



**RAFAEL NEVES RIBEIRO**

**VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL: UM PANORAMA ATUAL DO MERCADO DE  
ELETRIFICADOS NO PAÍS**

**VITÓRIA DA CONQUISTA  
2023**

**RAFAEL NEVES RIBEIRO**

**VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL: UM PANORAMA ATUAL DO MERCADO DE  
ELETRIFICADOS NO PAÍS**

Projeto Final de Curso (PFC) apresentado ao curso de graduação de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, campus de Vitória da Conquista, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Esp. Pablo Martins de Oliveira

**VITÓRIA DA CONQUISTA  
2023**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS  
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

N518 Neves Ribeiro, Rafael

VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL: UM PANORAMA ATUAL DO  
MERCADO DE ELETRIFICADOS NO PAÍS: / Rafael Neves  
Ribeiro; orientador Pablo Martins de Oliveira --  
Vitória da Conquista : IFBA, 2023.

81 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia  
Elétrica) -- Instituto Federal da Bahia, 2023.

1. Veículos Elétricos. 2. Meio Ambiente. 3.  
Mercado. 4. Infraestrutura. 5. Políticas Públicas. I.  
Martins de Oliveira, Pablo, orient. II. TÍTULO.

CDD/CDU



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA  
Av. Sérgio Vieira de Mello, 3150 - Bairro Zabelê - CEP 45078-900 - Vitória da Conquista - BA - www.portal.ifba.edu.br

## DOCUMENTAÇÃO

### VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL: UM PANORAMA ATUAL DO MERCADO DE ELETRIFICADOS NO PAÍS

**RAFAEL NEVES RIBEIRO**

A presente Monografia, apresentada em sessão realizada em 19 de junho de 2023, foi avaliada como adequada para a obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista, julgada aprovada em sua forma final pela Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Vitória da Conquista.

#### BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Pablo Martins de Oliveira (Orientador)  
IFBA campus de Vitória da Conquista

Prof. Me. Elvio Prado da Silva  
IFBA campus de Vitória da Conquista

Prof. Esp. Everard Lucas Silva Pradoso  
IFBA campus de Vitória da Conquista



Documento assinado eletronicamente por **PABLO MARTINS DE OLIVEIRA, Professor Efetivo**, em 29/06/2023, às 12:03, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **ELVIO PRADO DA SILVA, Professor Efetivo**, em 29/06/2023, às 19:21, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **EVERARD LUCAS SILVA CARDOSO, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT**, em 30/06/2023, às 06:18, conforme decreto nº 8.539/2015.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site [http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&acao\\_origem=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0) informando o código verificador **2981905** e o código CRC **FC1CA37B**.



## **AGRADECIMENTOS**

Meus agradecimentos vão, em primeiro lugar, ao meu orientador, Professor Pablo Martins de Oliveira que me auxiliou e me concedeu toda a ajuda possível para a produção deste trabalho. Agradeço também aos demais professores que tive durante meu período como graduando do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), campus de Vitória da Conquista – BA. Foram ensinamentos e experiências enriquecedoras para a minha formação.

Sou grato por todo o apoio da minha família, principalmente meus pais, Antônio Rogério e Ranússia, e o meu irmão, Alexandre Neves Ribeiro, que sempre me ajudaram desde minha educação inicial até esta minha formação. Agradeço a minha tia, Acácia Gondim, uma pessoa que tem dado ajuda e respaldo ao meu crescimento como pessoa e como profissional. Além deles, agradeço aos meus familiares que também me estenderam esse apoio e a todos mais por quem tenho carinho.

Agradeço a minha namorada, amiga e companheira, Manuella, que nesses últimos três anos tem sido meu grande auxílio e minha apoiadora em todas as minhas metas acadêmicas e profissionais.

Agradeço aos meus colegas que estiveram nessa mesma jornada em que estou, seja da graduação, como os colegas de estágio. Grato também ao estágio realizado na cidade de Brumado – BA, pela oportunidade e experiência de me profissionalizar e pelos conhecimentos da prática da Engenharia Elétrica. Estendo meus agradecimentos na área profissional também à empresa Ecoelétrica, na qual estou exercendo ainda mais o ofício da Engenharia Elétrica e mais experiências e aprendizados práticos me estão sendo acrescentados. Essas oportunidades foram e são impulsionadoras à minha formação e a essas sou grato.

## RESUMO

Em 2022, de acordo com o relatório do Balanço Energético Nacional, o setor de transportes no Brasil foi o principal responsável pela emissão de dióxido de carbono para a atmosfera, com 197,8 MtCO<sub>2</sub>. Por outro lado, o mesmo balanço aponta que a matriz elétrica brasileira é composta por 78,1% de fontes renováveis, que são menos agressivas à natureza. Dessa forma, a utilização de veículos elétricos em conjunto com o uso de fontes elétricas renováveis se mostra a alternativa mais viável para diminuir a emissão de dióxido de carbono para o meio ambiente. Por essa razão, este trabalho tem o objetivo de realizar um panorama da situação dos veículos elétricos no Brasil, identificando os avanços obtidos até então e analisando as possíveis melhorias para o maior desenvolvimento do setor. Para atingir esse propósito, foram utilizadas as principais referências bibliográficas voltadas ao mercado e normativa do setor automobilístico brasileiro. Através desse estudo, foi possível notar um avanço notável do Brasil nessa área, com um crescimento de 41561,54% nas vendas durante o período de 2012 a 2022, além da elaboração de diversas medidas públicas de incentivos nas três esferas governamentais. Por fim, ainda é necessário a criação de uma medida mais ampla, que favoreça principalmente a indústria local, para tornar o mercado brasileiro de veículos elétricos tão atrativo quanto os principais países do exterior.

**Palavras-chave:** Veículos elétricos; meio ambiente; mercado; infraestrutura; políticas públicas

## ABSTRACT

In 2022, according to the National Energy Balance report, the transportation sector in Brazil was the main emitter of carbon dioxide into the atmosphere, with 197.8 MtCO<sub>2</sub>. On the other hand, the same balance indicates that the Brazilian electricity matrix is composed of 78.1% renewable sources, which are less harmful to nature. Thus, the use of electric vehicles in conjunction with the use of renewable electric sources proves to be the most viable alternative to reduce carbon dioxide emissions into the environment. For this reason, this work aims to provide an overview of the situation of electric vehicles in Brazil, identifying the advancements achieved so far and analyzing possible improvements for the sector's further development. To achieve this purpose, the main bibliographic references focused on the Brazilian automotive market and regulations were used. Through this study, it was possible to observe a remarkable advancement in Brazil in this area, with a growth of 41561.54% in sales from 2012 to 2022, in addition to the development of various public incentive measures at the three government levels. Finally, it is still necessary to create a broader measure that primarily favors the local industry, in order to make the Brazilian electric vehicle market as attractive as the leading countries abroad.

**Keywords:** Electric vehicles; environment; market; infrastructure; public policies.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Emissões totais (2021) em MtCO <sub>2</sub> -eq.....	17
Figura 2 - Matriz Energética Nacional em 2021 .....	17
Figura 3 - Desenvolvimento da Energia Específica e Densidade de Energia das LIBs por célula (1991-2017) .....	27
Figura 4 - Princípio básico das baterias Íon - Lítio .....	28
Figura 5 - Comparação gráfica entre as diferentes tecnologias de baterias .....	34
Figura 6 - Principais modelos de EVs .....	37
Figura 7 - Diferentes métodos utilizados para recarga de um EV .....	37
Figura 8 - Padrões de conectores existentes no mercado .....	40
Figura 9 - Esquema de comunicação dos sistemas EVSC .....	46
Figura 10 - Ciclo de vida de uma bateria.....	48
Figura 11 - Vendas, em número absoluto, dos EVs ao longo dos anos.....	51
Figura 12 - Distribuição de Eletropostos em todo o território brasileiro .....	63

## LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Representação gráfica dos dados fornecidos pela Tabela 7 .....	53
Gráfico 2 - Representação gráfica dos dados fornecidos pela Tabela 8 .....	54
Gráfico 3 - Representação gráfica dos dados fornecidos pela Tabela 9 .....	56
Gráfico 4 - Divisão do setor brasileiro de veículos leves de acordo com o tipo de motor .....	56
Gráfico 5 - Modelos de HEVs mais vendidos no Brasil em 2022 .....	58
Gráfico 6 - Modelos de BEVs mais vendidos no Brasil em 2022.....	59
Gráfico 7 - Modelos de PHEVs mais vendidos em 2022 .....	59

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Custos da Gasolina, KWh e distância média percorrida por mês.....	18
Tabela 2 - Custos para veículo elétrico e a combustão.....	18
Tabela 3 - Parâmetros principais para os diferentes modelos de LIBs .....	30
Tabela 4 - Comparativo entre os principais modelos de baterias.....	33
Tabela 5 - Modos de carga - Padrão IEC-62196.....	39
Tabela 6 - Números de EVs vendidos em relação ao número total de veículos vendidos (2013-2020) .....	51
Tabela 7 - Emplacamentos de EVs leves ao longo dos anos de 2012-2022 no Brasil .....	52
Tabela 8 - Números de emplacamentos de BEVs ao longo dos anos de 2012-2022 no Brasil .....	54
Tabela 9 - Comparação do número de EVs vendidos em relação às vendas totais de veículos no Brasil ao longo dos anos de 2012-2022 .....	55
Tabela 10 - Vendas de EVs no Brasil em relação aos números totais para veículos comerciais, caminhões e ônibus .....	57
Quadro 1 - Características das Baterias.....	21
Quadro 2 - Química das baterias utilizadas nos veículos BEVs e PHEVs produzidos em 2017 .....	31
Quadro 3 - Normas técnicas acerca da Infraestrutura de recarga do Brasil.....	61
Quadro 4 - Distribuição de Eletropostos de carga rápida nos estados brasileiros ....	63
Quadro 5 - Políticas Públicas Federais Pró-mobilidade Elétrica no Brasil .....	66
Quadro 6 - Políticas públicas Estaduais Pró-mobilidade elétrica no Brasil .....	68
Quadro 7 - Isenção ou redução do IPVA sobre eletrificados.....	69
Quadro 8 - Políticas públicas Municipais Pró-mobilidade elétrica no Brasil .....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
ACEA	<i>European Automobile Manufacturers' Association</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
Ah	Ampère-hora
BEN	Balanço Energético Nacional
BEVs	<i>Battery electric vehicles</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRT	<i>Bus Rapid Transit</i>
CA	Corrente Alternada
CAMEX	Câmara de Comércio Exterior
CC	Corrente Contínua
CCS	<i>Combined Charging System</i>
Cd	Cádmio
Cd(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de Cádmio
Celesc	Centrais Elétricas de Santa Catarina
CERTI	Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras
CHAdeMO	<i>Charge de Move</i>
Copel	Companhia Paranaense de Energia
EDP	Energias de Portugal
EOL	<i>End of life</i>
ER-EVs	<i>Extended-range Electric Vehicles</i>
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>
EVs	<i>Electric Vehicles</i>
EVSC	<i>Electric Vehicles Smart Charging</i>
EVSE	<i>Electric Vehicles Supply Equipment</i>
FCEVs	<i>Fuel Cell Electric Vehicles</i>
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
G2V	<i>grid-to-vehicle</i>
GM	<i>General Motors</i>
H <sub>2</sub> O	Água

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico
HEVs	<i>Hybrid Electric Vehicles</i>
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IPVA	Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LABs	<i>Lead-acid batteries</i>
LEZ	<i>Low Emission Zones</i>
LIBs	<i>Lithium-ion batteries</i>
LiCoO <sub>2</sub>	Óxido de Cobalto de Lítio
LiFePO <sub>4</sub>	Fosfato de ferro e lítio
LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Óxido de Manganês e Lítio
LiNiCoAlO <sub>2</sub>	Óxido de alumínio, Cobalto, Níquel e Lítio
LiNiCoO <sub>2</sub>	Óxido de Cobalto, Manganês, Níquel e Lítio
Li-Po	<i>Polímero de Lítio</i>
Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	Titanato de Lítio
KPIs	<i>Key Performance Indicators</i>
KW	<i>kilowatt</i>
KWh	kilowatt-hora
MH	Hidreto de Metal
Ni-Cd	Níquel-Cádmio
Ni-MH	Níquel-hidreto Metálico
Ni(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de Níquel II
NiOOH	Hidróxido de Níquel III
Ni(OH) <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O	Hidróxido de Níquel II Hidratado
OH <sup>-</sup>	Íons Hidroxila
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
Pb	Chumbo
Pb-PbO <sub>2</sub>	Chumbo-Ácido
PbO <sub>2</sub>	Dióxido de chumbo
PbSO <sub>4</sub>	Sulfato de chumbo
PHEVs	<i>Plug-In Hybrid Electric Vehicles</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>

SLI	<i>Starting Lighting and Ignition</i>
SUV	<i>Sport Utility Vehicle</i>
V2G	<i>Vehicle-to-grid</i>
VRLA	<i>Valve Regulated Lead Acid</i>
W/kg	Watt/quilograma
Wh	Watt-hora
Wh/l	Watt-hora/litro
Wh/Kg	Watt-hora/quilograma

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 PROBLEMA</b> .....	<b>15</b>
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
3.1 OBJETIVO GERAL .....	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>4 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>16</b>
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	<b>19</b>
<b>6 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>20</b>
6.1 BATERIAS RECARREGÁVEIS .....	20
6.1.1 <i>Características</i> .....	20
6.1.2 <i>Tipos de Baterias</i> .....	21
6.1.2.1 Baterias de Chumbo-Ácido (Pb-PbO <sub>2</sub> ) .....	21
6.1.2.2 Baterias de Níquel-Cádmio (Ni-Cd) .....	24
6.1.2.3 Baterias de Níquel-hidreto metálico (Ni-MH) .....	25
6.1.2.4 Baterias de Íons de Lítio (Li-Ion) .....	26
6.1.2.5 Demais modelos e suas aplicações em veículos elétricos .....	31
6.1.2.6 Comparativo .....	33
6.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS (EVs) .....	34
6.2.1 <i>Tipos de EVs</i> .....	35
6.2.2 <i>Infraestrutura de Recarga</i> .....	37
6.2.2.1 Métodos e Modos de Recarga .....	37
6.2.2.2 Padrões de Conectores .....	40
6.2.2.3 Tipos de Carregadores .....	42
6.2.3 <i>Ciclo de utilização dos EVs</i> .....	44
6.2.3.1 Extração e Produção das Baterias .....	44
6.2.3.2 Uso durante a sua vida útil .....	45
6.2.3.3 Processo de descarte e reciclagem .....	47
6.2.3 <i>Panorama do mercado internacional</i> .....	49
<b>7 VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL</b> .....	<b>52</b>
7.1 PANORAMA ATUAL DO MERCADO DE EVs NO BRASIL .....	52
7.2 INFRAESTRUTURA DE RECARGA PÚBLICA NO BRASIL .....	60
7.2.1 <i>Regulação da Infraestrutura de Recarga</i> .....	60

<i>7.2.2 Panorama atual da Infraestrutura pública de recarga</i> .....	62
<b>7.3 INCENTIVOS PÚBLICOS</b> .....	66
<i>7.3.1 Medidas públicas federais</i> .....	66
<i>7.3.2 Medidas públicas estaduais</i> .....	68
<i>7.3.3 Medidas públicas municipais</i> .....	71
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	74
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	76

## 1 INTRODUÇÃO

A história dos veículos elétricos (EVs - do inglês *Electric Vehicles*) é tão antiga quanto os carros a combustão. Sabe-se que na virada do século XX os veículos a motor nos Estados Unidos já possuíam três opções: combustão, vapor e elétrico. Todavia, nessa época o cavalo ainda era o principal meio de locomoção utilizado pelos americanos. Entretanto, conforme a economia ia crescendo, eles iam migrando para o veículo a motor. Nessa época, já era evidente que a melhor opção era o carro elétrico, pois o carro a combustão exigia uma maior força braçal devido ao uso da manivela, e o carro a vapor levava cerca de uma hora em seu processo de inicialização, além de precisar ser reabastecido com água constantemente. Por sua vez, o carro elétrico apresentava como grande trunfo: um motor mais eficiente, prático e silencioso. Por consequência disso, estima-se que na virada do século cerca de um terço de todos os veículos americanos eram elétricos (MATULKA, 2014).

O sucesso dos carros elétricos era evidente, entretanto, logo no início do século XX, um duro golpe foi desferido a esse setor. A produção em massa do modelo T por Henry Ford resultou em maior oferta e, no consequente, barateamento do carro a combustão. Além disso, em 1912 foi introduzindo o arranque elétrico, que acabou eliminando a necessidade da manivela para a partida dos carros movidos a gasolina. Por fim, por volta de 1920 as boas condições das estradas juntamente com a descoberta de petróleo no Texas, propiciaram ainda mais o desenvolvimento dos carros a combustão (MATULKA, 2014).

Mesmo com a dominância dos veículos a combustão, alguns modelos elétricos continuavam a aparecer no mercado. No Brasil, o primeiro modelo 100% eletrificado surgiu em 1974, com o Itaipu E150, da fabricante nacional Gurgel. Porém, se atualmente os carros elétricos ainda sofrem com uma série de desafios para se estabelecerem, naquela época a situação era muito mais complexa. As baterias eram feitas de chumbo-ácido, o que resultava em um maior peso, menor autonomia e potência quando comparadas com as baterias atuais. Para se ter uma ideia, o peso total do veículo (460 kg) era basicamente ocupado pelas baterias, que pesavam 320 kg e entregavam apenas 3,2 kW (o equivalente a 4,2 cv), 50 km de autonomia, além de levar cerca de 10 horas para a recarga. Por esses problemas, o veículo deixou de ser fabricado ainda como um protótipo, tendo vendido apenas 27 unidades. A Gurgel ainda buscou realizar mais investimentos para melhorar o desempenho dos veículos

e chegou a lançar o furgão elétrico Itaipu E400, porém a falta de incentivos por parte do governo federal acabou sendo preponderante para a decisão da empresa em desistir dos eletrificados. (SCHAUN, 2021).

No exterior, a situação só começou a mudar devido às mudanças climáticas ocasionadas pelo efeito estufa, que motivou uma busca constante por soluções menos poluentes nas mais variadas esferas da humanidade (BARAN; LEGEY, 2011). Além disso, o desenvolvimento tecnológico associado com a preocupação com o alto consumo energético do setor de transporte, acabou por reunir as condições necessárias para o retorno dos carros elétricos (CASTRO; FERREIRA, 2010).

Um grande obstáculo histórico para a ascensão desse modelo são as baterias, principalmente devido ao seu alto custo e baixa autonomia. Porém, segundo um estudo realizado pela BloombergNEF em 2020, o preço da bateria de íon-lítio já reduziu cerca de 89% quando comparado a 2010. Esse estudo revelou ainda que, devido aos avanços tecnológicos, estima-se que em 2040 os carros elétricos corresponderão a 58% das vendas internacionais de carros de passeio e 31% da frota total de carros.

## **2 PROBLEMA**

Apesar do grande otimismo quanto ao avanço do segmento, no Brasil a situação ainda é um pouco complexa. A diferença é perceptível quando se compara a quantidade de emplacamentos de carros elétricos recarregáveis do Brasil com a Europa. Nos países europeus, segundo dados da Associação Europeia de Fabricantes de Automóveis (ACEA), a venda desse tipo de carro, em 2021, é responsável por cerca de 18% do total de carros vendidos. No Brasil, segundo dados da Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE) e da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), esse número corresponde a apenas 1%. É evidente que haverá diferenças nessa comparação devido ao poder de compra de um cidadão europeu médio ser maior do que o brasileiro. Entretanto, a alta discrepância nos números mostram que os desafios do Brasil para o maior desenvolvimento da frota de veículos elétricos vão além do poder aquisitivo da população.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um panorama da situação dos veículos elétricos no Brasil, identificando os avanços obtidos até então e analisando as possíveis melhorias para o maior desenvolvimento do setor.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a atual situação do mercado de eletrificados no Brasil;
- Enunciar as normas regulatórias do mercado de recarga das baterias utilizadas nos veículos elétricos;
- Identificar o estado atual e os avanços com relação a infraestrutura de recarga;
- Discorrer sobre as políticas públicas das três esferas governamentais aplicadas no setor de mobilidade elétrica;
- Expor as melhorias que devem ser realizadas para a ampliação do mercado de veículos elétricos.

### 4 JUSTIFICATIVA

No Brasil, segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2022, o setor de transportes foi o principal responsável pela emissão de dióxido de carbono para a atmosfera, com cerca de 197,8 MtCO<sub>2</sub> (Milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente). A Figura 1 mostra inclusive que houve um aumento de 12,4 % no número de emissões baseadas em dióxido de carbono em relação ao ano de 2020, o que representa em números totais 445,4 MtCO<sub>2</sub>.

