

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**BRUNO PORTELA FAZENDA**

**KITS DE CONVERSÃO PARA VEÍCULOS A COMBUSTÃO EM  
VEÍCULOS ELÉTRICOS E VEÍCULOS HÍBRIDOS FLEX:  
ALTERNATIVAS PARA MAIOR ELETRIFICAÇÃO DA FROTA  
BRASILEIRA**

**CURITIBA**

**2022**

**BRUNO PORTELA FAZENDA**

**KITS DE CONVERSÃO PARA VEÍCULOS A COMBUSTÃO EM  
VEÍCULOS ELÉTRICOS E VEÍCULOS HÍBRIDOS FLEX:  
ALTERNATIVAS PARA MAIOR ELETRIFICAÇÃO DA FROTA  
BRASILEIRA**

**Conversion kits for combustion vehicles into electric vehicles  
and flex-fuel hybrid vehicles: alternatives for greater  
eletrification of the brazilian fleet**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica do Curso de  
Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Prof. Dr. Elói Rufato Junior

**CURITIBA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**BRUNO PORTELA FAZENDA**

**KITS DE CONVERSÃO PARA VEÍCULOS A COMBUSTÃO EM VEÍCULOS  
ELÉTRICOS E VEÍCULOS HÍBRIDOS FLEX: ALTERNATIVAS PARA MAIOR  
ELETRIFICAÇÃO DA FROTA BRASILEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica do curso de  
Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 24 de Novembro de 2022

---

Elói Rufato Júnior  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Marcelo Barcik  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Jorge Assade Leludak  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CURITIBA**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Dedico este trabalho principalmente à minha família, que nunca mediu esforços para que tivesse as melhores condições de vida e me apoiou e esteve ao meu lado em todos os momentos, comemorando e celebrando cada conquista.

## RESUMO

Por conta da necessidade de redução da emissão de gases poluentes, maior eficiência energética e normas e regulamentações cada vez mais restritivas, viu-se a necessidade do estudo de alternativas para a maior eletrificação da frota brasileira, por meio de kits de conversão de veículos a combustão em veículos elétricos e veículos híbridos com a tecnologia *flex-fuel*, objeto de estudo deste trabalho. Por meio de pesquisas qualitativas e descritivas serão apresentados os principais componentes presentes nos kits de conversão atuais, suas vantagens e desvantagens e exemplos de empresas que realizam as conversões ou que fornecem ao mercado os kits de conversão prontos para instalação. Além disso, serão analisadas as tecnologias presentes nos veículos híbridos *flex*, seus principais atores no cenário brasileiro e o papel do Brasil no desenvolvimento desta tecnologia. Por fim, serão expostas algumas políticas públicas de incentivo aos veículos elétricos executadas por diversos países que já possuem uma eletrificação mais amadurecida, além de serem apresentadas políticas públicas que são realizadas no Brasil, a fim de comparar o estágio inicial em que o país se encontra neste quesito. Sendo assim, por meio deste trabalho obteve-se o resultado esperado e concluiu-se que por meio de ações públicas efetivas destinadas aos veículos elétricos e o desenvolvimento de tecnologias de transição como a conversão de veículos a combustão em veículos elétricos e os veículos híbridos *flex*, é possível aumentar a eletrificação da frota brasileira, principalmente por conta da matriz energética do país e sua estrutura já consolidada de distribuição e abastecimento de etanol.

Palavras-chave: etanol; frota brasileira; veículos elétricos; veículos híbridos.

## **ABSTRACT**

Due to the need to reduce the emission of polluting gases, greater energy efficiency and increasingly restrictive norms and regulations, there was a need to study alternatives for the greater electrification of the Brazilian fleet, through vehicle conversion kits to combustion in electric vehicles and hybrid vehicles with flex-fuel technology, object of study of this work. Through qualitative and descriptive research, the main components present in current conversion kits will be presented, their advantages and disadvantages and examples of companies that carry out the conversions or that supply the ready-to-install conversion kits to the market. In addition, the technologies present in hybrid flex vehicles, their main actors in the Brazilian scenario and the role of Brazil in the development of this technology will be analyzed. Finally, some public policies to encourage electric vehicles implemented by several countries that already have a more mature electrification will be demonstrated, in addition to presenting public policies that are carried out in Brazil, in order to compare the initial stage in which the country is. in this question. Therefore, through this work, it was concluded that through effective public actions aimed at electric vehicles and the development of transition technologies such as the conversion of combustion vehicles into electric vehicles and hybrid flex vehicles, it is possible to increase the electrification of Brazilian fleet, mainly due to the country's energy matrix and its already consolidated ethanol distribution and supply structure.

Keywords: electric vehicles; hybrid vehicles; ethanol; brazilian fleet.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Veículo Elétrico de William Morrison.....	17
Figura 2 – GM EV1.....	19
Figura 3 – Toyota Prius 1997.....	19
Figura 4 – Honda Insight 1999.....	20
Figura 5 – Esquemático BEV.....	21
Figura 6 – Renault Kwid E-Tech.....	23
Figura 7- Porsche Taycan Turbo S.....	24
Figura 8 – Esquemático HEV.....	25
Figura 9 – Configuração Híbrida-série.....	26
Figura 10 – Seres SF5.....	27
Figura 11 – Configuração Híbrida-paralela.....	28
Figura 12 – Configuração Híbrida Plug-In PHEV.....	29
Figura 13 – BMW i8.....	30
Figura 14 – Configuração Híbrida Série-paralela.....	31
Figura 15 – Esquemático FCEV.....	32
Figura 16 – Nissan e-Bio Fuel-Cell.....	33
Figura 17 – Posto de gasolina BR com a frase “Entramos na Era do Álcool”...35	
Figura 18 – Ciclo Atkinson.....	41
Figura 19 – Motores MG1 e MG2 Toyota Prius.....	42
Figura 20 – Funcionamento dos motores Toyota Prius.....	43
Figura 21 – Toyota Corolla Hybrid Altis Premium.....	44
Figura 22 - Comparação Peças removidas X Peças adicionadas.....	50
Figura 23 - Curva de Torque X Potência de um motor elétrico assíncrono de indução.....	51
Figura 24 - Tipos de motores elétricos.....	52
Figura 25 - Diagrama Motor DC com escovas.....	53
Figura 26 - Motor de Relutância Comutada.....	57
Figura 27 - Chaves de Estado Sólido.....	59
Figura 28 - Inversor Monofásico.....	61
Figura 29 - Formato de onda - Inversor Monofásico.....	62
Figura 30 - Formato de onda - Inversor PWM.....	63
Figura 31 - Inversor Trifásico.....	64
Figura 32 - Volkswagen Gol FTE.....	70
Figura 33 - Volkswagen Fusca FTE.....	71
Figura 34 - Morris Mini de Mr. Bean.....	72
Figura 35 - Land Rover convertida pela Electric Car Converts.....	73
Figura 36 - Volkswagen Kombi e seus componentes.....	74
Figura 37 - Roadmap Zero Emissões 2050.....	83
Figura 38 - Mapa IPVA veículos elétricos.....	87
Gráfico 1 – Comparativo frota brasileira por tipo de combustível.....	36
Gráfico 2 – Expansão de postos de combustível dos Estados Unidos ofertando E15 e E85.....	40

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 - Comparativo Toyota Corolla X Toyota Corolla Hybrid.....</b>	<b>45</b>
<b>Quadro 2 - Comparativo Tipos de Baterias.....</b>	<b>67</b>
<b>Quadro 3 - Incentivos para veículos elétricos - 2022.....</b>	<b>77</b>



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampére
AC	<i>Alternate Current</i>
ACEA	Associação Europeia dos Fabricantes de Automóveis
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
BLDC	<i>Brushless Direct Current Motor</i>
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
COP	Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
Cv	Cavalos-vapor
DC	<i>Direct Current</i>
DOHC	<i>Double Over Head Camshaft</i>
E-CVT	<i>Electronic Continous Variable Transmission</i>
EREV	<i>Extended Range Electric Vehicle</i>
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
EVA	<i>Electric Vehicle America</i>
FCEV	<i>Fuel Cell Electric Vehicle</i>
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
IAA	Instituto do Açúcar e do Alcool
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
kgfm	Kilo-grama força metro
kWh	Kilo-Watt-hora
MCI	Motores de Combustão Interna
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>
PEV	<i>Plug-in Electric Vehicle</i>
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PMAC	<i>Permanent Magnet AC Synchronous Motor</i>
Proálcool	Programa Nacional do Alcool
PSD	<i>Power Split Device</i>
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RFA	<i>Renewable Fuels Association</i>
SCR	<i>Silicon Controler Rectifier</i>
SUV	<i>Sports Utility Vehicle</i>
SRM	<i>Switched Reluctance Motor</i>
THSD	<i>Toyota Hybrid Synergy Drive</i>
THS	<i>Toyota Hybrid System</i>
UE	União Europeia
V	Volts
VCU	<i>Vehicle Control Unit</i>
VE	Veículo Elétrico
Whkg <sup>-1</sup>	Energia Específica
Whm <sup>-3</sup>	Densidade de Energia
WLTP	<i>Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$2\text{Ni}(\text{OH})_2$	Oxihidróxido de Níquel
Cd	Cádmio
$\text{CO}_2$	Gás Carbônico
$\text{H}_2$	Hidrogênio
$\text{H}_2\text{SO}_4$	Ácido Sulfúrico
Li-ion	Íons de Lítio
NiCad	Níquel-Cádmio
NiFe	Níquel-Ferro
NiMH	Níquel-hidreto Metálico
$\text{Pb-H}_2\text{SO}_4$	Chumbo-ácido
$\text{SO}_2$	Dióxido de Enxofre
£	Libra Esterlina
R\$	Real
€	Euro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Tema</b> .....	<b>12</b>
1.1.1	Delimitação do Tema.....	12
<b>1.2</b>	<b>Problemas e Premissas</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>13</b>
1.3.1	Objetivo Geral.....	13
1.3.2	Objetivos Específicos .....	13
<b>1.4</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>14</b>
<b>1.5</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Histórico Veículos Elétricos</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Tipos de Veículos elétricos</b> .....	<b>20</b>
2.2.1	Veículos Elétricos Puros.....	20
2.2.2	Veículos Híbridos .....	24
<u>2.2.2.1</u>	<u>Arquitetura híbrida-série</u> .....	<u>26</u>
<u>2.2.2.2</u>	<u>Arquitetura híbrida-paralela</u> .....	<u>27</u>
<u>2.2.2.3</u>	<u>Arquitetura híbrida séria-paralela</u> .....	<u>30</u>
2.2.3	Veículos Movidos à Células de Combustível.....	31
<b>2.3</b>	<b>A utilização do etanol como combustível no Brasil</b> .....	<b>34</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>39</b>
<b>4.1</b>	<b>Veículos híbridos <i>flex-fuel</i></b> .....	<b>39</b>
<b>4.2</b>	<b>Kits de conversão de veículos com MCI em veículos elétricos</b> .....	<b>48</b>
4.2.1	Passo-a-passo para conversão .....	48
4.2.2	Componentes presentes em um kit de conversão .....	50
<u>4.2.2.1</u>	<u>Motores Elétricos</u> .....	<u>50</u>
<u>4.2.2.2</u>	<u>Controladores</u> .....	<u>58</u>
<u>4.2.2.3</u>	<u>Conversores e Inversores</u> .....	<u>60</u>
<u>4.2.2.4</u>	<u>Baterias</u> .....	<u>65</u>
4.2.3	Comercialização de kits de conversão e veículos convertidos .....	69
<b>4.3</b>	<b>Políticas públicas e incentivos para veículos puramente elétricos e híbridos</b> .....	<b>75</b>
4.3.1	Políticas públicas e incentivos ao veículo elétrico no mundo .....	75

4.3.2	Políticas públicas e incentivos ao veículo elétrico no Brasil .....	84
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>90</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>92</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Tema

Atualmente, a locomoção da população nas grandes cidades é majoritariamente composta por veículos particulares, muitas vezes realizada por veículos com motores à combustão interna, com baixa eficiência e que emitem gases poluentes, o que contribui para o efeito estufa. No Brasil, a frota veicular é composta por mais de 110 milhões de veículos, sendo 59 milhões desses somente automóveis leves, como os carros que utiliza-se no cotidiano (IBGE, 2020). Com isso, surge a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias para a redução de emissão de poluentes, melhor eficiência energética e fontes alternativas de combustíveis. A partir deste desenvolvimento, veículos híbridos e elétricos vêm sendo desenvolvidos por diversas montadoras, por conta de leis mais rígidas em relação a emissão de poluentes e consumo de combustíveis, além da mudança de pensamento de uma grande parte da população sobre a dependência da humanidade aos combustíveis fósseis.

Esta transição de veículos movidos à combustíveis derivados do petróleo para veículos movidos à combustíveis alternativos e veículos movidos à energia elétrica não está sendo fácil, principalmente em países nos quais algumas tecnologias tardam a alavancar ou ainda são muito caras, como no Brasil, ou que acabam não recebendo o mesmo incentivo e investimento que outros tipos de tecnologias. Sendo assim, algumas alternativas podem ser melhor desenvolvidas e utilizadas, como os kits de conversão de veículos à combustão e os veículos híbridos com motores *flex-fuel*, objetos de estudo deste trabalho. Estas estratégias podem vir a ajudar e acelerar o processo de transição da frota às novas leis impostas pelos governos, além de aumentarem o alcance destas novas tecnologias à população.

### 1.1.1 Delimitação do Tema

A presente pesquisa aborda os kits de conversão de veículos à combustão em veículos elétricos, os veículos híbridos com motores *flex-fuel* e as políticas públicas de incentivo aos veículos elétricos, alternativas para maior eletrificação da frota brasileira, citados no item 1.1.

## 1.2 Problemas e Premissas

A conscientização da população mundial em relação à poluição que os motores de combustão interna geraram ao longo dos anos e a introdução de novas e mais rígidas políticas de desenvolvimento sustentável trouxeram uma necessidade para a indústria automobilística de desenvolver tecnologias mais eficientes e menos poluentes. Motores elétricos aliados à motores de combustão mais eficientes e motores unicamente elétricos são alternativas que foram apresentadas para adequar os novos produtos às legislações.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho busca conhecer, estudar e caracterizar os kits de conversão para veículos à combustão em veículos elétricos e os veículos híbridos com motores *flex*, com o intuito de aumentar a eletrificação da frota de veículos no Brasil. Além disso, são discutidas políticas públicas de incentivo ao veículo elétrico, comparando as políticas executadas em outros países com as realizadas no Brasil.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar a tecnologia para utilização do etanol em veículos híbridos e suas vantagens;
- Analisar o caso específico do Toyota Corolla Hybrid;
- Apresentar as opções de kits de conversão de veículos a combustão em veículos elétricos e seus componentes;
- Expor empresas que realizam conversões de veículos;
- Realizar o levantamento de políticas públicas de incentivo aos veículos elétricos no mundo e no Brasil, e propor algumas ações.

## 1.4 Justificativa

A partir da maior presença de veículos com motores de combustão interna nas grandes cidades surgiu uma grande necessidade para que as montadoras e fabricantes de veículos reduzissem as emissões de poluentes, impulsionadas por normas e legislações governamentais cada vez mais restritas. Além disso, com a crise do petróleo, diversos incentivos para o desenvolvimento de novas tecnologias menos poluentes e incentivos fiscais para a produção e a compra de veículos que emitem menos gases poluentes foram sendo atribuídos, como a isenção de impostos de importação para veículos híbridos plug-in e até mesmo isenção de pagamento de IPVA para veículos elétricos em alguns estados brasileiros (ABVE, 2022).

Porém algumas barreiras ainda existem para que este tipo de tecnologia seja altamente difundido. O valor final do produto ao consumidor e a estrutura de postos de carregamento são questões que sempre são levantadas quando o assunto é a eletrificação da frota de veículos brasileira. O Brasil, com uma matriz energética favorável para a implementação desta tecnologia, possui ainda a vantagem de ser um grande produtor de cana-de-açúcar, matéria prima do combustível etanol, altamente utilizado pelos veículos automotores desde a década de 1970, incentivado por um programa do governo chamado Proálcool (Programa Nacional do Álcool).

Sendo assim, algumas alternativas para a eletrificação da frota nacional podem ser implementadas, como os kits de conversão de veículos a combustão em veículos elétricos e os veículos híbridos movidos a motores bicompostíveis, tanto gasolina como etanol. Estas tecnologias surgem com o objetivo de facilitar e tornar mais barata a implementação deste tipo de veículos no dia a dia da população, além de contribuir para a menor emissão de poluentes na atmosfera.

## 1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

- O Capítulo 1 contextualiza, define e delimita o tema a ser estudado, além de justificar e problematizar o tema definido. Além disso, nele se encontram os objetivos deste trabalho;

- O Capítulo 2 entrega a fundamentação teórica e a revisão bibliográfica sobre o tema, em busca de definir conceitos e expor informações que servem como base para o leitor;
- O Capítulo 3 aborda a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho;
- O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos por meio da pesquisa e as discussões acerca do tema;
- O capítulo 5 expõe as conclusões sobre o estudo realizado.



## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os veículos elétricos e veículos movidos à etanol, com o intuito de explorar os conceitos e princípios deste tema, assim como situar o leitor sobre o assunto. Com isso, será abordado o histórico dos veículos elétricos no mundo, seus principais tipos, aprofundando em suas configurações, suas características e alguns exemplos de cada. Além disso, será feita uma breve explicação sobre a utilização do etanol como combustível, suas vantagens e desvantagens e seu histórico no Brasil. Após, será abordada a tecnologia flex-fuel, suas características, vantagens e desvantagens e um alguns números em relação as vendas.

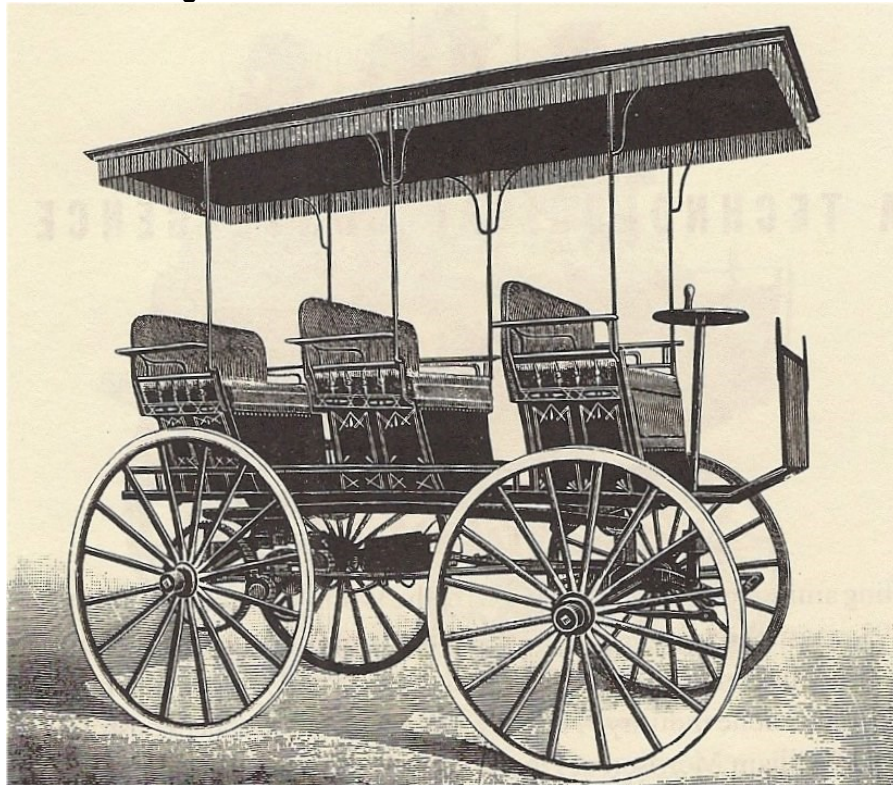
Serão abordadas também as políticas públicas presentes na venda dos veículos elétricos pelo Brasil e pelo mundo. E por fim, uma breve explanação numérica acerca do mercado de veículos elétricos no Brasil e no mundo.

### **2.1 Histórico Veículos Elétricos**

Pode parecer que a aparição dos veículos elétricos em nosso dia a dia é algo muito recente, talvez por conta da menor difusão desta tecnologia no Brasil, mas os veículos elétricos já possuem muitos anos de história. Em meados do século XIX, essa história se iniciou, estando altamente ligada com a história das baterias. No ano de 1859, o belga Gaston Planté apresentou a primeira bateria de chumbo ácido, vindo a utilizar este equipamento em diversos veículos no ano de 1880 em países da Europa e nos EUA, antes mesmo de surgir o primeiro veículo com MCI (HOYER, 2008).

Ainda nos EUA, em 1890, o químico William Morrison criou um veículo elétrico que carregava seis passageiros e era capaz de atingir uma velocidade de 14 km/h, um pouco mais do que um vagão eletrificado da época, sendo assim, despertou o interesse em veículos elétricos pela população, conforme mostrado na Figura 1. Já em 1900, os veículos elétricos viam o seu auge, sendo quase um terço de todos os veículos que circulavam pelas estradas americanas (SALDO, 2021).

**Figura 1 – Veículo Elétrico de William Morrison**



**Fonte: Sekurit Partner, 2021**

Chiaradia (2015) comenta que no ano de 1903, um automóvel com características de um veículo híbrido em série (definido na seção 3.2.2.1) composto por um gerador elétrico, alimentado por um pequeno MCI e dois pequenos motores elétricos que forneciam tração às rodas foi produzido. Durante 1901 e 1906, foi produzido um veículo híbrido em configuração paralela (definido na seção 3.2.2.2), com o MCI fornecendo tração às rodas e ao mesmo tempo carregava a bateria, ao mesmo tempo que o motor elétrico fornecia mais potência às rodas, ou funcionava unicamente de forma elétrica em baixas velocidades.

Os primeiros veículos híbridos como os citados anteriormente, tinham como principal objetivo compensar a baixa eficiência das baterias utilizadas nos veículos puramente elétricos da época e a falta de estrutura da distribuição de energia elétrica no século XX. Juntamente com a tecnologia de regeneração de energia elétrica na frenagem, os veículos híbridos deram uma sobrevida aos veículos elétricos nesta época. (BARAN e LEGEY, 2011).

O primeiro declínio dos veículos elétrico se deu devido às melhorias implantadas nas estradas, que solicitavam uma maior autonomia dos veículos para realizar maiores deslocamentos. Além disso, a descoberta de petróleo abundante no

estado do Texas, nos Estados Unidos, fez com que o preço da gasolina fosse reduzido, colocando assim os veículos elétricos de lado por um momento. Aliado à invenção da partida elétrica para MCIs, eliminando o empecilho do acionamento manual de uma manivela para dar partida ao motor e a criação do sistema de produção em massa por Henry Ford, os veículos à combustão interna se tornaram muito baratos, com a maioria da população tendo acesso a este produto. (ANTUNES, 2015; VAZ et al., 2015).

Após a década de 1960, quando as atenções se voltam aos problemas ambientais e à alta emissão de gases poluentes por veículos movidos à combustíveis fósseis (na época, o chumbo era utilizado como aditivo para a gasolina e não havia catalisadores nos escapamentos dos veículos para o tratamento dos gases antes de serem jogados na atmosfera). Além disso, as crises que o petróleo sofreu nos anos subsequentes (1956, quando o canal de Suez foi nacionalizado pelo Egito; 1973, decorrente do apoio dos Estados Unidos a Israel na Guerra do Yom Kipur; a crise política no Irã, grande produtor de petróleo, por conta da guerra contra o Iraque; 1991, por conta da Guerra do Golfo) fizeram com que o preço do barril de petróleo sofresse grandes altas, tornando os veículos elétricos uma alternativa novamente interessante à população (BARAN e LEGEY, 2011; GURGEL, 2018).

Com o intuito de reduzir a emissão de gases poluentes por veículos com MCI nas grandes cidades, diversos governos passaram a investir e a apoiar o desenvolvimento de tecnologias focadas nos veículos elétricos. Segundo Vaz et. al. (2015), em 1976 o governo norte-americano autorizou o Ministério de Energia a apoiar projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) em veículos elétricos e híbridos, por meio do *Electric and Hybrid Vehicle Research, Development and Demonstration Act*.

Além disso, na década de 1990, o governo do estado da Califórnia implementou suas primeiras normas de regulação para emissão zero de gases poluentes, motivados pelo conceito de desenvolvimento sustentável que se iniciava, além da necessidade de utilização de fontes de energia renováveis (BARAN e LEGEY, 2011).

Sendo assim, diversas montadoras de veículos se viram obrigadas a oferecer os veículos elétricos e híbridos aos consumidores. Em 1996, a General Motors (GM) apresenta ao público seu primeiro veículo elétrico, o EV1, como mostra a Figura 2. Com design esportivo, possuía um motor elétrico de corrente alternada com 137

cavalos de potência e 107 N.m de torque, com autonomia de 130km em suas baterias de chumbo-ácido e velocidade máxima de 130km/h (ANTUNES, 2015).

**Figura 2 – GM EV1**



**Fonte: Revista Quatro Rodas, 2021**

No ano seguinte, em 1997, a montadora japonesa Toyota lança o primeiro veículo híbrido produzido em massa, o Toyota Prius, presente na Figura 3, tendo sido bem recebido e visto como um avanço tecnológico pela população, ganhando o carro do ano de 1997 no Japão (TOYOTA, 1997).

**Figura 3 – Toyota Prius 1997**



**Fonte: Toyota Global, 1997**

A Honda, em 1999, foi a primeira montadora a lançar um veículo híbrido no mercado dos EUA, com o modelo Insight, exemplificado pela Figura 4. Com um sucesso imediato, a Toyota se viu obrigada a lançar o Toyota Prius no mercado

americano, sendo um sucesso de vendas bem como o modelo da concorrente japonesa (BARAN e LEGEY, 2011).

**Figura 4 – Honda Insight 1999**



**Fonte: Road and Track, 2006**

No começo dos anos 2000 ainda se tem alguns marcos em relação ao mercado de veículos elétricos, como o lançamento da Tesla Motors, empresa que em 2021 detinha 14% de market share no mercado de veículos elétricos mundial (IANS, 2022).

## **2.2 Tipos de Veículos elétricos**

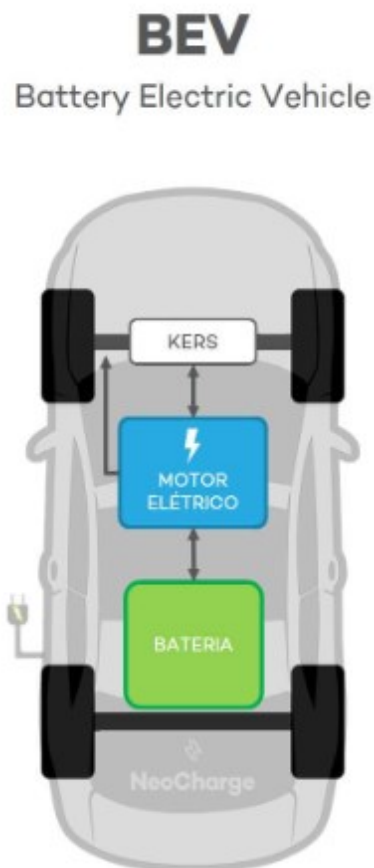
Os veículos elétricos são definidos como veículos que utilizam propulsão por meio de motores elétricos, sendo compostos por um sistema de energia primário, com uma ou mais máquinas elétricas e um sistema de controle de velocidade e de torque. Podem ser divididos em 3 grandes grupos: os veículos puramente elétricos, os veículos híbridos e os veículos movidos a células de combustível. Cada um destes tipos possui características diferentes, arquiteturas diferentes, com suas vantagens e desvantagens, assuntos que serão apresentados nas próximas seções (MANTOVANI, 2013).

