Combustão ou híbrido [R\$/km]

$c_c$  – Custo do combustível empregado [R\$/L]

$C_q$  – Consumo de combustível por quilometro [km/L]

O cálculo anual de combustível pode ser feito multiplicando o custo de operação dos veículos por 13.000, que é o valor médio dos quilômetros rodados anualmente por um veículo no estado de SP. A economia por quilometro rodado do veículo híbrido em relação ao veículo convencional pode ser calculada por:

$$E_{hce} = c_{oc} - c_{oh} \quad (2)$$

Em que:

$E_{hce}$  – Economia do veículo híbrido em relação ao veículo convencional operando com etanol

$c_{oc}$  – Custo de operação do veículo a combustão

$c_{oh}$  – Custo de operação do veículo híbrido

Para calcular a economia relativa do veículo híbrido funcionando com etanol em relação ao convencional funcionando com etanol, em valor percentual pode-se usar a equação (3):

$$E_{hcep} = \frac{(c_{oc} - c_{oh}).100\%}{c_{oc}} \quad (3)$$

Em que:

$E_{hcep}$  – Economia relativa percentual do veículo elétrico [%]

Para o cenário 2 será utilizada a equação (1) para calcular o custo de operação do veículo a combustão que será comparado com o elétrico. Para calcular o custo de operação do veículo elétrico, será utilizado a equação (4):

$$c_{ove} = E_k \cdot C_e \quad (4)$$

Em que:

$C_{ove}$  – Custo de operação do veículo elétrico [R\$/km]

$E_k$  – Consumo de energia do veículo por quilometro rodado [kWh/km]

$C_e$  – Custo médio da eletricidade para recarga [R\$/kWh]

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DOS CUSTOS DE OPERAÇÃO

#### 4.1.1 Cálculo do custo operacional do Cenário 1.1

Os cálculos estão mostrados nas tabelas a seguir:

Tabela 7 – Cálculo do cenário 1.1

	Toyota Corolla Altis Premium	Toyota Corolla Altis Hybrid Premium	Unidade
$c_c$ (Etanol)	3,52	3,52	R\$/L
$C_q$	7,2	10,9	km/L
$c_o$	0,49	0,32	R\$/km
Gastos anuais	6355,56	4198,17	R\$

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 8 – Cálculo da Economia no cenário 1.1

Cálculo da Economia		
$E_{hce}$	0,17	R\$/km
$E_{hcep}$	33,94	%
Economia anual	2157,39	R\$

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.2 Cálculo do custo operacional do Cenário 1.2

As equações utilizadas para o Cenário 1.2 são as mesmas do Cenário 1.1, o que muda nesse caso é o combustível utilizado e o consumo de combustível, os cálculos estão mostrados nas tabelas a seguir:

Tabela 9 – Cálculo do cenário 1.2

	Toyota Corolla Altis Premium	Toyota Corolla Altis Hybrid Premium	Unidade
$c_c$ (Gasolina)	3,91	3,91	R\$/L
$C_q$	12,6	16,3	km/L
$c_o$	0,31	0,24	R\$/km
Gastos anuais	4034,13	3118,40	R\$

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 10 – Cálculo da Economia no cenário 1.2

Cálculo da Economia		
Ehce	0,07	R\$/km
Ehcep	22,70	%
Economia anual	915,72	R\$

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.3 Cálculo do custo operacional do Cenário 2.1

O consumo de energia por quilometro do Chevrolet Bolt EV é de aproximadamente 0,18 kWh/km, os cálculos dos custos de operações tanto do veículo a combustão funcionando com etanol, tanto do elétrico estão nas tabelas abaixo.