Por outro lado, o mesmo balanço apontou que em 2021 a matriz elétrica brasileira foi composta por 78,1% de fontes renováveis, as quais são menos agressivas à natureza quando comparadas com as termoeletricas baseadas em combustíveis fósseis, conforme mostrado na Figura 2. É importante salientar que a taxa de renováveis para o ano de 2021 foi prejudicada devido à escassez de chuvas em muitas regiões brasileiras, o que acabou impactando diretamente as fontes

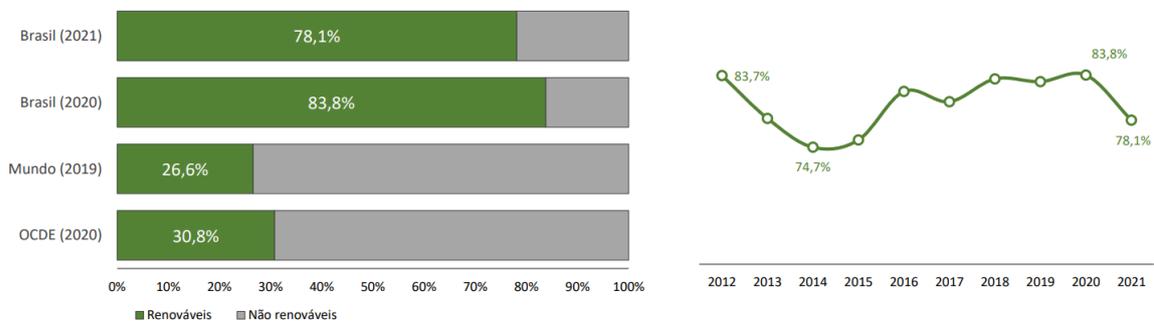
hídricas. Por esse motivo, houve uma redução na porcentagem de fontes renováveis quando comparado ao ano de 2020, em que houve uma taxa recorde de 83,8%.

Figura 1 - Emissões totais (2021) em MtCO<sub>2</sub>-eq



Fonte: EPE (2022)

Figura 2 - Matriz Energética Nacional em 2021



Fonte: EPE (2022)

Através dos dados citados, é possível inferir que a utilização de carros elétricos em conjunto com a matriz energética renovável do Brasil mostra-se uma alternativa viável para diminuir a emissão do setor de transportes. Porém, um dos grandes obstáculos enfrentados pelos carros elétricos no Brasil é o seu alto custo. Em fevereiro de 2023, de acordo com a Tabela Fipe, o carro puramente elétrico mais barato foi o JAC e-JS1 (R\$ 145.900,00), mais que o dobro do Renault KWID Zen 1.0 Flex (R\$ 58.990,00), que é, atualmente, o carro mais barato no Brasil.

A Tabela 1 realiza uma comparação de custos entre os dois modelos. Para isso, será utilizado os seguintes parâmetros: custo médio nacional da gasolina (PETROBRAS, 2023), o custo do kWh convencional das concessionárias de energia

(ANEEL, 2023) e a distância média percorrida por um brasileiro no primeiro ano de uso do seu veículo (KBB, 2019).

Tabela 1 - Custos da Gasolina, KWh e distância média percorrida por mês

<b>Custo da Gasolina</b>	<b>Custo do KWh</b>	<b>Distância média percorrida (Mensal)</b>
R\$ 5,40	R\$ 0,703	1075 Km

Fonte: Elaboração própria, com base em PETROBRAS (2023), ANEEL (2023) e KBB(2019).

Em seguida, utilizando o consumo do carro elétrico (JAC, 2023) e do carro a combustão (RENAULT, 2023) é construída a Tabela 2, que representa os custos para cada veículo.

Tabela 2 - Custos para veículo elétrico e a combustão

<b>Modelo</b>	<b>Consumo</b>	<b>Gasto Mensal</b>	<b>Gasto Anual</b>
JAC e-JS1	10 km/KWh	R\$ 75,57	R\$ 906,87
Renault KWID Zen 1.0 Flex	15,3 km/l	R\$ 379,41	R\$ 4552,92

Fonte: Elaboração própria, com base em JAC (2023) e RENAULT (2023)

A partir da Tabela 2, é possível concluir que o carro elétrico proporciona uma economia anual de R\$ 3646,05. Porém, para comprar o modelo da JAC é preciso desembolsar cerca de R\$ 86.910,00 a mais que o KWID. Em outras palavras, o retorno do investimento irá levar mais de 20 anos. Deve-se ressaltar que a comparação realizada não leva em conta custos de manutenção e também não considera o fato que o veículo elétrico de entrada possui um maior desempenho quando comparado ao veículo de combustão de entrada. Há também a variação da moeda ao longo dos anos, porém a alta discrepância de valores entre modelos de entrada ajuda a mostrar que o carro elétrico ainda não é uma opção tão viável no Brasil.

É preciso considerar também que a recarga do veículo elétrico pode ser realizada de forma gratuita em estações públicas. Além disso, muitos proprietários de Evs possuem painéis fotovoltaicos instalados em suas residências o que acaba reduzindo o custo de recarga a zero. Porém, mesmo desconsiderando o gasto com a

energia elétrica, levaria mais de 19 anos para obter o retorno do investimento desse tipo de veículo.

Deve-se ressaltar que a preocupação com meio ambiente é algo que, de fato, boa parte dos brasileiros colocam na balança na hora de comprar determinado bem. Todavia, é irreal pensar que uma pessoa fará um sacrifício financeiro muito grande para comprar um produto apenas por questões ambientais, sem levar em conta as suas condições econômicas. Desse modo, é notória a importância de um estudo na área a fim de identificar as principais medidas públicas que estão sendo adotadas até então e as melhorias que devem ser feitas para estimular um maior consumo de carros elétricos no país.

## **5 METODOLOGIA**

Inicialmente, será realizado um estudo bibliográfico acerca de todo o universo dos veículos elétricos. Esse capítulo se dividirá em dois tópicos principais: O primeiro tratará sobre os tipos mais predominantes das baterias empregadas como motores dos EVs. Ao final desse tópico, será elaborado um quadro comparativo entre as baterias, analisando-as com base em seus parâmetros mais relevantes.

O segundo tópico irá descrever os carros elétricos em si, separando-os de acordo com a tecnologia empregada em seus motores. Também será descrito os métodos e modos utilizados para a recarga desses veículos. Além disso, será realizado um estudo sobre o ciclo de vida de um EV, desde a sua fabricação passando pelo seu uso até o descarte e a reciclagem do seu principal componente. Por fim, será feito um panorama atual sobre o mercado internacional e os principais incentivos dos governos com relação aos EVs.

A análise do tema se iniciará no capítulo seguinte, com o primeiro tópico trazendo o panorama atual do mercado de eletrificados. Para isso serão utilizados tabelas e gráficos, baseados nas principais referências no mercado automobilístico brasileiro, com o intuito de comparar os avanços nas vendas, os preços e os modelos mais vendidos até então. O segundo tópico irá analisar a infraestrutura do Brasil no que tange aos EVs, para tal fim serão identificadas as normas que regulam esse setor e também será analisada a atual situação nas diferentes regiões brasileiras. O tópico seguinte buscará identificar as principais medidas públicas que estão sendo tomadas para a maior implementação dos veículos elétricos no Brasil.

Para tal intuito, serão utilizadas as principais referências nacionais, baseadas em leis, decretos, medidas provisórias, projetos e metas das três esferas governamentais. Por fim, a partir de todas essas informações, serão feitas as considerações finais do trabalho.

## **6 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **6.1 BATERIAS RECARREGÁVEIS**

A bateria pode ser definida como um conjunto de uma ou mais células unitárias (pilhas) capazes de transformar, através de uma reação de oxidorredução, energia química em energia elétrica e vice-versa (FREITAS, 2012). Sua constituição básica é formada por eletrodos, eletrólitos e demais materiais que são inseridos para controlar as reações químicas dentro dela. Os eletrólitos podem ser ácidos ou bases, variando conforme a aplicação. Por outro lado, os eletrodos são compostos por uma série de metais pesados, que podem acarretar em sérios impactos ao meio ambiente se descartados de forma incorreta (WOLFF; CONCEIÇÃO, 2011).

Em relação a sua classificação, as baterias podem ser divididas em dois grandes grupos: as primárias, aquelas que devem ser descartadas assim que houver a descarga. Fazem parte desse grupo as baterias utilizadas em relógios, calculadoras, brinquedos e etc.

E as baterias secundárias, que possibilitam a reversão das reações químicas, o que faz com que seja possível a sua recarga (WOLFF; CONCEIÇÃO, 2011). Essas baterias possibilitam uma série de aplicações, que vão desde o uso em equipamentos portáteis, como celulares, telefones sem fio, *laptops*, até o uso em veículos convencionais e elétricos (FREITAS, 2012).

#### **6.1.1 Características**

De acordo com Sanguesa et. al. (2021), todas as baterias possuem características principais que acabam auxiliando na identificação das suas vantagens e também na sua melhor aplicação. Todos esses parâmetros, bem como as suas descrições, podem ser visualizados no Quadro 1.

Quadro 1 - Características das Baterias

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO
Capacidade	Quantidade máxima de energia que pode ser extraída sob certas condições. A sua unidade pode ser expressa em Ampère-hora (Ah) ou Watt-hora (Wh). Sendo a última mais comum em carros elétricos.
Estado da Carga	Diz respeito ao estado da bateria em relação a sua carga total.
Densidade de Energia	A energia que uma bateria é capaz de fornecer por unidade de volume. A sua unidade pode ser expressa por Watt-hora/litro (Wh/l).
Energia específica	Essa característica muitas vezes também é descrita como densidade de energia por alguns autores, pois refere-se a energia que uma bateria é capaz de fornecer por unidade de massa. Sua unidade é expressa por Watt-hora/quilograma (Wh/kg).
Potência Específica	Potência que uma bateria é capaz de fornecer por unidade de peso (W/kg).
Ciclo de Carga	Uma bateria completa um ciclo quando é descarregada completamente após uma carga total.
Vida Útil	Refere-se a quantos ciclos de carga uma bateria é capaz de suportar.
Resistência Interna	Resistência dos componentes internos da bateria a transmissão de energia elétrica.
Eficácia	Porcentagem da potência fornecida pela bateria em relação a carga total.

Fonte: Autoria Própria, com base em SANGUESA et. al. (2021)

Com base nas suas características, é possível conhecer os principais indicadores de desempenho (KPIs - do inglês *Key Performance Indicators*) das baterias. Esses indicadores são constituídos por todos os aspectos chaves que tornam uma bateria atraente para a indústria e consumidores (WANG et.al.,2016).

Desse modo, para os EVs são considerados KPIs centrais: boa densidade energética, boa capacidade de descarga, ser uma tecnologia segura e fiável, possuir um longo tempo de vida útil, ter um custo baixo, além de causar o menor impacto ambiental possível (FREITAS, 2012).

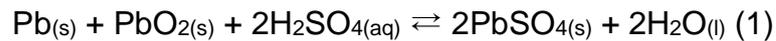
## 6.1.2 Tipos de Baterias

### 6.1.2.1 Baterias de Chumbo-Ácido (Pb-PbO<sub>2</sub>)

As baterias de Chumbo-Ácido (LABs - do inglês *Lead-Acid batteries*) estão no mercado há mais de 150 anos. O primeiro modelo de LAB foi proposto pelo cientista francês Gaston Planté, que utilizou duas folhas de chumbo (enroladas em um formato espiral e separadas por tiras de borracha), as mergulhou em uma solução de ácido

sulfúrico e aplicou uma corrente contínua entre elas. Desde então, as células de chumbo passaram por aprimorações no seu projeto, porém sempre mantendo a sua concepção química (GARCHE; MOSELEY; KARDEN, 2015).

Nas LABs, o dióxido de chumbo  $PbO_{2(s)}$  reage com o ácido sulfúrico  $H_2SO_{4(aq)}$  durante o processo de descarga no cátodo, produzindo sulfato de chumbo  $PbSO_{4(s)}$  e água  $H_2O_{(l)}$ . Por sua vez, no ânodo, o chumbo  $Pb_{(s)}$  reage com íons sulfato formando o sulfato de chumbo. A Equação 1 apresenta a reação global das baterias de chumbo ácido, cujo os produtos finais são a água e o sulfato de chumbo (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).



Conforme uma LAB se descarrega, o ácido sulfúrico é consumido e mais água é produzida. Além disso, o potencial de circuito aberto para essa reação varia de acordo com a concentração de ácido e temperatura. Por exemplo, em temperatura ambiente, um único par de eletrodos fornece uma tensão de 2,15V no estado carregado, e 1,98V quando descarregado. Diante disso, a densidade do eletrólito acaba sendo utilizada para verificar o estado da bateria de chumbo nas suas aplicações. Caso seja necessário recarregar a bateria, o sulfato de chumbo será reconvertido a chumbo no ânodo e a dióxido de chumbo no cátodo (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

Uma das grandes vantagens das baterias de chumbo-ácido é a sua grande gama de aplicações, sendo utilizadas em dispositivos de comunicação, sistemas telefônicos, ferramentas elétricas, sistemas de armazenamento de energia e de emergência, além da sua reconhecida aplicação nos automóveis elétricos e a combustão. Toda essa variedade de aplicações pode ser explicada pela fabricação relativamente simples e barata, fornecendo um desempenho e vida útil satisfatório para pequenos e grandes projetos (LINDEN; REDDY, 2002).

De acordo com a sua aplicação, as LABs podem ser classificadas em quatro tipos: arranque, reguladas por válvula, tracionárias e estacionárias. As baterias de arranque ou automotivas são encarregadas pelo fornecimento da energia para a combustão interna do motor, além de prover o fornecimento da energia para o sistema elétrico do veículo quando o seu motor não está em funcionamento. Por esse motivo,

também são chamadas de SLI (do inglês - *Starting Lighting and Ignition*), que podem ser divididas em dois tipos: baterias ventiladas e baterias seladas (CARNEIRO et. al., 2017).

O primeiro caso utiliza grades de chumbo-antimônio (Pb-Sb) que ocasionam uma maior perda de água devido a decomposição do hidrogênio. Desse modo, é preciso que haja a recomposição de água para que não ocorra um superaquecimento. Por sua vez, as baterias seladas, como o nome já diz, não permite o acesso ao eletrólito, possuindo grades compostas de chumbo-cálcio. Essa liga, diferente da anterior, apresenta um maior sobrepotencial, o que ocasiona a redução dos gases e consequentemente a redução da perda de água (CARNEIRO et. al., 2017).

Sobre o segundo tipo, as baterias reguladas por válvula (VRLA - do inglês *Valve Regulated Lead Acid*), podem ser consideradas como a última geração das baterias de arranque. Nesse caso, o eletrólito não é líquido, podendo ser imobilizado em gel ou absorvido por um separador de microfibras de vidro. O grande objetivo da bateria VRLA é diminuir a manutenção ao não precisar da reposição de água, pois caso o nível dos gases no interior da bateria atinja um nível alarmoso, uma válvula existente irá se abrir e os gases serão eliminados (CARNEIRO et. al., 2017).

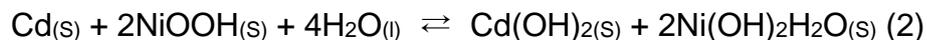
Já o terceiro tipo, as baterias tracionárias ou de tração, necessitam de mais potência, energia e um ciclo de vida longo, principalmente quando operam em regime de descarga profunda. Para prover tudo isso, são utilizadas placas de maior espessura e massa ativa de alta densidade. Além disso, algumas baterias deste tipo utilizam placas positivas tubulares em conjunto com placas negativas planas, o que diminui a corrosão de grade e aumenta a vida útil da bateria. Suas principais aplicações são voltadas para o setor industrial (empilhadeiras e prateleiras elétricas) e nos carros elétricos em geral (CARNEIRO et. al., 2017).

Com relação ao último tipo, as baterias estacionárias, são utilizadas como fonte de energia de *backup*, sendo aplicadas nos mais diversos sistemas de emergência. Por exemplo: *no-breaks*, iluminação de emergência, alarmes, centrais telefônicas, hospitais e etc. Apresentam placas mais espessas e pesadas com alta densidade com o intuito de prolongar a sua vida útil. Além disso, como se trata de uma bateria que passa a maior parte do tempo carregada, possui uma maior concentração de eletrólito quando comparada às demais baterias, apresentando uma densidade na faixa de 1200g/l - 1220g/l (CARNEIRO et. al., 2017).

Por fim, cabe destacar que o chumbo e o ácido sulfúrico são dois materiais que estão sujeitos a normas ambientais e de segurança. Grandes concentrações de chumbo no organismo humano podem acarretar em fraqueza, perda de memória, dificuldade de concentração e comprometimento das funções renais e reprodutora. Por sua vez, o ácido sulfúrico é altamente corrosivo, podendo ocasionar a cegueira, caso haja contato com os olhos, e levar a morte em caso de ingestão (GARCHE; MOSELEY; KARDEN, 2015).

#### 6.1.2.2 Baterias de Níquel-Cádmio (Ni-Cd)

As baterias de Níquel-Cádmio (Ni-Cd) foram desenvolvidas originalmente pelo sueco Waldemar Jungner em 1899. Sua concepção química se baseia em um ânodo constituído por um liga de cádmio e ferro e um cátodo de hidróxido de níquel III, que são imersos em uma solução aquosa de hidróxido de potássio (meio alcalino). Desse modo, durante o processo de descarga, o cádmio metálico  $Cd_{(s)}$  é oxidado a hidróxido de cádmio  $Cd(OH)_{2(s)}$  no ânodo. Por sua vez, no cátodo, o hidróxido de níquel III  $NiOOH_{(s)}$  é reduzido a hidróxido de níquel II hidratado  $Ni(OH)_2H_2O_{(s)}$ . A Equação 2 representa a equação global resultante das reações no cátodo e ânodo, destacando-se que estas reações são reversíveis (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).



Com relação a sua construção, boa parte das baterias Ni-Cd são seladas para evitar o vazamento do eletrólito. Nos demais casos, as baterias dispõem de válvulas de segurança para a descompressão em situações de vazamento (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

As baterias Ni-Cd possuem uma célula secundária que pode atingir até 1,4 V quando está totalmente carregada, porém se destaca por possuir o dobro da densidade de energia quando comparada a tecnologia de chumbo-ácido. Essa característica permite que essa bateria seja uma ferramenta altamente portátil. Além disso, são robustas e possuem um baixo custo de manutenção, dispõem de alta durabilidade de ciclos, e são uma das poucas baterias que podem ser carregadas de maneira ultra-rápida com pouco estresse (JEYASEELAN et. al, 2020).

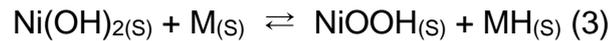
Com relação às desvantagens, o efeito memória é uma das grandes limitações das baterias Ni-Cd. Isto ocorre quando há ciclos contínuos de carga e descarga em um mesmo nível. Nessa situação, a bateria tende a “memorizar” o ponto da recarga, promovendo uma queda de tensão abrupta sempre que a bateria chegar nesse nível. Em outras palavras, a bateria se comporta como se estivesse descarregada devido a formação de cristais nos níveis não utilizados, o que acaba impedindo que a bateria se descarregue completamente (JEYASEELAN et. al, 2020).

As baterias Ni-Cd apresentam uma energia específica e tensão de célula relativamente baixa, principalmente em comparação com as tecnologias mais avançadas (JEYASEELAN et. al, 2020). Também é preciso ressaltar que o cádmio, assim como o chumbo, é um metal pesado altamente tóxico e até mais caro quando comparado a tecnologia anterior. Por esse motivo, as baterias de Níquel-Cádmio estão sendo substituídas pelas baterias de níquel-hidreto metálico (SANGUESA et. al, 2021).

#### 6.1.2.3 Baterias de Níquel-hidreto metálico (Ni-MH)

A comercialização das baterias de Níquel-Hidreto metálico (Ni-MH) teve início em 1990, cerca de 90 anos após o desenvolvimento da bateria de níquel-cádmio. Sua construção apresenta similaridades com a tecnologia anterior. A principal diferença é que para o material ativo negativo, as baterias Ni-Mh utilizam hidrogênio absorvido em liga metálica ao invés do cádmio utilizado nas baterias Ni-Cd (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

Uma célula de Ni-Mh consiste, então, de um eletrodo positivo de hidróxido de níquel e de um eletrodo negativo de liga metálica de hidrogênio. Durante o carregamento, no ânodo, ocorre uma reação entre a liga de armazenamento e água para formar íons hidroxila  $\text{OH}^-$  e hidreto de metal  $\text{MH}_{(s)}$ . Por sua vez, no cátodo, ocorre a oxidação de hidróxido de níquel II  $\text{Ni}(\text{OH})_{2(s)}$ , que produz o hidróxido de níquel III  $\text{NiOOH}_{(s)}$ . A Equação 3 representa a equação global resultante das reações no cátodo e ânodo, destacando-se que estas reações são reversíveis e que o hidrogênio se move sem nenhuma participação do eletrólito nesta equação geral (ARYA; VERMA, 2020).