### **2.2.1 Veículos Elétricos Puros**

Os veículos elétricos puros, ou BEVs como são chamados em alguns mercados (*Battery Electric Vehicles*) tem como única fonte de propulsão os motores elétricos, podendo ser um ou mais, dependendo do modelo, fabricante e necessidade

de utilização do veículo, sendo os motores de indução e os motores síncronos de ímãs permanentes os mais indicados para esta função. Além disso, os veículos elétricos puros transformam a energia química armazenada nas baterias em energia cinética, gerando torque e movimentando o veículo. Ademais, estes motores podem funcionar de forma contrária, como geradores, recarregando as baterias enquanto o veículo se movimenta, normalmente em frenagens. Um esquemático dos BEVs é apresentado na Figura 5. (CONSTANTINO, 2015; ALEIXO, 2018).

**Figura 5 – Esquemático BEV**



Fonte: NeoCharge, 2020

Em adição, este tipo de veículo elétrico pode ser carregado diretamente na tomada, sendo chamados de *plug-in vehicles* (PEV), literalmente, por serem conectados diretamente à rede elétrica por meio de tomadas comuns ou por meio de carregadores específicos (DELGADO et al., 2017).

Para Gonçalves (2021), a energia é armazenada normalmente em um banco de baterias, formado por vários módulos compostos por células, instalado no assoalho do veículo, ajudando a colocar o centro de gravidade mais próximo do solo, ajudando

em uma melhor estabilidade. Em modelos mais antigos, eram utilizados ácidos de chumbo (NiMH) nas baterias, formadas por conjuntos de pilhas em série. Por outro lado, nos modelos mais atuais, as baterias são compostas por íons de lítio na maioria das vezes (Li-ion), e correspondem por aproximadamente 1/3 do valor total de um veículo elétrico, sendo um dos entraves principais para maior popularidade dos VEs.

A grande eficiência dos motores elétricos frente à eficiência dos MCIs, 90% para os elétricos contra 30% de rendimento para os de combustão interna, aliado com o torque quase que instantâneo oferecido pelo motor elétrico, a capacidade de se carregar as baterias em casa e por possuir menos componentes para manutenção, como por exemplo velas de ignição, óleo de motor, filtros em geral, os VES estão ganhando cada vez mais espaço no mercado mundial e brasileiro (SALDO, 2021). Além disso, a emissão de poluentes quase que nula coloca o veículo elétrico em um patamar acima que os MCIs, uma vez que políticas ambientais cada vez mais restritivas estão se tornando mais comuns nos dias de hoje por conta da necessidade de se preocupar e zelar pelo meio ambiente (MANTOVANI, 2013; SALDO, 2021; DE CASTRO e FERREIRA, 2010).

Por outro lado, o alto custo praticado pelas montadoras no Brasil para a compra de veículos elétricos pelos consumidores acaba freando a maior penetração destes modelos no mercado. Além disso, outro requisito fundamental para que estes veículos ganhem espaço nas ruas e estradas brasileiras é a estrutura de recarga. Uma vez que não existem postos de recargas suficientes, os consumidores sem ter onde carregar seus carros se sentem limitados, se tornando menos dispostos a adquirir este tipo de veículo (DELGADO et al., 2017).

Em adição, o grau de desenvolvimento das baterias, a baixa autonomia e o seu alto tempo de recarga são outros entraves que os veículos elétricos ainda enfrentam nos dias de hoje. (NASSIF, 2020).

No ano de 2022, diversas montadoras estão ofertando aos consumidores alguns veículos puramente elétricos, buscando aumentar seus volumes em relação a estes modelos. Um modelo recém-lançado por aqui, mas que já vem fazendo sucesso na Europa como Dacia Spring e na China como Renault Kwid K-ZE há anos é o novo Renault Kwid E-Tech, conforme observa-se na Figura 6. Com autonomia de 298 km declarados pela montadora francesa, o automóvel atualmente é o veículo elétrico à venda mais barato do Brasil. A partir de R\$142.900,00, o Kwid E-Tech é equipado com um motor elétrico de 65 cv e 11,5 kgfm de torque, uma bateria de Li-ion de 26,8

kwh e um carregador que pode ser ligado em uma tomada residencial de 20 A, levando o a bateria de 15% a 90% em até 9 horas. (RENAULT, 2022; FORTUNATTI, 2022).

**Figura 6 – Renault Kwid E-Tech**



**Fonte: Motor1, 2022**

Buscando atender uma parcela do mercado de luxo brasileiro, a montadora alemã Porsche oferta o famoso Porsche Taycan em diversas configurações. Com potências variando de 408 cv do modelo mais básico a 761 cv do auge de esportividade e luxo do Porsche Taycan S, como mostra-se na Figura 7. Todos são equipados com motores síncronos, sendo eles localizados no eixo traseiro somente quando equipados com somente um motor, ou nos eixos dianteiro e traseiro quando equipados com dois motores. A bateria possui capacidade de 71 kWh no modelo mais básico, tendo uma autonomia de 432 km em trecho combinado (urbano e rodovia), enquanto no modelo topo de linha a bateria possui capacidade de 83,7 kWh, e um alcance de 417 km em trecho combinado. Os valores variam entre R\$629.000,00 na versão de entrada e R\$1.099.000,00 na versão mais cara, a Turbo S (PORSCHE, 2022).



**Figura 7- Porsche Taycan Turbo S**



**Fonte: Motor1, 2022**

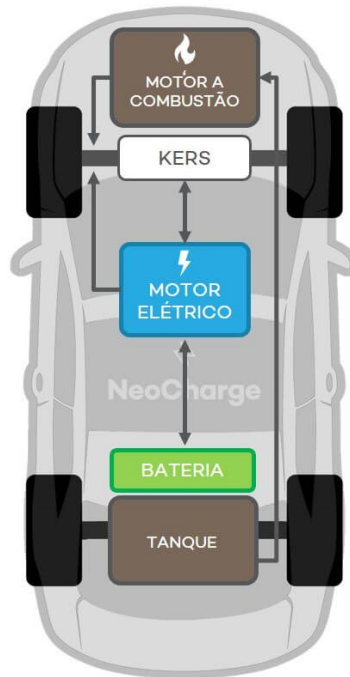
### 2.2.2 Veículos Híbridos

Os veículos híbridos, ou HEVs (Hybrid Electric Vehicle) combinam o MCI com um ou mais motores elétricos para propulsão, podendo ser eles em eixos diferentes ou um só eixo, dependendo da configuração desejada pela montadora (VAZ et al., 2015). Com a intenção de otimizar a autonomia dos veículos, a união da alta eficiência dos veículos puramente elétricos com a energia química armazenada nos tanques dos veículos movidos a motores de combustão interna em forma de combustível fazem com que as vantagens destes dois tipos de *powertrain* sejam utilizadas em uma só configuração de veículo elétrico, como na Figura 8 (VAZ et al., 2015; GONÇALVES, 2021).

Figura 8 – Esquemático HEV

## HEV

Hybrid Electric Vehicle



Fonte: NeoCharge, 2020

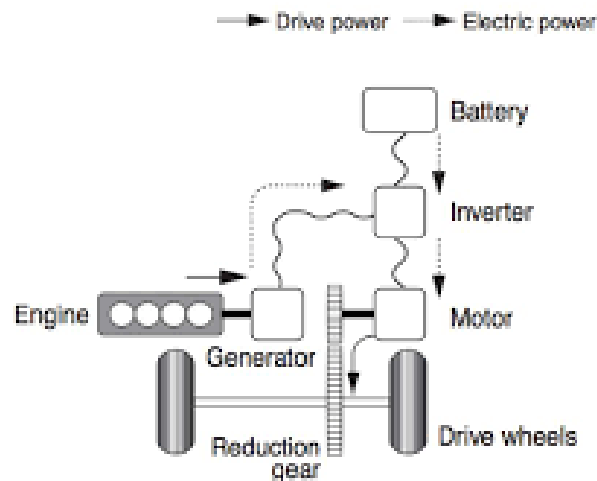
A hibridização de um veículo pode ser feita de várias maneiras, como por exemplo utilizando o motor elétrico somente para tirar o veículo da inércia e em baixas velocidades, utilizar ambos os motores ao mesmo tempo para dar tração ao veículo e ainda utilizar o MCI para gerar energia aos motores elétricos. Desta forma, os veículos híbridos são muito versáteis, permitindo que diversas arquiteturas sejam utilizadas e que operem de forma ideal em cada tipo de aplicação. (GONÇALVES, 2021).

As principais arquiteturas utilizadas nos veículos elétricos são a híbrida-série, a híbrida-paralela, a híbrida-série-paralela e a híbrida-complexa. Cada uma possui uma configuração de *powertrain*, no qual os componentes atuam de forma que a eficiência seja sempre otimizada. Além disso, ainda existem os veículos PHEV, que são os veículos híbridos *plug-in*, e assim como os BEV podem ser conectados à rede elétrica para recarregar a energia das baterias (VONBUN, 2015). Ainda existem os veículos híbridos-leves, com o motor elétrico substituindo o alternador do veículo e fornecendo energia para a partida do MCI e para mais algumas funções que demandam carga. (VONBUN, 2015; SCHAUN, 2019).

### 2.2.2.1 Arquitetura híbrida-série

Na arquitetura híbrida-série, o MCI não possui conexão física com os eixos do veículo, ou seja, ele não fornece tração. Por conta disso, o MCI atua como um suporte ao motor elétrico do veículo, sendo este responsável pela movimentação das rodas, como exemplificado pela Figura 9. Nesta arquitetura, um gerador é acoplado ao MCI, e o MCI fornece energia para o motor elétrico diretamente, ou para carregar as baterias. Isto é muito vantajoso, uma vez que garante uma maior flexibilidade na faixa de operação do MCI no veículo. Sendo assim, os três principais componentes de um veículo híbrido série são o MCI, o gerador e o motor elétrico (SAMPAIO, 2012).

**Figura 9 – Configuração Híbrida-série**



**Series hybrid system**

**Fonte: USP, 2017**

Os veículos híbridos que possuem configuração em série são mais adequados a trechos urbanos, uma vez que nestas condições existe uma maior utilização do *powertrain* elétrico, ao contrário de viagens mais longas em estradas, que aumentam as perdas na transmissão (SAMPAIO, 2012).

Também conhecidos por Veículos Elétricos com Autonomia Extendida, com sigla EREV (*Extended Range Electric Vehicle*), estes automóveis também possuem freios regenerativos, os quais em declives ou em situações em que o MCI não precisa atuar recarregam as baterias. Um exemplo de veículo híbrido com configuração em série é o SUV Seres SF5, conforme a Figura 10. Em 2021, a marca chinesa Seres ofereceu ao consumidor brasileiro o modelo SF5, equipado com dois motores elétricos, um em cada eixo, e um MCI de 112 cv e quatro-cilindros que funciona como

gerador para carregar as baterias com capacidade de 32 kWh. Os motores elétricos combinados possuem 693 cv e 104 kgfm de torque (PASSOS, 2021).

**Figura 10 – Seres SF5**

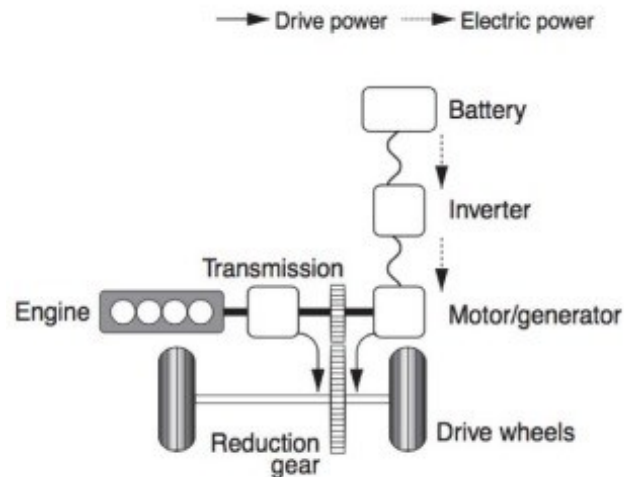


**Fonte: QuatroRodas, 2021**

#### 2.2.2.2 Arquitetura híbrida-paralela

Na arquitetura híbrida-paralela, o MCI pode ser conectado diretamente ao sistema de transmissão e rodas dos veículos híbridos nesta configuração, podendo os motores elétricos, o MCI, ou ambos fornecerem torque diretamente para as rodas, como mostra-se na Figura 11. Segundo Marin (2018), em um modo de operação comum para os veículos híbridos no cotidiano, o motor/gerador elétrico atua principalmente na partida e em baixas velocidades, consumindo a energia armazenada nas baterias dos veículos híbridos-paralelos, em sua melhor faixa de operação, ou seja, em que fornece a melhor relação de torque. Por outro lado, em velocidades mais altas, e que necessitam uma outra faixa de torque, o MCI é acionado, obtendo uma maior eficiência.

**Figura 11 – Configuração Híbrida-paralela**



**Parallel hybrid system**

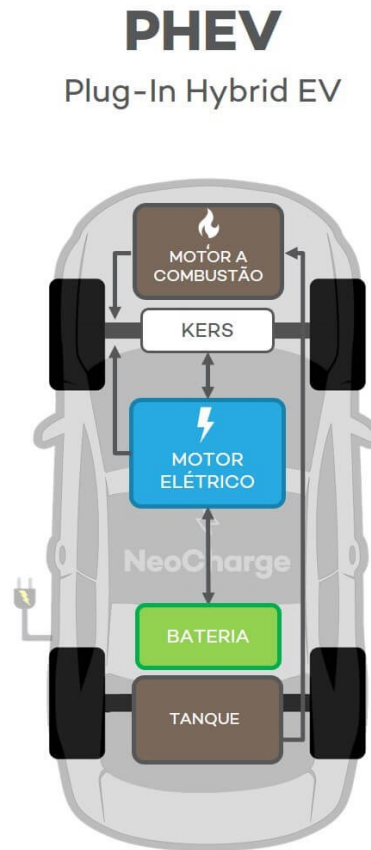
Fonte: USP, 2017

Por não possuir um gerador conectado ao MCI, esta configuração se torna mais compacta que a configuração híbrida-série, além de o motor elétrico de tração ser menor. Por outro lado, o acoplamento mecânico entre o MCI e as rodas se torna uma das maiores desvantagens deste tipo de configuração, uma vez que se torna quase impossível sempre estar com o MCI trabalhando em sua faixa de operação mais eficiente na curva característica de torque-velocidade (MARIN, 2018).

Para carregamento das baterias, os veículos híbridos-paralelos possuem um sistema de freios regenerativos, ou os motores elétricos podem funcionar como geradores, quando a potência fornecida pelo MCI é superior à exigida para a tração, convertendo a energia mecânica em elétrica, e transmitindo-a para as baterias (CONSTANTINO, 2015).

Uma terceira forma de se carregar as baterias dos veículos híbridos é a conexão direta com a rede elétrica por meio de um carregador específico ou tomada comum de casa. Esta outra configuração se chama Híbrido *Plug-in* (PHEV, *Plug-In Hybrid Electric Vehicle*), conforme o esquemático apresentado na Figura 12 (DELGADO et al., 2017).

**Figura 12 – Configuração Híbrida Plug-In PHEV**



**Fonte: NeoCharge, 2020**

Para esta configuração, a montadora alemã BMW ofertou no mercado mundial desde 2013 o modelo i8, como observa-se na Figura 13. Com visual futurista e linhas esportivas, o veículo híbrido paralelo plug-in é equipado com um MCI de 3 cilindros e 1,5 litros que gera 231 cv e um motor elétrico no eixo dianteiro, que combinado com o motor a combustão gera 362 cv e 42 kgfm. Com 0 a 100 km/h em 4,6 segundos e uma velocidade máxima de 250 km/h, a BMW i8 consegue atingir até 120 km/h somente no modo elétrico. Além disso, sua bateria de 7,1 kWh garante 37 km de autonomia neste modo, sendo necessárias 3,5 horas de recarga em uma tomada comum de 110 V para atingir 100% de autonomia na bateria, ou 1,5 hora em 240V (FORTUNATTI, 2019).

**Figura 13 – BMW i8****Fonte: Motor1, 2019**

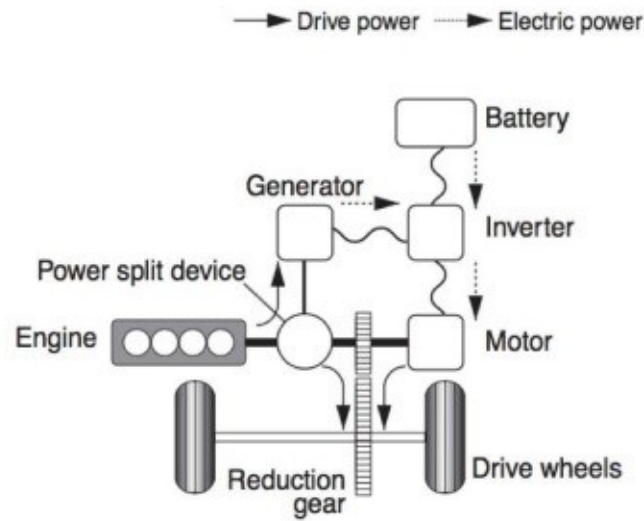
### 2.2.2.3 Arquitetura híbrida série-paralela

Na configuração híbrida série-paralela, o veículo alia as características das configurações descritas anteriormente, podendo usufruir de cada uma de suas vantagens. Sendo assim, os veículos híbridos série-paralelo podem operar tanto em modo série quanto em modo paralelo, através da ligação do gerador ao MCI sendo uma ligação mecânica e ao conversor de potência, sendo uma ligação elétrica (CONSTANTINO, 2015).

Desta forma, Oliveira (2018) coloca que os veículos com configuração série tem melhor eficiência em trechos urbanos, enquanto a configuração paralela possui melhor eficiência em estradas e trechos de maior velocidade, ou seja, um veículo híbrido série-paralelo atende ambas as aplicações.

Como ilustrado na Figura 14, há mais uma ligação mecânica ao eixo de transmissão do que na configuração híbrida série, e em relação à configuração híbrida paralela existe mais uma máquina elétrica, sendo o gerador acoplado ao MCI. A energia armazenada nas baterias segue seu fluxo como em um VHE série, a qual passa por um inversor e chega ao motor elétrico para que este movimente o veículo. Por outro lado, o MCI fornece energia para carregamento das baterias em alguns momentos, como em um veículo híbrido com configuração paralela, mas quando necessário fornece potência para as rodas também. Este acoplamento mecânico das três máquinas se dá por um sistema de engrenagens planetária (CHIARADIA, 2015).

**Figura 14 – Configuração Híbrida Série-paralela**



**Series/parallel hybrid system (THS in Prius)**

Fonte: USP, 2017

O Toyota Prius é um exemplo de grande sucesso para os veículos híbridos série-paralelos, tendo atingido 3,9 milhões de unidades vendidas no mundo desde o seu lançamento em 1997. Retirado do portfólio da montadora japonesa no Brasil em 2021, o Prius do ano-modelo 2020 oferecido no país era equipado com um motor de quatro-cilindros com 1.8 litros, de Ciclo Atkinson, entregando 98 cv, e um motor elétrico entregando 72 cv, ou seja, uma potência combinada de 122 cv. Com isso, o Prius é bem econômico, fazendo 18,9 km/l na cidade e 17 km/l na estrada. No ano de 2020, possuía preço tabelado em R\$128.530,00 (TOYOTA, 2017; MATSUBARA, 2020).

### 2.2.3 Veículos Movidos à Células de Combustível

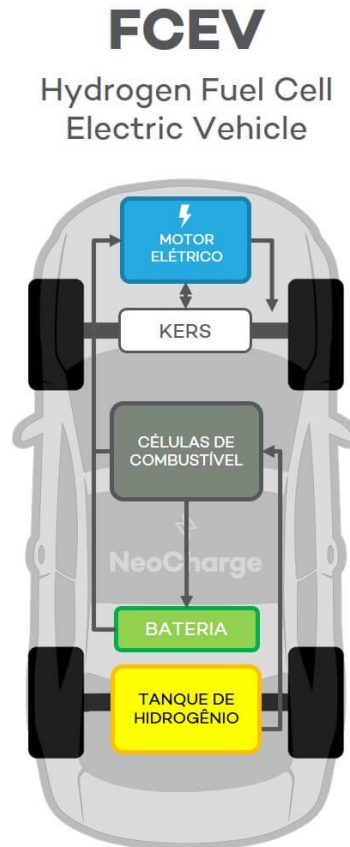
Os veículos elétricos movidos a células de combustível, mais conhecidos como FCEV (*Fuel Cell Electric Vehicle*) utilizam a energia química presente nos combustíveis para gerar energia elétrica para alimentar os motores elétricos do veículo por meio de reações eletroquímicas (NASSIF, 2019; DELGADO et al., 2017).

Em 1839, William Robert Grove descobre o princípio de funcionamento das células a combustível. Elas são, basicamente, baterias de funcionamento contínuo, produzindo corrente contínua pelas reações eletroquímicas a frio de um combustível, geralmente o hidrogênio. De forma geral, os combustíveis são armazenados externamente e o ar para a reação é obtido na atmosfera, como na Figura 15. No



momento em que o combustível ainda estiver presente no tanque, as células produzirão energia (BECK et al. 2005).

Figura 15 – Esquemático FCEV



Fonte: NeoCharge, 2020

Para que esta reação química ocorra, o ânodo da célula deve ser alimentado com o combustível, podendo ser hidrogênio por exemplo, e o cátodo por oxigênio, provido do ar. Utilizando-se um catalizador, ocorre a reação do hidrogênio com o oxigênio, e como produto tem-se energia e vapor d'água (GOLDENSTEIN et al., 2006).

Na maior parte de sua arquitetura os veículos movidos à célula de combustível se assemelham muito aos VE's puros, sendo a maior diferença referente à sua fonte de energia. Nos FCEV as células de combustível podem ser abastecidas com diversos combustíveis, como o já citado hidrogênio, etanol, metanol, entre outros. Em sua maior parte, são zero emissão de gases poluentes (LEME e CONSONI, 2019).

Diferentemente dos MCI, os motores movidos à célula de combustível são bastante eficientes, convertem cerca de 55% da energia do hidrogênio em energia mecânica, enquanto nos MCI a eficiência é em torno de 30%. Porém, por ser uma

tecnologia que ainda não está muito desenvolvida, seu custo ainda é muito alto, principalmente por conta das células, que possuem revestimento de platina em seu interior. Além disso, não existe uma infraestrutura robusta para produção de hidrogênio, tampouco para abastecimento deste combustível nos veículos. Em adição, não há hidrogênio em sua forma  $H_2$  no meio ambiente, sendo necessário quebrar moléculas de outras substâncias para que este seja produzido, normalmente através do gás natural, sendo seu valor não atrativo no momento. Com isso, estudos estão sendo realizados ao redor de células de combustível alimentadas por fontes renováveis, capazes de produzir o hidrogênio diretamente. Neste caso, o Brasil se torna um país muito atraente para o desenvolvimento desta tecnologia, uma vez que possui uma rede já estruturada de produção e comercialização do etanol, combustível que pode ser utilizado na geração de hidrogênio através da quebra de moléculas do álcool (GOLDENSTEIN, 2006).

A montadora japonesa Nissan, juntamente com o IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares) vem estudando e testando a tecnologia de veículos elétricos movidos à célula de combustível a etanol desde 2015 no Brasil. O programa, chamado de e-Bio Fuel-Cell, exemplificado na Figura 16, utiliza o etanol para gerar o hidrogênio a bordo do veículo, unindo a eficiência do veículo elétrico com a praticidade de um veículo movido à etanol. Sendo um projeto que estará em desenvolvimento até 2025, ainda existem diversos pontos a serem estudados e otimizados, como o tamanho das baterias, a eficiência e a integração de mais elementos às células de combustível, segundo a Nissan do Brasil (TAVARES, 2021).

**Figura 16 – Nissan e-Bio Fuel-Cell**



**Fonte: InsideEVs, 2021**

### 2.3 A utilização do etanol como combustível no Brasil

Os combustíveis mais utilizados em veículos leves no Brasil são a gasolina e o etanol, graças a tecnologia *flex-fuel*. Desenvolvida e aplicada à realidade brasileira, esta tecnologia traz a possibilidade de utilização de ambos os combustíveis, em qualquer proporção. Assim, a central eletrônica do veículo analisa a mistura presente no tanque de combustível por meio de uma sonda localizada no escapamento, que a partir dos gases provenientes da queima do combustível controla a injeção e alimentação do motor de acordo com os parâmetros encontrados, sendo possível se ajustar a diversas composições (BRAVO et al.; 2014).

Embora a história dos veículos *flex* no Brasil seja recente, mais especificamente dos anos 2000, o estudo para sua utilização em MCIs já é de longa data, tendo início em 1923, a partir de um programa de experimentação no Instituto Nacional de Tecnologia sobre a utilização do etanol puro como combustível para motores de combustão interna de ciclo Otto. Além disso, em 1931, por meio de um decreto foi estabelecido que os importadores de gasolina deveriam inserir 5% de álcool anidro brasileiro ao volume total das importações. No mesmo ano, criou-se a Comissão de Estudos sobre o Álcool Automotivo e o Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA). Já em 1938, a mesma obrigatoriedade passa a valer para os produtores nacionais de gasolina automotiva (CORREIA, 2007).

Com porcentagens de álcool anidro na gasolina perto dos 6,2% como média nacional, o período de retração do mercado internacional de açúcar mudou o pensamento em relação ao produto da cana-de-açúcar utilizado como combustível, uma vez que os preços elevados do açúcar e o baixo preço do petróleo fez com que os níveis de álcool utilizados na gasolina diminuíssem. Assim, em 1975 é criado o Proálcool (Programa Brasileiro de Álcool), principalmente movido pela crise do petróleo que se espalhava pelo mundo, conforme mostrado na Figura 17. Na época o Brasil importava 78% do petróleo utilizado no país, e 42% era utilizado pelo setor de transportes. Desta forma, o programa buscava tornar o etanol um meio de reduzir o impacto dos altos preços do petróleo. (CORREIA, 2007).