Tabela 11 – Cálculo do custo de operação do Chevrolet Tracker

	Chevrolet Tracker Turbo Premier 2021	Unidade
c <sub>c</sub> (Etanol)	3,52	R\$/L
C <sub>q</sub>	7,7	km/L
c <sub>o</sub>	0,46	R\$/km
Gastos anuais	5942,86	R\$

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 12 – Cálculo do custo de operação do Chevrolet Volt

	Chevrolet Bolt EV	Unidade
C <sub>e</sub>	0,562	R\$/kWh
E <sub>k</sub>	0,18	[1]kWh/km
C <sub>ove</sub>	0,10	R\$/km
Gastos anuais	1315,08	R\$

Fonte: Elaboração própria.

A economia é calculada da mesma forma do cenário 1, e está descrita na Tabela 13.

Tabela 13 – Cálculo da Economia do veículo elétrico em relação ao veículo a combustão

Cálculo da Economia		
Ehce	0,36	R\$/km
Ehcep	77,87	%
Economia anual	4627,78	R\$

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.4 Cálculo do custo operacional do Cenário 2.2

Nesse cenário, a mudança aparece no custo de operação do veículo a combustão, conseqüentemente o cálculo da economia é impactado, como observa-se nas tabelas a seguir:

Tabela 14 – Cálculo do custo de Operação do Chevrolet Tracker utilizando gasolina

	Chevrolet Tracker Turbo Premier 2021	Unidade
$c_c$ (Gasolina)	3,91	R\$/L
$C_q$	11,2	km/L
$C_o$	0,35	R\$/km
Gastos anuais	4538,39	R\$

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 15 – Cálculo da Economia do veículo elétrico em relação ao veículo a combustão

Cálculo da Economia		
$E_{hce}$	0,25	R\$/km
$E_{hcep}$	71,02	%
Economia anual	3223,31	R\$

Fonte: Elaboração própria.

## 4.2 ANÁLISE DOS GASTOS COM IMPOSTOS

Na estimativa dos gastos com impostos será considerado apenas o Imposto sobre a Propriedade de Veículo Automotor (IPVA).

A isenção do IPVA de elétricos e híbridos seguem regras estaduais, não existe nenhuma lei federal que obrigue a isentar imposto de carros elétricos e híbridos. Os estados do Maranhão, Paraná, Pernambuco, Piauí, Sergipe, Rio Grande do Sul e Rio Grande do Norte dão 100% de isenção do imposto para os veículos elétricos e híbridos. Já o Distrito Federal aprovou a isenção do IPVA para os próximos cinco anos para quem investir em um desses veículos. O estado do Ceará terá a partir de 2021 alíquota de 0,5% no pagamento do imposto para estes veículos. (AUTO ESPORTE, 2020)

O estado de São Paulo também incentiva os carros não poluentes com cobrança de 50% no valor no imposto. Porém, com regras por trás. Na capital paulista, vale para os cinco primeiros anos e em carros que tem um valor inferior a 150 mil reais. Em todo o Estado de São Paulo essa lei é municipal, e as cidades de Sorocaba, Indaiatuba e São Bernardo do Campo tem total isenção do imposto para este tipo de veículo.

No geral, as alíquotas aplicadas no IPVA para o estado de São Paulo são:

- IPVA = 4% do valor venal do veículo (gasolina ou flex)
- IPVA = 3% do valor venal do veículo (álcool, elétrico ou a gás)

No presente estudo, será considerado que o cidadão com carro elétrico reside em uma dessas cidades com isenção de IPVA, pelo fato de que essa isenção parece ser uma tendência, visto que o país caminha para uma política de incentivos para adoção desses veículos.

Para calcular o valor venal do veículo nos próximos cinco anos será usado a equação 5 obtida através de uma pesquisa da FATEC de Botucatu (2018).

$$P_{\text{usado}} = (-0,0667 \cdot A_{\text{uso}} + 1,0568) * P_{\text{novo}} \quad (5)$$

Sendo que  $P_{\text{usado}}$  o preço do veículo usado;  $A_{\text{uso}}$  anos de uso a partir de zero km e  $P_{\text{novo}}$  preço do veículo novo.