As baterias Ni-MH apresentam algumas vantagens interessantes, principalmente quando comparadas com a sua antecessora Ni-Cd. Por exemplo, possuem cerca de 50% a mais de densidade de energia em relação à tecnologia anterior, além de apresentarem flexibilidade da temperatura de operação e carregamento rápido, o que faz dessa bateria uma opção interessante para os EVs. Porém, a característica mais favorável desse tipo de bateria é a não utilização de metais pesados (chumbo, cádmio, mercúrio e etc), o que faz com que essa aplicação seja mais segura em caso de acidente pelo fato de utilizar material ativo menos danoso ao meio ambiente (ARYA; VERMA, 2020).

Um dos grandes obstáculos dessas baterias é a sua vida útil limitada, pois o seu desempenho e eficiência começam a diminuir na faixa de 200-300 ciclos, especialmente quando submetidas a altas correntes de carga. A sua tensão de célula apresenta um valor semelhante ao seu correspondente Ni-Cd, ou seja, um valor baixo principalmente quando comparado com as tecnologias mais recentes. O efeito memória também se faz presente, porém de maneira mais branda. Em relação ao custo, as baterias Ni-MH são ainda mais caras em relação a Ni-Cd, porém mais baratas que as baterias de Lítio (ARYA; VERMA, 2020).

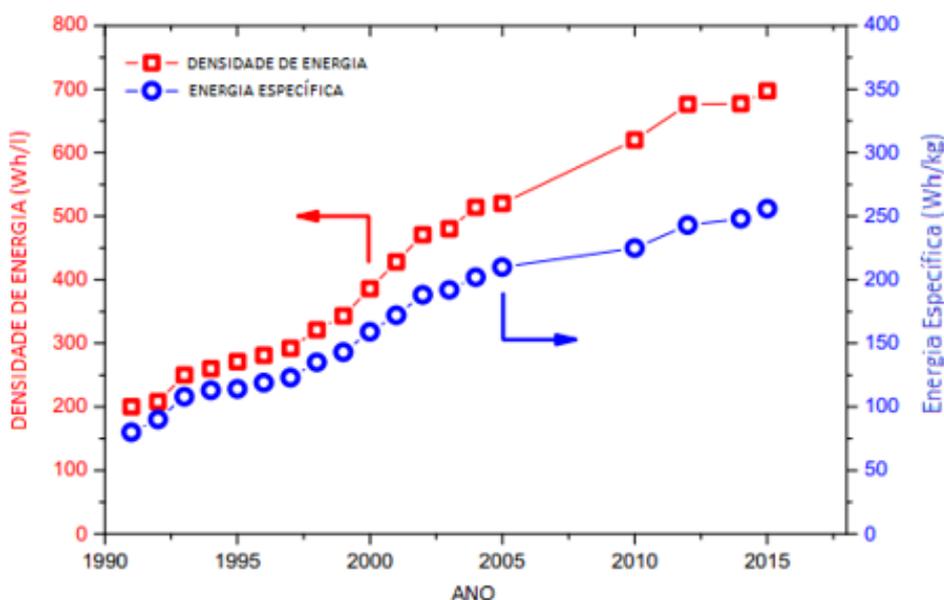
#### 6.1.2.4 Baterias de Íons de Lítio (Li-Ion)

As baterias de lítio começaram a ser desenvolvidas em 1962. Todavia, os primeiros desenvolvimentos baseados nesse elemento não poderiam ser carregados após a primeira descarga, ou seja, eram baterias primárias. As primeiras baterias de lítio secundárias foram desenvolvidas pela empresa Moli Energy, em 1985, utilizando o lítio metálico Li como eletrodo negativo e o sulfeto de molibdênio Mo como eletrodo positivo. Entretanto, esse modelo apresentava problemas de segurança por utilizar o lítio como ânodo, o que ocasiona o aumento da área de interface do eletrodo com o eletrólito no decorrer dos ciclos de carga e descarga. Com isso, a célula vai se tornando mais sensível às variações térmicas, mecânicas e elétricas pelo fato da área de interface não ser termodinamicamente estável (LEUTHNER, 2018; VARELA et. al, 2002).

A solução encontrada para resolver esse problema foi a utilização do sistema composto por baterias Íon-Lítio (LIBs - do inglês *lithium-ion batteries*). Para isso, são utilizados dois eletrodos de intercalação, que são capazes de incorporar reversivelmente átomos ou moléculas dentro da sua estrutura sem sofrer grandes variações em sua estrutura. Nessa situação, a área de interface dos compostos de intercalação não irá variar com os ciclos, aumentando a segurança e o desempenho das baterias. Esse sistema teve o seu primeiro modelo a partir da Sony em 1991. Essa bateria tinha como materiais: o carbono para o eletrodo negativo; e o óxido de lítio e o cobalto como materiais positivos. Desde então, as LIBs têm passado por diversos estudos e desenvolvimentos resultando em um crescimento considerável no setor. (LEUTHNER, 2018; VARELA et. al, 2002).

Por exemplo, as baterias de chumbo-ácido, que ainda dominam o mercado de baterias para carros a combustão possuem uma energia específica na faixa de 20-40 Wh/kg, enquanto que a bateria de Íon-Lítio, ainda na sua primeira geração (1991), ofertava uma energia específica e uma densidade de 80 Wh/kg e 200 Wh/l, respectivamente. A Figura 3 apresenta o aumento gradual de desempenho das LIBs no que tange a energia específica e a densidade de energia, o que acarreta, inclusive, na redução de custos (PLACKE et. al., 2017).

Figura 3 - Desenvolvimento da Energia Específica e Densidade de Energia das LIBs por célula (1991-2017)

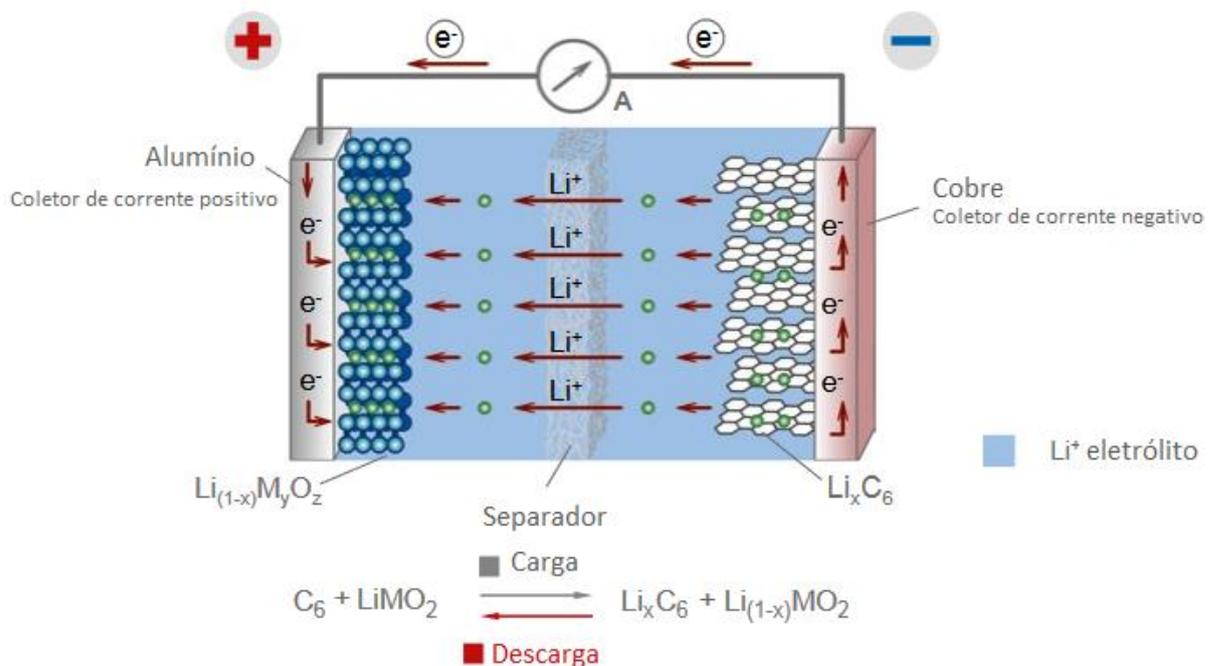


Fonte: PLACKE et. al. (2017)

A Figura 4 mostra o princípio básico das LIBs. Conforme é possível visualizar, o eletrólito é composto por um sal condutor de lítio dissociado. Por sua vez, o material do eletrodo positivo, geralmente, são óxidos mistos. Enquanto que a sua contraparte é constituída principalmente por compostos de grafite e carbono amorfo. Entre os eletrodos, para a sua isolação elétrica, há uma membrana porosa denominada separador. O alumínio e o cobre atuam como coletores de corrente para o polo positivo e negativo, respectivamente (LEUTHNER, 2018).

Os íons de lítio individuais migram para frente e para trás e são intercalados nos materiais ativos durante a carga e descarga. Especificamente na descarga, os íons de lítio se movem do eletrodo negativo para o positivo por meio do eletrólito e do separador. Nesse mesmo instante, os elétrons também irão se mover nesse sentido, porém através de uma conexão externa. Durante a carga esse processo se mantém de maneira similar, invertendo o sentido do movimento dos íons de lítio (LEUTHNER, 2018).

Figura 4 - Princípio básico das baterias Íon - Lítio



Fonte: LEUTHNER (2018)

Em resumo, o mecanismo das LIBs irá depender dos materiais empregados como ânodo e cátodo, pois são eles que irão permitir o transporte reversível dos íons

de lítio através do sistema de intercalação e desintercalação. Nesse sentido, ao longo dos anos diversas estruturas foram desenvolvidas, com destaque para as seguintes (SANTOS, 2018):

- Óxido de Cobalto de Lítio - ( $\text{LiCoO}_2$ - LCO): se destacam pela sua alta energia específica. Por outro lado, apresenta custo elevado devido a baixa disponibilidade do cobalto, além de exibir limitações no seu ciclo de vida e segurança. São utilizadas em: celulares, *laptops* e câmeras digitais;
- Óxido de manganês e lítio ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  - LMO): sua estrutura do tipo espinélio tridimensional permite um rápido fluxo de íons lítio o que reduz a resistência interna e proporciona altas correntes durante a recarga. Ademais, apresenta alta energia específica, estabilidade térmica e segurança. A sua desvantagem fica por conta do tempo de vida limitado, além de exibir uma progressiva perda de capacidade durante a descarga. São utilizadas em: veículos elétricos, veículos híbridos e dispositivos médicos;
- Fosfato de ferro e lítio ( $\text{LiFePO}_4$  - LFP): esse material é estável nas condições de sobrecarga e alta temperatura, além de possuir uma vida útil longa devido a sua maior estabilidade frente ao eletrólito. Suas desvantagens ficam por conta da sua baixa tensão de célula, energia específica moderada e desempenho reduzido sob baixa temperatura. São utilizadas em: veículos elétricos, veículos híbridos e dispositivos portáteis;
- Óxido de cobalto, manganês, níquel e lítio ( $\text{LiNiCoO}_2$  - NMC): a combinação de níquel e manganês ressalta os pontos positivos e atenua as desvantagens de cada elemento químico. Dessa maneira, há um bom desempenho graças à alta energia específica do níquel e a baixa resistência interna do manganês. Além disso, a concentração dos óxidos (34% cobalto, 33% manganês e 33% níquel) proporciona uma redução de custos devido à menor concentração de cobalto. São utilizadas em: veículos elétricos, ferramentas elétricas e sistemas de armazenamento de energia;
- Óxido de alumínio, cobalto, níquel e lítio ( $\text{LiNiCoAlO}_2$  - NCA): esse arranjo ainda é produzido em pequena escala. Porém, vem despertando cada vez mais a atenção da indústria automobilística devido ao seu longo ciclo de vida e elevada energia e potência específica. Além disso, a presença do alumínio promove mais estabilidade térmica para a bateria. Todavia, esse modelo acaba pecando

nos parâmetros de custo e segurança. São utilizadas em: veículos elétricos e trem de força;

- Titanato de lítio ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  - LTO): esse modelo se difere dos demais por utilizar um ânodo de titanato de lítio em substituição ao carbono grafítico. Essas baterias se destacam pela sua elevada segurança, vida útil e custo, além de apresentarem um bom desempenho em temperaturas baixas. Porém, em termos de densidade de energia e tensão de célula acabam deixando a desejar. São utilizadas em aplicações nanotecnológicas avançadas.

É possível inferir que cada arranjo mencionado possui vantagens e desvantagens que torna determinado tipo mais utilizável em uma dada aplicação. A Tabela 3 informa os principais parâmetros dos modelos de LIBs existentes no mercado facilitando a identificação dos pontos positivos e negativos.

Tabela 3 - Parâmetros principais para os diferentes modelos de LIBs

Modelo	Tensão de Célula (V)	Energia específica (Wh/Kg)	Potência	Segurança	Ciclo de Vida	Custo
LCO	3,7-3,9	150	0	-	-	-
LMO	4	120	+	+	0	+
LFP	3,3	130	+	++	+	+
NMC	3,8-4,0	170	0	0	0	0
NCA	3,65	130	+	-	+	-
LTO	2,3-2,5	85	++	++	+++	0

Fonte: Adaptado de Hannan et. al (2018)

De fato, é possível perceber que não há um modelo de LIB que se destaca das demais em todos os parâmetros. Por exemplo, a tecnologia LTO se sobressai em termos de potência, segurança, ciclo de vida e custo, mas possui uma tensão e densidade bem aquém das demais. Para os carros elétricos, as baterias NMC acabam se destacando por possuir parâmetros energéticos excepcionais. Além disso, seus demais parâmetros não são excelentes, porém acabam ficando na média.

O Quadro 2 informa a química utilizada nas baterias dos principais modelos de carros elétricos puros (BEVs) e carros híbridos recarregáveis (PHEV) fabricados em 2017. Através dessas informações, que levam em conta as principais fabricantes

do mercado, é possível perceber que, de fato, os modelos NMC são mais aplicados nesses tipos de veículos.

Quadro 2 - Química das baterias utilizadas nos veículos BEVs e PHEVs produzidos em 2017

<b>Fabricante</b>	<b>Nome/Modelo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Química da Bateria</b>
Audi	Audi Q7 e-tron	PHEV	NMC
BMW	BMW i3	BEV	NMC
BYD	BYD E6	BEV	LFP
Daimler	Smart Fortwo Electric Drive	BEV	NCA
Fiat	Fiat 500e	BEV	NMC
Ford	Ford C-Max Energi	PHEV	NMC
General Motors	Chevrolet Volt	PHEV	NMC
Hyundai	Hyundai Ionic Electric	BEV	NMC
Karma	Karma Revero	PHEV	NMC
Kia	Kia Soul EV	BEV	NMC
Mitsubishi	Mitsubishi Outlander	PHEV	NMC
Nissan	Nissan Leaf	BEV	NMC
Porsche	Porsche Panamera 4 E-Hybrid	PHEV	NMC
Renault	Renault Zoe	BEV	NMC
Tesla	Tesla Model SP100D	BEV	NCA
Toyota	Toyota Prius Prime	PHEV	NMC
Volkswagen	VW Passat GTE	PHEV	NMC

Fonte: Adaptado de Santos (2018)

#### 6.1.2.5 Demais modelos e suas aplicações em veículos elétricos

As baterias a seguir possuem menos destaque quando comparadas aos demais modelos. Porém, é preciso que sejam mencionadas devido a sua aplicação em veículos elétricos.

- Bateria de sódio-enxofre (Na-S): esse arranjo garante alta densidade de energia, eficiência de carga e descarga e um longo ciclo de vida. Além disso, o sódio (Na) e o enxofre (S) são elementos de baixo custo. Por outro lado, a sua alta temperatura de operação acaba sendo uma desvantagem

considerável. O Ford Ecostar (1992-1993) é um exemplo de aplicação dessa bateria em veículos elétricos (SANGUESA et. al., 2021);

- Bateria de cloreto de sódio e níquel (Na-NiCl): também denominadas de “Zebra” são bastantes semelhantes as baterias Na-S, porém possuem a vantagem de fornecer cerca de 30% a mais de energia em baixas temperaturas. Porém, a sua temperatura ideal deve estar na faixa de 260°C - 300°C. Essa composição era muito utilizada na fabricação de carros elétricos da companhia Codec (SANGUESA et. al., 2021);
- Bateria de zinco-bromo (Zn-Br<sub>2</sub>): essa tecnologia possui uma baixa densidade de energia e demais parâmetros medianos. Além disso, a sua faixa de temperatura fica limitada em 20°C - 40°C. Teve a sua aplicação no veículo elétrico T-Star, em 1993 (SANGUESA et. al., 2021).

Outra composição que deve ser mencionada são as baterias de Polímero de Lítio (Li-Po), conhecidas pela sua utilização em aparelhos eletrônicos pelo fato de serem mais leves e flexíveis quando comparadas com as baterias de Íons de Lítio. Entretanto, de acordo com Antônio Khan, engenheiro e consultor da fabricante de baterias QH TECH, as baterias Li-Po ainda apresentam desvantagens com relação às aplicações em veículos elétricos, principalmente devido ao seu alto custo, problemas com relação à vida útil, baixa densidade energética e dissipação de calor deficiente. Também é mencionado que a aplicação em veículos elétricos evita a possibilidade de inchaço das baterias Íons de Lítio devido ao uso de altas correntes, o que acaba sendo um problema para as baterias de polímero, pois o seu uso ainda está voltado para aplicações em pequenas correntes (KHAN, 2022).

É importante considerar que, apesar da fonte ser um profissional com uma considerável experiência no universo das baterias, os dados foram retirados de um *site* de compartilhamento de informações devido à dificuldade de encontrar artigos científicos com dados experimentais acerca desse assunto. Com o passar dos anos, espera-se o surgimento de mais pesquisas e projetos voltados para o aperfeiçoamento da tecnologia Li-Po, o que poderá tornar essas baterias mais vantajosas para o uso em EVs.

### 6.1.2.6 Comparativo

A Tabela 4 compara os principais modelos de baterias utilizados em veículos elétricos. Através dessas informações é possível perceber que o modelo de lítio (Li-Ion) se destaca em termos de energia específica, densidade de energia, potência específica e tensão de célula. Além disso, esse modelo também apresenta uma ótima durabilidade, garantindo o seu desempenho em até 3000 ciclos. Esse valor só é superado pela bateria de sódio-enxofre (Na-S), que mesmo assim leva uma desvantagem considerável nos demais parâmetros.

Tabela 4 - Comparativo entre os principais modelos de baterias

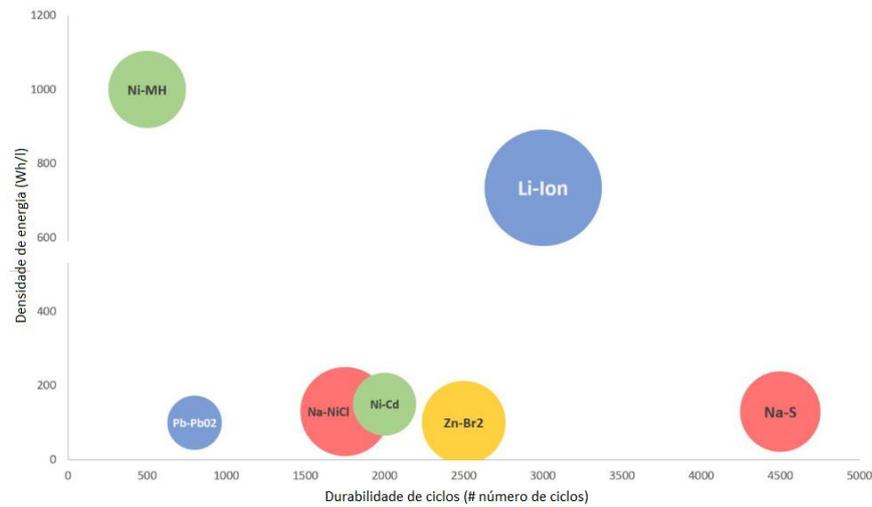
	<b>Pb-PbO<sub>2</sub></b>	<b>Ni-Cd</b>	<b>Ni-MH</b>	<b>Zn-Br<sub>2</sub></b>	<b>Na-NiCl</b>	<b>Na-S</b>	<b>Li-Ion</b>
<b>Temperatura de Trabalho (°C)</b>	-20 a 45	0 a 50	0 a 50	20 a 40	300 a 350	300-350	-20 a 60
<b>Energia específica (Wh/kg)</b>	30-60	60-80	60-120	75-140	160	130	100-275
<b>Densidade de energia (Wh/L)</b>	60-100	60-150	100-300	60-70	110-120	120-130	200-735
<b>Potência específica (W/kg)</b>	75-100	120-150	250-1000	80-100	150-200	150-290	350-3000
<b>Tensão de célula (V)</b>	2.1	1.35	1.35	1.79	2.58	2.08	3.6
<b>Número de ciclos</b>	500-800	2000	500	>2000	1500-2000	2500-4500	400-3000

Fonte: Adaptado de Sanguesa et.al. (2021)

Deve-se ressaltar a importância da temperatura de trabalho, pois é esse aspecto que pode limitar uma bateria em uma certa aplicação. Nesse sentido, as baterias que suportam as menores temperaturas são a de chumbo (Pb-PbO<sub>2</sub>) e lítio. Porém, é preciso considerar que a bateria de lítio pode sofrer com autodescarga em baixas temperaturas. Por outro lado, as baterias de cloreto de sódio e níquel (Na-NiCl) e sódio-enxofre (Na-S) são as que suportam as maiores temperaturas.