Figura 17 – Posto de gasolina BR com a frase “Entramos na Era do Álcool”

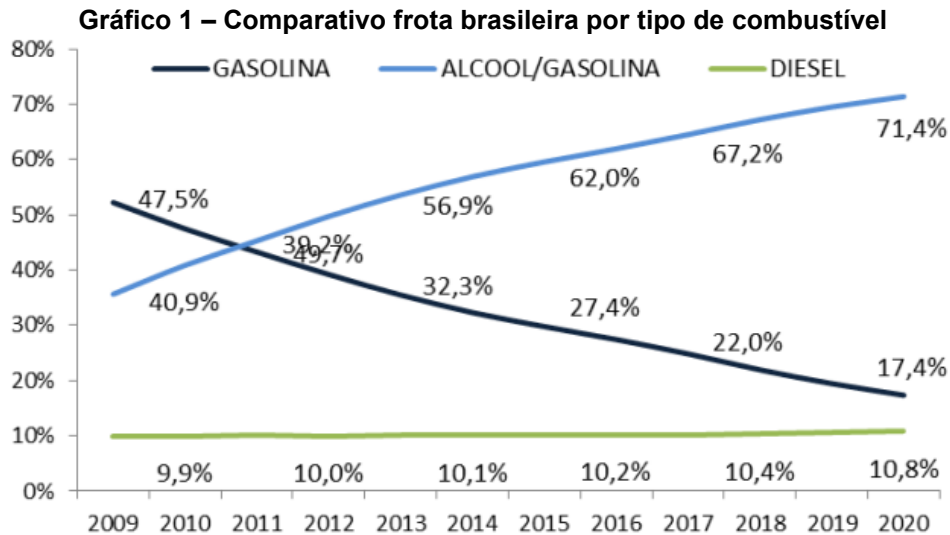


Fonte: Istoé Dinheiro, 2019

Com uma maior crise do petróleo avançando pelo mundo, em 1979 inicia-se a segunda fase do Proálcool, na qual o governo estipula a meta de produção de 10,7 milhões de m<sup>3</sup> de etanol até 1985. Com incentivos do governo para a venda de veículos movidos somente a etanol em 1980, o consumo deste combustível subiu de 2,5 milhões de m<sup>3</sup> em 1981 para 12,7 milhões de m<sup>3</sup> em 1989. Em contrapartida, no ano de 1989 os agricultores produtores de cana-de-açúcar viram o preço do açúcar disparar nos mercados internacionais, fazendo com que estes destinassem as colheitas à exportação do açúcar, diminuindo a oferta de etanol. Sendo assim, o Proálcool estava fragilizado, e a venda de veículos movidos a etanol caiu (CORREIA, 2007).

Por conta dos novos aumentos nos preços do petróleo e a introdução da tecnologia *flex-fuel* no mercado, o etanol passou a ser visto com outros olhos novamente pelo mercado consumidor. Embora esta tecnologia tenha começado a ser desenvolvida nos Estados Unidos, onde utilizava uma mistura fixa de 85% de etanol e 15% de gasolina (gasolina E85 como é chamada), foi no Brasil que atingiu a grande maioria do mercado, com o primeiro veículo com a tecnologia flexível sendo o Volkswagen Gol 1.6 Total-Flex, no ano de 2003. No Gráfico 1 é apresentada uma comparação entre a porcentagem de veículos movidos somente a gasolina, os veículos que possuem a tecnologia flex-fuel e os veículos movidos a diesel que compõem a frota de veículos, do ano 2009 a 2020. Pode-se chegar à conclusão de que, ao longo deste período de 11 anos os veículos bicompostíveis foram ganhando espaço na frota brasileira, com 71,4% em 2020, contra 17,4% dos veículos movidos a gasolina no mesmo período. Nota-se também que a quantidade de veículos a diesel

se manteve quase que constante neste período, por representarem uma menor parcela da frota, sendo composta unicamente por caminhões e ônibus (CORREIA, 2007; SINDIPEÇAS, 2021).



Fonte: Sindipeças, 2021

Segundo Rizzo (2018), o Brasil, por ser uma referência em energia renovável, tanto pela ampla utilização do etanol como combustível para veículos e por possuir uma matriz energética limpa, com 61% vinda de hidrelétricas e 8% da energia eólica, sai na frente de diversos países neste quesito. Além disso, pela combustão do etanol não ser de um elemento fóssil, é emitido uma menor quantidade de gás carbônico ao ambiente, sendo assim, não há um desequilíbrio no ecossistema, uma vez que o gás carbônico gerado na queima do etanol será absorvido e consumido pela cana-de-açúcar durante seu processo de crescimento, através da fotossíntese. Além disso, o álcool combustível pode ser produzido a partir de várias matérias-primas, além da já citada cana-de-açúcar, como a beterraba, o milho e o trigo. Com isso, o etanol se prova como um combustível renovável com grande viabilidade técnica e econômica, principalmente no Brasil, o qual é o único país com experiência histórica na ampla utilização deste combustível (GOLDENSTEIN, 2006).

Os motores de combustão interna com a tecnologia *flex-fuel* se diferenciam dos MCIs comuns principalmente por queimarem ambos os combustíveis (etanol e gasolina) em qualquer proporção, e necessitam uma maior taxa de compressão nos cilindros, além de um melhor tratamento das peças para que sejam evitados problemas de corrosão. Além disso, os veículos movidos a etanol atuam como substitutos naturais dos veículos movidos a gasolina, principalmente por não

perderem autonomia de forma expressiva e não gerarem grandes mudanças na indústria de automóveis. Fora o Brasil, diversos países possuem barreiras para a ampla utilização desta tecnologia, principalmente por não possuírem uma ampla infraestrutura de distribuição e abastecimento de etanol, justamente por não possuírem uma grande capacidade de produção local, sendo necessária a importação deste combustível (GOLDENSTEIN, 2006; POMPERMAYER, 2010).

A utilização em larga escala do etanol como combustível trouxe diversos impactos positivos, sejam eles ambientais e socioeconômicos. Para se ter uma ideia, entre 1976 e 2018, o Brasil deixou de utilizar e importar mais de 3 bilhões de barris de gasolina, sendo que 15 bilhões de barris de petróleo são as reservas do Brasil desta *commodity*, incluindo o pré-sal. Além disso, nos primeiros meses de 2019, 45,8% da gasolina utilizada no Brasil foi substituída pelo etanol puro ou etanol misturado à gasolina. No âmbito ambiental, o etanol se torna quase que neutro em emissões por conta da sua cadeia de produção, além de ter substituído compostos aromáticos cancerígenos da gasolina e reduzido a emissão de material particulado pelos veículos. Sendo assim, pode-se seguir em uma direção em que a eletrificação e a utilização de combustíveis renováveis andam juntas, principalmente devido aos veículos híbridos *flex* e os veículos movidos à célula de combustível a etanol (NASTARI, 2017).

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisas descritivas, buscando trazer conceitos aos leitores, juntamente com informações específicas de cada tema abordado.

Foram utilizadas referências primárias e secundárias para execução do trabalho. Primeiramente, foram realizadas pesquisas em sites como “Google Scholar” e “SciELO” em busca de artigos e publicações referentes ao tema deste trabalho. Por conta da grande diversidade de resultados, as pesquisas foram segmentadas em subtemas, seguindo a segmentação utilizada na revisão bibliográfica. Sendo assim, foram utilizadas palavras-chave como veículos elétrico, veículos híbridos, utilização de etanol como combustível, políticas públicas para veículos elétricos, entre outras. Além disso, foram pesquisados em notícias e sites oficiais de montadoras, modelos de veículos existentes no mercado atual, com o intuito de exemplificar de melhor forma os diferentes tipos de veículos elétricos. Desta forma, diversos artigos e publicações em seminários foram lidos e utilizados como fonte para as informações presentes. Em adição, três livros com foco em veículos elétricos e conversão de veículos foram utilizados como referências. Muitos deles acabaram sendo selecionados para compor a revisão bibliográfica por conta da atualidade das informações e da forma que as ideias são apresentadas, informações que foram coletadas após a realização do fichamento das bibliografias selecionadas previamente.

Este trabalho se trata de uma pesquisa qualitativa, sendo realizada por meio de uma revisão de literatura. Através da leitura de artigos, publicações sobre o tema e catálogos de fabricantes, serão apresentados os kits de conversão de veículos convencionais em veículos elétricos, seus principais componentes e suas vantagens. Além disso, será apresentada a tecnologia presente em veículos híbridos *flex-fuel* e sua presença no mercado brasileiro. Por fim, são analisadas as políticas públicas de incentivos aos veículos elétricos em países do mundo e no Brasil, com o objetivo de compará-las, e por fim, propor algumas ações com este enfoque.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados e discussões decorrentes das pesquisas realizadas, referente aos objetivos específicos do presente trabalho. Serão abordados os veículos híbridos *flex-fuel*, os kits de conversão de veículos com motores à combustão em veículos elétricos e as políticas públicas em atividade ou provisionadas para o futuro, com o intuito de alavancar os veículos elétricos na frota mundial de automóveis.

### 4.1 Veículos híbridos *flex-fuel*

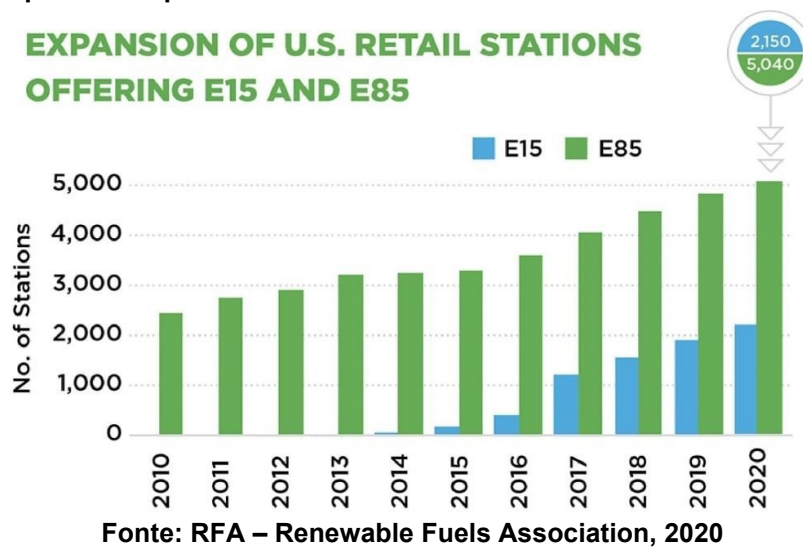
A flexibilidade e poder de escolha dado ao consumidor pela tecnologia *flex-fuel*, ao poder escolher entre qualquer mistura de gasolina e álcool hidratado, fez com que estivesse presente na grande maioria dos veículos produzidos e vendidos no Brasil, 85% no ano de 2006. Sendo uma solução técnica, via *software*, na qual a ECU do veículo monitora constantemente as variáveis que englobam o funcionamento do motor (ar, mistura de combustível, temperatura, centelha da vela de ignição, ponto de ignição, entre outras), permite que o controle e a otimização da queima do combustível sejam realizados de forma instantânea. Empresas como Bosch, Delphi e Magneti Marelli foram as pioneiras desta tecnologia no Brasil, pois já possuíam o know-how da tecnologia de injeção eletrônica de combustível utilizando somente gasolina. Além disso, a obrigatoriedade de adição de 22% de álcool anidro na gasolina brasileira (E22) fez com que as montadoras sentissem a necessidade de desenvolver projetos que fossem bicomustíveis (DELGADO et. al, 2006; JUNIOR e YU, 2017).

Dentre os países do mundo, o Brasil e os Estados Unidos estão entre os que mais consomem etanol, nos quais as gasolinas possuem 27% e 10% de etanol hidratado em sua composição, respectivamente. Índia e China planejam aumentar o percentual de etanol na composição de suas gasolinas para 10% até 2022. Além disso, segundo a RFA (2020), a utilização de gasolina com um teor de 15% de etanol, chamada de E15 nos Estados Unidos, está sendo expandida e com maior aprovação por parte das montadoras e consumidores, sendo expandida à uma grande quantidade de postos de combustíveis a partir de 2017, enquanto a disponibilidade da



gasolina E85, com 85% de etanol, também cresce ano após ano, conforme os dados apresentados no Gráfico 2. Esta mudança traz benefícios à população, uma vez que aumenta a competitividade entre os diversos tipos de gasolina disponíveis nos postos de combustíveis norte-americanos, é uma economia ao consumidor por possuir menor valor em relação à gasolina E10, com 10% de etanol, além de ser um combustível com maior octanagem.

**Gráfico 2 – Expansão de postos de combustível dos Estados Unidos ofertando E15 e E85**



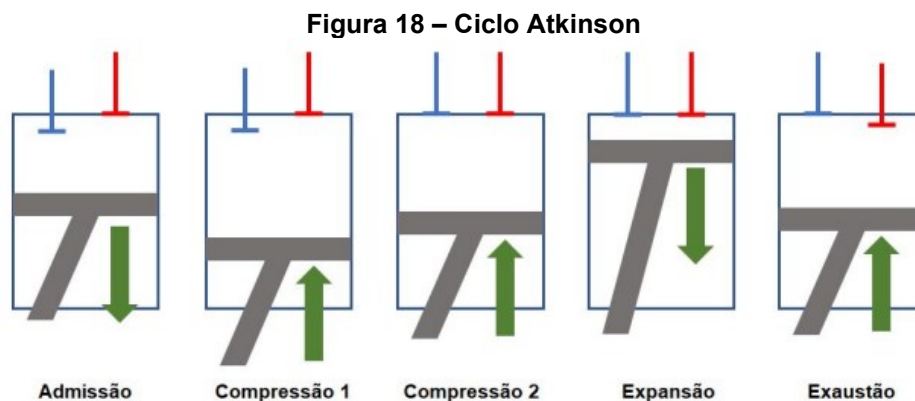
Devido à necessidade de diminuição na emissão dos gases de efeito estufa emitidos pelos automóveis e os protocolos ambientais cada vez mais restritivos, novas tecnologias surgem para atender à estas necessidades, sendo elas muitas vezes aliadas à outras tecnologias já existentes. Sendo assim, fontes alternativas de energia como veículos movidos por motores elétricos e a utilização de combustíveis alternativos são vistas como soluções para substituição total ou parcial de combustíveis derivados de petróleo, como a gasolina e o óleo diesel. (GOLDSTEIN e AZEVEDO, 2006).

Desta forma, a montadora japonesa Toyota, pioneira e detentora de diversas patentes de produto e tecnologias no mercado automotivo, oferta mundialmente o Toyota Prius, o primeiro veículo híbrido a ser produzido em série no mundo, lançado em 1997. Com o início das vendas em 2012 para o mercado brasileiro, foi uma grande inovação na época, na qual o assunto ainda não era amplamente discutido (TOYOTA DO BRASIL, 2016).

O Toyota Prius vendido no mercado brasileiro era equipado com o THSD, sigla para Toyota Hybrid Synergy Drive, um conjunto de componentes e equipamentos

desenvolvidos pela Toyota e utilizados em diversos veículos da própria marca e do grupo Toyota, como a divisão de luxo Lexus. Este sistema é uma evolução do sistema THS (Toyota Hybrid System) utilizado de 1997 a 2003, no lançamento da primeira geração do Toyota Prius, vindo a ser substituído pelo THS II na sequência (CASE STUDY, 2011).

Segundo o Caderno Técnico Colaborativo (2017), o sistema THSD é composto por um MCI de 1,8 litros, com quatro cilindros e que operando em ciclo Atkinson, gera 92 cv de potência. O ciclo Atkinson foi baseado no estudo de James Atkinson, o qual é uma adaptação do ciclo Otto, utilizado nos MCIs comuns, porém com um maior volume de mistura de ar e combustível dentro da câmara de combustão, sendo assim, é uma variação de utilização ao motor de 4 tempos. Ou seja, o ciclo Atkinson também possui as quatro etapas do motor quatro tempos (Admissão, Compressão, Expansão/Explosão e Exaustão), exemplificado na Figura 18. Porém, durante a etapa de compressão, a válvula de admissão continua aberta por maior tempo, diminuindo assim a quantidade de ar e combustível na etapa de compressão, sendo mais eficiente no quesito consumo de combustível que os motores de ciclo Otto.



**Fonte: Caderno Técnico Colaborativo – 2017**

Além do MCI, o sistema é composto por dois motores elétricos (MG1 e MG2), mostrados na Figura 19, que atuam como motores ou geradores, dependendo da condição em que o veículo se encontra. Estes são do tipo motores síncronos de corrente alternada de ímãs permanentes, ou também chamados de PMAC. Embora estes podem operar como motor ou gerador, Olszewski (2011) coloca que o MG1 é comumente tratado como “gerador”, sendo o motor elétrico secundário responsável por transferir a energia gerada pelo MCI para carregar as baterias e para utilizar o MCI como uma fonte de energia para o MG2, auxiliando na propulsão do veículo. Por outro

lado, o MG2 é tratado como “motor”, uma vez que é o motor elétrico primário, auxiliando o MCI na tração do veículo e agindo como um gerador para recarregar as baterias por meio do sistema de frenagem regenerativa. Além disso, segundo Caderno Técnico Colaborativo (2017), o MG1 atua como motor de partida para o MCI.

**Figura 19 – Motores MG1 e MG2 Toyota Prius**



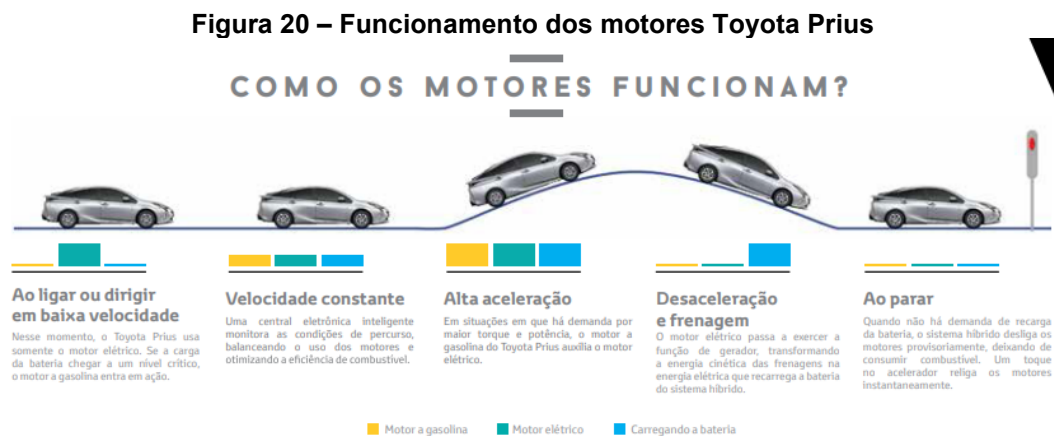
**Fonte: Caderno Técnico Colaborativo – 2017**

Outro componente do sistema HDS é a transmissão E-CVT, que contém uma engrenagem planetária que permite diversas combinações de fluxo de energia da bateria, MCI e motores elétricos, buscando sempre colocar o motor a combustão em uma faixa ótima de eficiência e torque, por meio da otimização do controle do torque do MG1 e MG2. Além disso, esta transmissão ajusta a relação de redução entre o motor à combustão e as rodas de forma eletrônica, por meio do PSD (*Power Split Device*), o qual direciona e controla a potência gerada pelo MCI que vai para as rodas do veículo e a energia que vai para o gerador (OLSZEWSKI, 2011; CADERNO TÉCNICO COLABORATIVO, 2017).

O Prius é equipado com um banco de baterias de NiMH da marca Panasonic, composto por 28 células, com uma tensão máxima de 650 V e trabalhando em uma tensão nominal de 201,6 V, responsável por alimentar os motores elétricos (MG1 e MG2), os cabos de alimentação, o inversor/conversor e o compressor do ar-condicionado. Além disso, o veículo é equipado com um sistema de frenagem regenerativa, no qual a energia cinética do veículo é transformada em energia elétrica

para armazenamento e carregamento das baterias (CADERNO TÉCNICO COLABORATIVO, 2017).

Na Figura 20 é apresentada uma exemplificação de como operam os motores do Prius em determinadas situações. O motor elétrico é acionado ao pressionar o botão de partida e ao dirigir em baixas velocidades. Já em velocidades constantes, o controle inteligente gerencia o gasto e o recarregamento de energia das baterias, otimizando a eficiência, enquanto em situações que demandam maior potência e torque como subidas e ultrapassagens, o motor à combustão auxilia o motor elétrico. Além disso, em longas descidas ou frenagens o motor elétrico passa a atuar como gerador, recarregando a bateria (TOYOTA DO BRASIL, 2016).



**Fonte: Toyota do Brasil, 2016**

Devido à tecnologia *flex-fuel* ser amplamente utilizada e já desenvolvida no Brasil, atrelada à matriz energética do país sendo uma das mais limpas do mundo, segundo Pompermayer (2010), a Toyota viu uma grande oportunidade para mobilidade elétrica. A montadora japonesa lançou ao mercado brasileiro o primeiro e único veículo híbrido com tecnologia flex-fuel do mundo, ou seja, o motor à combustão pode utilizar tanto álcool como gasolina como combustível. Equipado com dois motores elétricos que fornecem 72 cv e 16,6 kgfm e um MCI a combustão 1.8 litros de Ciclo Atkinson *flex*, código 2ZR-FXB, com 101 cv abastecido com etanol e 98 cv com gasolina, e 14,5 kgfm de torque, os novos Toyota Corolla Hybrid e Toyota Corolla Cross Hybrid revolucionaram o mercado, tendo atingido a marca de 25 mil unidades vendidas em 2021. Além disso, estes modelos se tornam os primeiros veículos híbridos montados no Brasil, na planta industrial de Sorocaba, no estado de São Paulo (AutoEsporte, 2019; Motor1, 2021).

A Toyota oferece o Toyota Corolla Hybrid em duas versões. A primeira, a Altis, é equipada com o *powertrain* citado anteriormente de dois motores elétricos e um MCI, e possui autonomia de 600 km rodando somente na cidade, com seu tanque de gasolina de 43 litros e bateria de 1,3 kWh. É oferecido a partir de R\$177.590,00, enquanto sua versão topo-de-linha, a Altis Premium, R\$187.090,00, conforme a Figura 21. Além disso, a montadora japonesa também oferta a versão SUV do modelo Corolla, chamada Corolla Cross. Com a mesma configuração de motores e baterias, porém com um tanque de 36 litros, o Corolla Cross híbrido é oferecido em duas versões de acabamento, uma custando R\$196.200,00 (XRV) e a outra custando R\$204.190,00 (XRX) (TOYOTA DO BRASIL, 2022).

**Figura 21 – Toyota Corolla Hybrid Altis Premium**



**Fonte: Toyota do Brasil, 2022**

O Quadro 1 traz um comparativo entre o Toyota Corolla Altis Premium 2022 com motor somente à combustão e sua variante híbrida, também modelo 2022. Ambos os modelos são equipados com motores de 4 cilindros e 16 válvulas, com arquitetura DOHC, a qual possui duplo comando de válvulas no cabeçote, um para admissão e outro para exaustão. O Corolla somente à combustão possui um motor de 2.0 litros, com tecnologia Dual VVT-i, ou seja, possui variador de fase dos comandos tanto de admissão quanto de escape, enquanto sua versão híbrida possui um motor 1.8 litros, que opera em ciclo Atkinson, e outros dois motores elétricos (MG1 e MG2), que atuam tanto como motores como geradores, semelhante ao funcionamento no Toyota Prius citado anteriormente neste trabalho. Como as duas motorizações possuem tecnologia *flex-fuel*, ambas podem ser abastecidas com qualquer mistura de etanol e gasolina, ou até mesmo 100% com etanol hidratado.

A potência do Corolla à combustão é declarada pela Toyota (2022) em 169 cv quando abastecido somente com gasolina e de 177 cv com etanol, enquanto a potência declarada do motor à combustão do Corolla Hybrid é de 98 cv somente com

gasolina e 101 cv com etanol, por conta de seu motor operar em ciclo Atkinson. Além disso, os motores elétricos da variante híbrida fornecem 72 cv, gerando uma potência combinada de 122 cv. O Corolla à combustão possui 21,4 kgfm de torque quando abastecido com qualquer um dos combustíveis, é equipado com uma transmissão Direct Shift CVT, possui velocidade máxima declarada de 205 km/h e aceleração de 0 a 100 km/h em 9,2 segundos. Já o Corolla Hybrid possui um torque menor em relação ao seu equivalente à combustão, 14,5 kgfm, porém auxiliados pelos 16,6 kgfm produzidos pelos motores elétricos. É equipado com uma transmissão e-CVT, possui velocidade máxima declarada inferior ao outro modelo, 170 km/h e a aceleração de 0 a 100 km/h em 12 segundos, justamente por buscar maior eficiência.

**Quadro 1 - Comparativo Toyota Corolla X Toyota Corolla Hybrid**

	Comparativo	
	Toyota Corolla Altis Premium (2022)	Toyota Corolla Altis Hybrid Premium (2022)
Motor à combustão	4 cilindros, 2.0 L, Dual VVT-iE, 16V DOHC Flex	4 cilindros, 1.8 L, VVT-i 16V DOHC Flex
Motor Elétrico	X	Dois motores (MG1 e MG2)
Potência MCI	169 cv (G) / 177 cv (A)	98 cv (G) / 101 cv (A)
Potência Motores Elétricos	Não possui	72 cv
Torque MCI	21,4 kgfm (G e A)	14,5 kgfm (G e A)
Torque Motores Elétricos	Não possui	16,6 kgfm
Transmissão	Direct Shift CVT	E-CVT
Velocidade Máxima	205 km/h	170 km/h
Aceleração 0-100 km/h	9,2 s	12 s
Peso em ordem de marcha	1415 kg	1450 kg
Capacidade do tanque	50 litros	43 litros
Capacidade da bateria	Não possui	1,3 kWh
Consumo urbano	11,6 km/l (G) / 8 km/l (A)	16,3 km/l (G) / 10,9 km/l (A)
Consumo rodoviário	13,9 km/l (G) / 9,7 km/l (A)	14,5 km/l (G) / 9,9 km/l (A)
Autonomia urbana	580 km (G) / 400 km (A)	701 km (G) / 469 km (A)
Autonomia rodoviária	695 km (G) / 485 km (A)	624 km (G) / 426 km (A)
Consumo energético	1,68 MJ/km	1,27 MJ/km
Classificação PBE	B	B
Selo CONPET	Sim	Sim
Preço	R\$177.190,00	R\$191.790,00

Fonte: Do autor, com dados da Toyota do Brasil e Inmetro – 2022

A variante à combustão do Corolla possui um tanque de combustível de 50 litros, o que dá a ele uma autonomia urbana de 580 km abastecido com gasolina e 400 km abastecido com etanol. O Corolla Hybrid possui um tanque de combustível um pouco menor, 43 litros, porém sua bateria possui capacidade de até 1,3 kWh, rendendo uma autonomia urbana de 701 km quando abastecido com gasolina e 469 km com etanol. Segundo dados do Inmetro (2022), o consumo urbano declarado do Corolla à combustão é de 11,6 km/l com gasolina e 8 km/l com etanol, enquanto o consumo do Corolla Hybrid é de 16,3 km/l (gasolina) e 10,9 km/l (etanol), ou seja, no perímetro urbano o conjunto híbrido se torna mais eficiente e econômico que a versão com somente o MCI.