Portanto o preço do IPVA calculado do Corolla em 5 anos está listado na tabela abaixo:

Tabela 16 – Cálculo do IPVA do Corolla em 5 anos

Toyota Corolla Altis Premium 2020			Preço do veículo
Anos de uso	Preço	IPVA	
1	R\$136.524,89	R\$5.461,00	R\$137.890,00
2	R\$127.327,63	R\$5.093,11	
3	R\$118.130,36	R\$4.725,21	
4	R\$108.933,10	R\$4.357,32	
5	R\$99.735,84	R\$3.989,43	

Fonte: Elaboração própria.

E o preço do IPVA para o Chevrolet Tracker está na Tabela abaixo:

Tabela 17 – Cálculo do IPVA do Tracker em 5 anos

Chevrolet Tracker 2021			Preço do veículo
Anos de uso	Preço	IPVA	
1	R\$115.336,75	R\$4.613,47	R\$116.490,00
2	R\$107.566,87	R\$4.302,67	
3	R\$99.796,98	R\$3.991,88	
4	R\$92.027,10	R\$3.681,08	
5	R\$84.257,22	R\$3.370,29	

Fonte: Elaboração própria.

### 4.3 ANÁLISE DOS CUSTOS COM MANUTENÇÃO

Como o custo de manutenção é variável de acordo com o uso do veículo, então nesse tópico serão considerados somente os custos das revisões desses veículos, que são facilmente encontrados nos sites das concessionárias. Algo que pode ser apontado é que o custo de manutenção no geral de veículos elétricos é geralmente menor do que de veículos a combustão, por contar com menos peças. O custo de manutenção do veículo híbrido por sua vez é geralmente mais caro.

Os custos de revisão podem ser vistos nas tabelas abaixo:

Tabela 18 – Cálculo da revisão do Chevrolet Bolt em 10 anos

Chevrolet Bolt EV		
Km	Anos	Valor
10000	1	R\$ -
20000	2	R\$ 156,00
30000	3	R\$ 200,00
40000	4	R\$ 156,00
50000	5	R\$ 1.752,00
60000	6	R\$ 244,00
70000	7	R\$ 112,00
80000	8	R\$ 156,00
90000	9	R\$ 200,00
100000	10	R\$ 1.796,00

Fonte: CHEVROLET (2020).

Tabela 19 – Cálculo da revisão do Chevrolet Tracker em 10 anos

Chevrolet Tracker		
Km	Anos	Valor
10000	1	R\$300,00
20000	2	R\$596,00
30000	3	R\$496,00
40000	4	R\$660,00
50000	5	R\$476,00
60000	6	R\$596,00
70000	7	R\$452,00
80000	8	R\$640,00
90000	9	R\$584,00
100000	10	R\$824,00

Fonte: CHEVROLET (2020).

Tabela 20 – Cálculo da revisão do Toyota Corolla em 6 anos

Toyota Corolla Altis Premium 2020		
Km	Anos	Valor
10000	1	R\$350,82
20000	2	R\$660,00
30000	3	R\$522,00
40000	4	R\$990,00
50000	5	R\$522,00
60000	6	R\$930,00

Fonte: TOYOTA (2020).

Tabela 21 – Cálculo da revisão do Toyota Corolla Hybrid em 6 anos

Toyota Corolla Hybrid		
Km	Anos	Valor
10000	1	R\$347,56
20000	2	R\$699,00
30000	3	R\$621,00
40000	4	R\$960,00
50000	5	R\$600,00
60000	6	R\$906,00

Fonte: TOYOTA (2020).

#### 4.4 RESULTADOS DO CÁLCULO DO CENÁRIO 1 E O PONTO DE VISTA AMBIENTAL

Pelos resultados dos cálculos da operação dos veículos, considerando-os operando com gasolina e etanol, atualmente está mais vantajoso o uso da gasolina. Vale lembrar que ecologicamente, o etanol possui uma pegada ecológica menor. Porém, considerando que o consumidor irá usar o que é mais vantajoso economicamente para ele, esse estudo irá considerar o uso da gasolina.