Ao considerar todos os parâmetros fica claro o motivo das baterias de lítio serem mais utilizadas em todo o setor de mobilidade elétrica. A Figura 5 mostra os diferentes tipos de bateria de um modo gráfico, o que facilita ainda mais a comparação e a análise entre esses diferentes modelos.

Figura 5 - Comparação gráfica entre as diferentes tecnologias de baterias



Fonte: Adaptado de Sanguesa et.al. (2021)

Conforme é possível visualizar, a Figura 5 representa a durabilidade de ciclos e a densidade de energia através dos eixos x e y, respectivamente. A energia específica de cada bateria é proporcional ao tamanho da sua bolha. Além disso, a temperatura de operação é representada pelas suas cores. Exemplo: cores mais fortes representam temperaturas elevadas, e cores mais fracas representam temperaturas mais frias. Desse modo, fica ainda mais nítido o destaque das baterias de lítio frente às demais opções.

## 6.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS (EVs)

A Indústria automobilística está passando por uma grande revolução. A princípio, o objetivo de um veículo era apenas cumprir com a sua função de transporte. Entretanto, de acordo com uma pesquisa realizada em 2016 pelo instituto americano *CSA Research*, as pessoas estão gastando cerca de 4 anos e 1 mês das suas vidas dentro de um carro (Orange, 2018). Diante disso, os fabricantes estão cada vez mais dispostos a proporcionar o máximo de segurança e conforto, além é claro, de reduzir o impacto ambiental promovido por esse setor.

De acordo com alguns estudos, o setor de transporte corresponde a cerca de 25% das emissões de CO<sub>2</sub>, além de responder a 55% do consumo mundial de petróleo. Desse modo, os EVs surgem com intuito de não somente reduzir a emissão de gases tóxicos à natureza, mas também minimizar a dependência mundial em relação ao petróleo (SADEGHIAN, et. al, 2022).

As vantagens dos carros elétricos não se resumem às questões ambientais e energéticas. De um modo geral, esses veículos são mais silenciosos, eficientes e até mesmo mais simples que os tradicionais, pelo fato de utilizarem menos componentes em seu interior. Além disso, já existem cidades que limitam a circulação de veículos tradicionais em determinadas regiões. São as chamadas Zonas de Baixa Emissão (LEZ - do inglês *Low Emission Zones*) (SANGUESA et. al, 2021).

Apesar das diversas vantagens, os EVs ainda enfrentam desafios para a sua maior implementação. O primeiro deles é a sua autonomia, que geralmente é limitada em 200-350 km em carga completa. O carregamento das baterias também é um problema, assim como o seu custo, volume e peso, sendo que esse parâmetro pode chegar até 200 kg dependendo da sua capacidade. Apesar disso, várias pesquisas estão sendo realizadas com o intuito de solucionar esses fatores, o que levará a difusão cada vez mais rápida desse tipo de veículo (SANGUESA et. al, 2021).

### 6.2.1 Tipos de EVs

Os EVs podem ser classificados de acordo com a tecnologia empregada em seus motores. Desse modo, destaca-se os seguintes modelos:

- Veículos elétricos a bateria (BEVs - do inglês *Battery electric vehicles*): São os veículos elétricos puros. Os BEVs não utilizam nenhum motor a combustão, sendo totalmente alimentados por uma bateria, o que dispensa o emprego de uma fonte de combustível secundária. A autonomia é o grande fator chave desse tipo de veículo justamente pela sua dependência da bateria, o que o pode tornar inadequado para longas viagens (SANGUESA et. al, 2021). No Brasil, de acordo com dados da sua fabricante, o BEV mais barato, JAC E-JS1, fornece uma autonomia de 302 km através de uma bateria de 30 kWh (JAC, 2023);
- Veículos elétricos híbridos (HEVs - do inglês *Hybrid Electric Vehicles*): Ao contrário dos BEVs, esse modelo é alimentado por uma bateria e por um motor a combustão. Nesse caso, a bateria é recarregada através da energia gerada pelo motor a combustão e não pode ser conectada à rede (SANGUESA et. al, 2021). É importante salientar que alguns modelos permitem a recarga da bateria através da energia gerada durante a etapa de desaceleração, como é

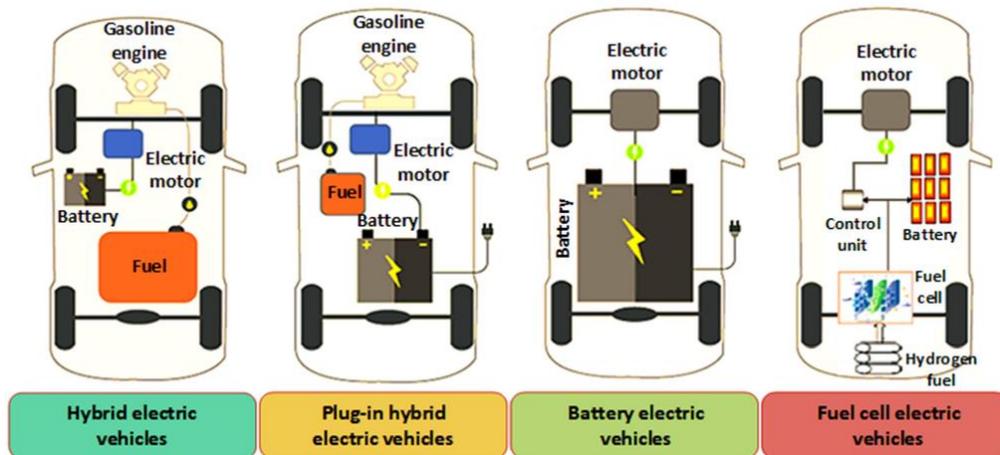
o caso do Kia Stonic, a versão híbrida mais barata do Brasil (KIA MOTORS, 2023);

- Veículos elétricos híbridos *plug-in* (PHEVs - do inglês *Plug-In Hybrid Electric Vehicles*): Esse modelo pode ser entendido como um *upgrade* dos HEVs, pois possuem as mesmas características com a vantagem de poder ser conectado à rede (SANGUESA et. al, 2021). Exemplos no Brasil são o Jeep Compass 4XE e o Volvo XC60 Recharge (DIAS, 2022);
- Veículos elétricos com célula de combustível (FCEVs - do inglês *Fuel Cell Electric Vehicles*): Se caracteriza por utilizar como combustível uma mistura de hidrogênio comprimido e oxigênio, que são convertidos em eletricidade através de uma reação eletroquímica. Os únicos resíduos dessa reação são água e calor. Dessa forma, esses veículos, assim como os BEVs, podem ser considerados como livres de emissão (DIAS,2022). As grandes vantagens proporcionadas pelos FCEVs são uma rápida recarga, maior autonomia e menor peso quando comparado aos demais EVs. Entretanto, a infraestrutura de recarga, mesmo em países desenvolvidos, ainda é escassa. Um dos modelos mais conhecidos desse tipo de veículo é o Hyundai Nexa, que possui um custo elevado mesmo na Coreia do Sul, país natal da sua fabricante (OLIVEIRA, 2019).

A Figura 6 mostra os quatro principais tipos de EVs com destaque para os seus principais componentes. É interessante ressaltar que os FCEVs também possuem um pacote de baterias com o intuito de fornecer mais energia para o motor elétrico quando necessário. Além disso, há uma unidade de controle responsável por gerenciar o fluxo de energia fornecido pela célula de combustível e pelas baterias, controlando a velocidade e o torque produzido pelo motor elétrico (AFDC, s.d).

Há ainda outro tipo de EV, denominado veículo elétrico com autonomia estendida (ER-EVs do inglês *Extended-range Electric Vehicles*). Esse modelo conta com um sistema de combustão com o intuito de auxiliar o sistema elétrico. Porém, diferentemente dos HEVs e PHEVs, o sistema de combustão não está conectado às rodas do veículo, sendo utilizado somente para a recarga da bateria caso seja necessário. O BMW i3 é um exemplo de ER-EV, pois possui um motor elétrico com autonomia de até 260 km. Além disso, o seu sistema a combustão garante a bateria mais 130 km de autonomia (SANGUESA et. al, 2021).

Figura 6 - Principais modelos de EVs



Fonte: SADEGHIAN, et al. (2022)

## 6.2.2 Infraestrutura de Recarga

### 6.2.2.1 Métodos e Modos de Recarga

A Figura 7 exemplifica os principais meios para se carregar um EV. A maneira mais básica é recarregar o veículo em casa no turno oposto ao horário de trabalho, justamente pela duração da recarga e por esse ser o período que o carro estará inativo. Alguns estacionamentos públicos também oferecem a possibilidade de recarga, sendo essa uma maneira interessante para ser utilizada durante a jornada de trabalho (SADEGHIAN, et. al., 2022).

Figura 7 - Diferentes métodos utilizados para recarga de um EV



Fonte: Adaptado de SADEGHIAN, et al. (2022)

Alternativas mais rápidas são a utilização de estações específicas para a rápida recarga dos EVs. Também é possível encontrar locais que realizam a troca das

baterias, substituindo a bateria descarregada por outra com carga completa. Por fim, é possível utilizar um carregador bidirecional, que é capaz de realizar a transferência de energia entre dois veículos (SADEGHIAN, et. al., 2022).

O carregamento indutivo é uma outra alternativa. Nessa opção a transferência de energia é realizada através do fenômeno da indução eletromagnética, ou seja, não é preciso contato físico do veículo com o dispositivo de recarga. Entretanto, essa opção ainda é bastante custosa, e por isso não é considerada viável para o mercado (DENTON, 2016).

De um modo geral, o método mais utilizado para se carregar um EV é através da transferência de energia da rede elétrica para a bateria. Os veículos elétricos possuem conversores CA/CC em seu interior. Dessa maneira, é possível a utilização de carregadores CA, que podem ser utilizados em pontos residenciais e comerciais. O grande empecilho desse tipo de conexão é sua potência, que chega no máximo até 120 kW, apesar de ser mais comum encontrar estações de até 22 kW devido às limitações impostas pelas infraestruturas dos prédios e residências.

Outra opção é a utilização de carregadores CC. Nesse caso, a conversão em corrente contínua é realizada pelo próprio dispositivo de recarga, o que possibilita o suporte a potências de até 400 kW. Entretanto, são bem complexas e mais robustas, tornando-as, consideravelmente, mais caras quando comparadas aos carregadores CA.

Os padrões estabelecidos para a recarga dos veículos elétricos dependem, principalmente, da região ou país em que estão localizados. Por exemplo, a região da América do Norte e pacífico utilizam o padrão de qualidade SAE-J1772, estabelecido pela sociedade dos engenheiros automotivos (SAE - do inglês *Society of Automotive Engineers*). A China utiliza o padrão GB/T 20234, estabelecido pela administração de padronização chinesa, enquanto que a Europa faz uso do padrão IEC-62196, criado pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC - do inglês *International Electrotechnical Commission*) (SANGUESA et. al, 2021).

O Brasil através da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), também se baseia na IEC-62196 para regular a sua infraestrutura de recarga. Esse padrão estabelece quatro modos distintos de recarga, que variam conforme a fonte de energia utilizada, método de comunicação e potência máxima de recarga. A Tabela 5 destaca os principais critérios estabelecidos para a caracterização dos modos de carga pelo padrão IEC-62196.

Tabela 5 - Modos de carga - Padrão IEC-62196

Modos de Carga	Tipo de Corrente elétrica	Corrente Máxima	Tensão Máxima	Potência Máxima	Conector Específico
Modo 1	CA monofásica CA trifásica	16 A	230-240 V 480 V	3,8 kW 7,6 kW	Não
Modo 2	CA monofásica CA trifásica	32 A	230-240 V 480 V	7,6 kW 15,3 kW	Não
Modo 3	CA monofásica CA trifásica	32-250 A	230-240 V 480 V	60 kW 120 kW	Sim
Modo 4	CC	250-400 A	600-1000V	400 kW	Sim

Fonte: Adaptado de Sanguesa et.al. (2021)

O Modo 1 (Carregamento lento) é considerado o modo menos seguro, pois não há um sistema de comunicação com o veículo. O dispositivo de recarga é integrado ao veículo, e o carregamento é realizado por meio de uma tomada convencional, que pode suportar até 16 A em redes trifásicas, e uma tensão e potência máxima de 480 V e 7,6 kW, respectivamente. Por razões de segurança, o circuito utilizado para a recarga dos veículos deve estar protegido por um dispositivo de proteção contra correntes residuais (SANGUESA et. al, 2021; DENTON, 2016).

Com relação ao modo 2 (Carregamento semi-rápido), são utilizadas tomadas padrões, que podem garantir uma corrente trifásica de até 32 A, e uma tensão e potência máxima de 480 V e 15,3 kW, respectivamente. Os destaques desse modo ficam por conta da presença de um controle de proteção, integrado no próprio cabo ou na parede, e de um dispositivo de comunicação móvel acoplado à caixa de controle do cabo, que permite um maior controle com relação a segurança e também possibilita a regulagem da sua potência (SANGUESA et. al, 2021; DENTON, 2016).

O modo 3 (Carregamento rápido) é utilizado nas estações de recarga CA. O dispositivo de carregamento é fixo na estação e deve possuir uma fonte de alimentação específica denominada EVSE (do inglês *Electric Vehicles Supply Equipment*) devido à alta corrente suportada por esse equipamento (32 a 250 A). O dispositivo EVSE utiliza um conector específico e se destaca pelas seguintes características: possibilita a comunicação com o veículo, monitora o processo de recarga, incorpora sistemas de proteção e interrompe o fluxo de energia quando não há conexão com o veículo (SANGUESA et. al, 2021; DENTON, 2016).

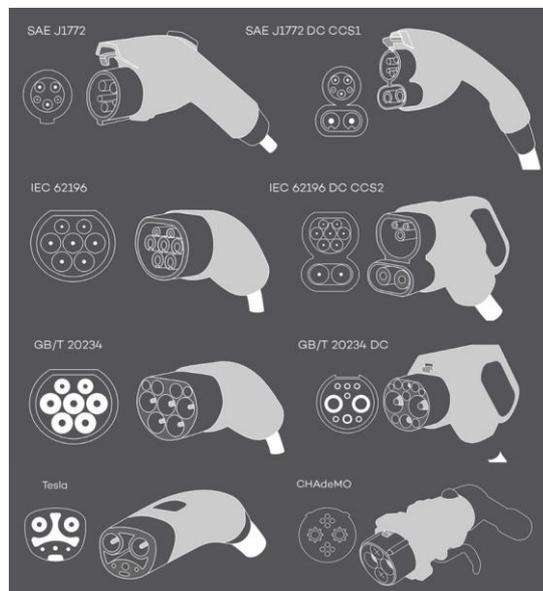
Por fim, o modo 4 (Carregamento ultrarrápido) é utilizado nas estações de recarga CC. Assim como no modo 3, o dispositivo de carregamento é fixo na estação, e os sistemas de proteção e controle já devem estar acoplados a fonte externa (EVSE). Esse modo possibilita uma conexão de até 400 A em uma tensão máxima de 1000 V, o que resulta em uma potência de até 400 kW (SANGUESA et. al, 2021; DENTON, 2016).

#### 6.2.2.2 Padrões de Conectores

Um parâmetro bastante relevante nos veículos recarregáveis é o tipo do conector a ser utilizado para a recarga. Os carregadores mais lentos (modo 1 e modo 2) são conectados à rede através de tomadas convencionais, por isso apenas a extremidade que será conectada ao veículo faz uso de um conector específico. Por sua vez, os modos de carga mais rápidos (modo 3 e modo 4) utilizam conectores em ambas as extremidades devido a utilização da fonte suplementar EVSE.

Esses conectores se baseiam principalmente nos padrões de recarga americano, europeu e chinês. Porém, também há a presença de alguns padrões específicos, como por exemplo o CHAdeMO, utilizado em alguns veículos japoneses, e a Tesla, que possui um conector próprio. A Figura 8 mostra, em detalhes, os principais padrões de conectores existentes no mercado (NEOCHARGE, s.d).

Figura 8 - Padrões de conectores existentes no mercado



Fonte: Adaptado de EV-INSTITUTE (s.d)

O padrão SAE-J1772 é utilizado para recargas em corrente alternada (CA). Possui uma potência de até 7,4 kW, em carga rápida, ou 3,4 kW em carga lenta. O plugue desse padrão consiste de três pinos para a fase, neutro e terra, além de um pino para comunicação com o veículo e outro para evitar a sua desconexão. Para recargas em corrente contínua (CC) são adicionados mais dois grandes pinos, e o padrão passa a se chamar SAE-J1772 CCS1 (do inglês *Combined Charging System 1*), pois se trata de um conector que permite a conexão em CC ou em CA. Em corrente contínua, a potência suportada é de até 350 kW (NEOCHARGE, s.d).

O IEC-62196 é utilizado para recargas CA em redes trifásicas. A disposição dos pinos deste padrão é similar ao SAE-J1772, se diferenciando pela presença de dois pinos a mais para as duas fases extras. Sua potência é de até 22 kW, se sobressaindo em termos de potência justamente pelas duas fases extras. Assim como o padrão SAE-J1772, também é possível a conexão em corrente contínua. Nesse modo, o padrão é denominado IEC-62196 CCS2 e também suporta uma potência de até 350 kW (NEOCHARGE, s.d).

O padrão GB/T 20234 foi planejado em virtude das normas chinesas para carregamentos em redes trifásicas. Sua potência, assim como o padrão europeu, atinge os 22 kW. Em corrente contínua, esse padrão suporta 250 kW e também apresenta a capacidade de recarga da bateria auxiliar devido à disposição dos seus pinos. Para isso, esse padrão, em modo CC, dispõe de cinco pinos de alimentação. Destes, dois são para bateria principal, dois são para a bateria auxiliar e um é para o terra. Além disso, há mais quatro pinos, sendo dois para comunicação e dois para o travamento do plug (NEOCHARGE, s.d).

O CHAdeMO, abreviação para *Charge de Move* (em português carga em movimento) é o padrão japonês para os eletrificados. Esse padrão, que possui 3 pinos de alimentação e outros 6 contatos de comunicação, se caracteriza pelas altas potências suportadas, com os modelos mais recentes suportando até 400 kW, apesar de ser mais comum encontrar modelos de até 100 kW. Ademais, um dos grandes destaques do CHAdeMO é ser o único padrão a possuir o protocolo para recargas bidirecionais (NEOCHARGE, s.d).

Por fim, o conector específico dos modelos da Tesla oferece a capacidade de conexão em CC e CA através de um único plug, composto por 2 conectores de sinal e 3 pinos de alimentação, suportando a potência máxima de 150 kW. Alguns modelos mais populares da marca também utilizam o padrão Tipo 2 para recargas rápidas em

CC. Além disso, a Tesla também oferece um adaptador que permite a conexão dos seus carros em conectores CHAdeMO e CCS (NEOCHARGE, s.d).

### 6.2.2.3 Tipos de Carregadores

Um aspecto fundamental na escolha de um carro elétrico é pesquisar a infraestrutura de recarga da região, pois o conector de um EV deverá ser compatível com o tipo de carregador a ser utilizado. Atualmente, os carregadores são divididos em:

- Carregador de Emergência;
- Carregador Portátil;
- Carregador Residencial;
- Carregador Comercial;
- Carregador de Carga Rápida.