Quanto à autonomia em trechos de rodovias, o Corolla à combustão possui melhor eficiência, 695 km com gasolina e 485 km com etanol, contra 624 km com gasolina e 426 km com etanol da variante híbrida. Isso se dá por conta da necessidade de utilização do motor à combustão em maiores velocidades, sendo assim, o conjunto híbrido não é tão eficiente quanto ao motor de combustão interna.

Por fim, segundo o PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem), regulamentado pelo Inmetro (2022), que fornece informações sobre o desempenho de produtos, principalmente em relação à eficiência energética, ambos os modelos da Toyota possuem classificação B. Além disso, o PBE avalia o consumo energético dos veículos, sendo 1,68 MJ/km o consumo do Corolla com motor somente à combustão e 1,27 MJ/km o de seu modelo híbrido. Em adição, ambos possuem selo CONPET para eficiência energética.

Sendo assim, embora a Toyota seja a única montadora a produzir veículos híbridos bicombustíveis no mundo, este mercado ainda deverá ser explorado por suas concorrentes. Como exemplo, a Volkswagen, em 2021, decidiu implementar no Brasil um centro de pesquisa e desenvolvimento focado em desenvolver soluções para motores que utilizam etanol e outros biocombustíveis como combustível, aliando estas tecnologias aos propulsores elétricos, tudo isso sendo parte da transição para total eletrificação dos modelos fabricados pela montadora alemã, prevista para o ano de 2033. Além disso, a Volkswagen e a Bosch, fornecedora de diversos componentes e sistemas para a indústria automobilística, fecharam uma parceria para desenvolvimento de projetos voltados à mercados emergentes, nos quais as tecnologias usualmente tendem a levar mais tempo a serem completamente implementadas. Desta forma, a combinação de propulsores elétricos com sistema

híbrido com MCI *flex-fuel* é uma frente de atuação definida para esta parceria (LAGUNA, 2021; BOSCH, 2022).

Por fim, a tecnologia híbrida *flex* se coloca como adequada ao mercado brasileiro, uma vez que a demanda pela diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> e maior eficiência energética pelos veículos cresce a cada ano por conta da preocupação mundial no quesito problemas ambientais. Motivados pelo Programa Rota 2030, que busca inserir a indústria automotiva brasileira no mercado global e estimular os projetos de Pesquisa e Desenvolvimento dentro das montadoras, as empresas devem atender metas para aumento de eficiência energética de seus veículos, como a diminuição do consumo de combustível médio dos veículos novos em até 11% até 2022 (JUNIOR e SANTOS; 2020). Considerada como uma tecnologia de transição entre os motores de combustão interna atuais e a completa eletrificação dos propulsores, os veículos híbridos *flex-fuel* utilizam energia limpa, e aliados à rede de postos de combustíveis brasileira que já possui a infraestrutura para o abastecimento de etanol nos veículos e à matriz energética brasileira, uma das mais limpas do mundo (POMPERMAYER, 2010), se torna uma grande oportunidade de alavancar esta tecnologia para o mercado brasileiro e até mesmo mundial, uma vez que países como a China e a Índia, *players* importantes na indústria automotiva mundial atual, estão buscando incorporar o etanol à sua gasolina (AEA, 2020).

Segundo Consoni et al. (2019), os programas do governo com interesse em desenvolver e manter o setor de biocombustíveis no Brasil, juntamente com o aproveitamento das tecnologias e do conhecimento das montadoras e fornecedoras para o desenvolvimento local dos motores híbridos *flex* são oportunidades para a mobilidade elétrica no Brasil, por meio de uma sinergia entre a já existente indústria dos combustíveis renováveis com a alta demanda da eletrificação. Além disso, é colocado que um próximo passo a ser realizado será a produção de híbridos *flex* com a tecnologia *plug-in*, com conexão direta à rede para carregamento das baterias. Ainda, BOSCH (2021) coloca que, além de este tipo de tecnologia dar mais liberdade e autonomia ao consumidor ao possuir três fontes de energia diferentes, ela atende às questões climáticas ao unir a propulsão elétrica com o uso de um combustível com baixa emissão de gases poluentes.



## 4.2 Kits de conversão de veículos com MCI em veículos elétricos

Os kits de conversão para veículos equipados com motores à combustão interna em veículos elétricos procuram simplificar a vida de quem utiliza os veículos diariamente, seja para o trabalho ou lazer, além de contribuir para a diminuição de emissão de CO<sub>2</sub> e ruídos nas grandes cidades.

Neste capítulo serão abordados o passo-a-passo para se converter um veículo comum em elétrico, os componentes presentes em kits de conversão, exemplos de conversões realizadas no Brasil e no mundo, empresas que realizam estas conversões ou que vendem os kits prontos para serem montados e suas vantagens e desvantagens.

### 4.2.1 Passo-a-passo para conversão

De acordo com Leitman e Brant (2009), em seu livro *Build Your Own Electric Vehicle*, os veículos elétricos convertidos aliam as melhores qualidades dos veículos elétricos convencionais, menor emissão de poluentes e maior eficiência, com a possibilidade de adquirir um veículo no melhor preço e com uma grande flexibilidade, uma vez que uma conversão tem menor valor que a compra de um veículo elétrico fabricado por grandes montadoras. Além disso, existe a opção de comprar um veículo convertido diretamente de oficinas especializadas em realizar esta conversão, muito comuns nos Estados Unidos e na Europa, como a EVA (*Electric Vehicle America*). Neste caso, o veículo é montado por um profissional especializado. Por fim, muitas pessoas preferem realizar a conversão por si próprias, uma vez que possuem maior controle sobre o projeto e podem identificar e sanar possíveis problemas de forma mais rápida. Uma conversão básica é estimada em 100 horas de trabalho (LEITMAN e BRANT, 2009).

Para que uma conversão seja bem-sucedida, Costa (2009) coloca 12 pontos principais que devem ser seguidos, conforme a seguir:

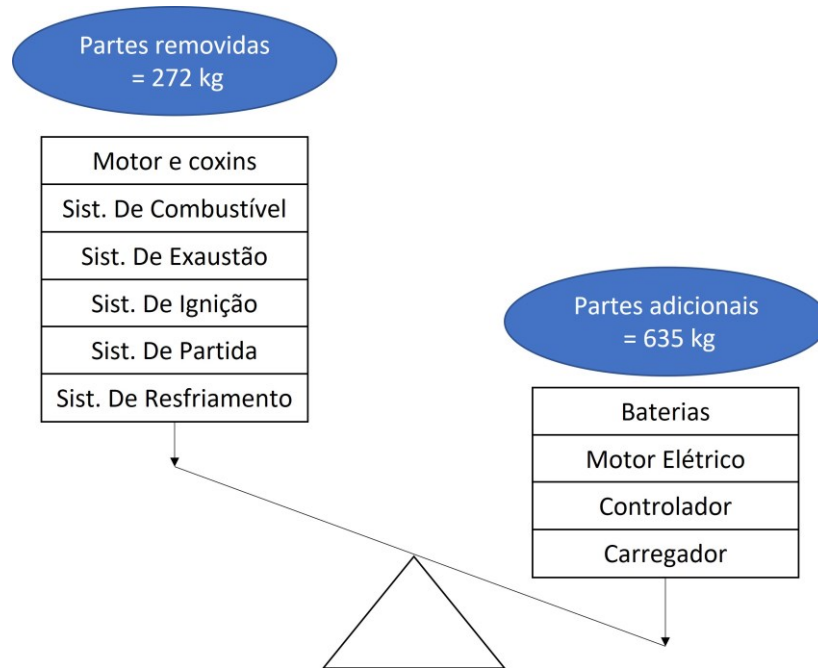
- 1) Escolha do veículo ou chassis;
- 2) Determinação da autonomia pretendida pelo projeto;
- 3) Definição da velocidade máxima;
- 4) Levantamento de valores de potência e torque;
- 5) Verificação do sistema de transmissão a ser utilizado;
- 6) Avaliação do motor elétrico adequado ao projeto;

- 7) Escolha do sistema de controle;
- 8) Determinação do banco de baterias;
- 9) Execução de simulações de funcionamento;
- 10) Otimização do projeto inicial com base nos resultados obtidos pelas simulações;
- 11) Consulta às legislações para legalização do veículo;
- 12) Execução da conversão, buscando corrigir problemas que venham a surgir no decorrer do projeto.

Desta forma, avaliar qual o propósito do veículo (transporte de cargas, transporte de passageiros, performance) é o ponto inicial a ser levado em consideração em qualquer projeto de conversão. Em seguida, a escolha do veículo ou chassis a ser utilizado deve ser realizada, levando em consideração alguns quesitos, como o peso, a distribuição de massa do veículo e o espaço disponível para instalação dos componentes como as baterias. Sendo assim, uma camionete que possua um MCI é uma boa escolha para um veículo a ser convertido em elétrico (LEITMAN E BRANT, 2009).

Além disso, com informações do trajeto e autonomia esperada pelo projeto, além do peso do veículo a ser convertido, é possível dimensionar o torque mínimo necessário para o motor elétrico retirar o veículo da inércia, assim como a velocidade máxima definida (COSTA, 2009). O peso do veículo após a conversão é algo importante, uma vez que a massa dos diversos componentes do *powertrain* mecânico que serão retirados do veículo serão substituídos pela massa dos componentes para a conversão elétrica, sendo que a adição destes novos componentes poderá ainda trazer um aumento do peso total final. Como exemplo, na Figura 22 é apresentada uma comparação entre o peso dos componentes retirados de uma camionete Ford Ranger convertida com o peso adicional dos componentes utilizados na conversão.

**Figura 22 - Comparação Peças removidas X Peças adicionadas**



**Fonte: Adaptado de Leitman e Brant, 2009**

A remoção de peças como motor, sistema de combustível, sistema de exaustão, sistema de ignição, sistema de partida e sistema de aquecimento e resfriamento é equivalente a 272 kg, enquanto a adição das baterias, motor elétrico, controlador e carregador é igual a 635 kg. Além disso, após a remoção dos componentes que não serão utilizados, é necessário um novo balanceamento de peso no veículo, o qual é normalmente distribuído em 60% no eixo dianteiro e 40% no eixo traseiro. Além disso, a bateria deve ser maior ou igual a 30% do peso total do veículo. (LEITMAN E BRANT, 2009).

#### 4.2.2 Componentes presentes em um kit de conversão

Após as definições e cálculos preliminares em relação à aplicação do veículo, o tipo de veículo a ser convertido e o torque e velocidade máximos, os componentes do kit devem ser selecionados, buscando atender as demandas do projeto.

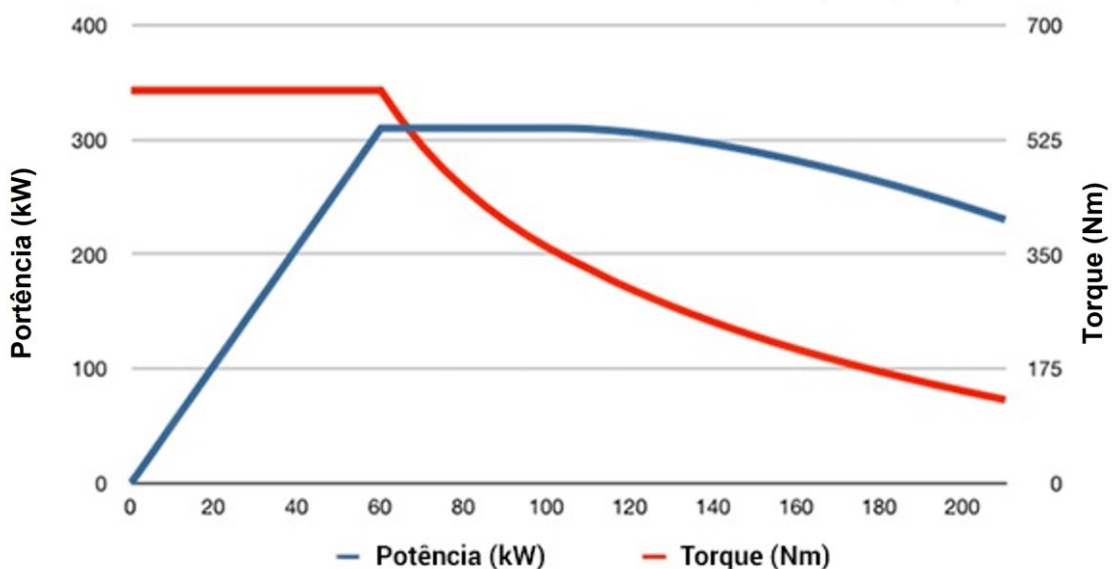
##### 4.2.2.1 Motores Elétricos

Desta forma, o primeiro passo é a escolha do motor elétrico a ser utilizado. Existem diversas formas para realizar esta seleção, uma delas é usar como base a potência original que o MCI do veículo a ser convertido possuía. Ao utilizar um motor elétrico com a mesma potência que o motor à combustão, existem grandes chances

de a conversão ser bem-sucedida, uma vez que deve ser considerado que um motor à combustão interna, na maioria das vezes, possui eficiência máxima de 40%, enquanto no motor elétrico esta eficiência chega em 97%. Ou seja, ao converter um veículo que é equipado com um MCI de 100 cv, o motor elétrico a ser utilizado poderá ter 40 cv de potência contínua, mas com os 100 cv de potência de pico. Outra forma de avaliar a escolha do motor elétrico para o veículo a ser convertido é usar como base outras conversões já existentes, ao procurar lojas ou empresas que vendem kits completos e que já testaram e validaram o produto (SALDO, 2021).

Segundo Costa (2015), os motores elétricos podem ser instalados de diversas configurações, como um motor a combustão (longitudinal ou transversal, dianteiro ou traseiro), ou ainda ser instalado diretamente nas rodas. Possuem a característica bastante próxima da ideal, com torque constante até o momento em que a tensão atinge seu valor nominal e o fluxo se mantém constante, por outro lado a potência cresce linearmente até este ponto. A partir deste momento, por volta das 1500 rpm, a tensão permanece constante e o fluxo é reduzido, resultando em um torque decrescente de acordo com a velocidade e a potência quase que constante, conforme ilustra a Figura 23 (SAMPAIO, 2012).

**Figura 23 - Curva de Torque X Potência de um motor elétrico assíncrono de indução**

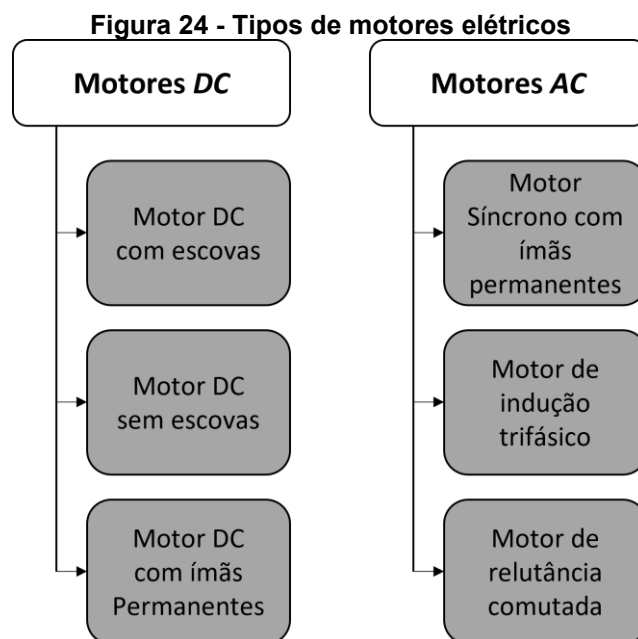


Fonte: AutoLivraria, 2017

Alguns requisitos básicos são esperados para os motores elétricos, sejam eles utilizados em VEs comercializados em massa ou em conversões. Primeiro,

busca-se uma alta potência instantânea e uma grande densidade de potência. Em seguida, um grande torque em baixa velocidade para tirar o veículo da inércia juntamente com uma alta potência em altas velocidades para utilização em velocidade de cruzeiro, como por exemplo em viagens. Além disso, uma ampla faixa de velocidade com potência constante, seguida por uma resposta rápida de torque e potência aliado à uma alta eficiência nesta região. Deve-se buscar também uma alta eficiência em frenagem regenerativa, e em redução de peso e momento de inércia. Por fim, este motor deve ser robusto o bastante para ser confiável e durável, em qualquer condição de operação do veículo e possuir um custo racional (XUE et al., 2008).

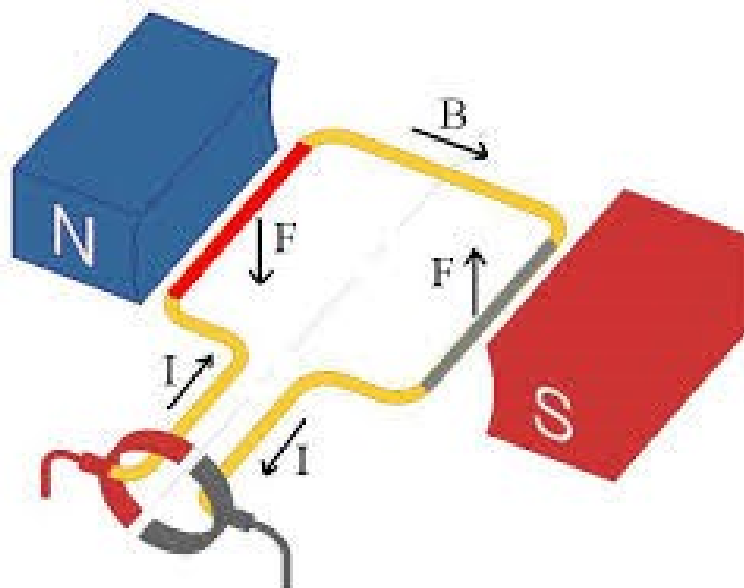
Para atender todas estas demandas, existem diferentes tipos de motores elétricos que podem ser implementados nas conversões. Segundo Sampaio (2012), estes motores podem ser divididos em dois principais grupos, os que trabalham com corrente contínua (DC) e os que trabalham em corrente alternada (AC). Sendo assim, dentre os motores de corrente contínua tem-se o motor DC com escovas, o motor DC com ímãs permanentes e o motor DC sem escovas (*brushless*). Já nos motores de corrente alternada se tem o motor síncrono de ímãs permanentes, o motor de indução trifásico e o motor de relutância comutada, cada um com suas características, exemplificado na Figura 24.



Fonte: Adaptado de Sampaio, 2012

Os motores *DC* com escovas são compostos um estator (enrolamento de campo ou ímãs permanentes) e o rotor (enrolamento de armadura). Pode ser simplificado pela Figura 25, na qual o estator é representado pelos ímãs permanentes e o rotor pela bobina. Ao passar a corrente pela bobina, gera-se uma força eletromagnética gerada pelo campo magnético dos ímãs e a corrente circulando em um condutor. A corrente passa pelas escovas e um comutador faz com que o sentido desta corrente varie com o tempo. Assim, as forças eletromagnéticas estão em um sentido e depois em outro, fazendo com que a bobina gire. Por conta do momento gerado pelo movimento da bobina, quando o comutador não está em contato com a escova o movimento continua, até que o comutador se conecta novamente com a escova. Desta forma, o comutador garante que a corrente que passa pela bobina sempre mudará de sentido, resultado em uma força eletromagnética sempre no mesmo sentido, mesmo com a mudança de posição da armadura (LARMINIE e LOWRY, 2012).

**Figura 25 - Diagrama Motor DC com escovas**



Fonte: UNICAMP, 2012

São amplamente utilizados em ferramentas elétricas, brinquedos, motores de vidro elétrico em automóveis, entre outras aplicações. Possuem a capacidade de gerar grande torque em baixas velocidades e uma curva de torque-potência aplicável a qualquer necessidade de tração. Sua velocidade pode ser ajustada por meio da variação de tensão, sendo considerado como facilmente controlável. Dependendo de

sua potência de saída e tensão, podem possuir de dois a seis polos, com enrolamento de campo em série ou *shunt*. Embora sua construção seja robusta, são pouco eficientes, pouco confiáveis e necessitam maior manutenção que outros tipos de motores, justamente por conta dos comutadores e escovas. Além disso, a fricção gerada pelas escovas limita a velocidade do motor (XUE et al., 2008; HANH et al., 2022).

Sendo assim, em busca de maior eficiência e maior densidade de potência, utiliza-se o motor DC sem escovas (*brushless*). Segundo Xue et al. (2008), estes motores, ao utilizarem ímãs permanentes, eliminam a necessidade de energia para gerar polos magnéticos e as perdas nos enrolamentos, assim possuem maior eficiência que os motores de corrente contínua com escovas e motores de indução. Larminie e Lowry (2012) colocam que o motor DC “*brushless*” (BLDC) pode ser considerado como um motor AC, uma vez que sua corrente alterna, com uma frequência variável e derivada de uma fonte de tensão DC. Este motor também é conhecido como motor síncrono de ímãs permanentes.

Seu funcionamento se dá por meio do campo magnético gerado pelos ímãs permanentes do rotor, que por meio da passagem de corrente nos enrolamentos do estator, geram uma força eletromagnética, e conseqüentemente, um torque entre estas forças. Desta forma, o rotor gira, e através de um inversor que controla a magnitude e sentido da corrente do estator, faz com que o torque permaneça constante. Estes motores possuem grande potencial para utilização em veículos elétricos, uma vez que seu peso e tamanho são pequenos em relação a densidade de potência que possuem, possuem uma grande eficiência e sua temperatura possui boa dissipação. Além disso, este motor elétrico pode ser utilizado tanto como motor e como gerador, até mesmo em frenagem regenerativa. Por não possuir escovas, o motor DC sem escovas requer menor manutenção, é mais confiável e emitem menos ruídos (SAMPAIO, 2012; ZERAOULIA et al., 2006; LARMINIE e LOWRY, 2012).

Por outro lado, de acordo com Sampaio (2012), estes motores acabam tendo valores maiores que os motores DC com escovas, principalmente por conta do seu processo produtivo e seu sistema de controle de velocidade eletrônico. Além disso, outra desvantagem do motor DC sem escovas é que eles possuem uma região de potência muito curta, devido a sua capacidade de enfraquecimento de campo limitada, por conta da presença do campo magnético gerado pelos ímãs permanentes (ZERAOULIA et al. 2006).

Já para os motores de corrente alternada, o motor síncrono com ímãs permanentes é o motor mais convencional, no qual o enrolamento de campo se encontra no rotor e é por onde a corrente contínua passa e gera um campo magnético, alimentada por uma fonte de tensão. Esta ligação entre o rotor e a fonte é realizada por meio de um conjunto de escovas e coletores. Enquanto isso, o estator é onde o enrolamento de armadura se encontra, realizando a conversão da energia elétrica em energia mecânica. Possuem diversas vantagens em relação ao motor síncrono DC, uma delas é em relação ao peso e o volume total do motor, juntamente com sua maior eficiência e maior densidade de potência. Sendo assim, podem ser considerados como os motores elétricos mais adequados para aplicações em veículos elétricos (SAMPAIO, 2012; HANH et al., 2022).

Além dos motores síncronos com ímãs permanentes, existem no mercado os motores de indução trifásicos, também chamado de motores assíncronos. Embora estes motores necessitem de uma fonte de corrente alternada, por meio de um inversor é possível fornecer esta corrente mesmo que utilizando uma fonte de corrente contínua. Seu funcionamento se dá por meio de um campo magnético rotativo. No estator são colocados os enrolamentos, de forma que, ao passar uma corrente nestes enrolamentos, polos magnéticos são criados. De acordo com a forma que estes enrolamentos são posicionados no estator, o motor pode ter diferentes configurações de par de polos magnéticos (LARMINIE E LOWRY, 2012).

Ainda, Larminie e Lowry (2012) colocam que a velocidade de rotação do campo magnético é inversamente proporcional ao número de polos, sendo assim, para uma mesma frequência considerada, quanto maior o número de polos, menor será a velocidade nominal de rotação do motor. Já para o rotor, existem duas configurações, a de rotor em curto-circuito, ou gaiola, e o rotor bobinado. Na primeira configuração, lâminas de aço ou cobre são conectadas eletricamente, formando um curto-circuito. Por outro lado, na segunda configuração o rotor é enrolado com fios de cobre, da mesma maneira que o estator, não sendo tão eficiente quanto o rotor em curto.

Portanto, para Larminie e Lowry (2012), ao se injetar uma corrente alternada nas bobinas do estator, um campo magnético é gerado, tendo ele seu sentido definido de acordo com o sentido da corrente que passa pelas bobinas. Este campo é chamado de campo girante, uma vez que por conta da variação da corrente, ele percorre a circunferência do estator, de forma que é sempre a resultante da soma dos campos. O campo girante passa pelos condutores no rotor, o que induz uma corrente. Uma

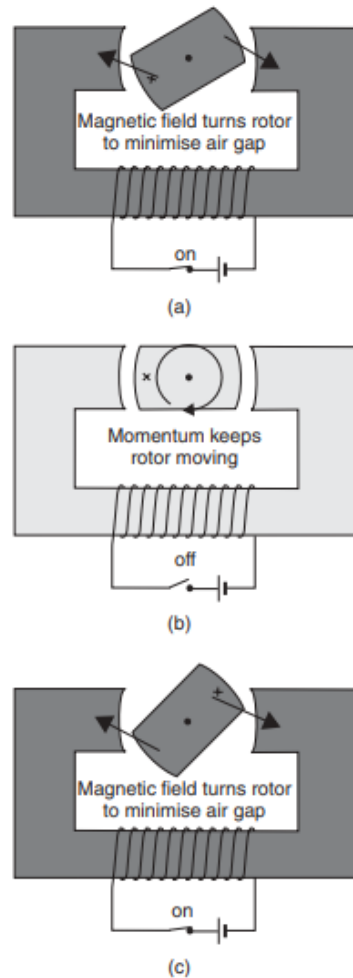


força eletromagnética é gerada no rotor, o que faz com que este gire, com a tendência de seguir o campo magnético girante. Caso o rotor girasse na mesma velocidade que o campo, não existiria velocidade relativa entre eles, sendo assim, não existiria corrente induzida e nem torque.

A diferença entre a velocidade do campo do estator e do rotor é chamada de escorregamento. Este escorregamento é ótimo para uma certa velocidade angular, ao passo que o torque aumenta proporcionalmente a esta velocidade, até que em certo momento há a perda de sincronia do motor. Sendo assim, caso a velocidade angular seja medida, e incorporada no controle do motor, o controle de velocidade pode ser feito por meio da frequência de alimentação. Por conta da corrente induzida no rotor, existe um aumento nas perdas, resultando em uma eficiência de 1% a 2% em relação aos motores DC *brushless* (LARMINIE e LOWRY, 2012).