Os dados, que foram calculados e explicados nos itens anteriores estão dispostos na Tabela 22.

Tabela 22 – Dados dos custos do veículo híbrido vs veículo a combustão

Váriavel	Toyota Corolla Altis Hybrid Premium	Toyota Corolla Altis Premium
Preço o veículo	R\$ 145.390,00	R\$ 137.890,00
Gasto com a operação do veículo (Anual)	R\$ 3.118,40	R\$ 4.034,13
Gasto com impostos (Média Anual do IPVA)	R\$ -	R\$ 4.725,21
Gastos Com manutenção (Média anual do custo de Revisão)	R\$ 688,93	R\$ 662,47
Gasto Anual com o veículo	R\$ 3.807,33	R\$ 9.421,81

Fonte: Elaboração própria.

Através desses dados podemos calcular o *Payback simples*, que é o tempo estimado para que o investimento inicial tenha um retorno. Para isso iremos calcular a diferença nos valores dos dois veículos e dividir pela diferença dos gastos anuais entre os dois veículos, que é o fluxo de caixa, como pode-se ver na equação 6.

$$\text{Payback simples} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Resultado do fluxo de caixa}} \quad (6)$$

$$\text{Payback simples} = \frac{R\$ 7.500,00}{R\$ 5614,48/\text{ano}}$$

*Payback simples* = 1,34 anos

O resultado de 1,34 anos mostra que esse seria o tempo necessário para que a economia proporcionada pelo veículo elétrico híbrido pagasse o investimento a mais que o consumidor teria ao optar por ele. Foi possível observar que, caso a cidade que o cidadão reside tenha isenção no IPVA, é extremamente vantajoso optar pelo modelo híbrido no caso de escolher um Corolla. Caso essa isenção de IPVA não exista, o *payback* seria bem maior, de aproximadamente uns dez anos.

A média de emissões de CO<sub>2</sub> nos carros compactos e médios é de 140g por km. No Corolla híbrido flex ela pode ser reduzida em 70% dependendo das condições de uso. Sua bateria tem oito anos de garantia e tem menor volume do que a de um veículo elétrico.

#### 4.5 RESULTADOS DO CÁLCULO DO CENÁRIO 2 E O PONTO DE VISTA AMBIENTAL

Assim como no Cenário 1, o veículo elétrico será comparado com o veículo a combustão movido a gasolina por ser mais econômico. Os dados dos dois veículos foram compilados e estão mostrados na Tabela 23.

Tabela 23 – Dados dos custos do veículo elétrico vs veículo a combustão

Váriavel	Chevrolet Volt EV	Chevrolet Tracker 2021
Preço do veículo	R\$ 175.000,00	R\$ 116.490,00
Gasto com a operação do veículo (Anual)	R\$ 1.315,08	R\$ 4.538,39
Gasto com impostos (Média Anual do IPVA)	R\$ -	R\$ 3.991,88
Gastos Com manutenção (Média anual do custo de Revisão)	R\$ 477,20	R\$ 562,40
Gasto Anual com o veículo	R\$ 1.792,28	R\$ 9.092,67

Fonte: Elaboração própria.

Nesse caso, será calculado o *Payback* da mesma forma que foi calculado no item anterior, os cálculos estão mostrados abaixo.

$$\textit{Payback simples} = \frac{R\$ 58510,00}{R\$7300,39/\textit{ano}}$$

*Payback simples = 8,01 anos*

O *Payback simples* do Bolt é de aproximadamente 8 anos se houver isenção no IPVA para esses veículos. É possível ver que apesar do alto custo do veículo e da grande diferença entre os preços deles, seus gastos anuais são relativamente pequenos, o que faz com que seu tempo de retorno não seja tão alto. Porém, segundo dados da Chevrolet, após 8 anos de uso, que é o tempo que dura a garantia, sua bateria pode ter uma redução de até 40% em sua autonomia.