Os carregadores de emergência são disponibilizados juntamente com o veículo no momento da compra. O seu pequeno tamanho e peso juntamente com a possibilidade de conexão em uma tomada comum são as principais vantagens desse tipo de carregador. Entretanto, por razões de segurança, a sua corrente máxima é limitada a 10 A (corrente suportada pelas tomadas residenciais), o que resulta em uma potência de no máximo 1 kW ou 2 kW para as tensões de 110 V e 220 V, respectivamente. Desse modo, é recomendado que a recarga por meio desses carregadores seja feita em situações excepcionais nas quais não haja outras fontes de recarga disponíveis (NEOCHARGE, s.d).

O carregador portátil se assemelha bastante com os carregadores de emergência devido a sua praticidade, porém se caracteriza pela sua maior potência em relação ao modelo anterior. Esse tipo de carregador oferece uma potência de até 22 kW (32 A) em redes trifásicas de 380 V, mas também podem ser conectados em redes monofásicas. Nesse caso, a potência será de 7 kW (32 A) ou 3,7 kW (16 A) em 220 V. É importante destacar que a tomada convencional de três pinos suporta no máximo 16 A. Acima desse valor, é necessário a utilização de tomadas industriais (NEOCHARGE, s.d).

O carregador residencial tem sua estrutura geralmente fixada em uma parede, por isso esses carregadores também são conhecidos como Wallbox (carregadores de parede). Esse modelo pode ser instalado em 220 V / 380 V e, assim como os carregadores portáteis, sua potência pode variar de 3,7 kW até 22 kW. Os carregadores Wallbox possuem uma grande vantagem sobre os carregadores de emergência, pois além da sua maior potência, há toda uma estrutura de proteção que requer, inclusive, uma instalação elétrica dedicada, garantindo mais segurança para o equipamento, residência e também para as pessoas. Apesar de tudo isso, os carregadores Wallbox estão sendo substituídos por carregadores portáteis, que oferecem a mesma potência e ainda podem ser levados para qualquer lugar. Além disso, com relação à segurança, boa parte das pessoas que optam pelo modelo portátil instalam uma rede específica juntamente com os elementos de proteção para esse equipamento (NEOCHARGE, s.d).

Os carregadores comerciais são bastante encontrados em locais públicos (estacionamentos, praças e ruas e etc) e nos mais diversos estabelecimentos (restaurantes, empresas, condomínios, shopping centers e etc.). Possui semelhanças com os carregadores residenciais, porém se diferencia pela sua maior robustez, afinal o fluxo de veículos para esse tipo de carregador é bastante superior que o residencial, justamente por isso é possível recarregar mais de um veículo por vez em grande parte desses equipamentos. Sua potência, dependendo da disponibilidade da rede elétrica no momento, pode chegar até 40 kW nos equipamentos com mais de uma saída, enquanto que a recarga pode ser realizada em 16 A ou 32 A em CA (NEOCHARGE, s.d).

Por fim, há os carregadores de carga rápida. Esse tipo de carregador costuma ter um tamanho considerável devido a presença do inversor, responsável pelo fornecimento direto em corrente contínua para o veículo, apesar desse carregador também disponibilizar uma saída em corrente alternada. A potência suportada em CC pode chegar até 400 kW, porém muitas vezes acaba sendo limitada pelo tipo do EV e do seu conector, enquanto que a potência em CA varia de 40 KW a 60 KW. Esses equipamentos são ideais para serem utilizados em estabelecimentos comerciais devido a sua alta velocidade de recarga. Entretanto, seu alto custo inviabiliza a sua maior difusão no mercado. Ademais, as cargas rápidas acabam diminuindo a vida útil das baterias, por isso esse tipo de recarga deve ser realizado apenas em situações excepcionais (NEOCHARGE, s.d).

Com relação aos pontos de recarga, estes podem ser classificados em públicos ou privados. Os pontos de recarga privados são aqueles localizados em residências ou até mesmo em empresas para atender a recarga de veículos leves comerciais. Por utilizar carregadores residenciais sua potência varia de 3 kW a 22 kW, sendo a opção de recarga mais utilizada atualmente, com cerca de 15 milhões de pontos em todo o mundo (IEA, 2022).

Por sua vez, os pontos de recarga públicos são aqueles localizados em avenidas, estacionamentos e estabelecimentos comerciais. Por utilizar carregadores comerciais CA e CC, sua potência pode chegar até 400 kW. Entretanto, devido a essa alta potência, os pontos de recarga públicos costumam ter tarifas elétricas bem superiores aos privados. Apesar disso, essa opção é imprescindível para a realização de longas viagens e também para as pessoas que não têm acesso a um carregador doméstico (IEA, 2022).

### 6.2.3 Ciclo de utilização dos EVs

Sabe-se que uma das principais motivações para a implementação dos veículos elétricos se dá pelo fato deste ser muito menos poluente quando comparado ao modelo a combustão. No entanto, para usufruir dessa tecnologia de maneira mais sustentável é preciso considerar todo o ciclo de um veículo elétrico. Ou seja, é preciso analisar o seu processo de fabricação, seu uso durante a vida útil, e por fim o seu processo de descarte e reciclagem.

#### 6.2.3.1 Extração e Produção das Baterias

O processo para a fabricação de um EV pode demandar mais que o dobro de energia em relação a um veículo convencional. Isso ocorre devido a extração e produção dos materiais que compõem uma bateria, o que pode resultar ao fim da etapa de produção em um gasto de energia de 350 a 650 Megajoules, variando de acordo com a capacidade da bateria (KWh). Durante essa etapa, estima-se que cada KWh emite em média 150 a 200 kg de CO<sub>2</sub> para a natureza. Ou seja, a emissão será proporcional à capacidade da bateria. Dessa forma, considerando somente a etapa de extração e produção, as baterias utilizadas nos BEVs são mais nocivas ao meio ambiente quando comparadas aos modelos híbridos (SANGUESA et. al., 2021).

Apesar disso, sabe-se que são justamente as baterias de maior capacidade que tornam possível o uso de veículos 100% a bateria, que não emitem gases tóxicos de maneira direta para a natureza ao longo de sua vida útil.

#### 6.2.3.2 Uso durante a sua vida útil

O termo “veículo livre de emissões” é bastante utilizado para descrever o veículo elétrico puro, o BEV. Porém, a energia elétrica utilizada para alimentar esses veículos, muitas vezes, advém de combustíveis fósseis. Em outras palavras, de maneira indireta, mesmo os BEVs podem participar da emissão de gases nocivos ao meio ambiente. Por esse motivo, as implementações de usinas renováveis devem ser incentivadas de maneira coordenada com os estímulos para a maior adoção dos EVs.

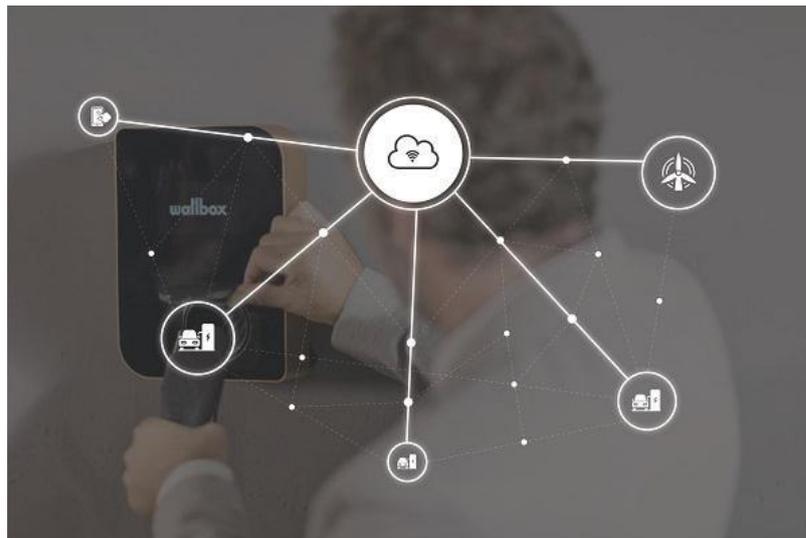
Entretanto, é preciso considerar que a densidade energética de fontes renováveis como a solar e eólica são baixas quando comparadas às demais. Além disso, mesmo em fontes renováveis com alta densidade de energia, como as Hidrelétrica, é preciso destinar boas quantias de terra para suprir o crescimento esperado por parte dos EVs. Por isso, a energia deve ser consumida da maneira mais inteligente e responsável possível (ORSI, 2021). Nesse quesito, o Brasil larga em vantagem quando comparado aos demais países, pois devido a sua oferta hídrica, o país possui uma matriz energética composta por 78,1% de fontes renováveis, além de apresentar um bom percentual de crescimento com relação as fontes solar e eólica (EPE, 2022).

A jornada de trabalho de boa parte da população se concentra pelo período matutino e vespertino. Dessa forma, o turno noturno acaba sendo utilizado para a recarga dos veículos. O grande problema é que a rápida difusão dos EVs e a sua recarga descontrolada pode levar a inúmeros problemas envolvendo a rede elétrica (sobrecarga, demanda de pico indesejável, aumento da perda de energia, redução do fator de carga, distorção harmônica, desequilíbrio de fase, etc.). Dessa maneira, a solução encontrada foi utilizar os conceitos do carregamento inteligente de veículos elétricos (EVSC - do inglês *Electric vehicles smart charging*) (SADEGHIAN, et. al., 2022).

No sistema EVSC, o contato do carregador com o veículo estabelece o intercâmbio de informações entre o empresário ou pessoa individual (Operador com carregador coletivo ou doméstico, respectivamente) e a concessionária de energia.

Os dados são, então, enviados via Wi-fi ou bluetooth para uma plataforma de gestão centralizada localizada na nuvem. Dessa maneira, todos os dados são analisados em tempo real pelo software da plataforma. É importante salientar que todos os dados podem ser acessados por um site ou por um aplicativo de celular, o que contribui ainda mais para a acessibilidade das informações. A Figura 9 exemplifica o esquema de comunicação de uma recarga inteligente (WALLBOX, c2023).

Figura 9 - Esquema de comunicação dos sistemas EVSC



Fonte: WALLBOX (c.2023)

Desse modo, é possível o controle da energia a ser transmitida para o veículo. Isso é muito importante, pois impede que o operador ultrapasse a capacidade do seu edifício ou residência e também evita o desperdício de energia. Além disso, também permite que a concessionária evite sobrecargas na rede e limite, quando necessário, o consumo de energia, impedindo que a energia consumida seja maior que a produzida (WALLBOX, c2023).

Outro artifício propiciado pelo EVSC é permitir que a energia dos EVs seja compartilhada para rede através de um carregador bidirecional. No modo veículo para rede (V2G - do inglês *vehicle-to-grid*), os veículos são carregados com o intuito de melhorar as características da rede durante o horário de pico. Na sua contraparte, o modo rede para veículo (G2V - do inglês *grid-to-vehicle*) os EVs são carregados para suprir a carga das suas baterias. Nesse modo, o ideal é que a recarga seja realizada durante os períodos de baixa demanda energética (SADEGHIAN, et. al., 2022).

### 6.2.3.3 Processo de descarte e reciclagem

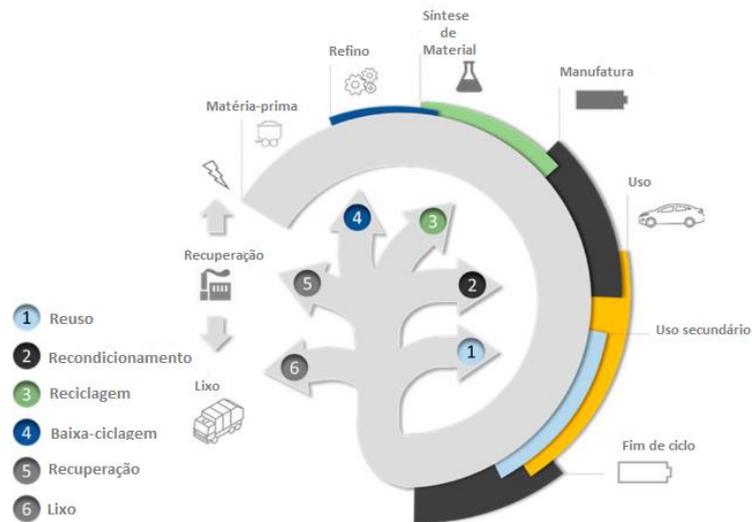
A proliferação dos EVs traz consigo uma problemática. O que fazer com as baterias ao fim da sua vida útil (EOL - do inglês *End of life*)? Bem, são esperados mais de 5 milhões de toneladas métricas de baterias de lítio até o final de 2030. Desse modo, utilizar os benefícios da indústria de reciclagem se torna uma opção crucial para minimizar essa quantidade de lixo tóxico que será despejada no meio ambiente. A reciclagem traz consigo inúmeras vantagens que podem ajudar na expansão desse setor. Dentre os quais, se destacam os seguintes benefícios (BEAUDET et al., 2020):

- Aumento da segurança e redução da toxicidade e contaminação: As baterias de lítio possuem materiais altamente tóxicos e inflamáveis, além disso o descarte desses dispositivos em aterros acarreta em sérios riscos de contaminação do solo e da água;
- Redução da pegada de carbono: Estima-se que de 30 a 50% da emissão de gases dos EVs estão relacionadas a extração mineral e fabricação das baterias. Dessa maneira, o reaproveitamento de materiais através da reciclagem pode reduzir consideravelmente essa emissão e reduzir a necessidade da extração e do refino das matérias primas;
- Redução de custos: O reaproveitamento de matérias primas pode reduzir o custo final das baterias em até 30%. Ademais, como esses dispositivos serão enviados para centros de reciclagem não será preciso pagar pela taxa de descarte;
- Redução da dependência de materiais: As matérias primas estão limitadas a certos países. A China, inclusive, detém o monopólio de valor das baterias. Através da reciclagem, é possível expandir a disponibilidade desses materiais;
- Favorecimento da economia local: A reciclagem também pode ser considerada uma indústria. Inclusive, há uma projeção para um considerável crescimento desse setor nos próximos anos, o que irá gerar bilhões de dólares em receitas, empregos e impostos.

A fabricação e a reciclagem pode ser melhor entendida se for analisada como um processo cíclico, como demonstrado através da Figura 10. É possível perceber que as baterias podem ser reaproveitadas em aplicações menos exigentes. Por

exemplo, após o EOL nas aplicações relacionadas aos EVs, a bateria ainda conserva cerca de 75% a 80% da sua capacidade original. Podendo ser utilizada, por exemplo, em sistemas de armazenamento de energia. Para isso, é preciso que as baterias passem apenas pelo processo de recondicionamento (BEAUDET et al.,2020).

Figura 10 - Ciclo de vida de uma bateria



Fonte: Adaptado de BEAUDET et al. (2020)

O problema é que esse processo costuma possuir um preço bastante elevado e também gera incertezas com relação a qualidade e segurança das baterias. Além disso, é esperado que as LIBs passem por uma redução significativa no seu valor para os próximos anos, o que pode tornar essa alternativa inviável economicamente. Por esses motivos, as soluções para reciclagem precisam ser consideradas (BEAUDET et al.,2020).

Atualmente, há três métodos para reciclagem das LIBs. São eles: pirometalurgia, hidrometalurgia e reciclagem direta. A primeira opção utiliza altas temperaturas para fundir as baterias e queimar todos os compostos de carbono. Esse processo permite a redução do manuseio das baterias utilizadas ao evitar as etapas de trituração e demais etapas de pré-tratamento. Entretanto, ao fazer isso, alguns componentes (eletrólitos, grafite, aço, alumínio e lítio) não poderão ser recuperados. Além disso, esse processo necessita de estações para tratamento de efluentes gasosos que são consideravelmente caras, porém essenciais para impedir a liberação de resíduos tóxicos (BEAUDET et al.,2020).

A hidrometalurgia utiliza a propriedade dos metais de transição, que apresentam alta solubilidade em um meio ácido. Com base nesse processo, as baterias são trituradas e os componentes são separados através de diversos processos mecânicos, o que pode acarretar em problemas de segurança devido a toxicidade dos componentes. A grande vantagem desse método frente a pirometalurgia é a facilidade encontrada para recuperação do lítio. Justamente por isso, a hidrometalurgia tem sido mais estudada e vista como a solução mais vantajosa para indústria de reciclagem. Entretanto, além da questão de segurança, esse método também possui um alto custo operacional (BEAUDET et al.,2020).

A reciclagem direta tem o objetivo de restaurar as propriedades e a capacidade eletroquímica de materiais catódicos ativos para a fabricação de novas baterias. Tudo isso é feito utilizando processos químicos, mecânicos, térmicos e eletroquímicos sem a necessidade de decomposição de elementos substituintes, o que permite a recuperação de praticamente todos os materiais das baterias. Todavia, ainda não há comprovação que o material recuperado possua o mesmo nível de desempenho que o original. Além disso, etapas de pré-tratamento e triagem de baterias são necessárias e bastante complexas. Por fim, após a EOL é provável que o material recuperado já esteja defasado devido à velocidade do avanço tecnológico das LIBs (BEAUDET et al.,2020).

Como é possível perceber, o processo de reciclagem relacionado às LIBs ainda enfrenta bastante desafios. Ainda mais ao considerar que, nesse momento, boa parte das LIBs que chegam ao fim do ciclo são baterias de baixa capacidade, o que torna a reciclagem menos vantajosa devido ao seu tamanho e baixo custo para a sua produção. Porém, com a rápida proliferação das baterias de lítios utilizadas nos EVs, são esperados nos próximos anos financiamentos para pesquisas e desenvolvimentos na área, além de medidas que visam tornar a reciclagem atrativa para o mercado (BEAUDET et al.,2020).

### 6.2.3 Panorama do mercado internacional

O Acordo de Paris pode ser tratado como um dos grandes impulsionadores para uma maior adoção dos veículos elétricos em escala mundial. Esse compromisso, que englobou 195 países, foi aprovado em 12 de dezembro de 2015 e tem como principal objetivo a redução da emissão de gases do efeito estufa para limitar o

aumento médio da temperatura global em cerca de 2°C. Dessa forma, a adoção dos EVs foi vista pelos principais países como uma das principais medidas para atingir esse objetivo (CEBDS,2019).

As medidas públicas são fundamentais na implementação de qualquer tecnologia devido a criação de incentivos que ajudam a reduzir o custo total do produto, além da implantação de uma infraestrutura adequada para o acolhimento da tecnologia.

Por exemplo, na Europa, os governos têm oferecido incentivos para o comprador através de descontos na compra de um EV ou na troca com um veículo convencional. Além disso, há também a redução ou até mesmo a isenção das taxas de circulação desses veículos. Com relação às empresas, essas também são agraciadas por meio da redução de impostos (INGELBOR,2017).

A Noruega pode ser considerada como o país referência quando se fala em mobilidade elétrica, com cerca de 3 em cada 4 veículos vendidos em 2020 sendo elétricos. Para atingir tal objetivo, esse país ofereceu uma redução de até 86% no imposto sobre a propriedade dos EVs, já que o imposto sobre esses veículos é 47 euros, enquanto que o imposto sobre os veículos a combustão pode chegar até 340 euros. Além disso, os veículos elétricos e híbridos estão isentos das taxas de circulação, pedágios e estacionamento preferenciais. Entretanto, à medida que mais chama a atenção por parte desse país é a ambiciosa meta de permitir somente a venda de veículos “zero emissão” em 2025 (SANGUESA et. al., 2021).

A Tabela 6 mostra o crescimento desse mercado ao longo dos anos, indicando em porcentagem as vendas de carros elétricos em relação aos convencionais. Essas informações são úteis, pois permite uma comparação mais justa entre países mais e menos populosos. Justamente, por isso, Noruega, Suécia, Islândia e Países Baixos acabam se destacando.

Por sua vez, a Figura 11 mostra os números absolutos, ou seja, o total de vendas dos EVs. Nesses dados, os países mais populosos (Exemplo: China e Estados Unidos) acabam possuindo uma superioridade em relação aos demais.

Infelizmente, os países que aparecem na Tabela 6 e Figura 11 detém 95% das vendas desse mercado, justamente por serem aqueles que mais realizaram medidas para o crescimento desse setor (SANGUESA et. al., 2021).