Por fim, tem-se os motores elétricos de relutância comutada, também chamado de SRM (*Switched Reluctance Motor*). Estes começaram a ser utilizados em larga escala recentemente e tem ganhado cada vez mais espaço no mercado. Seu princípio de funcionamento é relativamente simples, no qual o estator é feito de um material com alta permeabilidade magnética e o rotor de um material ferromagnético mole, ou seja, que se magnetizam com maior facilidade. Estes são magnetizados por uma corrente que passa por uma bobina no estator, sendo ela contínua ou alternada. No momento em que a corrente passa pela bobina, um campo eletromagnético é criado no entreferro, como ilustrado na Figura 26. Como o rotor se encontra neste entreferro, um torque será gerado em busca de minimizar o espaço entre o entreferro e o rotor, fazendo com que o campo magnético seja simétrico. Quando rotor alinha com o estator a corrente é desligada momentaneamente, e o momento presente no rotor faz com que este continue a se mover até que o campo magnético seja novamente aplicado e a interação entre o campo e o rotor faça com que este gire novamente (LARMINIE e LOWRY, 2012).

**Figura 26 - Motor de Relutância Comutada**



Fonte: Larminie e Lowry, 2012.

Estes motores possuem uma grande capacidade de operação em altas rotações assim como uma ampla região de potência constante. Além disso, são característicos por ter grande torque em baixas rotações, principalmente ao sair da inércia. Sua construção é simples e de baixo custo, comparada com os motores DC sem escovas. Em adição, o controle de velocidade pode ser realizado de forma descomplicada, alternando a quantidade de tempo em que a corrente está ativa para cada pulso. Por conta de não possuir ímãs permanentes, o motor de relutância comutada não possui campo magnético contrário ao gerado pela corrente circulante nas bobinas, assim consegue operar em maiores velocidades que o motor DC *brushless*. Além disso, são mais fáceis para refrigerar e podem operar em altas temperaturas (XUE et al., 2008; LARMINIE e LOWRY, 2012).

Por outro lado, os SRMs possuem algumas desvantagens, como o elevado barulho quando está em operação, o controle mais delicado de corrente e tempo de

acionamento, uma vez que o sincronismo deve ser ótimo para seu correto funcionamento, além da ondulação do torque, causada pelas variações nos campos magnéticos e sua interação entre o estator e o rotor (ZERAOULIA et al. 2006; LARMINIE e LOWRY, 2012).

Segundo Leitman e Brant (2009), não existe um único motor correto para ser utilizado em uma conversão, tudo depende da necessidade e do escopo do projeto. Projetos diferentes podem otimizar alguns requisitos, como melhor eficiência em longas viagens, melhor torque de saída, menor peso, frenagem regenerativa, menor custo, entre outros. Sendo assim, os autores colocam que para conversões em que o custo é ponto principal, a melhor saída é a utilização de motores DC, uma vez que são utilizados em larga escala e existem diversas opções no mercado, além de serem uma tecnologia que já está comprovada em relação a sua eficiência e seu funcionamento.

#### 4.2.2.2 Controladores

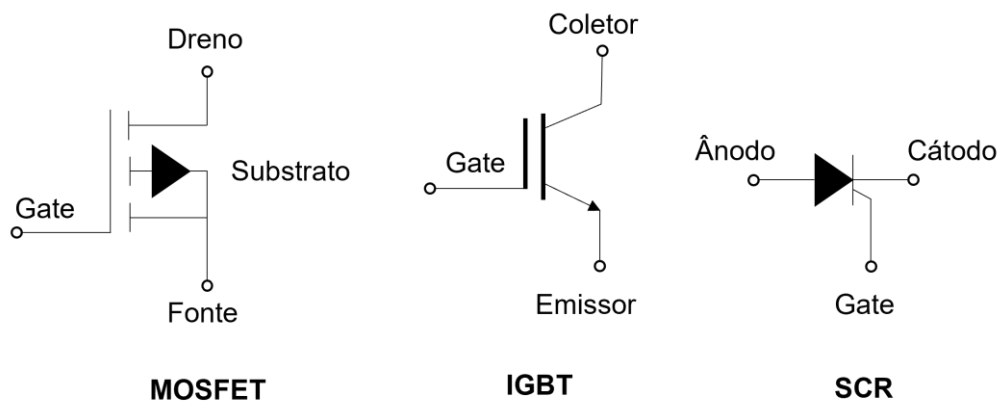
Além dos motores elétricos, outro componente que deve ser considerado na hora de realizar a conversão de um veículo com MCI é o controlador. Este deve ser selecionado de acordo com a corrente necessária pelo sistema e as características do motor que será instalado no projeto, ou seja, o guia para a seleção do controlador é o escopo do projeto e sua finalidade, como eficiência ou *performance*. Sua função é, basicamente, controlar a energia fornecida pelo banco de baterias que é enviada ao motor, de forma que controla também sua velocidade de rotação e o torque fornecido aos eixos, de acordo com a velocidade desejada. Por meio de um potenciômetro ligado ao pedal do acelerador do veículo o controlador recebe o sinal, com a informação de quanta potência deve ser fornecida ao motor. Quando parado controlador não fornece energia ao motor, uma vez que o pedal do acelerador não é pressionado e conseqüentemente não há resistência no potenciômetro. Ao acionar o pedal do acelerador a resistência varia, ao passo que o controlador pode fornecer qualquer nível de potência ao motor dependendo da posição do pedal, sendo a potência máxima fornecida quando o pedal é pressionado por inteiro. (SALDO, 2021; GURGEL, 2018).

O primeiro controlador utilizado em veículos elétricos foi o controlador de chaves, presente no mercado há mais de 100 anos. Este tipo de controlador utiliza grandes interruptores, os quais conectam a bateria com o motor, e dependendo de

sua configuração (série ou paralela) e combinações, conseguem controlar a velocidade do motor. Este controle não é tão preciso, tendo velocidades definidas previamente, como velocidade baixa, média e alta, por exemplo. Por serem muito simples, acabam tendo controle de velocidade limitado e não muitos recursos, sendo assim, possuem preços acessíveis no mercado. Normalmente são construídos pelas próprias mãos de quem realiza a conversão, não sendo um produto de prateleira (LEITMAN e BRANT, 2009).

Outra forma de realizar o controle de motores elétricos, principalmente os de corrente contínua, é o controle por meio de chaves de estado sólido, como por exemplo tiristores, como os SCR (*Silicon Controler Rectifier*) e transistores, como os MOSFETs (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) e IGBTs (*Insulated Gate Bipolar Transistor*), como exemplificado na Figura 27 (LARMINIE e LOWRY, 2012; BOTTURA e BARRETO, 1989).

**Figura 27 - Chaves de Estado Sólido**



**Fonte: Do autor, 2022.**

Os MOSFETS são acionados quando uma tensão é aplicada em seu *gate*, normalmente de 5V até 10V, com uma baixa corrente. Quando isso ocorre, a resistência entre o dreno e a fonte passa a ser baixa, sendo necessária uma pequena potência para que isso aconteça. Além disso, possuem poucas perdas. Os controladores que utilizam este componente são mais utilizados em circuitos com baixa potência, uma vez que os MOSFETS são mais eficientes nesta faixa de operação, uma vez que as perdas em um MOSFET são dadas pelo quadrado de sua corrente. Em adição, sua resistência aumenta de acordo com o aumento de sua temperatura, ou seja, quando utilizado em configuração paralela, acabam

automaticamente balanceando a carga (LEITMAN e BRANT, 2009; LARMINIE e LOWRY, 2012).

Todavia, os IGBTs são considerados como circuitos integrados que combinam um transistor bipolar comum com um MOSFET, possuindo todas as vantagens presentes em ambos. Desta forma, os IGBTs possuem baixa tensão de operação como nos MOSFETS, com a contrapartida de serem mais eficientes em níveis de potências elevados, porém com menor eficiência em níveis de potência menores. Sua corrente flui do coletor para o emissor e sua tensão não ultrapassa os 0,6 V. De forma geral, é a melhor opção para circuitos em que a corrente é de 50 A ou mais e potências superiores a 1kW. Por outro lado, possui a desvantagem de ser propenso a fugas térmicas e desequilíbrios quando utilizados em paralelo, características também presentes em transistores bipolares (LEITMAN e BRANT, 2009; LARMINIE e LOWRY, 2012).

Para Larminie e Lowry (2012) os tiristores ou SCRs são utilizados como uma chave eletrônica, e possuem somente esta função. Seu estado é alterado por meio de um pulso de corrente no *gate*, passando do estado bloqueado para o estado de condução quando isso acontece, e se mantém neste estado até que a corrente que passa por ele caia a zero, fazendo com que este componente seja bastante interessante em aplicações que demandam controle de corrente alternada. Enquanto a energia necessária para mudança de estado em MOSFETS e IGBTs é considerada baixa, nos tiristores isso é diferente, sendo necessária uma maior energia para que este fenômeno ocorra.

#### 4.2.2.3 Conversores e Inversores

De acordo com o tipo de motor selecionado para equipar a conversão elétrica do veículo, outros componentes também devem ser considerados para que as funções sejam completas. No caso de aplicações com motores DC, conversores DC/DC devem ser utilizados para as funções básicas do veículo, como ligar limpadores de para-brisas e o funcionamento das luzes. Enquanto isso, ao utilizar motores AC, devem ser utilizados inversores para realizar seu controle.

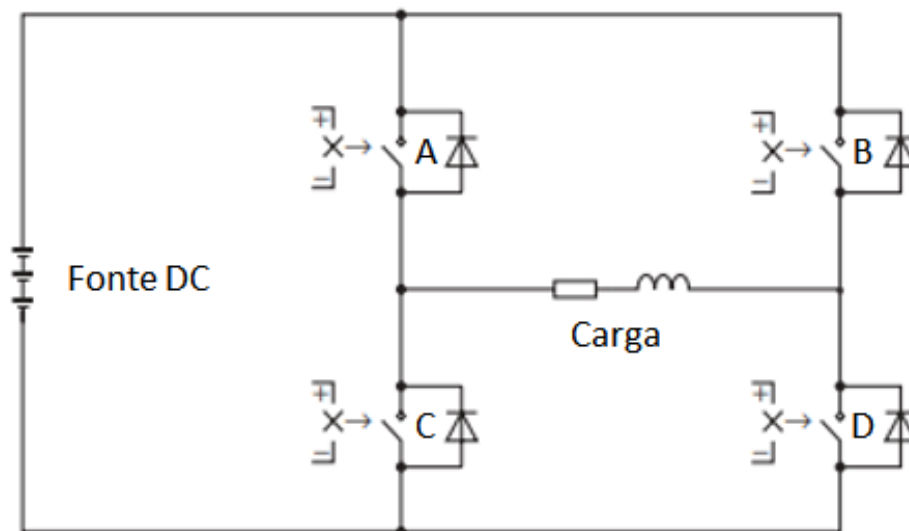
Os conversores DC/DC têm como principal finalidade a conversão da tensão DC fornecida pelas baterias (alta tensão) em uma tensão com níveis mais baixos, para alimentação da bateria auxiliar. Normalmente, a tensão de operação das funções auxiliares do veículo, como o funcionamento dos limpadores de para-brisas e a

iluminação de faróis e lanternas é de 12 V, enquanto a tensão de saída de algumas baterias pode chegar até 300 V, dependendo de sua configuração. Sendo assim, a bateria principal carrega a bateria auxiliar a todo momento, garantindo que as operações básicas possam ser utilizadas (GURGEL, 2018).

Nos casos em que motores de corrente alternada são a solução para a conversão do veículo é necessária a instalação de um inversor, podendo ser de uma única fase ou trifásico. Os inversores basicamente utilizam uma fonte de corrente DC para gerar corrente AC para os motores, com amplitude e frequência variáveis. Estes motores possuem um controle mais complexo que o controle dos motores DC, uma vez que devem ser controladas três tensões alternadas com três variáveis, amplitude, frequência e fase (BOTTURA e BARRETO, 1989).

Em um conversor monofásico existem quatro chaves eletrônicas, conectadas em configuração chamada de Ponte H e em paralelo com cada chave existe um diodo, conforme a Figura 28. Estes diodos são chamados de diodos de roda livre. As chaves estão identificadas com as letras A, B, C e D e a carga é representada por um resistor e um indutor.

**Figura 28 - Inversor Monofásico**

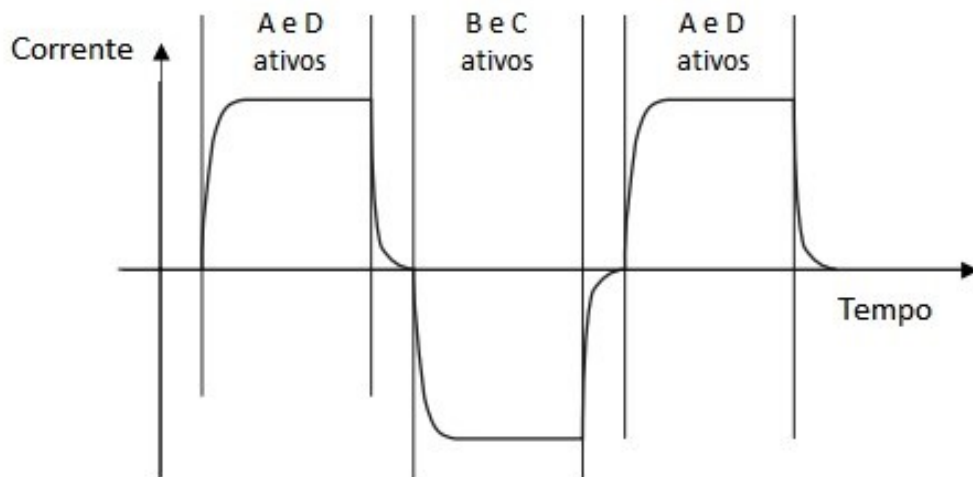


**Fonte: Adaptado de Larminie e Lowry, 2012.**

Primeiramente as chaves A e D são acionadas, de modo que a corrente flui da chave A, passando pela carga e chegando à chave D. Em seguida, elas são desligadas, ou seja, ficam desativadas, sendo necessária a ação dos diodos, por

conta da possível indutância que a carga possui. Sendo assim, a corrente irá continuar passando pelo circuito no mesmo sentido embora as chaves estejam desativadas, por meio dos diodos em paralelo com as chaves B e C. Após isso, as chaves B e C são acionadas, fazendo com que a corrente flua no sentido contrário do sentido inicial, ou seja, para a esquerda. Quando estas chaves são desativadas, a corrente segue transitando pelo circuito no mesmo sentido pelos diodos em paralelo com as chaves A e D, gerando uma forma de onda expressada conforme a Figura 29 (LARMINIE e LOWRY, 2012).

**Figura 29 - Formato de onda - Inversor Monofásico**

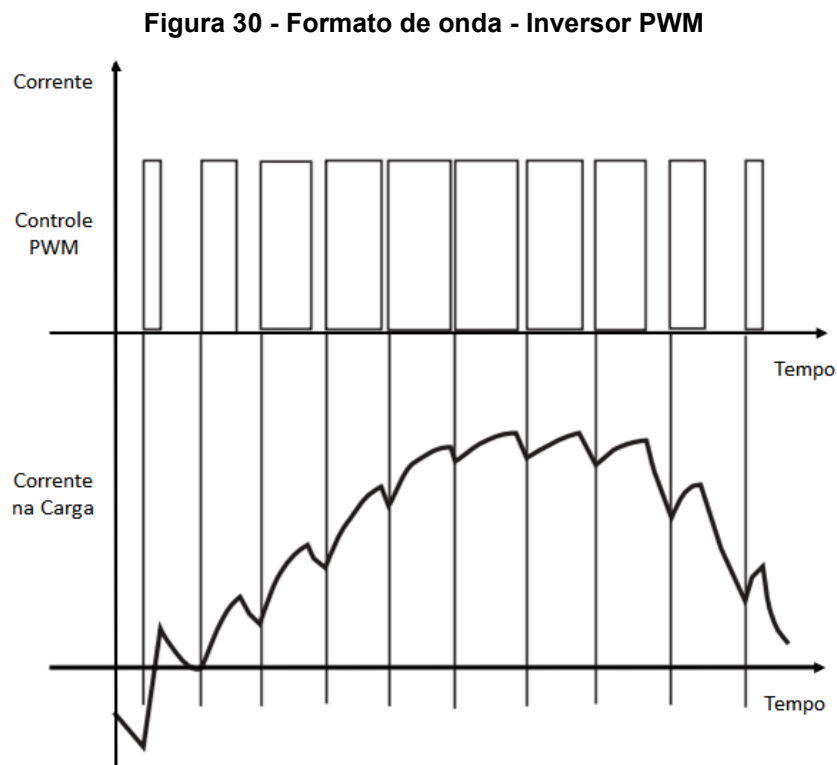


**Fonte: Adaptado de Larminie e Lowry, 2012.**

A forma de onda gerada não condiz com uma senoide, o que pode trazer alguns problemas dependendo da aplicação. Sendo assim, esta forma de controle de corrente alternada não é tão utilizada para controles mais complexos, sendo utilizado neste caso o controle PWM (*Pulse Width Modulation*). Para o mesmo circuito dado na figura 28, no ciclo em que a corrente flui para a direita da carga, sendo chamado de ciclo positivo, somente a chave D fica acionada, enquanto a chave A é acionada de forma intermitente, por meio de pulsos elétricos, controlados por meio de circuitos microprocessados. Quando a chave A fica acionada a corrente flui para a carga e quando esta chave é desligada a corrente segue passando pela carga por conta da indutância presente nela. A corrente passa pela chave D e pelo diodo de roda-livre em paralelo com a chave C. Já no ciclo contrário (negativo) a chave acionada de forma constante é a chave B, enquanto a chave C pulsa a corrente para a carga. Quando a chave C esta desligada, a corrente que segue fluindo pelo circuito passa pelo diodo

em paralelo com a chave A. A forma de onda gerada pelo controle PWM depende da natureza da carga em que o circuito está conectado, sendo ela puramente resistiva, resistiva-capacitiva, resistiva-indutiva, entre outras (LARMINIE e LOWRY, 2012).

Assim, mesmo que com este controle o formato de onda da corrente ainda não seja uma senoide pura, sua aparência já se assemelha bastante, como mostrado na Figura 30. Pode-se perceber que quanto maior o número de pulsos aplicados às chaves para abertura e fechamento delas, mais próxima será a curva de uma senoide, sendo que o valor comum utilizado como padrão é o de doze pulsos por ciclo (LARMINIE e LOWRY, 2012).



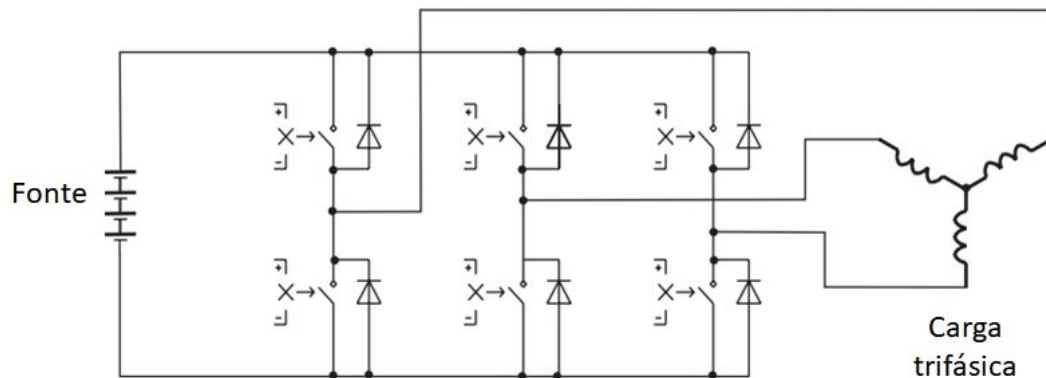
Fonte: Adaptado de Larminie e Lowry, 2012.

Já nos inversores trifásicos, o princípio de funcionamento é bem semelhante ao inversor monofásico, porém são empregues seis chaves ou invés de quatro, podendo ser utilizados tanto tiristores quanto transistores, conforme a Figura 31. O controle de motores trifásicos é chamado de controle multivariável, uma vez que a tensão e a frequência são variáveis de controle e as variáveis a serem controladas são a velocidade, posição do motor, torque, fluxo, corrente e estas variáveis combinadas. Embora o controle destas variáveis seja possível na maioria dos motores



trifásicos, nos motores de indução com rotor de gaiola de esquilo não é possível ter acesso à corrente do rotor para o controle (BOTTURA e BARRETO, 1989).

**Figura 31 - Inversor Trifásico**



**Fonte: Adaptado de Larminie e Lowry, 2012.**

Cada chave possui um diodo de roda-livre em paralelo, para que a corrente possa fluir pelo circuito mesmo que com a chave desativada. Assim, este circuito pode ser separado em seis ciclos, com cada grupo de duas chaves sendo acionadas num certo momento, gerando três correntes com mesma amplitude, porém defasadas, similar ao circuito inversor monofásico citado anteriormente. Além disso, outra semelhança com os inversores monofásicos é que o controle PWM também é utilizado nesta aplicação, uma vez que por meio dos pulsos elétricos na abertura e fechamentos das chaves é modulada a corrente no período definido, buscando assim aproximar o formato de onda de uma senoide (LARMINIE e LOWRY, 2012).

Mesmo que os motores elétricos de corrente alternada sejam a principal solução pelas montadoras de veículos elétricos comerciais e que sejam mais eficientes e duradouros que seus equivalentes de corrente contínua, seus valores e a complexidade de controle acabam fazendo com que não sejam tão indicados para conversões em que o orçamento seja um ponto de atenção. Desta forma, caso a conversão demande um controle eficiente e de baixo custo, o mais recomendado por Leitman e Brant (2009) é o uso de motores DC com controladores PWM.

#### 4.2.2.4 Baterias

Outro componente que é de extrema importância para realizar a conversão de forma correta e que atenda todos os requisitos planejados previamente são as baterias. Atualmente, existem diversos tipos de baterias disponíveis no mercado, sendo necessário a definição de qual a bateria adequada para a conversão no quesito de eficiência, densidade energética, capacidade de carregamento, entre outros fatores. Além disso, este componente é responsável pelo maior peso do veículo elétrico, maior espaço que será ocupado e o maior custo a ser gasto no projeto. Sendo assim, deve ser dimensionado e projetado de acordo com o veículo a ser convertido e qual a finalidade do projeto.

Uma bateria é composta por duas ou mais células elétricas que são conectadas entre si, em série. Nas células, a energia química é convertida em energia elétrica por meio de reações eletroquímicas, nas quais os eletrodos positivos e negativos inseridos em um eletrólito reagem e geram a energia de corrente contínua. Além disso, o estado da bateria pode ser revertido, ou seja, é possível recarregá-la, de forma que o sentido da corrente deve ser invertido para que este fenômeno ocorra. No momento em que uma carga é conectada a bateria, a tensão entre o polo positivo e negativo da célula faz com que uma corrente externa seja gerada, por conta do fluxo natural de elétrons de um polo carregado com sobra de cargas positivas, o polo positivo, e um polo em que há um déficit de cargas positivas e para onde as cargas positivas são atraídas, o polo negativo. Estes polos devem estar inseridos em um eletrólito, ou seja, uma solução que é boa condutora de elétrons e que cria um caminho para que a energia circule entre os polos. A solução eletrolítica, como também pode ser chamada, deve ser composta por um ácido, sal, solução de água alcalina e até mesmo géis ou pastas que possuem esta finalidade (LEITMAN e BRANT, 2009; LARMINIE e LOWRY, 2012).

Diversas combinações de elementos químicos utilizados em baterias vêm sendo desenvolvidas e testadas em laboratórios. As principais tecnologias disponíveis no mercado hoje em dia são as baterias de chumbo-ácido ( $\text{Pb-H}_2\text{SO}_4$ ), níquel-ferro (NiFe), níquel-cádmio (NiCad), hidreto de níquel (NiMH), íons de lítio (Li-Ion), entre outras. As características de cada tipo de bateria são avaliadas nos quesitos de tensão nominal da célula, energia específica, densidade de energia, potência específica,

temperatura de operação, auto descarregamento, número de ciclos de recarga e tempo de recarga.

A tensão nominal de cada célula é puramente a tensão que é fornecida ao circuito por uma célula do conjunto que compõe a bateria. Normalmente, as células são conectadas em série para que a tensão requerida pela bateria seja atendida e operam como circuito aberto quando não estão conectadas a nenhuma carga, ou seja, a tensão fornecida ao circuito é a nominal. No momento em que uma carga é conectada, a tensão na bateria cairá, por conta da corrente que flui pelo circuito. Já no carregamento, sua tensão irá aumentar. A energia específica é baseada na quantidade de energia elétrica que pode ser armazenada de acordo com o peso da bateria, dada em energia por cada quilograma de massa, sendo a sua unidade  $\text{Whkg}^{-1}$ . Já a densidade de energia é a quantidade de energia armazenada por metro cúbico do volume da bateria e possui unidade  $\text{Whm}^{-3}$ , sendo que o volume e a massa da bateria podem ter grande impacto na decisão de qual veículo converter ou qual tipo de bateria será utilizado (LARMINIE e LOWRY, 2012).

Para Larminie e Lowry (2012), a potência específica de uma bateria é a quantidade de potência que pode ser obtida por quilograma da massa da bateria, sua unidade é  $\text{Wkg}^{-1}$ . É uma grandeza que pode variar de acordo com o tipo da carga em que a bateria está conectada e não é recomendado que a bateria seja utilizada em sua máxima potência, pois isto reduz sua vida útil. É um parâmetro que deve ser comparado juntamente com a energia específica, uma vez que uma bateria com boa energia específica pode possuir baixa potência específica, ou seja, irá armazenar uma grande quantidade de energia, porém irá fornecê-la ao motor de forma lenta. Outro parâmetro que deve ser analisado é a temperatura de operação, pois a eficiência da bateria é proporcional à sua temperatura.

Diversos tipos de baterias perdem sua eficiência quando estão com baixas temperaturas, sendo necessário um sistema de aquecimento até que cheguem em sua temperatura ótima de operação. Em outros casos, as baterias perdem eficiência quando começam a sobreaquecer, sendo assim, um sistema de resfriamento deve ser considerado para manter a temperatura das baterias fora de seu limite máximo. Em relação ao auto descarregamento, é uma avaliação em relação a taxa de descarregamento da bateria quando não utilizada por longos períodos, podendo ser influenciada pela temperatura. Além disso, o número de ciclos de recarga de uma bateria define sua vida útil, afetando também o custo do projeto, caso seja

necessário realizar a troca da bateria de tempos em tempos (LARMINIE e LOWRY, 2012).

Desta forma, no Quadro 2 é apresentada uma comparação entre os diversos tipos de baterias citados anteriormente.