O Chevrolet Bolt EV apresenta zero emissões, mas somente se sua fonte de energia for renovável, no caso do Brasil as emissões provenientes da energia elétrica vem diminuindo desde 2014.

## 5 CONCLUSÃO

Existem diversas barreiras no momento para a difusão dos veículos elétricos no Brasil, entre elas, podemos citar algumas barreiras econômicas, técnicas e políticas.

As principais barreiras técnicas a serem enfrentadas no Brasil para implementação desses veículos são: falta de infraestrutura de carregamento rápido de baterias na malha viária, que apesar de estar em crescimento, não é o suficiente; estado precário da malha viária existente, o que acaba diminuindo a autonomia dos veículos; inexistência de reservas nacionais de lítio em grandes quantidades e viabilidade econômica de produção de baterias.

A falta da infraestrutura tanto da malha viária como a de carregamento rápido são os maiores impeditivos do crescimento do mercado de veículos elétricos, pois muitas vezes ele é descartado por sua menor autonomia e maior tempo de carregamento. Para que esse mercado cresça a primeira medida a ser tomada é a manutenção das malhas viárias existentes, que muitas vezes se encontram em mau estado, o que prejudica inclusive os veículos a combustão. Após isso, deve-se pensar em uma infraestrutura de carregamento rápido nas rodovias.

Outra barreira citada anteriormente é a viabilidade de produção de baterias, apesar disso ser uma grande barreira, o Brasil já se mostra mais competitivo nesse aspecto, pelo fato de ser pioneiro na produção em grande escala de baterias de lítio-enxofre, como foi visto anteriormente, que pode ser a melhor alternativa no futuro.

Do ponto de vista energético, o Brasil é um ótimo competidor nesse aspecto, por apresentar grande parte de sua produção limpa, e como foi visto anteriormente, não haveria um grande problema na questão de escassez de energia no Brasil, porque essa troca para veículos elétricos seria feita de forma gradual.

As principais barreiras políticas que existem atualmente é que existe grande interesse do governo pelo crescimento do mercado de petróleo e derivados. Os negócios relacionados a extração, refino, distribuição e consumo de petróleo envolvem uma grande cadeia de bens e serviços com grande peso na economia nacional, portanto, é muito difícil que o governo apoie totalmente iniciativas que dispensem totalmente a utilização de combustíveis fósseis. Portanto, a tendência maior é que haja incentivos do governo mais focados nos veículos híbridos em relação aos elétricos.

Do ponto de vista ambiental, sabendo que o setor de transportes é um dos que mais contribui para as emissões de CO<sub>2</sub>, sendo responsável por 46,3% das emissões totais em 2018, os planos de redução de emissões devem considerar mudanças no setor de transportes. Os

veículos híbridos e elétricos apresentam grande vantagem nesse aspecto, os veículos elétricos, quando sua energia é proveniente de uma fonte limpa como a do Brasil, apresenta uma imensa vantagem. Já o veículo híbrido, apresenta grande vantagem em relação ao veículo convencional, com uma emissão muito menor do que a estabelecida pela Proconve. Além disso, o veículo híbrido pode operar inteiramente no modo elétrico e utilizar frenagem regenerativa para carregamento das baterias, de forma a reduzir muito as emissões em grandes centros urbanos.

Da análise econômica feita anteriormente, observou-se que o Chevrolet Bolt não apresenta vantagem competitiva em relação ao modelo convencional similar a ele, para as atuais tarifas de gasolina e energia elétrica. Apesar dos veículos elétricos já terem avançado muito em termos de autonomia e até em relação a troca das baterias e inclusive um leve aumento na infraestrutura de postos de carregamento rápido, é necessário muito avanço, tanto de produção, como de infraestrutura e também incentivos governamentais para que esse veículo se torne de fato competitivo.