Cabe salientar, que todas essas medidas governamentais possuem caráter temporário e visam o estabelecimento de um tipo de produto. Após esse período

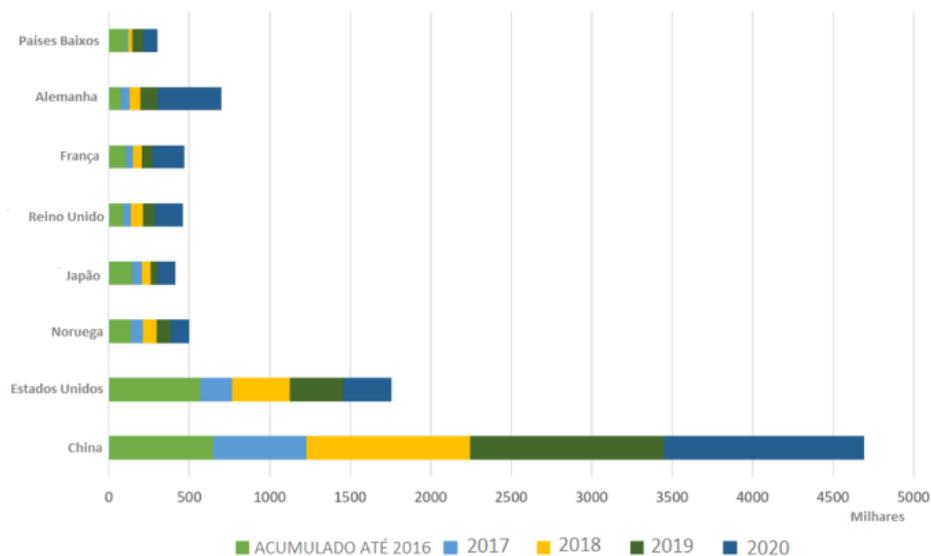
muitas medidas acabam sendo revistas, como é o caso de países como a Alemanha, Reino Unido e Suécia, devido a consolidação do mercado de EVs nesta região (SANTOS,2022).

Tabela 6 - Números de EVs vendidos em relação ao número total de veículos vendidos (2013-2020)

País	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Noruega	6,10%	13,84%	22,39%	27,40%	29%	39,20%	49,10%	55,90%
Islândia	0,94%	2,71%	3,98%	6,28%	8,70%	19,00%	22,60%	45,00%
Suécia	0,71%	1,53%	2,52%	3,20%	3,40%	6,30%	11,40%	32,20%
Países Baixos	5,55%	3,87%	9,74%	6,70%	2,60%	5,40%	14,90%	24,60%
China	0,08%	0,23%	0,84%	1,31%	2,10%	4,20%	4,90%	5,40%
Canadá	0,18%	0,28%	0,35%	0,58%	0,92%	2,16%	3,00%	3,30%
França	0,83%	0,70%	1,19%	1,45%	1,98%	2,11%	2,80%	11,20%
Dinamarca	0,29%	0,88%	2,29%	0,63%	0,40%	2,00%	4,20%	16,40%
Estados Unidos	0,62%	0,75%	0,66%	0,90%	1,16%	1,93%	2,00%	1,90%
Reino Unido	0,16%	0,59%	1,07%	1,25%	1,40%	1,90%	22,60%	45,00%
Japão	0,91%	1,06%	0,68%	0,59%	1,10%	1,00%	0,90%	0,77%

Adaptado de Sanguesa et.al. (2021)

Figura 11 - Vendas, em número absoluto, dos EVs ao longo dos anos



Adaptado de Sanguesa et.al. (2021)

Algumas ações, inclusive, têm gerado uma certa polêmica. Por exemplo, os Estados Unidos lançaram um pacote de medidas denominado *Inflation Reduction Act*. Esse plano, dentre outras motivações, tem como objetivo favorecer apenas os carros elétricos fabricados no país, mesmo que sejam montadoras de outras regiões. Em resposta a essa medida, a União Europeia também planeja reforçar o mercado interno, visando combater não somente as produções americanas, mas também as chinesas, que estão dominando o mercado nessa região (CESAR,2022; SANTOS,2022).

## 7 VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL

### 7.1 PANORAMA ATUAL DO MERCADO DE EVS NO BRASIL

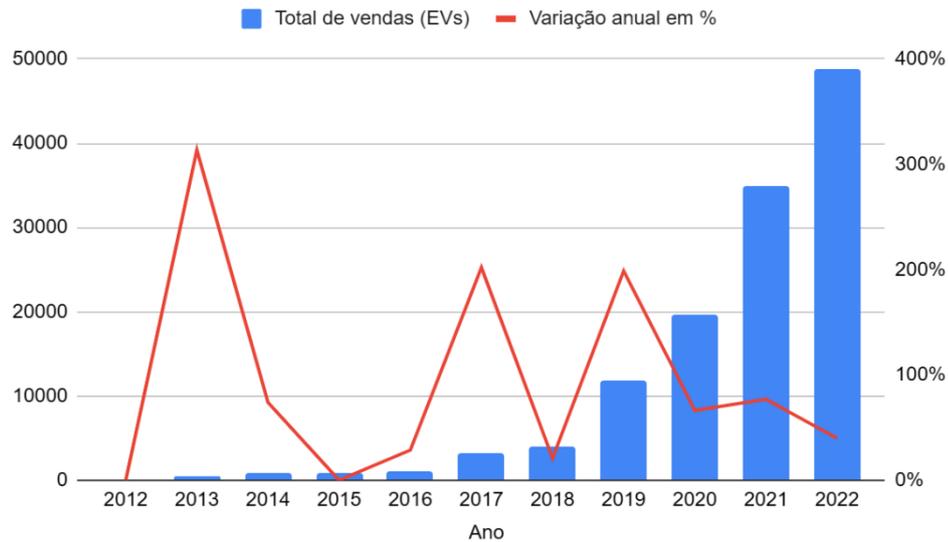
O mercado de eletrificados no Brasil tem passado por um crescimento significativo há mais de 10 anos. Atualmente, o número de EVs leves em circulação no país já ultrapassa a marca de 100.000 unidades. A Tabela 7 e o Gráfico 1 fornecem os números de unidades vendidas entre os anos de 2012-2022 no mercado brasileiro.

Tabela 7 - Emplacamentos de EVs leves ao longo dos anos de 2012-2022 no Brasil

Ano	Total de vendas (EVs)	Varição anual em % (2012-2022)
2012	117	0%
2013	484	313,68%
2014	842	73,97%
2015	843	0,12%
2016	1085	28,71%
2017	3278	202,12%
2018	3965	20,96%
2019	11844	198,71%
2020	19687	66,22%
2021	34839	76,96%
2022	48744	39,91%
2012-2022	125728	41561,54%

Fonte: Elaboração própria, com base em ANFAVEA (2023)

Gráfico 1 - Representação gráfica dos dados fornecidos pela Tabela 7



Fonte: Elaboração própria, com base em ANFAVEA (2023)

Analisando essas informações, nota-se que apenas em 2015 não houve um crescimento significativo no número das vendas em comparação com o ano anterior. É preciso considerar também o efeito da Pandemia de Covid-19 na economia brasileira, o que certamente contribuiu para uma queda no número das vendas. Ainda mais, observando que em 2019, ano anterior à pandemia, houve um crescimento de 198,71% em relação a 2018.

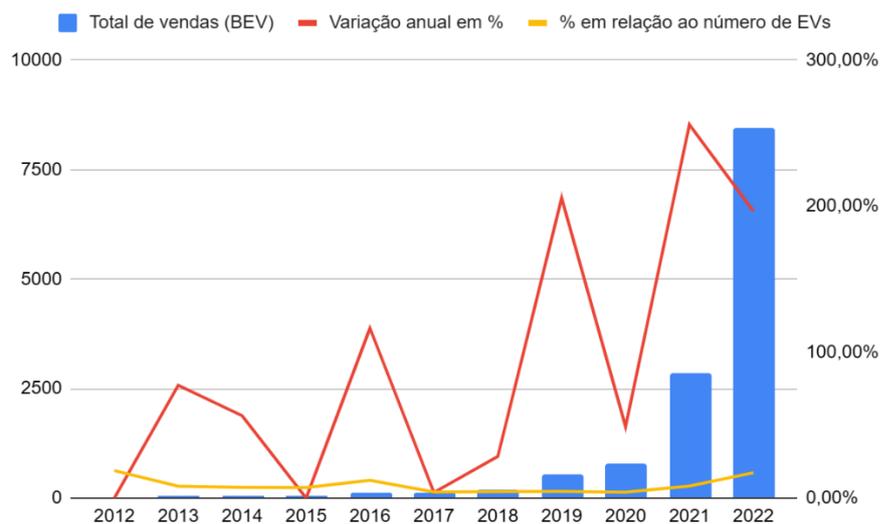
Dentre os tipos de eletrificados, é sabido que os BEVs, os elétricos puros, são mais apreciados devido ao seu menor impacto ambiental. Entretanto, devido ao seu menor custo, os híbridos convencionais (HEVs) e híbridos *plug-in* (PHEVs) acabam ocupando uma fatia importante do mercado, principalmente em países com uma economia emergente, que é o caso do Brasil. Dessa forma, é interessante avaliar as vendas dos BEVs com o intuito de acompanhar a sua evolução no mercado nacional. Por esse motivo, a Tabela 8 e o Gráfico 2 fornecem os números de emplacamentos de BEVs ao longo do mesmo período da Tabela 7.

Tabela 8 - Números de emplacamentos de BEVs ao longo dos anos de 2012-2022 no Brasil

Ano	Total de vendas (BEV)	Varição anual em % (2012-2022)	% de BEVs em relação ao número de EVs
2012	22	0%	18,80%
2013	39	77,27%	8,06%
2014	61	56,41%	7,24%
2015	61	0,00%	7,24%
2016	132	116,39%	12,17%
2017	137	3,79%	4,18%
2018	176	28,47%	4,44%
2019	538	205,68%	4,54%
2020	801	48,88%	4,07%
2021	2851	255,93%	8,18%
2022	8458	196,67%	17,35%
2012-2022	13276	60245,45%	10,56%

Fonte: Elaboração própria, com base em ABVE (2023) e ANFAVEA (2023)

Gráfico 2 - Representação gráfica dos dados fornecidos pela Tabela 8



Fonte: Elaboração própria, com base em ABVE (2023) e ANFAVEA (2023)

Percebe-se que, de fato, a concentração dos BEVs ainda é pequena quando comparada aos números totais de eletrificados. Porém, o crescimento dos últimos dois anos foi bastante animador, pois durante quatro anos (2017-2020) o percentual de BEVs em relação ao total de EVs ficou estagnado na casa dos 4%. Já em 2021 houve

um aumento de 8,18%, enquanto em 2022 foi registrado um aumento ainda maior, com os elétricos puros representando 17,35% do total de eletrificados vendidos.

Os PHEVs também representam uma boa fatia do mercado de EVs. De acordo com dados da ABVE, em 2022 foram vendidas 10.348 unidades desse modelo, o que representou um aumento de 20,4% em relação a 2021. Apesar disso, o domínio dos HEVs ainda é evidente, com 29.938 unidades vendidas em 2022.

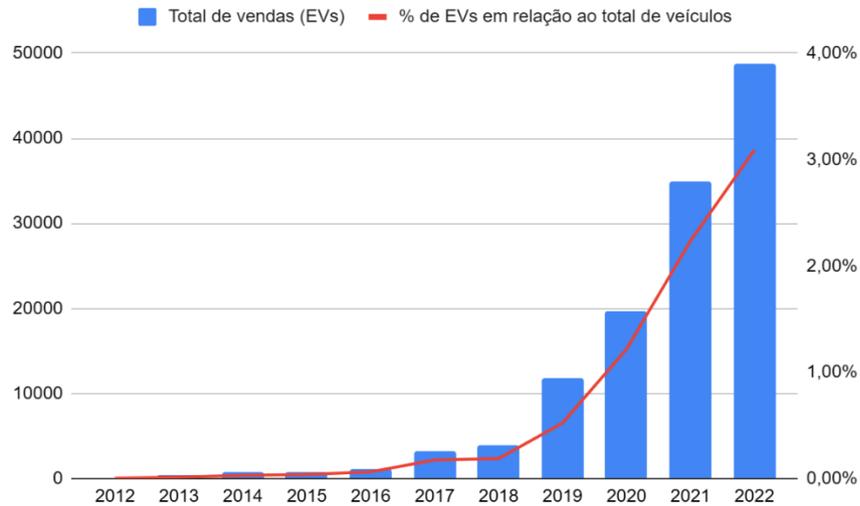
A comparação das vendas de EVs em relação às vendas totais de veículos é bastante interessante para acompanhar a situação de um determinado país, como foi visto na Tabela 6. Com esse objetivo, a Tabela 9 e o Gráfico 3 realizam uma comparação das vendas de veículos elétricos em relação ao total de veículos vendidos no Brasil. O Gráfico 4 mostra a divisão atual do mercado (do inglês *market share*) de veículos leves ao identificar a fatia dos principais tipos de automóveis vendidos no Brasil de acordo com a sua motorização.

Tabela 9 - Comparação do número de EVs vendidos em relação às vendas totais de veículos no Brasil ao longo dos anos de 2012-2022

<b>Ano</b>	<b>Número total de veículos vendidos</b>	<b>Total de vendas (EVs)</b>	<b>% de EVs em relação ao total de veículos</b>
2012	3.115.223	117	0,00376%
2013	3.040.783	484	0,01592%
2014	2.794.687	842	0,03013%
2015	2.123.009	843	0,03971%
2016	1.688.289	1085	0,06427%
2017	1.856.584	3278	0,17656%
2018	2.102.114	3965	0,18862%
2019	2.262.073	11844	0,52359%
2020	1.615.942	19687	1,21830%
2021	1.558.467	34839	2,23547%
2022	1.576.666	48744	3,09159%
2012-2022	23.733.837	125728	0,52974%

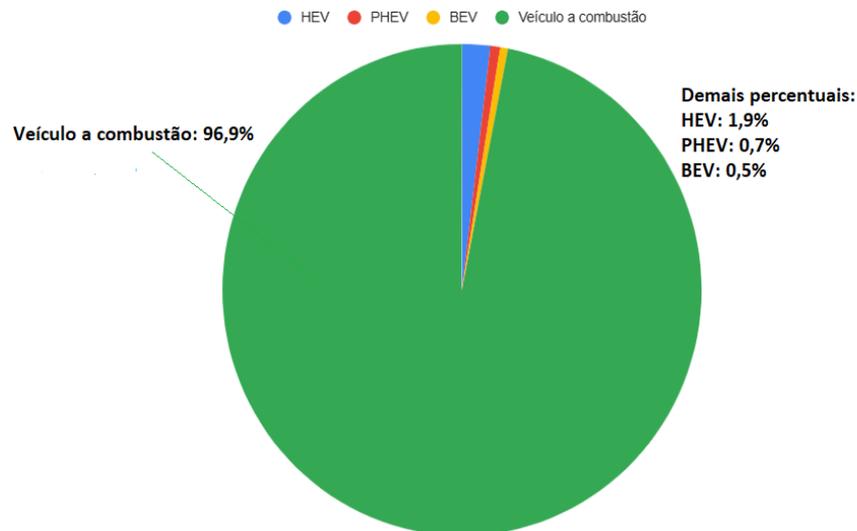
Fonte: Elaboração própria, com base em ANFAVEA (2023)

Gráfico 3 - Representação gráfica dos dados fornecidos pela Tabela 9



Fonte: Elaboração própria, com base em ANFAVEA (2023)

Gráfico 4 - Divisão do setor brasileiro de veículos leves de acordo com o tipo de motor



Fonte: Elaboração própria, com base em ABVE (2023) e ANFAVEA (2023)

Esses dados ajudam a mostrar que apesar dos avanços nos últimos anos, o mercado brasileiro de eletrificados ainda apresenta defasagens, principalmente quando comparado aos países europeus. Por exemplo, os EVs no Brasil, correspondem a 3,09% do mercado, enquanto na Europa há diversos países com mais de 40% das vendas totais correspondendo aos veículos elétricos, conforme mostrado na Tabela 6. Por outro lado, a fatia de participação dos elétricos no Brasil já se iguala a países importantes, como o Japão e os Estados Unidos.

Os dados fornecidos até então dizem respeito aos veículos leves. Porém, os demais setores (veículos comerciais, caminhões e ônibus) também registraram crescimento nas vendas. A Tabela 10 traz as vendas desses tipos de veículos no período 2021-2022, além de realizar a comparação com as vendas totais para o mesmo período.

Tabela 10 - Vendas de EVs no Brasil em relação aos números totais para veículos comerciais, caminhões e ônibus

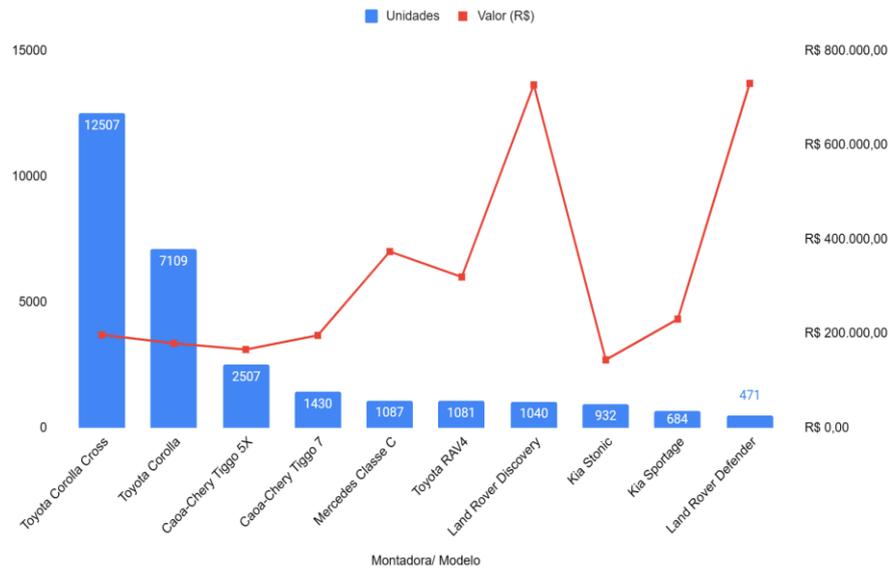
<b>Tipo Veículo</b>	<b>Vendas totais 2022</b>	<b>Vendas EVs 2022</b>	<b>% de EVs /vendas totais 2022</b>	<b>Vendas totais 2021</b>	<b>Vendas EVs 2021</b>	<b>% de EVs /vendas totais 2021</b>
Veículo comercial	383795	518	0,13%	418643	151	0,04%
Caminhão	126643	714	0,56%	128679	293	0,23%
Ônibus	17357	35	0,20%	14062	20	0,14%

Fonte: Elaboração própria, com base em ANFAVEA (2023)

É possível perceber que a porcentagem de vendas de EVs para os veículos comerciais, caminhões e ônibus são bem menores quando comparados aos veículos leves. Esses números são justificados até mesmo pela baixa disponibilidade desses tipos de veículos com o motor elétrico. Apesar disso, já se nota um crescimento ao longo dos anos. Por exemplo, o ano de 2022 apresentou um aumento percentual considerável nos três setores. Além disso, boa parte desses veículos são utilizados por grandes corporações, que por sua vez são guiadas por planos estratégicos internacionais. Dessa maneira, a agenda ESG (do inglês *Environmental, Social and Governance*) tem uma certa influência sobre esses números, pois essa política contribui para a redução da pegada de carbono das grandes empresas. Ademais, devido à maior capacidade de investimento, as grandes corporações conseguem firmar parcerias com as montadoras para vendas diretas de eletrificados, o que resolve, em parte, o problema da baixa disponibilidade desses tipos de veículos (SCARABOTTO,2021).

A respeito dos modelos mais vendidos dentre os três principais tipos de EVs, o Gráfico 5, Gráfico 6 e Gráfico 7 fornecem os veículos mais vendidos em 2022, entre os HEVs, BEVs e PHEVs, respectivamente. Os valores para cada modelo citado também são utilizados como parâmetro, ressaltando-se que o valor fornecido corresponde ao modelo de entrada para cada veículo.