**Quadro 2 - Comparativo Tipos de Baterias**

<b>Características</b>	<b>Tipos de Baterias</b>			
	Chumbo-ácido	Níquel-Cádmio	Hidreto de Níquel	Íons de Lítio
Tensão nominal da célula	2 V	1,2 V	1,2 V	3,5 V
Energia Específica	20 - 35 Whkg <sup>-1</sup>	40 - 55 Whkg <sup>-1</sup>	~65 Whkg <sup>-1</sup>	140 Whkg <sup>-1</sup>
Densidade de Energia	54 - 95 Whm <sup>-3</sup>	70 - 90 Whm <sup>-3</sup>	~150 Whm <sup>-3</sup>	250 - 620 Whm <sup>-3</sup>
Potência Específica	~250 Wkg <sup>-1</sup>	~125 Wkg <sup>-1</sup>	200 Wkg <sup>-1</sup>	300 - 1500 Wkg <sup>-1</sup>
Temperatura de Operação	Ambiente	-40°C até 80°C	Ambiente	Ambiente
Auto descarregamento	~2% por dia	0,5 % por dia	>5% por dia	~10% por mês
Número de ciclos de recarga	800 ciclos	1200 ciclos	1000 ciclos	>1000 ciclos
Tempo de Recarga	8 horas	1 hora	1 hora	2 - 3 horas
Custo	Baixo	Muito Alto	Alto	Alto

Fonte: Adaptado de Larminie e Lowry, 2012.

Nas baterias de chumbo-ácido, o polo positivo é composto por dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), o polo negativo por chumbo esponjoso e o eletrólito por ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). A reação química destes elementos tem como resultado a produção de sulfato de chumbo (PbSO<sub>4</sub>) e água, além da energia elétrica gerada neste processo. É conhecida por seu baixo custo, alta confiabilidade e tensão nominal por célula de 2 V, considerada alta quando comparada com as baterias de níquel-cádmio e de hidreto de níquel. Além disso, a bateria de chumbo-ácido é a que possui menor energia específica (20 a 35 Whkg<sup>-1</sup>) e menor densidade energética (54 a 95 Whm<sup>-3</sup>) dentre as baterias comparadas. Além disso, estas baterias sofrem com a utilização em temperaturas extremas, tendo menor eficiência principalmente em temperaturas extremamente baixas. Sua potência específica se encontra na média entre as baterias comparadas, aproximadamente 250 Wkg<sup>-1</sup>, porém ao utilizar a bateria nesta potência sua eficiência cai consideravelmente. No quesito de auto descarregamento, a bateria

de chumbo-ácido apresenta um descarregamento de aproximadamente 2% de sua carga completa por dia, levando em consideração que sofrem com o fenômeno de sulfatação, no qual o enxofre presente nos eletrodos passa para um estado de cristal, sendo mais difícil de revertê-los em chumbo ou dióxido de chumbo, e que forma uma camada de isolamento em volta dos eletrodos. Além disso, possuem o menor número de ciclos de recarga, justamente por conta deste processo, que diminui a vida útil da bateria ao longo do tempo. Por fim, a bateria de chumbo-ácido é a que possui maior tempo de recarga dentre as quatro, pois se deve ter um maior controle quanto a utilização de tensões muito altas no carregamento (LARMINIE e LOWRY, 2012).

Já as baterias de níquel-cádmio utilizam oxihidróxido de níquel ( $2\text{Ni}(\text{OH})_2$ ) no polo positivo e cádmio metálico (Cd) no eletrodo negativo. Por possuir reações mais estáveis que a bateria de chumbo-ácido possuem maior energia específica ( $40$  a  $55 \text{ Whkg}^{-1}$ ) e maior densidade de energia ( $70$  a  $90 \text{ Whm}^{-3}$ ). Além disso, possui uma grande faixa de operação em temperaturas extremas (de  $-40^\circ\text{C}$  até  $80^\circ\text{C}$ ), algo que não é possível em nenhum outro tipo de bateria apresentada na tabela 2. Em adição, seu auto descarregamento é o mais baixo entre elas, por volta de 0,5% por dia, e por conta da sua estabilidade, pode ser completamente carregada em até uma hora, já atingindo 60% de sua capacidade em 20 minutos. Por outro lado, a bateria NiCad possui custo considerado alto, uma vez que o custo do cádmio para a fabricação das baterias é alto comparado com o chumbo, além de ser prejudicial ao meio ambiente e à saúde. Outro ponto que faz com que seu valor seja mais alto comparado com as outras baterias é a sua robustez, uma vez que possui vida útil de até 1200 ciclos de recarga. Outra desvantagem é sua baixa tensão nominal (1,2 V), que acaba acarretando uma baixa potência específica (aproximadamente  $125 \text{ Wkg}^{-1}$ ) (LARMINIE e LOWRY, 2012).

Em seguida, a bateria de níquel metal-hidreto possui funcionamento similar à de níquel-cádmio, porém em seu eletrodo negativo é utilizado hidrogênio, por meio de um hidreto metálico, funcionando exatamente como uma célula a combustível de hidrogênio. Possui maior energia específica (aproximadamente  $65 \text{ Whkg}^{-1}$ ), maior densidade de energia (aproximadamente  $150 \text{ Whm}^{-3}$ ) e maior potência específica ( $200 \text{ Wkg}^{-1}$ ) que a sua equivalente com cádmio, mantendo também a tensão nominal em 1,2 V. Por conta do hidrogênio presente no eletrodo negativo, esta bateria perde muita eficiência ao operar em temperaturas elevadas, uma vez que a reação eletroquímica com o hidrogênio é bastante exotérmica, sendo necessária a utilização de sistemas

de resfriamento, o que eleva o custo na instalação destas baterias. Além disso, outra desvantagem por conta do hidrogênio em sua composição é o alto nível de descarregamento que ela possui, quando comparada até mesmo com as baterias de chumbo-ácido (LARMINIE e LOWRY, 2012).

Por fim, as baterias de íons de lítio foram inseridas no mercado a partir do ano de 1990, e estão ganhando cada vez mais espaço no mercado por serem mais leves que os outros tipos de baterias e possuírem até três vezes mais energia específica que as baterias de chumbo-ácido, por exemplo. São compostas por três principais componentes: o ânodo, que deve ser composto por carbono, como o grafite; o cátodo, por um óxido de metal, como o óxido de lítio-cobalto; e o eletrólito, por uma mistura de carbonatos orgânicos. Este tipo de bateria possui a maior tensão nominal entre as baterias comparadas (3,5 V), além de possuir a maior potência específica (300 a 1500  $\text{Wkg}^{-1}$ ). Possui também a melhor eficiência em relação ao auto descarregamento, com uma taxa de aproximadamente 10% a cada mês. Além disso, possui números equivalentes a bateria NiMH em relação ao número de ciclo de recarga (maior que 1000 ciclos). Devido ao maior cuidado em relação ao carregamento deste tipo de bateria, as baterias de íons de lítio demoram em média de 2 a 3 horas para obterem uma carga completa, além de serem necessários carregadores específicos para estas baterias, com um controle preciso em relação a sobretensões e tensões muito baixas, que podem acabar danificando a bateria ou não a carregando suficientemente. Outra vantagem em relação as baterias de íons de lítio é a massa, o que fez com que esta tecnologia esteja presente na maioria dos veículos elétricos comercializados hoje em dia, como no Tesla Model S, por exemplo (LARMINIE e LOWRY, 2012).

#### 4.2.3 Comercialização de kits de conversão e veículos convertidos

Por conta da popularização da tecnologia presente nos motores elétricos, maior opções de tipos de controladores e uma grande variedade de tipos de baterias, assim como o maior desenvolvimento tecnológico acerca destes pontos e tantos outros que envolvem os veículos elétricos, surgem no mercado empresas que buscam vender os kits de conversão para o veículo que possui um motor de combustão interna originalmente para consumidores que buscam possuir um veículo elétrico por conta dos menores gastos com combustível e impostos, além da não emissão de gases poluentes na atmosfera. Por conta disso, surgem também empresas nas quais os

consumidores podem escolher o veículo desejado a ser convertido, podendo selecionar diversos outros opcionais, se tornando um veículo sob encomenda.

No Brasil, a empresa multinacional FuelTech, pioneira em sistemas de controle de injeção eletrônica de combustível e injeções programáveis, iniciou a sua divisão de eletrificação no ano de 2016. Três anos após o início das pesquisas, em 2019, anunciou uma parceria com a subsidiária brasileira da empresa alemã WEG, na qual investimentos foram feitos em desenvolvimento de tecnologias e produtos para possibilitar a conversão de veículos com equipados com MCI em veículos elétricos em larga escala. Nesta parceria, além de a WEG fornecer o *powertrain*, forneceu também os inversores auxiliares. No ano seguinte, a FuelTech adquire a startup Energy Systems, também brasileira, e que possui grande conhecimento em Pesquisa e Desenvolvimento em *BigData* e *Analytics*. No ano de 2020, após a realização de parcerias, foi desenvolvido o primeiro veículo convertido pela empresa, um Volkswagen Gol CL, ano 1994, chamado de Gol FTE, exemplificado pela Figura 32 (FUELTECH, 2022).

**Figura 32 - Volkswagen Gol FTE**



**Fonte: InsideEVs, 2021**

Nesta conversão foram utilizados o motor elétrico e o inversor fornecido pela empresa WEG, e este conjunto é controlado por uma FT550, uma ECU programável utilizada em veículos com motores à combustão, mas que neste caso atua como uma VCU (*Vehicle Control Unit*), a qual controla todas as funções do veículo, inclusive o motor elétrico e o inversor. Esta conversão serviu como base para realização de

diversos testes e para a coleta de diversas informações sobre o controle e gerenciamento do veículo (FUELTECH, 2022; WEG, 2019).

Com as informações obtidas nos testes realizados no Gol FTE, a FuelTech em 2021 realizou outro projeto de conversão, agora em um veículo Volkswagen Fusca, ano 1972, chamado de Fusca FTE, presente na Figura 33. Segundo a Placa Informativa do veículo (2021), fornecida pela FuelTech, o Fusca FTE possui uma potência de 43 kW, por conta da utilização de um motor elétrico WEG de 43 kWp, e 23,5 kW nominal, juntamente com um inversor de frequência de modelo CVW500. Além disso, o controle é feito com uma VCU FT550 da FuelTech e um conversor DC-DC de 500W. Em relação a bateria, o Fusca FTE é equipado com um pack de baterias de 25 kWh, com tensão máxima de 130 V, corrente máxima de 675 A e 225 Ah nominal, composta por células de Lítio Óxido Níquel Manganês Cobalto ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ ). Por conta do controle da FT550 é possível ter regeneração de energia por meio da frenagem regenerativa, além de outras funções de monitoramento, segurança e configuração de torque e velocidade.

**Figura 33 - Volkswagen Fusca FTE**



**Fonte: Revista QuatroRodas, 2022**

Outra empresa que comercializa kits de conversão, com a maioria dos componentes já dimensionados é a Swindon Powertrain. Localizada no Reino Unido e na França, esta empresa possui mais de 50 anos no mercado, tendo iniciado sua jornada fabricando motores para veículos de alta performance. Ficou reconhecida no mercado mundial por conta da manutenção que realizava nos motores dos carros de Fórmula 1 dos anos de 1970 até 1980. Além disso, por conta do sucesso em projetos



no automobilismo, fez parceria com diversas montadoras em projetos para produção em série. Desta forma, vendo que a eletrificação estaria presente no futuro, a Swindon realizou diversas pesquisas em veículos elétricos e seus *powertrains*, de modo que fornece diversos produtos relacionados à eletrificação, como kits de conversão, pacotes de baterias, motores elétricos, entre outros (SWINDON POWERTRAIN, 2022).

Um de seus produtos é o “*Classic Mini Electrification Kit*”, ou seja, um kit de conversão de um clássico Morris Mini, como o da Figura 34, em um veículo elétrico, carro que foi iconizado pelo personagem da série de comédia Mr. Bean, interpretado pelo ator britânico Rowan Atkinson. O kit é composto por um motor elétrico de ímãs permanentes e uma caixa de transmissão fabricados pela Swindon, os eixos que ligam o motor as rodas e um novo agregado no qual o motor é instalado e pode ser colocado diretamente no veículo sem maiores adaptações.

**Figura 34 - Morris Mini de Mr. Bean**



**Fonte: MotorShow, 2020**

O kit é composto por um motor elétrico de ímãs permanentes e uma caixa de transmissão fabricados pela Swindon, os eixos que ligam o motor as rodas e um novo agregado no qual o motor é colocado e pode ser instalado diretamente no veículo sem maiores adaptações. Seu motor fornece 128 kW de potência de pico e 80 kW de potência contínua. Este kit de conversão custa atualmente £14.103,60, ou seja, R\$83.916,42. Além disso, outros opcionais podem ser adicionados ao kit, como o controlador/ inversor do motor, um carregador e conversor DC-DC, além de os sensores de velocidade para o motor elétrico (SWINDON POWERTRAIN, 2022).

Além disso, também é possível realizar a compra de veículos já convertidos por empresas especializadas neste serviço. Segundo a “Electric Car Converts”, sediada na Inglaterra, a conversão de veículos é um passo importante para a eletrificação, uma vez que ao converter veículos com motores à combustão em veículos elétricos é possível ter maior eficiência e menor emissão de gases poluentes, além de o custo para rodar ser menor. Esta empresa busca, principalmente, converter veículos antigos em veículos elétricos, pois são relativamente mais fáceis de se converter por não possuírem tanta eletrônica embarcada quanto os modelos mais novos. Em adição, acreditam que o veículo se torna mais confiável e é uma forma de manter o legado deste tipo de veículo mesmo utilizando tecnologias atuais em seu *powertrain*.

A Electric Car Converts realiza conversões principalmente em veículos Land Rover clássicos, conforme o veículo da Figura 35, sendo possível selecionar opcionais como o alcance das baterias, além de os veículos serem entregues completamente restaurados. As conversões são principalmente realizadas utilizando motores elétricos retirados de veículos Tesla, dos modelos S e X e suas baterias, podendo ser utilizadas também baterias da marca sul-coreana LG Chem (ELECTRIC CARS CONVERTS, 2022).

**Figura 35 - Land Rover convertida pela Electric Car Converts**

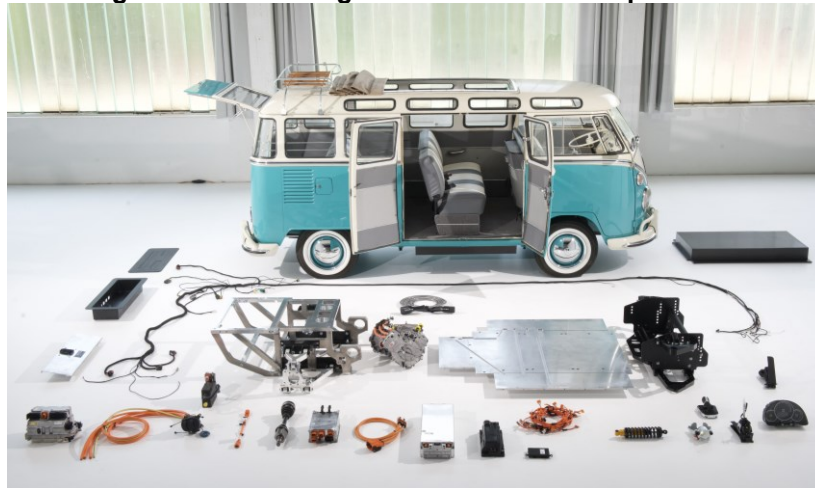


**Fonte: Electric Car Converts, 2022**

Por outro lado, a empresa “eClassics”, especializada em restaurações e conversões de veículos antigos da marca Volkswagen em veículos elétricos, como o Volkswagen Fusca e a Volkswagen Kombi, mostrada pela Figura 36. Para isso, utilizam peças e soluções fornecidas diretamente pela montadora, ou seja, são peças que estão em produção atualmente. Os componentes utilizados nas conversões são

os mesmos utilizados em veículos elétricos de série da marca, como o ID.3 e o ID.4. Sendo assim, os veículos convertidos utilizando o *powertrain*, as baterias, os controladores e as funções e sistemas dos veículos da Volkswagen possuem a garantia e o controle de qualidade que qualquer veículo de linha (ECLASSICS, 2022).

**Figura 36 - Volkswagen Kombi e seus componentes**



**Fonte: eClassics, 2022**

Sendo assim, é possível perceber que a conversão de veículos ainda é algo que se encontra em um estágio inicial, no qual modelos específicos são utilizados, normalmente veículos clássicos e que tiveram sua fama no passado, mas que possuem admiradores até os dias de hoje. Desta forma, a conversão destes veículos em veículos elétricos acaba sendo uma forma de perpetuar o legado criado por estes por mais tempo, uma vez que estes veículos com motores a combustão interna normalmente são muito poluentes, ao não possuírem tecnologias atualizadas de controle de emissões.

Além disso, vale salientar que estas conversões são realizadas em empresas que investiram tecnologia e conhecimento no desenvolvimento destes produtos, com soluções únicas e quase que artesanais. Por conta dos valores altos empregados na compra do veículo clássico a ser adquirido, algo que, para alguns modelos, está altamente valorizado no mercado mundial, juntamente com o valor das peças fabricadas quase que artesanalmente e os componentes do kit de conversão, a compra destes veículos convertidos se torna proibitiva. Dito isso, vê-se uma necessidade na popularização destas conversões, ao reduzir o valor dos componentes, principalmente das baterias, e criar conversões padrões para veículos com maior volume no mercado e que não são valorizados.

### 4.3 Políticas públicas e incentivos para veículos puramente elétricos e híbridos

É sabido que atualmente as lideranças dos governos mundiais vêm buscando o desenvolvimento sustentável por meio da utilização de fontes de energia alternativas e a diminuição da queima de combustíveis fósseis e a sua consequente emissão de gases de efeito estufa. Por conta da crescente necessidade de diminuição na poluição atmosférica presente nos grandes centros urbanos, novas soluções e legislações passam a ser implementadas, de forma que os veículos com zero emissão de carbono ou com maior eficiência energética se tornam grandes *players* neste cenário.

Diversos acordos foram assinados, com o intuito de traçar metas de emissão de gases poluentes para os países participantes. O primeiro deles foi o Protocolo de Kyoto, fechado durante a 3ª Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, no ano de 1997, que definiu as metas de redução nas emissões que cada país deveria atender, porém com metas diferentes de acordo com o nível de industrialização do país e outros parâmetros analisados. Este protocolo foi assinado por 84 países, e previa uma redução de 5,2% nos níveis de emissões no período de 2008 até 2012. Além disso, com a assinatura deste protocolo, abriu-se a possibilidade da compra ou venda dos créditos de carbono, ou seja, um país que reduziu suas emissões acima da meta estabelecida pode vender esse excedente, chamado de crédito de carbono, para países que não iriam cumprir a meta no período estipulado (SENADO NOTÍCIAS, 2022).

Em seguida, no ano de 2015, foi assinado por 196 nações o Acordo de Paris durante a COP 21 (21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima). Neste acordo, os países assinantes se propuseram a limitar o aumento da temperatura média mundial em 2 °C, preferencialmente 1,5 °C, comparada com os níveis pré-industriais. Para que isso seja possível os países devem adotar taxas de emissão de gases de efeito estufa ainda menores (UNFCCC, 2015).

#### 4.3.1 Políticas públicas e incentivos ao veículo elétrico no mundo

Ao aumentar o número de veículos elétricos ou híbridos circulando no mundo, a emissão de gases durante a sua utilização é diminuída, algo que auxiliar os países a atingirem as metas impostas. Desta forma, diversas políticas públicas de incentivo a comercialização, produção e desenvolvimento tecnológico acerca dos veículos

elétricos foram implementadas, desde o momento em que a necessidade de menor emissão de poluição se tornou um tema presente no dia a dia. Devido as crises do petróleo que ocorreram nos anos 70 e 80, o conceito de desenvolvimento sustentável se tornou bastante forte, fazendo com que os governos criassem medidas para diminuir a poluição.

Como exemplo, em 1990, o estado norte-americano da Califórnia implementou o primeiro conjunto de regulamentações em relação à emissão zero de poluentes. A Carb (*California Air Resources Board*), responsável por monitorar a qualidade do ar no estado, colocou uma meta em que as montadoras deveriam vender uma cota de veículos zero emissões, começando com 2% no ano de 1998 e chegando a 10% em 2003. Neste caso, cada montadora recebia um valor bônus de US\$ 5 mil para cada veículo vendido. Outra ação realizada pelo governo dos Estados Unidos foi o *Energy Independence and Security Act*, no ano de 2007, no qual durante os anos de 2008 e 2013, US\$ 95 milhões seriam destinados à pesquisa e desenvolvimento do transporte elétrico, além da capacitação de pessoal especializado nesta tecnologia (BARAN e LEGY, 2011). Ainda nos Estados Unidos, segundo o Instituto de Informações Legais (2021), da Universidade de Direito de Cornell, no ano de 2009 foi levado ao congresso um projeto chamado ACES (*American Clean Energy and Security Act of 2009*). Este projeto tinha como objetivo promover a energia limpa, reduzir a emissão de gases poluentes e criar uma independência energética, por meio de restrições e regulamentações, como por exemplo a redução em 83% dos níveis do ano de 2005 de emissão de carbono até 2050.

Desta forma, em busca de incentivar a maior eletrificação da frota buscando a redução da poluição e conseqüentemente do efeito estufa, diversos países vêm aplicando políticas públicas e formas de incentivo ao veículo elétrico, de forma que, ao final do processo, as metas de emissões assinadas em acordos sejam atingidas. Países como Estados Unidos, China, Japão e diversos países europeus vem implementados medidas para o aumento da fabricação e venda dos veículos elétricos há muito tempo. No caso do Brasil, estas políticas ainda estão nos estágios iniciais, sendo necessária uma maior atenção por parte dos governantes em relação a este tema.

Com base no estudo realizado pela Associação Europeia dos Fabricantes de Automóveis (ACEA) em 2022, diversos países participantes da União Europeia, mais especificamente 27 países, e o Reino Unido apresentavam incentivos fiscais e para

compra de veículos elétricos, sejam eles puramente elétricos, híbridos *plug-in* ou movidos a célula de combustível. Sendo assim, no Quadro 3 tem-se um extrato retirado do estudo apresentado em 2022, focando em países com políticas que chamam a atenção ou grandes mercados automobilísticos, como a Dinamarca, França, Alemanha e Holanda.

**Quadro 3 - Incentivos para veículos elétricos - 2022**

<b>Incentivos para veículos elétricos e híbridos UE - 2022</b>				
País	Incentivos Fiscais			Incentivos à compra
	Aquisição	Propriedade	Veículos Empresariais	
Dinamarca	<p><b>Veículos zero emissões:</b> Pagam 40% da taxa de registro Dedução adicional de DKK 167,500 da taxa de registro Dedução de DKK 1,300 do valor tributável</p> <p><b>Veículos com baixa emissão (&lt;50g CO2/km):</b> Pagam 50% da taxa de registro Dedução adicional de DKK 48,750 da taxa de registro Dedução de DKK 1,300 do valor tributável</p>	<p>As taxas são calculadas baseadas na emissão de CO2 do veículo</p> <p>Veículos zero emissões pagam uma taxa semianual de DKK 340</p>	X	X

França	<p>Cada região pode dar uma isenção (total ou parcial) para veículos alternativos (elétricos, híbridos, movidos a gás natural e E85)</p> <p>Os VEs (com autonomia &gt; 50 km) são isentos da taxa sobre emissão de CO<sub>2</sub> para registro do veículo ("malus")</p>	X	<p>Isenção da taxa baseada na emissão de CO<sub>2</sub> para veículos que emitam &lt; 60g CO<sub>2</sub>/km (exceto veículos movidos à diesel)</p>	<p>Bônus para a compra de veículo com emissão ≤ 20g CO<sub>2</sub>/km:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- €6,000 para pessoas físicas, caso os veículos custem ≤ €45,000</li> <li>- €4,000 para pessoas jurídicas, caso os veículos custem ≤ €45,000</li> <li>- €2,000 para pessoas jurídicas e físicas para: Veículos entre €45,000 e €60,000 ou FCEV e vans &gt; €60,000</li> </ul> <p>Bônus para a compra de veículo com emissão &gt;21 e ≤ 50g CO<sub>2</sub>/km:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- €1,000 para pessoas físicas custando ≤ €50,000</li> </ul>
Alemanha	X	<p>Isenção de 10 anos de VEs registrados até 31 de dezembro de 2025</p> <p>Isenção da taxa anual de circulação para veículos com emissões ≤ 95g CO<sub>2</sub>/km</p>	<p>Redução no valor tributável para VEs (de 1% a 0,5% do valor de tabela do veículo por mês)</p> <p>Redução adicional no valor tributável para veículos com valor de tabela acima de €60,000 (1% a 0,25% do valor de tabela por mês)</p>	<p>Até 31 de dezembro de 2022, o bônus de inovação aumenta o bônus ambiental para os VEs:</p> <p>Para veículos com valor ≤ €40,000:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- €9,000 para BEVs e FCVEs</li> <li>- €6,750 para PHEVs</li> </ul> <p>Para veículos com valor &gt; €40,000:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- €7,500 para BEVs e FCVEs</li> <li>- €5,625 para PHEVs</li> </ul>

Holanda	Isenção para veículos zero emissões	Isenção para veículos zero emissões. 50% da tarifa para PHEVs	Taxa mínima de 16% para veículos zero emissões. Teto de €35,000 para BEVs. Sem teto para veículos movidos a hidrogênio	<p>Subsídio para indivíduo comprar ou alugar BEV compacto, novo ou usado</p> <p>Subsídio para empresa comprar ou alugar veículo comercial novo</p> <p>Dedução da taxa ambiental para BEV e FCEV comerciais leves e BEV táxis</p>
---------	-------------------------------------	---	--	--

**Fonte: Elaborado pelo autor, com base nos dados da ACEA, 2022**

De acordo com a tabela, enquanto a Holanda dá isenção total em incentivos fiscais para a aquisição de veículos elétricos, a Alemanha não pratica este tipo de incentivo, enquanto a França coloca o poder de isenção parcial ou total a cada região. Embora esta isenção seja destinada à veículos com motorizações alternativas, como veículos elétricos, híbridos, movidos a gás natural ou até mesmo E85, para veículos elétricos com autonomia maior que 50 km, o governo francês isenta-os da taxa sobre emissão de CO<sub>2</sub> para registro do veículo, o chamado “malus”. Por outro lado, na Dinamarca o governo difere as isenções de acordo com o nível de emissões dos veículos. Para veículos com zero emissões, a taxa de registro é de 40% do valor oficial, além de existirem deduções adicionais que somam até quase 170,000 coroas dinamarquesas.

Em adição, o governo dinamarquês calcula as taxas de impostos sobre a propriedade de veículos baseados nas taxas de emissão de CO<sub>2</sub> dos veículos, sendo assim, veículos zero emissões pagam uma taxa fixa semianual de DKK 340. Não obstante, para o ano de 2022 o governo francês não apresenta nenhum incentivo fiscal à propriedade dos veículos. Contudo, na Alemanha, veículos elétricos registrados até 31 de dezembro de 2025 terão isenção de 10 anos das taxas de propriedade. Além disso, há a isenção da taxa anual de circulação para veículos com níveis de emissões  $\leq 95\text{g CO}_2/\text{km}$ . Não longe disso, o governo holandês promove a isenção total das tarifas de propriedade para veículos com zero emissão e a isenção parcial (50%) para PHEVs.