Já a comparação entre os dois modelos do Corolla, essa se apresentou mais viável, a partir do momento que esses veículos apresentam isenção de IPVA em algumas cidades. Tendo um tempo de retorno de menos de 2 anos, e uma redução considerável em sua emissão, pode ser uma ótima opção para o consumidor que estiver em dúvida entre ambos.

Finalmente, pode-se concluir que o crescimento das frotas de veículos elétricos e híbridos em escala nacional é algo fora da realidade da maioria dos brasileiros atualmente. Os veículos elétricos ainda precisam de muito avanço no Brasil para se tornarem competitivos mesmo com consumidores de mais alta renda. Já os híbridos apresentam maior viabilidade em diversos pontos: tanto no econômico, como o de autonomia, de infraestrutura e o maior interesse político quando comparado com veículos elétricos.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para a continuidade do presente trabalho, sugere-se:

1. Estudar profundamente as barreiras da difusão dos veículos elétricos no Brasil, identificando as mais impactantes, podendo ser políticas, financeiras, tecnológicas, entre outras.
2. Propor estratégias para que as barreiras fossem superadas, ou que alavancasse o crescimento das frotas de veículos elétricos no Brasil.
3. Estudar o comportamento do consumidor em relação a compra de veículos e o quanto os consumidores estão dispostos a comprar um veículo elétrico híbrido a partir do conhecimento da viabilidade do presente estudo.
4. Estudar os custos de produção dos veículos elétricos e híbridos em comparação com os veículos com motor de combustão interna, complementando o estudo com a emissão de poluentes na produção desses veículos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS - ABVE. **IPVA: para veículos elétricos**

. Disponível em: <http://www.abve.org.br/ipva-para-veiculos-eletricos/>. Acesso em: 26 abr. 2020.

AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS. **Minas e energia rejeita uso de óleo diesel em carros de passeio**, 2019. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/577961-minas-e-energia-rejeita-uso-de-oleo-diesel-em-carros-de-passeio/>. Acesso em: 17 abr. 2020.

AGÊNCIA SENADO. **Venda de veículo a gasolina ou diesel pode ser proibida no Brasil em 2030**, 2020. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2020/02/12/venda-de-veiculo-a-gasolina-ou-diesel-pode-ser-proibida-no-brasil-em-2030>. Acesso em: 09 maio 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **Seminário anual de avaliação do mercado de combustíveis 2020** (Ano- base 2019). Disponível em: <http://www.anp.gov.br/arquivos/palestras/seminario-mercado-combustiveis-2020/sdl.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **Seminário anual de avaliação do mercado de combustíveis 2019**: ano- base 2018. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/arquivos/palestras/seminario-mercado-combustiveis-2020/sdl.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **Sistema de levantamento de preços**. Disponível em: [http://preco.anp.gov.br/include/Resumo\\_Ultimos\\_Meses\\_Index.asp](http://preco.anp.gov.br/include/Resumo_Ultimos_Meses_Index.asp). Acesso em: 03 ago. 2020.

AUTO ESPORTE. **Carros elétricos e híbridos pagam IPVA?**. Disponível em: [https://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2020/07/carros-eletricos-e-hibridos-pagam-ipva.html#:~:text=O%20Distrito%20Federal%20aprovou%20a,um%20carro%20elétrico%20ou%20híbrido.&text=O%20estado%20de%20São%20Paulo,hidrogênio%20\(célula%20a%20combustível\)](https://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2020/07/carros-eletricos-e-hibridos-pagam-ipva.html#:~:text=O%20Distrito%20Federal%20aprovou%20a,um%20carro%20elétrico%20ou%20híbrido.&text=O%20estado%20de%20São%20Paulo,hidrogênio%20(célula%20a%20combustível)). Acesso em: 04 set. 2020.