Gráfico 5 - Modelos de HEVs mais vendidos no Brasil em 2022

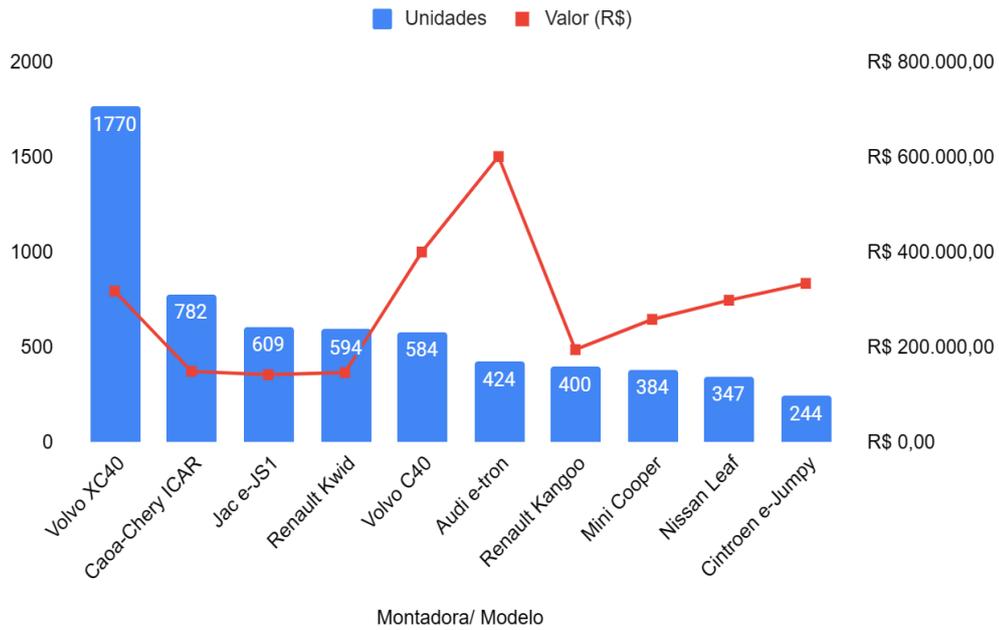


Fonte: Elaboração própria, com base em ABVE (2023) e FIPE (2023)

Por meio dos gráficos é possível entender o motivo dos HEVs serem os mais populares dentre os eletrificados. Além de possuírem valores mais condizentes com relação aos seus concorrentes a combustão, boa parte dos modelos desse tipo representam o segmento SUV (do inglês *Sport Utility Vehicle*), o mais vendido no Brasil segundo a FENABRAVE.

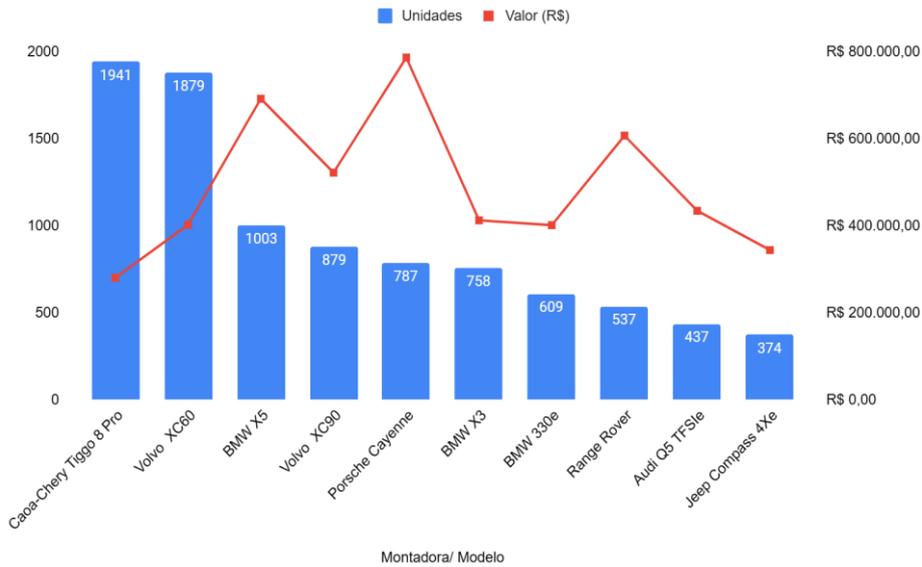
Com relação aos BEVs, existem veículos com valores até menores do que os HEVs. O problema é que os modelos mais baratos pertencem à categoria dos compactos e apresentam diferenças consideráveis de preço quando comparados aos concorrentes a combustão, conforme discutido na Tabela 2. Apesar disso, os elétricos puros apresentam uma característica mais heterogênea quanto a sua distribuição de vendas, pois além dos compactos há também vendas consideráveis de veículos de luxo (Volvo XC40, Volvo C40 e Audi e-tron) e veículos comerciais (Renault Kangoo e Citroen e-Jumpy).

Gráfico 6 - Modelos de BEVs mais vendidos no Brasil em 2022



Fonte: Elaboração própria, com base em ABVE (2023) e FIPE (2023)

Gráfico 7 - Modelos de PHEVs mais vendidos em 2022



Fonte: Elaboração própria, com base em ABVE (2023) e FIPE (2023)

Por último, os PHEVs representam majoritariamente o segmento dos SUVs e esportivos de luxo. Até mesmo as opções mais baratas (Tiggo 8 Pro e Jepp Compass 4Xe) são versões mais robustas e completas quando comparados aos HEVs.

Os dados apresentados também ajudam a mostrar que a situação dos EVs é mais crítica justamente para os segmentos de entrada, o que acaba sendo um entrave

para uma maior popularização do produto. No entanto, de acordo com o presidente da ABVE, Adalberto Maluf, os resultados dos últimos anos devem ser comemorados. Entretanto, segundo o presidente, é preciso que seja criado um parque industrial para os eletrificados, pois isso levará a criação de mais empregos e também irá incentivar mais pesquisas e inovações no setor.

## 7.2 INFRAESTRUTURA DE RECARGA PÚBLICA NO BRASIL

### 7.2.1 Regulação da Infraestrutura de Recarga

O aumento da frota de veículos elétricos requer um desenvolvimento em conjunto com a sua infraestrutura de recarga. De acordo com o relatório anual sobre EVs da agência internacional de energia (IEA - do inglês *International Energy Agency*), existem cerca de 1,8 milhões de pontos de recarga públicos em todo o globo, com cerca de um terço desse total correspondendo a pontos de carga rápida.

Com o intuito de incentivar a criação de mais eletropostos, o governo brasileiro, através da ANEEL, aprovou em 19 de Junho de 2018 a Resolução Normativa Nº 819/2018. Essa norma, dentre outras prerrogativas, possibilita que qualquer interessado seja proprietário de uma estação de recarga. Além disso, o serviço prestado pode ser cobrado a valores livremente negociados, sendo possível que haja a cobrança pelo uso do espaço, do equipamento e também da energia consumida durante a recarga. Essa regulamentação foi bastante importante para o crescimento de eletropostos ao longo dos últimos anos, pois reduziu a incerteza de investimento nesse mercado.

Ainda em 2018, a ANEEL lançou um plano estratégico denominado “chamada 22” cujo enfoque é o aumento de negócios e soluções no setor de mobilidade elétrica durante o período de 2020-2024. Esse plano faz parte dos projetos de chamadas estratégicas da agência, e visa investimentos na área de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em setores considerados estratégicos para o setor elétrico brasileiro, mas que possuem elevada complexidade em termos científicos e/ou tecnológicos, além de baixa atratividade para investimentos isolados. Dessa forma, esses projetos visam criar um apoio coordenado entre diversas empresas e agentes do governo para alcançar um aporte financeiro ideal para a obtenção de bons resultados nesse setor.

Atualmente, os eletropostos são regulados pela Resolução Normativa N° 1000/2021, aprovada no dia 7 de dezembro de 2021 com o objetivo de reunir todas as regras da ANEEL com relação ao serviço público de distribuição de energia elétrica. Dessa forma, as prerrogativas citadas pela Resolução N° 819/2018 agora estão inseridas através do capítulo V da atual norma.

Além das resoluções que regulam a atividade dos eletropostos, o Brasil também conta com normas específicas para a regulação de toda a infraestrutura de recarga em si. A partir do Quadro 3 é possível visualizar todas as normas, bem como a descrição sucinta de cada uma acerca desse assunto.

Quadro 3 - Normas técnicas acerca da Infraestrutura de recarga do Brasil

Norma	Descrição
ABNT NBR IEC 62196-1:2021	Plugues, tomadas, tomadas móveis para veículos elétricos e plugues fixos para veículos elétricos – Recarga condutiva para veículos elétricos
ABNT NBR IEC 61851-1 e 21 & 22:2013	Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos
ABNT NBR IEC 61851-23:2020	Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos – Parte 23: Estação de recarga em corrente contínua para veículos elétricos.
ABNT NBR IEC 61851-24:2021	Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos – Parte 24: Comunicação digital entre a estação de recarga em corrente contínua, para veículos elétricos e o veículo elétrico para o controle da recarga em corrente contínua.
ABNT NBR IEC 61000-4-3:2014	Compatibilidade eletromagnética (EMC)
ABNT NBR ISO 11452-2:2006	Veículos rodoviários automotores – Métodos de ensaio de componentes para distúrbios elétricos causados por energia eletromagnética emitida em banda estreita – Parte 2: Compartimento blindado com absorvedores

Fonte: Autoria Própria, com base nas normas ABNT.

As normas descritas foram elaboradas pela ABNT, e baseiam-se na tradução e adequação dos padrões internacionais da IEC e da Organização Internacional de Normalização (ISO - do inglês *International Organization for Standardization*). Todavia, apesar de toda a regulamentação descrita, o Brasil não possui um padrão definido para o conector utilizado pelos carregadores dos veículos elétricos. Desse modo, o padrão a ser utilizado irá depender da escolha do fabricante. Por isso, é possível encontrar pontos de recarga com os mais variados padrões, apesar de ser mais comum encontrar eletropostos com o padrão CA do tipo IEC-62196.

### 7.2.2 Panorama atual da Infraestrutura pública de recarga

De acordo com estimativas da ABVE, atualmente, existem cerca de 3000 eletropostos públicos em funcionamento no Brasil. Um número considerável, dado que em março de 2021 havia apenas 500 eletropostos no país. Hoje, a expectativa é que esse número ultrapasse a casa de 10.000 unidades até 2025. (CESAR, 2021).

No Brasil, boa parte dos eletropostos que operam em corrente alternada são limitados à potência de 7,4 kW devido a infraestrutura elétrica do empreendimento, além do fato de que boa parte dos eletrificados suportam no máximo essa potência em CA. Apesar disso, os EVs mais recentes já suportam uma potência maior, por isso tem sido verificado um aumento de estações de 11 kW e 22 kW. Por sua vez, os eletropostos em corrente contínua operam na potência de 24 kW quando utilizados exclusivamente no padrão CCS2. Para os pontos em CA e CC, a potência usual é de 50 kW, apesar de já existir eletropostos de até 300 kW (CESAR, 2021).

Conforme dito no relatório anual da IEA, para avaliar a quantidade ideal de pontos de recarga em uma região não basta apenas identificar o número de EVs em circulação, até porque a capacidade das baterias varia bastante conforme o modelo e tipo de eletrificado. Os PHEVs, por exemplo, possuem uma bateria com uma capacidade bem menor quando comparado a um BHEV. Dessa maneira, acaba sendo mais interessante analisar os EVs com base na capacidade da sua bateria.

Além do parâmetro citado, outros aspectos também devem ser considerados para a avaliação da quantidade ideal de pontos de recarga. Por exemplo: densidade populacional; distância média percorrida por cada eletrificado e potência média dos carregadores dos eletropostos. Além disso, a análise também deve ser feita com base nas características de uma certa região ou país.

O Brasil, por exemplo, é um país com uma considerável extensão territorial, mas que apresenta particularidades entre as regiões. A região Sudeste, por exemplo, possui uma densidade populacional bem superior quando comparada às demais. Além disso, essa região juntamente com o sul do país detém a maior parte da economia do Brasil. Exatamente por isso, são as regiões com a maior concentração de veículos elétricos e que mais recebem investimentos com relação a infraestrutura de recarga.

A Figura 12 identifica de maneira ampla os pontos de recarga localizados no território brasileiro através da plataforma de geolocalização *PlugShare*. Esse

aplicativo é bastante interessante, pois possibilita que o usuário consulte os tipos de conectores disponíveis, a potência de cada carregador e o valor cobrado pela sua utilização, além de também ser possível encontrar a opinião dos demais usuários. Desse modo, é possível que o proprietário de um EV programe de maneira antecipada os seus pontos de paradas em caso de viagens. Através do aplicativo citado também foi possível realizar um levantamento da quantidade de eletropostos de recarga rápida em todos os estados brasileiros, conforme é mostrado no Quadro 4.

Figura 12 - Distribuição de Eletropostos em todo o território brasileiro



Fonte: PlugShare (2023)

Quadro 4 - Distribuição de Eletropostos de carga rápida nos estados brasileiros

REGIÃO	ESTADO	ELETROPOSTOS DE CARGA RÁPIDA
CENTRO-OESTE	DISTRITO-FEDERAL	0
	GOIÁS	1
	MATO GROSSO	1
	MATO GROSSO DO SUL	0
NORDESTE	ALAGOAS	1
	BAHIA	3
	CEARÁ	0
	MARANHÃO	3

REGIÃO	ESTADO	ELETROPOSTOS DE CARGA RÁPIDA
NORDESTE	PARAÍBA	1
	PERNAMBUCO	2
	PIAUÍ	2
	RIO GRANDE DO NORTE	3
	SERGIPE	2
NORTE	ACRE	0
	AMAPÁ	0
	AMAZONAS	2
	PARÁ	3
	RONDÔNIA	0
	RORAIMA	0
	TOCANTIS	0
SUDESTE	ESPÍRITO SANTO	1
	MINAS GERAIS	12
	RIO DE JANEIRO	4
	SÃO PAULO	59
SUL	PARANÁ	16
	RIO GRANDE DO SUL	13
	SANTA CATARINA	12

Fonte: Autoria própria, com base em PlugShare (2023)

É possível perceber que, de fato, as regiões Sul e Sudeste concentram grande parte dos pontos de recarga. Nota-se que nessas regiões há uma grande quantidade de estações de alta potência, que costumam estar localizadas nas eletrovias ou corredores elétricos. Essas denominações são utilizadas para trechos de rodovias com uma boa infraestrutura de recarga, e por isso são imprescindíveis para utilização dos EVs em viagens.

Os investimentos em estações de recargas rápidas costumam ser frutos de parcerias de empresas do setor elétrico com montadoras e até mesmo estabelecimentos comerciais. Um grande exemplo é a parceria da companhia elétrica EDP (Energias de Portugal) com o grupo BMW, que resultou em um corredor de estações ao longo de todo o trecho entre São Paulo e Rio de Janeiro. Além disso, recentemente a EDP em conjunto com a rede de auto postos Graal e com as fabricantes Audi, Porsche e Volkswagen implantaram diversos pontos de recarga no

estado de São Paulo. Essa parceria faz parte do projeto *Plug and Go*, que visa estabelecer nos próximos anos uma rede de recarga rápida em toda a América do Sul (PNME,2022).

Na região Sul, um dos destaques fica por conta do Paraná, onde se encontra a eletrovia da Copel (Companhia Paranaense de Energia), que foi fruto de um investimento dessa companhia com a Itaipu Binacional. Esse corredor foi inaugurado em 2018 e possui diversas estações de recarga rápida que cobrem todo o trecho da BR-277 ao longo das cidades de Paranaguá a Foz do Iguaçu. Outro projeto de destaque nessa região é o corredor elétrico situado na região costeira e no interior de Santa Catarina. Esse projeto foi uma iniciativa da CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina) em conjunto com a Fundação CERTI (Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras) no âmbito da chamada 22 da ANEEL, pois esse projeto foi desenvolvido para estudar os impactos das recargas dos veículos elétricos na rede de distribuição (PNME,2022).

No Nordeste o destaque fica por conta da eletrovia, denominada corredor verde, saindo de Salvador-BA, e passando pelas cidades de Aracaju-SE, Maceió-AL, Recife-PE, João Pessoa-PB até chegar em Natal. Esse projeto faz parte dos planos da Neoenergia em estimular o mercado de elétricos para auxiliar no processo de descarbonização da economia e também está inserido no âmbito da chamada estratégica da ANEEL (PNME,2022).

A região Norte é o caso mais crítico, pois além dos carregadores de alta velocidade estarem concentrados na região de Manaus e Belém, há um número escasso de carregadores públicos convencionais distribuídos em toda a região, o que torna praticamente impraticável o uso de EVs para longas viagens. No caso do centro-oeste a situação é um pouco melhor, pois há uma maior distribuição de estações públicas, principalmente entre as capitais.

De acordo com o diretor de Infraestrutura da ABVE, Davi Bertoncetto, a evolução da infraestrutura de recarga está crescendo de maneira proporcional ao crescimento de veículos elétricos *plug-in*. Dessa forma, com o crescimento do mercado desses tipos de veículos em todo o Brasil, é esperado que os investimentos em termos de infraestrutura ocorram de forma mais homogênea em todo o território brasileiro.

## 7.3 INCENTIVOS PÚBLICOS

### 7.3.1 Medidas públicas federais

O Brasil, seguindo o exemplo dos demais países ao redor do globo, vem apresentando políticas públicas com o intuito de aumentar a difusão dos veículos elétricos em seu território. O Quadro 5 apresenta as principais medidas adotadas pelo país em uma escala Federal.

Quadro 5 - Políticas Públicas Federais Pró-mobilidade Elétrica no Brasil

<b>Política Pública</b>	<b>Órgão Responsável</b>	<b>Objetivo Principal</b>
Resolução CAMEX nº 97, de 26 de outubro de 2015	Câmara de Comércio Exterior (CAMEX) Ministério da Economia	Garantir a Isenção ou diminuição do imposto de importação para EVs
Resolução ANEEL nº 819, de 19 de junho 2018	Agência Nacional de Energia Elétrica - Ministério de Minas e Energia	Fundamentar os princípios do serviço de recarga dos veículos em eletropostos
Decreto da Presidência da República nº 9.442, de 5 de julho de 2018	Secretaria Geral da Presidência da República	Diminuir a alíquota de Imposto sobre produtos industrializados para EVs
Programa de Eletromobilidade do BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - Ministério da Economia.	Financiar o desenvolvimento de um ecossistema para a eletromobilidade e compras de EVs por corporações
Chamada 22 - P&D ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica - Ministério de Minas e Energia	Financiar os projetos para geração de modelos de negócios e soluções de mercado para a eletromobilidade
Rota 2030 - Lei nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018	Secretaria Geral da Presidência da República	Incentivar as atividades de inovação relacionadas a novas tecnologias de propulsão, eletromobilidade e eficiência energética
Frente Parlamentar Mista pela Eletromobilidade	Senado	Debater o desenvolvimento sustentável aliado à inovação tecnológica, com foco nos veículos elétricos
Em andamento - Projeto de Lei	Câmara de Comércio Exterior (CAMEX) Ministério da Economia	Projeto de lei que isenta veículos elétricos e híbridos do Imposto de Importação até 31 de dezembro de 2025

Adaptado de PNME (2022)

Algumas políticas informadas visam a redução ou até mesmo a isenção de impostos, como é o caso da Resolução CAMEX nº 97, de 26 de outubro de 2015. Essa medida elimina o imposto de importação de 35% sobre veículos elétricos a bateria ou a célula de combustível, desde que estes tenham uma autonomia de no mínimo 80 km. Por sua vez, os veículos híbridos também apresentam uma redução no imposto que pode variar de 2% a 7%, dependendo da capacidade do seu motor e da sua eficiência energética. Essa resolução ganhou ainda a ação complementar da CAMEX nº 27, de 24 de março de 2016, que garantiu a isenção do imposto de 35% para veículos de transporte de mercadorias a bateria ou a célula de combustível. Cabe destacar, que há um projeto de lei em tramitação, nesta mesma Câmara, que objetiva isentar todos os veículos elétricos e híbridos do imposto de importação.

Outra ação importante no que tange a redução de impostos, foi o Decreto da Presidência da República nº 9.442, de 5 de julho de 2018, que alterou a alíquota do imposto de 25% para 7% sobre produtos industrializados utilizados em veículos híbridos ou elétricos. É importante salientar que as ações de isenção ou de diminuição de impostos são imprescindíveis na popularização dos EVs, justamente pela capacidade de impactar de maneira imediata no preço dos veículos.

As demais medidas também possuem um caráter fundamental devido ao fato de auxiliarem no financiamento da indústria e da infraestrutura de recarga dos EVs. Esses tipos de políticas já visam obter resultados a médio e longo prazo. Por exemplo, a Resolução ANEEL nº 819, de 19 de junho de 2018 e a Chamada 22 - P&D ANEEL, que já foram discutidas nesse trabalho, são medidas primordiais para o avanço da infraestrutura de recarga no país. Por sua vez, o Programa de Eletromobilidade do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) tem como objetivo fornecer taxas de créditos atrativas para montadoras de veículos e corporações que desejam investir no setor de mobilidade elétrica.

Por fim, no início de 2022, foi aprovada no senado uma frente parlamentar mista pela Eletromobilidade, que tem como objetivo promover debates, iniciativas e projetos de lei em todo o setor de mobilidade elétrica. Essa medida, juntamente com a política Rota 2030, que prevê o aumento do investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação no setor automotivo brasileiro, traz uma perspectiva de que nos próximos anos possam surgir novas políticas públicas federais que ajudem a impulsionar o desenvolvimento e adoção dessa tecnologia no país.