Com o intuito de incentivar a utilização de veículos elétricos no âmbito empresarial, na Holanda há uma taxa mínima de impostos definida em 16% para veículos zero emissões, com um teto de valor para veículos puramente elétricos em €35,000 e sem teto específico para veículos movidos a hidrogênio. Já o governo alemão reduziu o valor tributável dos VEs em 1% a 0,5% do valor de tabela destes veículos mensalmente, e em 1% a 0,25% deste valor para veículos com valor de tabela acima de €60,000. Por outro lado, na França a isenção da taxa para veículos empresariais é baseada na taxa de emissão de CO<sub>2</sub>. Para veículos com emissões < 60g CO<sub>2</sub>/km esta taxa é isenta, exceto para veículos movidos a diesel.

Embora a Dinamarca possua incentivos fiscais para a aquisição de veículos elétricos, o governo não dispõe aos consumidores subsídios diretos à compra de veículos. Já na França os subsídios para compra são calculados de acordo com o nível de emissão de CO<sub>2</sub> do veículo e de seu valor tabelado. Para a compra de veículos com emissão ≤ 20g CO<sub>2</sub>/km e valor de tabela ≤ €45,000 o incentivo é de €6,000 para pessoas físicas, €4,000 para pessoas jurídicas e caso o veículo custe entre €45,000 e €60,000 ou seja um FCEV ou vans com valor > €60,000 o subsídio dado pelo governo é de €2,000, para pessoas tanto físicas como jurídicas. Enquanto isso, para veículos com níveis de emissões > 21g CO<sub>2</sub>/km e ≤ 50g CO<sub>2</sub>/km o valor abonado é de €1,000, para veículos com valor limitados em €50,000.

A Holanda, sendo o país deste comparativo com incentivos em todas as classes levantadas, fornece um subsídio ao indivíduo que deseja comprar ou alugar um veículo elétrico puro novo ou usado e às empresas que desejam comprar ou alugar veículos comerciais elétricos novos. Além disso, há uma dedução na taxa ambiental para BEVs e FCEVs comerciais leves ou que são utilizados como táxis.

Países como o Canadá seguem uma política regional de incentivos aos veículos elétricos. Segundo o Governo do Canadá (2022), são oferecidos incentivos de 2,500 a 5,000 dólares canadenses para consumidores que comprem ou aluguem um veículo elétrico. Além disso, de acordo com a CAA (*Canadian Automobile Association*) (2022), para a região da Columbia Britânica existe um programa baseado na renda, no qual descontos de \$500 a \$2,000 são praticados para a compra de veículos híbridos plug-in com autonomia menor que 85 km e \$1,000 a \$4,000 para veículos puramente elétricos ou veículos híbridos com autonomia estendida. Já na província de Ontário os consumidores têm acesso à dois programas de incentivos, o programa de compra de veículos elétricos usados (\$1,000) e o programa de compra

de um veículo usado 100% elétrico ou híbrido e o envio para sucata do antigo veículo com motor à combustão (\$1000).

Ainda segundo a CAA (2022), os moradores do Québec podem receber até \$8,000 de volta ao comprarem veículos elétricos com valores abaixo de \$60,000, além de serem elegíveis a receberem os incentivos federais. Por fim, nas outras províncias canadenses que possuem incentivos aos veículos elétricos (Nova Escócia, Terra Nova e Labrador, Ilha do Príncipe Eduardo e Nova Brunswick) os incentivos variam de \$5,000 a \$2500 para a compra de veículos elétricos novos e de \$2,500 a \$1,000 para a compra de veículos híbridos e elétricos usados. Além disso, nestas províncias ainda há o incentivo para a instalação de carregadores residenciais.

Outro país considerado modelo no quesito de vendas e incentivos aos veículos elétricos é a Noruega. No primeiro trimestre de 2022 os veículos puramente elétricos atingiram a marca de 83% do total de vendas de veículos no período (CIRIACO, 2022), um recorde para o mundo e para a Europa, continente no qual as restrições para emissão de gases poluentes estão cada vez mais restritas. Para atingir este marco, o governo norueguês vem implementando diversos incentivos e políticas públicas para o avanço da tecnologia dos veículos elétricos em seu mercado, além de metas otimistas de emissão zero de gases poluentes para o futuro, mais especificamente em 2025, quando 100% dos veículos comercializados na Noruega serão zero emissões (IEA, 2021).

Com início em meados dos anos 90, segundo Santos (2019), o governo norueguês já trabalhava com políticas de incentivo aos veículos com baixa emissão de poluentes, ao zerar a cobrança de estacionamento para estes veículos. Mais adiante, em 2001, isenções de impostos para a compra de veículos elétricos foram implementadas, seguida pela isenção do imposto de circulação para os VE em 2005. Além disso, no ano de 2021, para veículos puramente elétricos e veículos a célula de combustível o imposto de importação é nulo, ou seja, auxilia as montadoras em praticarem valores condizentes com o mercado para a comercialização destes modelos. Já para veículos híbridos *plug-in*, a redução máxima pode ser de 15% no imposto, mas para isso devem ter no mínimo 100 km de autonomia, medido pelo WLTP (*Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure*). Além disso, o imposto de circulação não é sequer considerado para veículos 100% elétricos (ACEA, 2022).

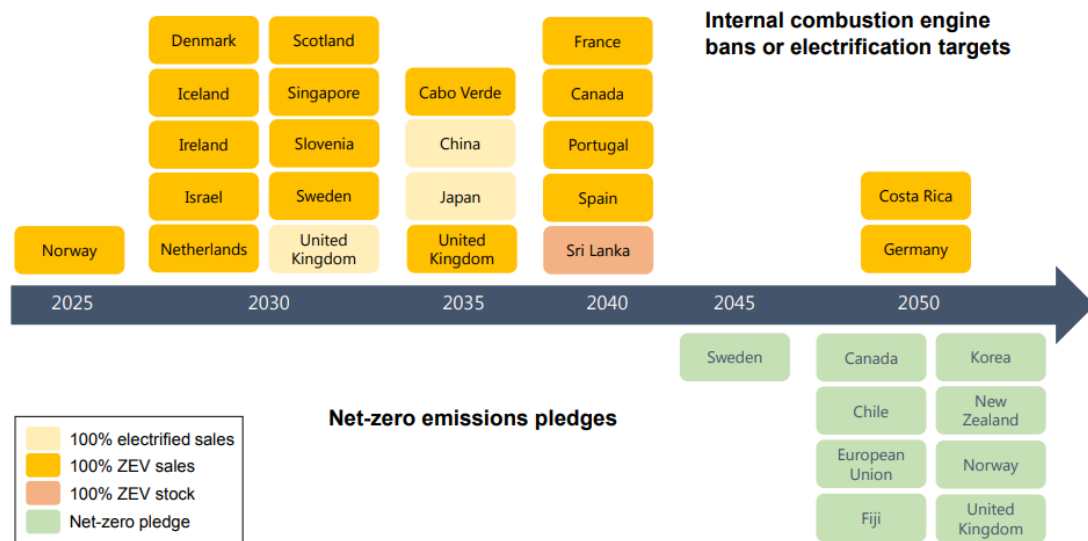
Além da necessidade de incentivos monetários, o comprometimento do governo a longo-prazo é extremamente importante para o sucesso, como no caso da

Noruega, dando à indústria automobilística e de infraestrutura uma visibilidade para desenvolvimento de um mercado estável. Sendo assim, Carranza et al. (2013), em seu artigo no qual comenta sobre o mercado de veículos da Noruega sendo o com maior sucesso, coloca que outros tipos de políticas públicas devem ser implementados, além dos incentivos citados anteriormente. Os autores colocam que outro ponto responsável pela alavancagem nas vendas dos veículos elétricos na Noruega é a infraestrutura de carregadores. Em 2011, o governo norueguês fez um grande investimento na área de carregadores, instalando mais de 65 carregadores rápidos de 50kW. Já para o ano de 2013 eram previstos mais 30 carregadores do mesmo tipo. Além disso, existiam mais de 4200 carregadores públicos na Noruega nesta época. Em relação aos carregadores de carga lenta, eram 970 disponíveis ao uso, com a meta de instalação de 100 novos carregadores por ano.

Para Carranza et. al. (2013), esta estratégia traz ao consumidor maior segurança em relação a compra deste tipo de veículo, sendo que tem a visão de que não estará desamparado quando tiver a necessidade de carregar seu veículo. Ainda sobre o consumidor, quando é feito um trabalho de consciência em relação à necessidade da política de zero emissão e do funcionamento e da tecnologia presente nos carros elétricos a população entende que estas ações são necessárias. Novamente o governo norueguês, com ações de conscientização e popularização dos veículos elétricos por meio da sua utilização em frotas públicas desde 1990, fez com que a população tivesse tempo suficiente para entender e se adequar às políticas de zero emissões, assim considerando o veículo elétrico realmente como uma solução ao problema.

Por fim, motivados pela menor emissão de gases de efeito estufa e buscando a meta de zerar a emissão destes gases diversos países traçaram planos ambiciosos, nos quais almejam limitar e até proibir a venda de veículos com MCI. A seguir, na Figura 37, é apresentado um *roadmap*, no qual diversos países já promulgaram ou propuseram leis que irão banir a venda de veículos com motores a combustão, possuem metas de eletrificação ou que irão zerar suas emissões.

**Figura 37 - Roadmap Zero Emissões 2050**



IEA. All rights reserved

**Fonte: Global EV Outlook, 2021**

Esta linha do tempo, retirada do estudo “*Global EV Outlook*” de 2021, realizado pela IEA (*International Energy Agency*), mostra o engajamento de diversos países de vários continentes em relação a eletrificação e a redução da emissão de gases. A Noruega, um país onde a venda de veículos elétricos cresce ano após ano irá proibir a venda de veículos à combustão em 2025, ou seja, a partir deste ano, somente veículos zero emissões poderão ser comercializados. Ainda sobre a Noruega, o país tem como compromisso a emissão zero de gases poluentes no ano de 2050.

Seguindo a mesma motivação, para 2030 países como Dinamarca, Escócia, Israel, Holanda, pretendem realizar as mesmas proibições que a Noruega. Em contrapartida, o Reino Unido busca ter 100% de seus veículos comercializados no país com alguma solução eletrificada, para que em 2035 todos os modelos vendidos sejam zero emissões, assumindo o mesmo compromisso que diversos outros países como Chile, Canadá e os países da União Europeia de zerar suas emissões no ano de 2050. Além disso, países detentores de grandes mercados automobilísticos como o Japão e a China pretendem eletrificar totalmente os veículos a venda no ano de 2035, enquanto a Alemanha traçou como meta o ano de 2050 para possuir 100% de veículos zero emissão a venda no país. Vale ressaltar a aparição de alguns países que não se encontram usualmente na questão de desenvolvimento sustentável ou até mesmo de números expressivos em vendas de veículos, como Cabo Verde e a Costa Rica. O país africano coloca como meta a venda de somente veículos zero emissão

no ano de 2035 ao passo que a Costa Rica deverá atingir este objetivo no ano de 2050 (GLOBAL EV OUTLOOK, 2021).

#### 4.3.2 Políticas públicas e incentivos ao veículo elétrico no Brasil

Em relação ao Brasil, um mercado que atingiu a marca de 100 mil unidades de veículos elétricos vendidas em julho de 2022 (ABVE, 2022), as políticas públicas de incentivos fiscais e desenvolvimento ainda estão em estágios iniciais, sendo necessário um maior alinhamento entre o governo federal, os governos estaduais e municipais e as expectativas dos fabricantes e consumidores.

Para diversos autores, como Barbosa et. al. (2010) e Martins (2016), o que falta para maior alavancagem dos veículos elétricos no mercado nacional é a implementação de políticas de incentivo ao consumo deste tipo de veículo, como a redução de impostos de importação e circulação, mas não somente isso. Os autores também colocam que é de suma importância a sinergia entre este tipo de política pública com políticas de desenvolvimento tecnológico, de infraestrutura e de regulamentações. Além disso, Consoni et. al. (2018) coloca que falta direcionamento nas ações voltadas ao setor de eletro mobilidade no Brasil, por conta da ausência de um fato estimulante para que ocorra este desenvolvimento, como metas e objetivos de número de vendas, número de carregadores espalhados pelo território e até mesmo metas de emissões.

Em seu estudo, Consoni et. al. (2018) apresenta quatro principais áreas em que as políticas públicas brasileiras atuam até o momento. São elas: produção, desenvolvimento tecnológico, infraestrutura e consumo. Além disso, para Vaz et. al. (2015), as políticas públicas podem ser divididas em dois grandes grupos, as políticas de incentivo à oferta e as políticas de incentivo à demanda, sendo as políticas abordadas por Consoni et. al. (2018) incluídas em seus respectivos grupos.

Em relação às políticas associadas à produção, sendo consideradas como incentivos à oferta, o Brasil atualmente conta com alguns programas que buscam limitar a emissão de gases poluentes no país e melhorar a eficiência energética dos veículos comercializados no país.

O primeiro grande programa focado na redução de emissões é o Proconve, coordenado pelo IBAMA, que possui o objetivo de definir os limites de emissão para os veículos leves, por meio de determinações de requisitos tecnológicos mínimos para os automóveis. Em sua análise, Consoni et. al. (2018) discute a insuficiência deste

programa, uma vez que as metas traçadas são pouco otimistas em relação às metas utilizadas em outros países, além de serem facilmente alcançadas pelas montadoras por meio de atualizações e melhorias nos motores à combustão já existentes. A título de comparação, os autores apresentam que o Brasil em 2017 alcançou as metas de emissões (137g CO<sub>2</sub>/km) que a União Europeia já havia atingido no ano de 2015, ou seja, havia uma defasagem de dois anos entre um país com constante desenvolvimento em sua indústria e um bloco de países que busca a zero emissão de gases poluentes e que investe em seu objetivo. Além disso, o programa não possui foco específico nos veículos elétricos.

Neste caso, pelas metas traçadas não serem suficientes para que exista um desenvolvimento contínuo e eficaz, Barbosa et. al. (2010) propõem que as regras de emissão sejam cada vez mais restritas, incentivando assim a mudança para as novas tecnologias por meio de limites de emissão não somente baseados na emissão por si só durante a utilização dos veículos, mas durante toda a cadeia de produção. Além disso, Vaz et. al. (2015) sugerem que as metas definidas tenham degraus anuais, com o objetivo de aumentar o investimento e o trabalho em pesquisa e desenvolvimento e para que as empresas consigam atender os requisitos. Em adição, os autores colocam que bônus para a antecipação de metas sejam incluídos aos programas, como forma de incentivo às montadoras e de mitigar o custo gerado pela antecipação das metas, trazendo benefícios direto à população.

Uma política pública como incentivo à demanda é relacionada a infraestrutura de recarga. Considerado como um ponto muito importante referente à confiança dos consumidores em adquirir veículos elétricos deve receber atenção de governos de toda a federação, uma vez que deve ser um trabalho conjunto. No Brasil, estas iniciativas são pouco abrangentes e limitadas.

Um exemplo de política pública destinada à infraestrutura de recarga é a Eletrovia, inaugurada em 2018 pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL), em parceria com a Itaipu Binacional. Ao longo dos 730 km da BR-277 que liga o litoral paranaense ao extremo oeste, em Foz do Iguaçu, foram instalados 12 postos de recarga rápida, com mais cinco novos postos a serem instalados, totalizando 17 postos ao final do projeto. Além disso, a COPEL planeja expandir a Eletrovia para o norte do estado, pela BR-376 até Londrina, e criar uma interligação com o estado de Santa Catarina por meio da BR-101 até Joinville (COPEL, 2021). Por meio de novos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, a COPEL já trabalha no futuro da

demanda, no qual a inserção massiva dos veículos elétricos será um ponto de atenção. Além disso, por meio de parcerias com a CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina), as empresas almejam interligar todos os estados do sul, e até mesmo com o Uruguai por meio da CEEE, concessionária de energia do Rio Grande do Sul. Existe também um estudo para interligação da Eletrovia até Assunção, no Paraguai, por meio da Itaipu (COPEL, 2022).

A COPEL, com esta estratégia pontual, atinge uma pequena parte da malha viária brasileira, que é muito maior que a encontrada em países da Europa, por exemplo. Sendo assim, a estrutura de recarga aqui deve ser muito mais abrangente comparada com estes países. Por conta da “*range anxiety*”, termo em inglês utilizado para expressar o medo de proprietários de veículos elétricos ficarem sem bateria durante uma viagem e não encontrarem um ponto de carregamento, incentivos à esta estrutura deveriam receber mais atenção, uma vez que são um ponto de bloqueio para uma maior eletrificação da frota (AUTOMOTIVE WORLD, 2021).

Sendo assim, uma política de avanço em relação aos pontos de recargas deve ser planejada, de forma que locais estratégicos sejam definidos para a instalação dos postos, assim como formas de cobrança e de regulamentação devem ser definidas. Todavia, a adequação da demanda energética gerada pelos veículos elétricos no momento do carregamento deve ser outro ponto de estudo, com soluções de integração à rede em horários de pico ou que a demanda energética deve ser suprida de tal forma e incentivos a geração distribuída (BRAVO et. al., 2014; VAZ et. al., 2015).

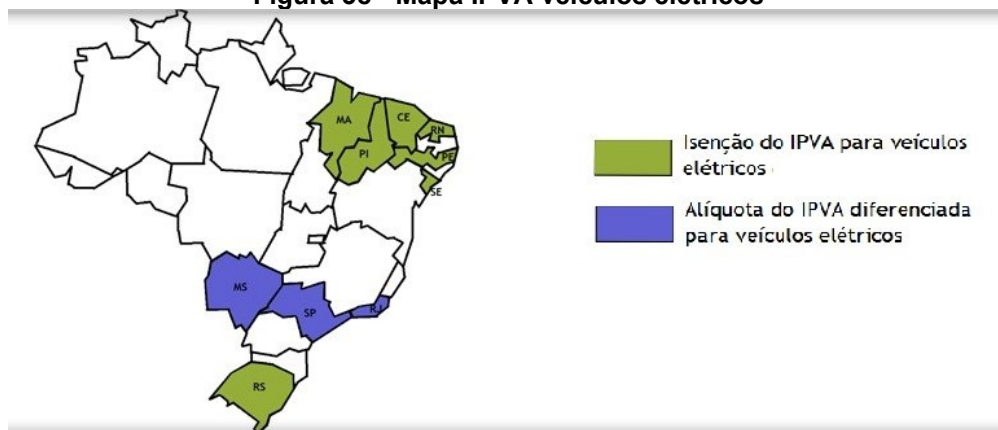
Soluções ligadas ao consumo incentivam a demanda por veículos elétricos, uma vez que incentivam a população a comprar os veículos que definam como mais vantajosos, tanto financeiramente quanto para o meio ambiente. Por meio das políticas públicas praticadas por outros países, abordadas anteriormente neste estudo, pode-se perceber que são a forma mais comum praticada pelos governos mundo a fora. Reduções de impostos de importação, circulação e até mesmo subsídios diretos para a população que adquire veículos elétricos podem ser considerados como alguns exemplos de incentivos ao consumo. No Brasil, este tipo de política pública é pontual e não prevalece os VEs de forma direta, sendo considerada por muitos autores um dos maiores bloqueios em relação a não alavancagem da eletrificação da frota no Brasil.

Diversas são as tributações incidentes aos veículos comercializados no país. Para os veículos elétricos não é diferente, sendo seu valor final composto por impostos

como ICMS, PIS/COFINS, impostos estaduais como o IPVA e a maior alíquota sendo o IPI, por conta de não existirem veículos elétricos produzidos nacionalmente. Muitas vezes, por conta destas tributações os valores finais dos veículos acabam sendo proibitivos e quando comparados com veículos com motores à combustão, acabam não sendo tão vantajosos. Em relação ao IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados), os eletrificados acabam pagando a maior alíquota (25%) por não possuírem uma classificação própria (CONSONI et. al., 2018; BRAVO et. al., 2014; BARBOSA et. al., 2010).

Segundo Vaz et. al. (2015), algumas soluções já foram tomadas em relação a este tema, como por exemplo a redução temporária no Imposto de Importação (ex-tarifário) para veículos híbridos em 2014. Consoni et. al. (2018) também comentam sobre as resoluções da Camex (Câmara de Comércio Exterior) números 27 e 97, de outubro de 2015 e março de 2016, respectivamente. Nestas resoluções, as alíquotas de importação sobre veículos com motores elétricos com autonomia de no mínimo 80 km e equipadas com células a combustível ou baterias foram zeradas, enquanto para os veículos híbridos *plug-in* os tributos passaram de 35% para 2% ou 7%, a depender da cilindrada do motor a combustão. Outro exemplo de incentivo fiscal aplicado por alguns estados brasileiros é a isenção total ou parcial do IPVA. Conforme apresentado na Figura 38, estados como o Rio Grande do Sul, Sergipe, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Maranhão isentam os veículos elétricos ou com força motriz elétrica deste tributo. Já estados como Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro praticam alíquotas diferentes para este tipo de veículo (ABVE, 2017).

**Figura 38 - Mapa IPVA veículos elétricos**



Fonte: ABVE, 2017



Dito isso, há uma necessidade de mudança acordo da tributação sobre os veículos elétricos. Uma proposta é que a tributação seja feita de forma que o consumo específico de energia seja considerado (MJ/km) juntamente com a quantidade de emissão de gases poluentes (CO<sub>2</sub>/km), buscando beneficiar os veículos mais eficientes e menos poluentes presentes no mercado (DOMINGUES ET. AL., 2013).

Outra forma de tributar os veículos elétricos seria a criação de um código NCM (Nomenclatura Comum do Mercosul) exclusivo para veículos elétricos e híbridos, uma vez que hoje em dia são tributados como veículos comuns. Vaz et. al. (2015) acrescenta que o NCM 8703-4, "Veículos tracionados por motor elétrico" deva ser criado, devendo ter tributação menor ou igual a já praticada para veículos com motores à combustão com cilindrada inferior a 1000 cm<sup>3</sup>. Estas práticas aliadas aos subsídios oferecidos pelo governo incentivando a compra dos veículos elétricos, modelos já utilizados por países como Noruega e Canadá) são pontos importantes para a maior competitividade dos veículos elétricos em relação aos veículos com MCI, além de estarem diretamente ligadas com a renovação da frota, retirando veículos antigos que normalmente são mais poluentes de circulação (Barbosa et. al., 2010).

A oferta de veículos elétricos no Brasil também pode ser alavancada por meio de incentivos ao desenvolvimento tecnológico, de forma que incentivam a oferta deste tipo de produto no mercado. Para Consoni et. al. (2018) este tema está bastante presente desde 2002 no país e alguns programas de fomento à pesquisa e desenvolvimento são citados, como o Programa de Sistemas de Célula a Combustível, datado do ano de 2002, promovido pela Finep (Financiadora de Estudos e Projetos).

Outro projeto citado pelos autores é o Inova Energia (2013), que fomenta ações de inovação no setor energético, abordando os veículos elétricos e a infraestrutura de recarga. Além disso, a padronização e a criação de normativas para os veículos elétricos e seus componentes é algo muito importante para garantir a segurança e tornar atrativo para as montadoras o desenvolvimento e fabricação destes veículos em nosso país e por consequência o desenvolvimento de toda uma cadeia de suprimentos. Por meio da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) algumas normas relacionadas com sistemas presentes em veículos elétricos estão sendo homologadas, de forma que até algumas normas da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) foram traduzidas, sendo a maioria delas relacionadas ao sistema de recarga, aos plugues e tomadas e as baterias. Por fim, ainda Consoni et. al.

comentam que estas políticas em estágios ainda iniciais são ineficientes, sem objetivos bem definidos e não são robustas (CONSONI ET. AL., 2018).

Desta forma, em seu estudo Vaz et. al. (2015) sugerem que mais ações de P&D sejam realizadas no âmbito dos veículos elétricos, traçando universidades e centros de pesquisas parceiros a fim de ter a troca de conhecimento com as montadoras, visando estimular a indústria nacional para este tipo de produto. Além disso, Barbosa et. al. (2010) propõem a criação de um centro tecnológico de desenvolvimento de soluções alternativas para a indústria automobilística, que por meio da sinergia entre investimentos governamentais, o conhecimento e a necessidade das montadoras e a mão-de-obra qualificada de pesquisadores e professores de universidades podem criar soluções internas e tecnologias nacionais para os problemas que atingem todos os fabricantes de veículos híbridos e elétricos de forma igualitária.

Vaz et. al. também comentam sobre outras sugestões de incentivos que devem ser realizados para a alavancagem da tecnologia dos veículos elétricos no mercado brasileiro, como a utilização deste tipo de veículo em plataformas de compartilhamento de veículos, estudos sobre a criação de benefícios ao usuário de veículos elétricos em estacionamentos, pedágios e faixas exclusivas, além da utilização destes veículos para táxis e em frotas públicas, com o objetivo de torna-los comuns aos olhos da população, trazendo segurança ao consumidor que pensa em adquirir um veículo elétrico. Em conclusão, é proposta a integração do etanol em soluções eletrificadas, por meio dos veículos híbridos *flex*, buscando aproveitar a rede de distribuição e o desenvolvimento já realizados neste tipo de combustível no Brasil.

Sendo assim, a aplicação destas políticas públicas no Brasil tende a trazer maior visibilidade para o veículo elétrico no cenário automotivo nacional, de forma que os valores passam a ser mais competitivos, resultando em um maior número de vendas. Vale ressaltar que estes incentivos já foram comprovados como eficazes em países que os adota há mais de vinte anos, e que estas políticas não devem ser executadas de maneira isolada, mas sim de maneira conjunta, buscando atingir as metas otimistas traçadas pelos governantes.

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho, motivado pelo desenvolvimento tecnológico fomentado pelos veículos elétricos e pela atual situação mundial em que metas de emissões cada vez mais restritas são impostas, apresentou alternativas à maior eletrificação da frota de veículos brasileira por meio do estudo de kits de conversão de veículos a combustão em veículos elétricos e os veículos híbridos com a tecnologia *flex-fuel*.

Por meio da pesquisa em artigos, livros e publicações sobre o tema foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema, buscando situar os leitores em relação a conceitos e informações que servirão de base para a leitura deste trabalho. Sendo assim, foram abordados assuntos como um breve histórico dos veículos elétricos, os tipos de veículos elétricos e suas configurações e por fim o histórico da utilização do etanol como combustível no Brasil.

Por meio de análises de documentações fornecidas pela montadora Toyota e outros artigos relacionados ao tema, foram apresentadas as tecnologias presentes nos veículos híbridos da fabricante japonesa, assim como feito um comparativo entre o único veículo híbrido *flex-fuel* do mundo e seu equivalente com motor à combustão. Por conta de suas vantagens, o veículo híbrido *flex* se coloca como um elemento de transição entre a situação automobilística atual do Brasil e sua completa eletrificação, e por meio da infraestrutura de distribuição e abastecimento de etanol e todo o desenvolvimento já realizado ao redor da utilização deste combustível nos motores à combustão, o Brasil pode ser considerado um grande player e possuir grandes vantagens em relação a outros mercados.