BARBOSA, N. *et al.* Carro elétrico: desafio e oportunidade. *In*: VELLOSO, J. P. dos R. (comp.). **Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil**. 22. ed. Rio de Janeiro: Inae, 2010. p. 58-78.

BRASIL. Ministério da Economia (org.). **Rota 2030: mobilidade e logística**. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/setor-automotivo/rota2030>. Acesso em: 29 abr. 2020.

CARVALHO, M. A. S. de. **Avaliação de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis**. Orientador: Márcio Carvalho. 2011. 168

f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

CASTRO, B. H. R. *et al.* Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 37, p. 443-496, mar. 2013. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1511/3/A%20mar37\\_11\\_Baterias%20automotivas-panorama%20da%20ind%3%bacteria%20no.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1511/3/A%20mar37_11_Baterias%20automotivas-panorama%20da%20ind%3%bacteria%20no.pdf). Acesso em: 24 abr. 2020.

CESAR, J. **Brasil terá primeira fábrica de células de bateria de lítio-enxofre do mundo**. 2020. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/425133/brasil-tera-1-fabrica-de-celulas-de-bateria-de-litio-enxofre-do-mundo/>. Acesso em: 03 set. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Proconve**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/proconve/>. Acesso em: 26 abr. 2020.

CHEVROLET. **Tracker**. Disponível em: <https://www.chevrolet.com.br/suvs/novo-tracker>. Acesso em: 10 ago. 2020.

CHEVROLET. **Bolt EV**. Disponível em: <https://www.chevrolet.com.br/eletrico/bolt-ev>. Acesso em: 10 ago. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2019**: ano- base 2018. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio\\_2019\\_WEB.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio_2019_WEB.pdf). Acesso em: 20 abr. 2020

EXAME. **Confira os carros elétricos que chegam ao Brasil em 2020**. Disponível em: <https://exame.com/negocios/confira-os-carros-eletricos-que-chegam-ao-brasil-em-2020/>. Acesso em: 13 ago. 2020.

FERREIRA FILHO, M. L. **Análise de viabilidade mercadológica de automóveis elétricos híbridos plug-in no Brasil**. Orientador: Antônio Rafael Namur Muscat. 2009. 126 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

GÓMES, J. P. E; ARRUDA, F. S. Perspectivas da implantação do veículo elétrico no Brasil: o estudo de caso de Brasília. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET, 29., 2015, Ouro Preto. **Anais [...]. Ouro Preto: ANPET**, 2015. p. 1-4.

HOYER, K. **The history of alternative fuels in transportation: the case of electric and hybrid cars**, Vol. 16, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2007.11.001>.

INMETRO. **Tabelas PBE veicular**. 2020. Disponível em: [http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas\\_pbe\\_veicular.asp](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas_pbe_veicular.asp). Acesso em: 13 ago. 2020.

INSTITUTO DE FÍSICA (Rio Grande do Sul). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (org.). **Motor de combustão interna**. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~leila/motor.htm>. Acesso em: 22 abr. 2020.

JUSSANI, A.C. *et al.* Carro-elétrico vs híbrido: qual alternativa ambientalmente sustentável para o Brasil? *In: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO*, 17., 2014, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2014. p. 1-16.

MELO, P. M. A. S. Estrutura e características de veículos elétricos e híbridos. **Eutro à terra**, Porto, v. 6, n. 17, p. 17-26, 2010.

MOWERY, D.C.; ROSENBERG, N. **Trajelórias da inovação: mudança tecnológica nos Estados Unidos da América no século XX. Clássicos da inovação**. Campinas: Editora da Unicamp, 2005.

MUNDO DO AUTOMÓVEL PARA PCD. **Toyota Corolla Altis Premium Hybrid 2021: preço, fotos, equipamentos e mais**. 2020. Disponível em: <https://mundodoautomovelparapcd.com.br/toyota-corolla-altis-premium-hybrid-2021/>. Acesso em: 12 ago. 2020.

NOVAIS, C. R. B. **Mobilidade elétrica: desafios e oportunidades**. São Paulo: FGV Energia, 2016. 10 p. Disponível em: [https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/19217/Celso%20Novais\\_Mobilidade%20Eletrica.pdf](https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/19217/Celso%20Novais_Mobilidade%20Eletrica.pdf). Acesso em: 22 abr. 2020.

NUNES, C. **Relatório Stern: uma síntese**. Departamento de Prospectiva e Planejamento e Relações Internacionais da Sphera, jul. 2007.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU **Objetivo 13: tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods13/>. Acesso em: 26 abr. 2020.

**QUATRO RODAS. Chevrolet Bolt terá mais autonomia em segundo lote. Mas e o preço?** 2020. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/chevrolet-bolt-tera-mais-autonomia-em-segundo-lote-mas-e-o-preco/>. Acesso em: 13 ago. 2020.

RANGEL, E. **Motor de combustão: Veja a evolução e o impacto desta máquina**. Rio de Janeiro: Fluxo Consultoria, 2018. Disponível em: <https://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/projetos-mecanicos/motor-a-combustao/>. Acesso em: 20 abr. 2020.

ROSOLEM, M. F. N. C. *et al.* Bateria de lítio-íon: conceitos básicos e potencialidades. **CPQD Tecnologia**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 59-72, dez. 2012.

SANTANA, A. M. **Análise química de elementos potencialmente tóxicos em baterias e pilhas por FAAS e ICP OES**. 2014. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.

SANTOS, A. C. R. **Análise da viabilidade técnica e econômica de um veículo elétrico versus veículo a combustão de um veículo Elétrico**. 2017. Monografia

(Especialização em Eficiência Energética Aplicada a Processos Produtivos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santana do Livramento, 2017.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE (São Paulo). **Dados de produção e consumo de energia elétrica**: 3ºbimestre de 2020. São Paulo, 2020.

SILVA, L. L. A.; OLIVEIRA, P. A. **Métodos de depreciação de veículos nacionais de até mil cilindradas: um estudo de caso**. *Revista Tekhne e Logos*, Botucatu, 2018.

TANAKA, C. N. **Metodologia de dimensionamento do sistema de tração para veículos elétricos**. 2013. 106 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

TECMUNDO. **Só elétricos: Renault abandona carros a gasolina na China**. 2020. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/mobilidade-urbana-smart-cities/152090-so-eletricos-renault-abandona-carros-gasolina-china.htm?fbclid=IwAR0n0OCtyaGmIWKsTzclG1ucPzmBr6Nt4yGcVKr0efMQvrxlhI8KyYoT-84>. Acesso em: 09 maio 2020.

TILLMAN, C. A. C. **Motores de combustão interna e seus sistemas**. Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2013.

TOYOTA. **Corolla**. Disponível em: <https://www.toyota.com.br/modelos/corolla/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

UOL. **PSA lançará híbridos e elétricos em todos os modelos a partir de 2019**: Grupo PSA pretende apresentar 15 veículos "eletrificados" em apenas dois anos; meta é chegar a 100% da linha até 2025. 2018. Disponível em: <https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2018/09/21/peugeot-citroen-lancara- apenas-carros-hibridos-e-eletricos-a-partir-de-2019.htm>. Acesso em: 09 maio 2020.

VONBUN, C. Impactos ambientais e econômicos dos veículos elétricos e híbridos plug-in: uma revisão da literatura. **Texto para Discussão**, n. 2123. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2015.

XCOM AGENCIA DE COMUNICAÇÃO. **Brasileiros rodam em média 12,9 mil Km no primeiro ano de uso de um veículo**. 2019. Disponível em: <https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/quanto-brasileiro-roda-carro-ano/?id=1830>. Acesso em: 03 set. 2020.