Além disso, por meio da correta seleção de um veículo para ser convertido para elétrico e o correto dimensionamento podem trazer diversas opções aos consumidores, de forma que podem realizar as conversões comprando os componentes individualmente e montando em casa, ou por meio de oficinas especializadas. Por conta da popularização desta prática, o surgimento de empresas que oferecem ao mercado os kits de conversão já dimensionados e prontos para instalação e até mesmo empresas que realizam as conversões por meio da demanda do consumidor tendem a ser cada vez mais comuns.

Por fim, as políticas públicas de incentivos aos veículos elétricos que por mais de 20 anos vêm sendo praticadas em países da Europa, como a Noruega, e que servem de modelo para o resto do mundo foram apresentadas, de forma que puderam

ser comparadas com algumas políticas que foram realizadas ou estão em curso no Brasil. Desta forma, foi possível verificar que o Brasil ainda se encontra em um estágio inicial em relação à eletrificação de sua frota, defasados em relação a outros mercados.

Além disso, as ações de incentivo não possuem objetivos bem definidos e muitas vezes não possuem continuidade, não trazendo segurança aos consumidores que desejam comprar veículos elétricos em adquiri-los. Um exemplo é a falta de incentivo ao desenvolvimento de infraestrutura de recarga, a qual é primordial para criar uma confiança acerca do veículo elétrico. No que se refere às montadoras, a falta de incentivos não os motiva em desenvolver tecnologias localmente, o que faz com que os veículos sejam importados de outros países, e por meio das tributações acerca dos produtos importados, acabam tornando os valores praticados proibitivos para grande parte da população. Portanto, foram propostas ações de incentivo aos VEs, de forma que estas políticas não são independentes, devem ser executadas em conjunto, buscando a maior eletrificação da frota brasileira.

Para os leitores que tiverem interesse no assunto, alguns temas para trabalhos futuros podem ser sugeridos:

- Dimensionamento de componentes para um veículo convertido em elétrico;
- Estudo de viabilidade da implantação de veículos convertidos em elétricos na frota brasileira;
- Análise cinemática de um veículo híbrido *flex* em comparação com um veículo equivalente a combustão;
- Estudo de tecnologias presentes em veículos que ajudariam a aumentar a autonomia de veículos híbridos;
- Análise da influência das políticas públicas propostas neste trabalho no número de veículos elétricos na frota de automóveis brasileira.

## REFERÊNCIAS

- ABVE. **100 mil eletrificados já circulam no Brasil** – Associação Brasileira do Veículo Elétrico, 2022. Disponível em: <https://www.abve.org.br/100-mil-eletrificados-circulam-no-brasil/>. Acesso em: 01 out. 2022.
- ABVE. **IPVA – para veículos elétricos** - Associação Brasileira do Veículo Elétrico, 2022. Disponível em: <http://www.abve.org.br/ipva-para-veiculos-eletricos/>. Acesso em: 01 out. 2022.
- AEA. **Roadmap tecnológico automotivo brasileiro** – AEA, Associação Brasileira de Engenharia Automotiva, 2020. Disponível em: <https://aea.org.br/inicio/wp-content/uploads/2020/12/WhitePaperRoadmap.pdf>. Acesso em: 18 set. 2022.
- ACEA. **Electric vehicles: tax benefits & purchase incentives** – 2022. Disponível em: <https://www.acea.auto/files/Electric-Vehicles-Tax-Benefits-Purchase-Incentives-2022.pdf>. Acesso em: 01 out. 2022.
- ACEA. **Tax Guide 2022** – Disponível em: [https://www.acea.auto/files/ACEA\\_Tax\\_Guide\\_2022.pdf](https://www.acea.auto/files/ACEA_Tax_Guide_2022.pdf). Acesso em: 01 out. 2022.
- AUTOWORLD. **How to say goodbye to EV range anxiety** – Automotive World, 2021. Disponível em: <https://www.automotiveworld.com/articles/how-to-say-goodbye-to-ev-range-anxiety/>. Acesso em: 01 out. 2022.
- ALEIXO, Rafael A. **Análise do consumo de energia em veículos elétricos com base nas suas possíveis configurações**. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/16238>. Acesso em: 08 abr. 2022.
- ANTUNES, Afonso D. **Kit de conversão de veículos de combustão em veículos elétricos**. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/>. Acesso em: 08 abr. 2022.
- BARAN, Renato; LEGEY, Luiz F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. BNDES Setorial 33, 2010. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/?locale=pt\\_BR](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/?locale=pt_BR). Acesso em: 08 abr. 2022.
- BARBOSA, Nelson et. al. **Carro elétrico: desafio e oportunidade para o Brasil** – Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil, Cadernos Fórum Nacional 10, Instituto Nacional de Altos Estudos, INAE, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://www.inae.org.br/wp-content/uploads/2015/06/CF0010.pdf>. Acesso em: 01 out. 2022.
- BECK, Joao Carlos P. et al. **Células a combustível e seu uso veicular**. XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia COBENGE, Campina Grande, 2005. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/interna.php?ss=14&ctd=75>. Acesso em: 08 abr. 2022.

BOSCH. **VW e Bosch fecham parceria em projetos de inovação e descarbonização** – Bosch do Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.bosch-press.com.br/pressportal/br/pt/press-release-42691.html#:~:text=Campinas%20%E2%80%93%20A%20Volkswagen%20do%20Brasil,e%20a%20efici%C3%Aancia%20energ%C3%A9tica%20da>. Acesso em: 18 set. 2022.

BOSCH. **Veículos híbridos ganham espaço no mercado brasileiro** – Bosch do Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.bosch-press.com.br/pressportal/br/pt/press-release-39170.html>. Acesso em: 18 set. 2022.

BOTTURA, Celso P.; BARRETO, Gilmar. **Veículos Elétricos** – Biblioteca Central Unicamp, Campinas, 1989. Disponível em: <https://www.dsif.fee.unicamp.br/site/Livros/VE.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.

BRAVO, Diego M. et al. **Análise dos desafios para a difusão dos veículos elétricos e híbridos no Brasil**. XXII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva SIMEA, 2014. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/anlise-dos-desafios-para-a-difusao-dos-veiculos-eltricos-e-hbridos-no-brasil-8929>. Acesso em: 08 abr. 2022.

BUENO, Claudio. **Motores Elétricos: os desafios para obter altas potências** – AutoLivraria Best Cars, 2017. Disponível em: <https://autolivrraria.com.br/bc/mais/cons-tecnico/motores-eletricos-os-desafios-para-obter-altas-potencias/>. Acesso em: 23 set. 2022.

CANADIAN AUTOMOBILE ASSOCIATION. **Government Incentives** – 2022. Disponível em: <https://www.caa.ca/sustainability/electric-vehicles/government-incentives/>. Acesso em: 01 out. 2022.

CARRANZA, Francisco et al. **Norway, the most successfull market for electric vehicles** - World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), Barcelona, 2013. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6915005>. Acesso em: 1 out. 2022.

CASE STUDY, **Toyota Hybrid Synergy Drive** - Wroclaw University of Technology, 2011. Disponível em: [http://www.ae.pwr.wroc.pl/filez/20110606092430\\_HEV\\_Toyota.pdf](http://www.ae.pwr.wroc.pl/filez/20110606092430_HEV_Toyota.pdf). Acesso em: 16 set. 2022.

CAVAGLIANO, Laís. **Análise da viabilidade técnica e econômica da substituição de veículos a combustão interna por veículos elétricos híbridos no Brasil**. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Guaratinguetá, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/210997>. Acesso em: 08 abr. 2022.

CHIARADIA, Carlos Edilson. **Estudo da viabilidade da implantação de frotas de veículos elétricos e híbridos elétricos no atual cenário econômico, político, energético e ambiental brasileiro**. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista UNESP – Guaratinguetá, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/139203>. Acesso em: 08 abr. 2022.

CIRIACO, Riccardo. **Carros elétricos batem novo recorde com 86% de participação na Noruega** – InsideEVs, 2022. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/578355/vendas-carros-eletricos-noruega-2022/>. Acesso em: 01 out. 2022.

CONSONI, Flávia L. et al. **Roadmap Tecnológico para veículos elétricos leves no Brasil** – Promob-e, PNME, Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica - Brasília, 2019. Disponível em: [https://www.pnme.org.br/wp-content/uploads/2020/02/PROMOB-e-Relatorio\\_julho\\_2019.pdf](https://www.pnme.org.br/wp-content/uploads/2020/02/PROMOB-e-Relatorio_julho_2019.pdf). Acesso em: 18 set. 2022.

CONSONI, Flávia L. et. al. **Estudo de governança e políticas públicas para veículos elétricos** - Promob-e, PNME, Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica, Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.pnme.org.br/biblioteca/estudo-de-governanca-e-politicas-publicas-para-veiculos-eletricos/>. Acesso em: 21 out. 2022.

CONSTANTINO, Pedro Alexandre B. G. **Conversão de um veículo de combustão em um veículo elétrico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – Lisboa, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/5946>. Acesso em: 08 abr. 2022.

COPEL. **Copel Volt amplia eletrovia até Londrina e Joinville** – Companhia Paranaense de Energia, 2021. Disponível em: <https://www.copel.com/site/noticias/copel-volt-amplia-eletrovia-ate-londrina-e-joinville/>. Acesso em: 01 out. 2021.

COPEL. **Eletrovia da Copel dobra número de recargas em 2020** – Companhia Paranaense de Energia, 2022. Disponível em: <https://www.copel.com/site/noticias/eletrovia-da-copel-dobra-numero-de-recargas-em-2020/>. Acesso em: 01 out. 2022.

CORREIA, Eduardo Luiz. **A retomada do uso de álcool combustível no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, Juiz de Fora, 2007. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/poseconomia/teses-e-dissertacoes/>. Acesso em: 08 abr. 2022.

COSTA, Marcos De O. **Projeto de plataforma de análise de conversão de tração de veículos com motor a combustão interna para tração elétrica** – Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado em Sistemas Mecatrônicos, Departamento de Engenharia Mecânica – Brasília, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/19315>. Acesso em: 23 set. 2022.

DA COSTA, Washington. **Metodologia para conversão de veículos equipados com motores a combustão interna para tração elétrica: aplicação de motor síncrono de ímã permanente com fluxo magnético radial a um furgão** – Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UERJ, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <https://www.btdt.uerj.br:8443/handle/1/11676>. Acesso em: 23 set. 2022.

DE CASTRO, Bernardo H. R., FERREIRA, Tiago T. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas.** BNDES Setorial 32, 2010. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1764>. Acesso em: 08 abr. 2022.

DELGADO, Fernando et al. **Carros Elétrico – Cadernos FGV Energia.** Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/publicacao/caderno-de-carros-eletricos>. Acesso em: 08 abr. 2022.

DELGADO, Regina C.O.B, ARAUJO, Antonio S., JUNIOR, Valter J. Fernandes. **Properties of Brazilian gasoline mixed with hydrated etanol for flex-fuel technology.** Fuel Processing Technology, Natal, 2006. Disponível em: <https://arquivos.info.ufrn.br/arquivos/2009210033cbe1138535f3c5918825db/> Acesso em: 16 set. 2022

DOMINGUES, José M. et. al. **Eficiência energética, tributação e políticas públicas no Brasil: caso do veículo elétrico** – RIDB, Revista do Direito Brasileiro, Ano 2, nº2, 2013. Disponível em: [https://www.cidp.pt/revistas/ridb/2013/02/2013\\_02\\_01065\\_01101.pdf](https://www.cidp.pt/revistas/ridb/2013/02/2013_02_01065_01101.pdf). Acesso em: 01 out. 2022.

ECLASSICS – Disponível em: <https://www.e-classics.eu/en/>. Acesso em: 22 set. 2022.

ELECTRIC CAR CONVERTS – Disponível em: <https://www.electriccarconverts.com/>. Acesso em 22 set. 2022.

FERREIRA, João Vitor, **Por que esse GM EV1 transformado em híbrido e abandonado tem tanto valor?** Revista Quatro Rodas, 2021. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/por-que-esse-gm-ev1-transformado-em-hibrido-e-abandonado-tem-tanto-valor/>. Acesso em: 02 mai. 2022.

FORTUNATTI, Leo. **Impressões Renault Kwid E-Tech: o carro elétrico mais barato do Brasil.** InsideEVs, 2022. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/reviews/582637/avaliacao-renault-kwid-eletrico-brasil/>. Acesso em: 06 mai. 2022.

FORTUNATTI, Leo. **BMW i8 Roadster começa a ser vendido por R\$699.950.** Motor1, 2019. Disponível em: <https://motor1.uol.com.br/news/344796/bmw-i8-roadster-preco/>. Acesso em: 06 mai. 2022.

FUELTECH. **FTE – FuelTech Electric Power.** Disponível em: <https://fueltech.com.br/pages/fte>. Acesso em: 22 set. 2022.

GOLDENSTEIN, Marcelo et al. **Combustíveis alternativos e inovações no setor automotivo: será o fim da “era do petróleo”?** Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso em: 08 abr. 2022.

GONÇALVES, George A. C. **Revisão das tecnologias no powertrain de veículos elétricos e híbridos.** Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/62149>. Acesso em: 08 abr. 2022.



GOVERNO DO CANADÁ. **Incentives for purchasing zero-emission vehicles** – Transport Canada, 2022. Disponível em: <https://tc.canada.ca/en/road-transportation/innovative-technologies/zero-emission-vehicles/light-duty-zero-emission-vehicles/incentives-purchasing-zero-emission-vehicles>. Acesso em: 01 out. 2022.

GURGEL, Elifas. **Como converter seu carro para elétrico – um caso de sucesso**. Brasília, 2018. Disponível em: <https://cdn.awsli.com.br/>. Acesso em: 08 abr. 2022.

HANH, Pham T. H. et al. **Analysis and comparison of electric motor types for electric vehicles** – Journal of Science & Technology, Vol. 58, Número 2, Hanoi University of Industry, Hanoi, 2022. Disponível em: <https://jst-hau.vn/media/30/uffile-upload-no-title30797.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.

HOYER, K.G. **The History of Alternative Fuels in Transportation: The Case of Electric and Hybrid Cars**. Utilities Policy, Elsevier, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957178707000768?via%3Di> hub. Acesso em: 22 abr. 2022.

IANIS, **Global electric vehicles sales up 109% in 2021, Tesla leads with 14% share**. The Economic Times, 2022. Disponível em: <https://economictimes.indiatimes.com/industry/auto/auto-news/global-electric-vehicle-sales-up-109-in-2021-tesla-leads-with-14-share/articleshow/89590350.cms?from=mdr>. Acesso em: 02 mai. 2022.

Impressões: como anda e quanto custa o Fusca elétrico da FuelTech – Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/carros-eletricos/impressoes-como-anda-e-quanto-custa-o-fusca-eletrico-da-fueltech/>. Acesso em: 22 set. 2022.

JUNIOR, Wilian G., YU, Abraham. **As transformações do conhecimento no processo de inovação: um estudo multicascos no desenvolvimento da tecnologia flex-fuel no Brasil**. Revista de Gestão REGE – USP – São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.regeusp.com.br/> Acesso em: 16 set. 2022.

JUNIOR, José A. C.; SANTOS, Leandro B. **Estado e Indústria automobilística no Brasil: Análise das políticas Inovar-auto e Rota 2030** – Revista Entre Lugar – Programa de Pós-Graduação em geografia da UFGD – Dourados, 2020. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/12051/5729>. Acesso em: 22 set. 2022.

LAGUNA, Eduardo. **Volkswagen terá no Brasil centro de desenvolvimento do motor a bicomcombustível** – CNN Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/volkswagen-tera-no-brasil-centro-de-desenvolvimento-de-motor-a-bicomcombustivel/>. Acesso em: 18 set. 2022.

LARMINIE, James; LOWRY, John. **Electric Vehicle Technology Explained** – John Wiley & Sons, Second Edition, 2012. Disponível em: <http://www.iqytechnicalcollege.com/BAE%20685-Electric%20Vehicle%20Technology.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.

Legal Information Institute. **American Clean Energy and Security Act of 2009** – Universidade de Direito de Cornell, 2021. Disponível em: [https://www.law.cornell.edu/wex/american\\_clean\\_energy\\_and\\_security\\_act\\_of\\_2009](https://www.law.cornell.edu/wex/american_clean_energy_and_security_act_of_2009). Acesso em: 22 set. 2022.

LEITMAN, Seth; BRANT, Bob. **Build your own electric vehicle** – The McGraw-Hill Companies, Second Edition, 2009. Disponível em: <https://www.pdfdrive.com/build-your-own-electric-vehicle-e158733338.html>. Acesso em 23 set. 2022.

LEME, João Vitor, CONSONI, Flávia Luciane. **Tecnologias para os veículos a célula combustível: sinalizações a partir de dados de patentes**. Revista de empreendedorismo, negócios e inovação v.4 n.2, São Bernardo do Campo, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufabc.edu.br/index.php/reni/article/view/186>. Acesso em: 08 abr. 2022.

MANTOVANI, Carla Francine. **Análise cinemática e dinâmica para conversão de um VW Saveiro em veículo elétrico**. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Guaratinguetá, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/119795>. Acesso em: 08 abr. 2022.

MARTINS, Claudia do N. **Infraestrutura de recarga de bateria e subsídios e incentivos fiscais: condições chave para a difusão do carro elétrico** – Revista Desenvolvimento em Debate, v.4, n.1, p.35-55, UFRJ, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/dd/article/view/31896/18059>. Acesso em: 01 out. 2022.

MATSUBARA, Vitor. **Toyota Prius**. UOL Carros, 2021. Disponível em: <https://www.uol.com.br/carros/reportagens-especiais/toyota-prius-com-novo-corolla-ainda-vale-a-pena-comprar-o-irmao-futurista/#cover>. Acesso em: 06 mai. 2022.

Motor de corrente contínua e universal. Disponível em: [www.dt.fee.unicamp.br](http://www.dt.fee.unicamp.br). Acesso em: 22 set. 2022.

Mini de Mr. Bean celebra a primeira aparição na TV. – Disponível em: <https://motorshow.com.br/mini-de-mr-bean-celebra-primeira-aparicao-na-tv/>. Acesso em: 22 set. 2022.

NASSIF, Guilbert G. **Análise da performance e custos de diferentes configurações de um veículo a célula a combustível: o Hyundai Nexu**. Projeto de Graduação (Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica – UFRJ, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/rep-download.php?farquivo=monopoli10029040.pdf&fcodigo=4130>. Acesso em: 08 abr. 2022.

NASTARI, Plínio M. **Quarenta anos do carro a etanol**. Agroanalysis v.39 n. 12, FGV, 2019. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/view/80847>. Acesso em: 08 abr. 2022.

NEOCHARGE. **Conheça os tipos de carros elétricos**. Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos>. Acesso em: 02 mai. 2022.

OLIVEIRA, Túlio C. **Estudo da tecnologia empregada em veículos elétricos com autonomia estendida: comparativo experimental com veículos híbridos.** Dissertação (Bacharelado em Engenharia Automotiva) – Universidade de Brasília UNB – Brasília, 2018. Disponível em: <https://bce.unb.br/bibliotecas-digitais/repositorio/teses-e-dissertacoes/>. Acesso em: 08 abr. 2022.

OLSZEWSKI, Mitch. **Evaluation of the 2010 Toyota Prius Hybrid Synergy Drive System.** U.S. Department of Energy, 2011. Disponível em: <https://www.osti.gov/biblio/1007833>. Acesso em: 16 set. 2022.

PASSOS, Eduardo. **Impressões: Seres SF5 é SUV elétrico que não precisa de tomada por perto.** Revista Quatro Rodas, 2021. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/carros-eletricos/impressoes-seres-sf5-e-suv-eletrico-que-nao-precisa-de-tomada-por-perto/>. Acesso em: 06 mai. 2022.

PBE, **Programa Brasileiro de Etiquetagem veicular 2022** – Inmetro, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular/pbe-veicular-2022.pdf/view>. Acesso em: 16 set. 2022.

Placa Informativa Fusca FTE - **VW FUSCA FTE 1972.**

POMPERMAYER, Fabiano M. **Etanol e veículos elétricos: via de mão única ou dupla?** IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2010. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/radar/temas/industria/308-radar-n-07-etanol-e-veiculos-eletricos-via-de-mao-unica-ou-dupla>. Acesso em: 08 abr. 2022.

PORSCHE, **Taycan models.** Porsche do Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.porsche.com/brazil/pt/models/taycan/taycan-models/>. Acesso em: 06 mai. 2022.

R&T Staff, **Honda Insight Hybrid Rolls to a Halt,** Revista Road & Track, 2006. Disponível em: <https://www.roadandtrack.com/car-culture/a11941/honda-insight-hybrid-rolls-to-a-halt/>. Acesso em: 02 mai. 2022.

RENAULT, **Novo Renault Kwid E-Tech 100% elétrico.** Renault do Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.renault.com.br/veiculos-eletricos/kwid-e-tech.html>. Acesso em: 06 mai. 2022.

RFA – Renewable Fuels Association. **Approved in 9 out 10 cars today.** E15 and higher blends – RFA, 2020. Disponível em: <https://ethanolrfa.org/policy/e15-and-higher-blends> Acesso em: 16 set. 2022.

RISSO, Marcelo Luiz. **O desenvolvimento da indústria de veículos elétricos no Brasil: O papel das políticas públicas.** Dissertação (Mestrado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade – USP, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12139/tde-07022019-155215/en.php>. Acesso em: 08 abr. 2022.

SALDO, Roberto. **Escola Tesla Brasil – Curso de Conversão de carros elétricos** – 2021. Disponível em: <http://teslabrasil.com/apostila/>. Acesso em: 08 abr. 2022.

SAMPAIO, Nuno M. A. **Estudo da viabilidade técnica e econômica da conversão para veículo elétrico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Superior de Engenharia do Porto ISEP, Porto, 2012. Disponível em: <https://recipp.ipp.pt/>. Acesso em: 08 abr. 2022.

SANTOS, José C. F. **Análise do mercado de veículos elétricos e propostas para o melhorar**. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica, Porto, 2009. Disponível em: [https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/15616/1/DM\\_JoseSantos\\_2019\\_MEM.pdf](https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/15616/1/DM_JoseSantos_2019_MEM.pdf). Acesso em: 22 set. 2022.

SCHAUN, André. **O que é Mild Hybrid, sistema híbrido que dá uma forcinha para o motor e custa menos**. AutoEsporte, 2019. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2019/10/o-que-e-mild-hybrid-sistema-hibrido-que-da-uma-forcinha-para-o-motor-e-custa-menos.ghtml>. Acesso em: 05 mai. 2022.

SENADO NOTÍCIAS. **Protocolo de Kyoto** – Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/entenda-o-assunto/protocolo-de-kyoto>. Acesso em: 22 set. 2022.

SEKURIT PARTNER, **Veículos elétricos: conheça a história** - Sekurit Partner, 2021. Disponível em: <https://www.sekurit-partner.com.br/noticias/veiculos-eletricos-conhe%C3%A7a-historia>. Acesso em: 02 mai. 2022.

SINDIPEÇAS, **Relatório da Frota Circulante**. Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores – Sindipeças, 2021. Disponível em: <https://www.sindipecas.org.br/area-atuacao/?co=s&a=frota-circulante>. Acesso em: 06 mai. 2022.

SWINDON POWERTRAIN. **Classic Mini Electrification Kit** – Disponível em: <https://swindonpowertrain.com/products/classic-mini-kit/>. Acesso em: 22 set. 2022.

TAVARES, Nicolas. **Nissan e IPEN renovam parceria e carro elétrico a etanol avança**. InsideEVs, 2021. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/513975/nissan-carro-eletrico-etanol-ipen/>. Acesso em: 06 mai. 2022.

TOYOTA, **75 years of Toyota**. Toyota Motor Corporation, 2021. Disponível em: [http://www.toyota-global.com/company/history\\_of\\_toyota/75years/vehicle\\_lineage/car/id60012360/index.html](http://www.toyota-global.com/company/history_of_toyota/75years/vehicle_lineage/car/id60012360/index.html). Acesso em: 02 mai. 2022.

TOYOTA, **Inheriting hybrid Technologies**. Toyota Motor Corporation, 2017. Disponível em: <https://global.toyota/en/prius20th/innovation/tech/>. Acesso em: 02 mai. 2022.

TOYOTA, **Inheriting hybrid Technologies**. Toyota Motor Corporation, 2017. Disponível em: <https://global.toyota/en/prius20th/innovation/tech/>. Acesso em: 02 mai. 2022.

TOYOTA DO BRASIL, **Catálogo All New Prius 2016** – Toyota do Brasil, 2016. Disponível em: <https://www.lincetoyota.com.br/wp-content/uploads/2017/10/Catalago-Prius>. Acesso em: 16 set. 2022.

UNFCCC. **The Paris Agreement**. – United Nations Climate Change, 2015. Disponível em: [https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement?gclid=Cj0KCQjwhsmaBhCvARIsAlbEbH5l67xn9zzJD9Ma2GC0GgXgSE1RaR\\_AoT1RjHWTldBTR85m40KAV-EaAhc9EALw\\_wcB](https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement?gclid=Cj0KCQjwhsmaBhCvARIsAlbEbH5l67xn9zzJD9Ma2GC0GgXgSE1RaR_AoT1RjHWTldBTR85m40KAV-EaAhc9EALw_wcB). Acesso em: 22 set. 2022.

USP, **Caderno Técnico Colaborativo – Toyota Prius – Tecnologia Híbrida**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Sistemas Automotivos, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/acessar/>. Acesso em: 06 mai. 2022.

VAZ, Luiz Felipe H. et al. **Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento**. BNDES Setorial 41, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4284/1/BS%2041\\_Ve%C3%ADculos%20h%C3%ADbridos%20e%20el%C3%A9tricos\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4284/1/BS%2041_Ve%C3%ADculos%20h%C3%ADbridos%20e%20el%C3%A9tricos_P.pdf). Acesso em: 06 set. 2022.

VONBUN, Christian. **Impactos ambientais e econômicos dos veículos elétricos e híbridos plug-in: uma revisão da literatura**. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2015. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=26043#:~:text=Este%20Texto%20para%20Discuss%C3%A3o%20\(TD,gases%20nocivos%20%C3%A0%20sa%C3%BAde%20humana](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=26043#:~:text=Este%20Texto%20para%20Discuss%C3%A3o%20(TD,gases%20nocivos%20%C3%A0%20sa%C3%BAde%20humana). Acesso em: 08 abr. 2022.

**VW Gol quadrado receberá motor elétrico e visual inspirado no GTI** – Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/530806/vw-gol-quadrado-1994-eletrico/>. Acesso em: 22 set. 2022.

WEG. **WEG anuncia parceria tecnológica para converter veículos à combustão em veículos elétricos** – 2019. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/weg-anuncia-parceria-tecnologica-para-converter-veiculos-a-combustao-em-veiculos-eletricos>. Acesso em: 22 set. 2022.

XUE, X.D. et al. **Selection of electric motor drives for electric vehicles** – 2008 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), IEEE, Sydney, 2008. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4813059>. Acesso em: 23 set. 2022.

ZERAOULIA, Mounir et al. **Electric motor drive selection issues for HEV propulsion systems: a comparative study** – IEEE Transactions on vehicular technology, Vol. 55, Issue 6, 2006. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4012550>. Acesso em: 22 set. 2022.