### 7.3.2 Medidas públicas estaduais

Os estados brasileiros também dispõem de medidas públicas que visam o avanço da mobilidade elétrica. O Quadro 6 exemplifica as principais políticas públicas estaduais para esse setor, informando os estados participantes e o principal objetivo de cada medida. Por sua vez, o Quadro 7 mostra de forma mais detalhada os estados que oferecem a redução ou isenção no Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores (IPVA).

Quadro 6 - Políticas públicas Estaduais Pró-mobilidade elétrica no Brasil

<b>Política Pública</b>	<b>Governo Estadual</b>	<b>Objetivo Principal</b>
Isenção de Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores	Ceará, Distrito Federal, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Paraná, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro e Rio Grande do Norte.	Isenção Total ou Parcial de IPVA
Metas de Eletrificação	Pernambuco, Minas Gerais e São Paulo	Planos Estaduais com metas de eletrificação
Projeto VEM DF; Projeto VEM PR	Distrito Federal e Paraná	Compartilhamento de veículos elétricos para frotas públicas do Governo do Distrito Federal e Paraná.
Locação de ônibus 100% elétricos	Goiás	Contratação de serviço de locação de ônibus 100% elétricos
Protocolo de intenções	Minas Gerais	Protocolo de intenções com a Bravo Motor Company para a construção de uma fábrica de veículos elétricos e packs de baterias na Região Metropolitana de Belo Horizonte.
Dia da mobilidade elétrica	Paraná	Criação de uma data estadual oficial para a mobilidade elétrica
Programa Noronha Carbono Zero	Pernambuco	Tornar Fernando de Noronha o primeiro território zero-carbono do Brasil e desenvolver modelos de gestão sustentável, novos negócios colaborativos e com baixa emissão de carbono.
Parceria SC/GM	Santa Catarina	Parceria visa fomentar a mobilidade elétrica
Programa Pró Veículo Verde	São Paulo	Incentivo à produção de carros híbridos ou movidos a energia limpa no Estado
Redução na alíquota do ICMS	São Paulo	Redução do ICMS para veículos elétricos e híbridos

Adaptado de PNME (2022)

Quadro 7 - Isenção ou redução do IPVA sobre eletrificados

<b>Estado</b>	<b>Lei e alíquotas de desconto</b>
Ceará	A alíquota do IPVA é de 1% para os veículos elétricos, em 2022.
Distrito Federal	Lei sancionada em dezembro de 2021: isenção do IPVA será concedida aos "automóveis movidos a motor elétrico, inclusive denominados híbridos, movidos a motores a combustão e, também, a motor elétrico
Maranhão	100% de isenção do imposto para carros elétricos e híbridos.
Paraná	Lei N° 19971 DE 22/10/2019: isenção parcial do IPVA para veículos equipados unicamente com motor elétrico para propulsão, em 3,5% do valor do automóvel, até o dia 31 de dezembro de 2022.
Pernambuco	Art 5°, LEI N° 10.849: isenta do IPVA a propriedade de: (Redação alterada pelo art. 1° da Lei n° 15.593, de 20 de dezembro de 2016.) veículo movido a motor elétrico.
Piauí	Lei N° 7192 de 29/03/2019: as alíquotas do imposto são: 1,0% (um por cento), para veículos movidos exclusivamente a motor elétrico.
Rio de Janeiro	Inciso VI-A do art. 10 acrescentado pela Lei n° 7.068/2015: isenção parcial do IPVA EM 1,5% (um e meio por cento) para veículos que utilizem gás natural ou veículos híbridos que possuem mais de um motor de propulsão. Inciso VII do art.10 alterada pela Lei n° 7.068/2015: isenção parcial do IPVA-0,5% (meio por cento) para veículos que utilizem motor de propulsão especificado de fábrica para funcionar, exclusivamente, com energia elétrica.
Rio Grande do Norte	Decreto N° 29775 DE 23/06/2020: aplica-se aos veículos movidos a motor elétrico
Rio Grande do Norte	IPVA Verde: a isenção do IPVA para os veículos elétricos e híbridos até 2023.

Adaptado de PNME (2022)

O estado de São Paulo reduziu, a partir do dia 1° de janeiro de 2022, a alíquota do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) de 18% para 14,5% em ônibus, veículos elétricos e híbridos. Para caminhões elétricos, a redução foi de 18% para 12%. Com relação ao IPVA, houve redução ou isenção em nove das vinte e sete unidades federativas do país, conforme foi mostrado mais detalhadamente no Quadro 7 (PNME, 2022).

As metas de eletrificação firmada por alguns estados também é uma medida interessante, pois demonstra a preocupação dos estados em alavancar o crescimento desse setor. O destaque fica por conta dos estados de Minas Gerais e Pernambuco, que possuem metas de descarbonização de toda a frota veicular até 2050. Pernambuco, inclusive, possui metas mais imediatas para o território de Fernando de Noronha, pois a ideia é que em 2030 não seja mais permitido a circulação de veículos movidos a combustíveis fósseis nesse território. A intenção do governo é usar a imagem da ilha como um exemplo para todo o país, considerando o grande apelo turístico da região (PNME, 2022; DIÁRIO DE PERNAMBUCO, 2019).

As parcerias realizadas entre governos e empresas também são indispensáveis. Um dos exemplos mais audaciosos é a parceria do governo de Minas Gerais com a *Bravo Motor Company*, empresa com foco na produção de baterias e veículos elétricos. Esse acordo prevê um aporte de R\$ 25 bilhões, em sua primeira fase, para construção de uma fábrica de veículos elétricos e baterias (PNME, 2022). Esse acordo se torna ainda mais interessante devido ao déficit que o Brasil tem em relação a parques industriais para eletrificados, conforme foi dito no final do tópico 7.1.

O Estado de São Paulo, por meio do Programa Pró Veículo Verde, também busca auxiliar empresas do setor através de créditos de ICMS no valor de até R\$ 500 milhões. Para isso, a empresa interessada precisa apresentar um investimento mínimo de R\$ 15 milhões, além de ser necessário que a empresa tenha no mínimo R\$ 3 milhões de créditos de ICMS a receber. Entretanto, também é possível que a empresa consiga um prazo de garantia através de fiança bancária ou seguro de obrigações contratuais de 3 anos (PNME, 2022).

O Estado de Goiás em parceria com empresas como Enel X, Marcopolo e Consórcio HP-ITA (Urbi Mobilidade Urbana) está buscando renovar o transporte coletivo de Goiânia e região metropolitana com ônibus 100% elétricos. Para isso, foi lançado um edital que prevê o aluguel de 114 veículos em um período de 16 anos de operação. Nesse período, o Estado vai custear a taxa de manutenção e a energia elétrica para abastecer a frota. Outra parceria que pode render frutos em um futuro próximo, é entre Santa Catarina e o grupo *General Motors* (GM), que irão se reunir em um grupo de trabalho para planejar e expandir a eletromobilidade no estado (PNME, 2022).

O Distrito Federal e o Paraná lançaram programas análogos em parceria com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI). Esses projetos visam compartilhar veículos elétricos para servidores estaduais previamente cadastrados. No caso do Distrito Federal há também parceria com a empresa WEG para a criação de eletropostos, que poderão ser utilizados por qualquer pessoa sem qualquer cobrança de taxa. Por sua vez, o governo do Paraná também resolveu instituir o Dia da Mobilidade Elétrica. Uma atitude que pode parecer meramente simbólica, mas que pelo menos em teoria será utilizada para discutir novos projetos na área (AGÊNCIA BRASÍLIA, 2019; ANP, 2020).

### 7.3.3 Medidas públicas municipais

Devido ao crescimento da frota de eletrificados, os principais municípios brasileiros também resolveram adotar políticas públicas para fortalecer ainda mais esse mercado. O Quadro 8 exemplifica as principais políticas públicas municipais, informando os municípios participantes e o principal objetivo de cada medida.

Assim como no âmbito federal e estadual, algumas medidas públicas municipais visam à isenção ou diminuição de impostos, como é o caso dos municípios de São Paulo e Sorocaba. Outras medidas visam à isenção de determinado serviço municipal, como o exemplo de Curitiba, que através do Decreto 1.528 de 2019, isentou os EVs do estacionamento regulamentado do município. Em São Paulo, além da redução do IPVA, os veículos elétricos de até R\$ 150.000 estão isentos do rodízio municipal. Além disso, São Paulo, através do projeto Green Sampa, e Curitiba, com base na Lei 14.826 de 2016, estão buscando estabelecer políticas de incentivo à mobilidade elétrica, promovendo discussões que visam à criação de mais medidas e projetos para esse setor (PNME, 2022).

Quadro 8 - Políticas públicas Municipais Pró-mobilidade elétrica no Brasil

<b>Governo Municipal</b>	<b>Política Pública</b>	<b>Objetivo Principal</b>
Curitiba-PR	Lei 14.826 de 2016	Estabelece a política municipal de incentivo ao uso de carros elétricos a bateria ou movidos a hidrogênio
Curitiba-PR	Decreto 1.528 de 2019	Isenção de veículos elétricos a bateria do pagamento do Estacionamento Regulamentado (EstaR)
Fortaleza-CE	Projeto VAMO	Introduz o compartilhamento de veículos puramente elétricos na cidade por meio de uma parceria público-privada
Fortaleza-CE	Projeto Re-ciclo	Aquisição de 90 triciclos elétricos designados para associações de catadores de materiais recicláveis
Jacareí-SP	Lei nº6.449 de 2022	Soluções de recarga para veículos elétricos
Rio de Janeiro-RJ	Contrato para coleta de lixo	Compra de caminhões elétricos para coleta de lixo
Salvador-BA	BRT Salvador	Eletrificação dos veículos utilizados no BRT
São José dos Campos-SP	Lei 9.684 de 2018	Contrato de locação de veículos elétricos para a guarda municipal
São José dos Campos-SP	VLP Elétrico	Criação de um corredor onde irá trafegar um Veículo leve sobre pneus elétrico
São José dos Campos-SP	Frota urbana 100% elétrica e sustentável	O transporte público urbano na cidade contará com frota urbana 100% elétrica e sustentável.

<b>Governo Municipal</b>	<b>Política Pública</b>	<b>Objetivo Principal</b>
São Paulo-SP	Lei 15.997 de 2014	Isenção do IPVA referente ao município para veículos elétricos a bateria ou a célula de combustível, restrita aos cinco primeiros anos de tributação, para veículos abaixo de R\$ 150 mil. Essa lei também isenta esses veículos do rodízio municipal
São Paulo-SP	Lei 16.802 de 2018	Estabelece que os veículos utilizados para o transporte público devem reduzir a emissão de CO2 em 50% em 10 anos, e em 100% em 20 anos.
São Paulo-SP	Lei 17.336 de 2020	Determina que os edifícios residenciais e comerciais da capital paulista protocolados a partir de março de 2021 prevejam soluções de recarga para veículos elétricos
São Paulo-SP	Lei 17.563 de 2021	Adiciona a possibilidade de utilização dos créditos gerados em favor dos proprietários de veículos elétricos ou movidos a hidrogênio para o pagamento do IPTU
São Paulo-SP	Aquisição e testes de ônibus elétricos	Aquisição de 15 ônibus elétricos em 2019
São Paulo-SP	Green Sampa	Reúne atores estratégicos do setor de tecnologias sustentáveis para a implementação de uma plataforma de investigação de soluções inovadoras com o intuito de apoiar o desenvolvimento do setor priorizando tecnologias limpas
Sorocaba-SP	Lei 11.493 de 2017	Isenção parcial do IPVA
Volta Redonda-RJ	Tarifa Comercial Zero	Aquisição de ônibus elétricos para circulação nos principais pontos comerciais da cidade sem cobrança da tarifa.
Vários municípios	Testes de ônibus elétrico	Projeto piloto para testar ônibus elétrico em rotas da cidade
Vários municípios	Planos climáticos locais	Metas orientadas à mobilidade elétrica nos planos locais

Adaptado de PNME (2022)

Assim como no âmbito federal e estadual, algumas medidas públicas municipais visam à isenção ou diminuição de impostos, como é o caso dos municípios de São Paulo e Sorocaba. Outras medidas visam à isenção de determinado serviço municipal, como o exemplo de Curitiba, que através do Decreto 1.528 de 2019, isentou os EVs do estacionamento regulamentado do município. Em São Paulo, além da redução do IPVA, os veículos elétricos de até R\$ 150.000 estão isentos do rodízio municipal. Além disso, São Paulo, através do projeto Green Sampa, e Curitiba, com base na Lei 14.826 de 2016, estão buscando estabelecer políticas de incentivo à mobilidade elétrica, promovendo discussões que visam à criação de mais medidas e projetos para esse setor (PNME, 2022).

Muitas políticas visam a oferta de eletrificados para determinadas atividades municipais. O governo de Fortaleza, através do projeto Re-Ciclo, adquiriu cerca de 90 triciclos elétricos que são utilizados por associações de catadores de materiais

recicláveis (FORTALEZA, 2019). Por sua vez, o Rio de Janeiro pretende trocar toda a sua frota utilizada na coleta do lixo por veículos totalmente elétricos (MARQUES, 2019). Já o governo de São José dos Campos conseguiu adquirir 30 veículos para a guarda municipal. A prefeitura do município estimou que esses veículos proporcionaram uma economia de R\$ 850 mil devido à redução de gastos com combustível e manutenção, além da diminuição na emissão de dióxido de carbono para a atmosfera (RIBEIRO, 2019).

Com relação ao transporte público, o governo de Salvador pretende eletrificar 30% da frota utilizada no BRT (do inglês *Bus Rapid Transit*), o que fará a cidade ser referência no transporte elétrico urbano do Brasil. Recentemente, em dezembro de 2022, a prefeitura entregou 22 ônibus elétricos, e a promessa é que até maio de 2023 um terminal de eletrocarga seja instalado no município (REDACAO, 2023). Por sua vez, a prefeitura de São José dos Campos busca aprovar uma licitação para eletrificar toda a sua frota urbana, porém há certos questionamentos sobre o impacto dessa medida no orçamento do município (BAZANI, 2023). Já o governo de Volta Redonda conseguiu pôr em prática o projeto “Tarifa Comercial Zero”, colocando em circulação três ônibus elétricos que atendem aos principais centros comerciais do município sem qualquer cobrança de tarifa (BAZANI, 2020).

No tocante a inovações em termos de infraestrutura de recarga, os municípios de Jacareí e São Paulo estão determinando que os novos edifícios a serem construídos nos municípios prevejam soluções para a recarga de veículos elétricos. No caso de Jacareí, a lei também valerá para os edifícios existentes, porém somente após cinco anos de vigência da lei. Indo nesse caminho, Fortaleza elaborou o projeto VAMO, que oferta 20 veículos elétricos e 12 estações com pontos de recarga para o compartilhamento entre qualquer pessoa. Para isso, basta realizar o cadastro por meio de um aplicativo e pagar uma mensalidade proporcional ao tempo de uso (PNME, 2022; VAMO, 2020).

As metas de eletrificação também estão presentes nas medidas municipais. Os destaques ficam por conta de Fortaleza, que busca fazer com que sua frota de ônibus seja 100% elétrica até o final de 2050. Por sua vez, São Paulo pretende eletrificar 20% da sua frota de ônibus até o final de 2024. O Rio de Janeiro também pretende eletrificar 20% da sua frota de ônibus, porém o prazo estipulado é até 2030 (PNME, 2022).

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As políticas públicas informadas nos tópicos anteriores mostram que aos poucos o Brasil está tomando atitudes para ampliar o desenvolvimento do setor de mobilidade elétrica. Porém, conforme é dito no relatório de 2022 do PNME, é preciso que haja uma medida mais ampla em âmbito federal para direcionar os investimentos no mercado e na infraestrutura desse setor, pois atualmente são as esferas estaduais e municipais que estão tomando medidas mais audaciosas. Uma das principais críticas por parte das políticas federais é a falta de incentivos para o desenvolvimento ou ampliação de indústrias no setor.

Em âmbito estadual, destacam-se os estados que oferecem redução ou isenção de impostos, como demonstrado no Quadro 7. Minas Gerais também se destaca por firmar uma parceria para a criação de um parque industrial que prevê não apenas a fabricação de veículos elétricos, mas também de baterias, sendo uma política inovadora para os padrões brasileiros. Por outro lado, apesar do destaque de Salvador em relação ao transporte público eletrificado, o estado da Bahia não possui nenhuma medida relevante para esse setor, o que acaba sendo uma má notícia levando em conta o fato de se tratar do quarto estado mais populoso do Brasil.

Por fim, em âmbito municipal a cidade com mais medidas é São Paulo, o que já era esperado por ser a cidade mais rica e populosa do Brasil. Porém, várias cidades vêm procurando investir nesse setor, apresentando metas de eletrificação, principalmente em relação ao transporte público. O que é muito interessante, pois sabe-se que esse setor é um dos principais responsáveis pela emissão de dióxido de carbono para a atmosfera, conforme mostrado no Balanço Energético de 2022.

É importante salientar que o caminho do Brasil é mais tortuoso se comparado aos países referências no mercado de eletrificados, afinal trata-se de um país com uma dimensão continental e uma economia ainda emergente. Apesar disso, os números de vendas têm crescido com o passar dos anos e já se nota um avanço com relação aos investimentos em infraestrutura de recarga. Justamente por isso, é importante que as três esferas governamentais trabalhem em conjunto para a adoção de mais medidas que favoreçam esse mercado.

Como sugestões para trabalhos futuros, é interessante que seja feito um estudo amplo sobre a fonte de energia que vêm sendo utilizada pelos postos de recarga no Brasil. Afinal, do ponto de vista ambiental, é interessante que essa energia

utilizada seja proveniente de fontes consideradas limpas. Ainda na perspectiva ambiental, também é importante que se faça um estudo sobre o lixo que será gerado no fim da vida útil dos eletrificados, pois como foi discutido nesse trabalho, é um tema que ainda enfrenta desafios e que precisa ser discutido com mais afinco. Por fim, cabe também uma análise sobre a influência que a indústria petrolífera exerce sobre o mercado dos veículos elétricos, afinal os EVs podem representar uma grande concorrência para essa indústria, que ainda domina todo o setor automobilístico.

## REFERÊNCIAS

ABVE. Associação Brasileira do Veículo Elétrico. **Em ano de recordes, veículos plug-in avançam**. 2023. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/em-ano-de-recordes-veiculos-plug-in-ganham-mercado/>>. Acesso em: 17 mar. de 2023.

ABVE. Associação Brasileira do Veículo Elétrico. **Eletrificados fecham 2022 com novo recorde**. 2023. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/eletrificados-fecham-2022-com-novo-recorde-de-vendas/>>. Acesso em: 17 de mar. de 2023.

ABVE. Associação Brasileira do Veículo Elétrico. **Eletrificados rumo aos 50 mil emplacamentos/ano**. 2023. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/novembro-e-o-2o-melhor-mes-da-historia-para-eletrificados/>>. Acesso em: 06 de fev. de 2023.

ACEA. European Automobile Manufacturers' Association. **Making the transition to zero- emission mobility, 2022**. Disponível em:<[https://www.acea.auto/files/ACEA\\_progress\\_report-2022.pdf](https://www.acea.auto/files/ACEA_progress_report-2022.pdf)> Acesso em: 06 de fev. de 2023.

AFDC. **Alternative Fuels Data Center: How Do Fuel Cell Electric Vehicles Work Using Hydrogen?** Disponível em: <<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work>>. Acesso em: 6 mar de 2023.

AGÊNCIA BRASÍLIA. “VEM DF”: tire suas dúvidas sobre o projeto de carros elétricos compartilhados. 2019. Disponível em: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2019/10/07/vem-df-tire-suas-duvidas-sobre-o-projeto-de-carros-eletricos-compartilhados/>. Acesso em 26 de mai. de 2023.

ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2013**. São Paulo: ANFAVEA, 2023. Disponível em: <<https://anfavea.com.br/anuario2023/2023.pdf>> Acesso em: 17 de mar. de 2023.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Projetos de Chamada Estratégica**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/pesquisa-e-desenvolvimento/projetos-de-chamada-estrategica>>. Acesso em: 24 de mar. de 2023.

ANEEL. **Ranking de Tarifas**, 2023. Disponível em <<https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/rankingtarifas>>. Acesso em: 26 de jun. de 2023.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 819/2018**. 19 de junho de 2018. Estabelece os procedimentos e as condições para a realização de atividades de recarga de veículos elétricos. Disponível em: <[https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/28737289/do1-2018-07-05-resolucao-normativa-n-819-de-19-de-junho-de-2018-28737273](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/28737289/do1-2018-07-05-resolucao-normativa-n-819-de-19-de-junho-de-2018-28737273)>. Acesso em: 24 de mar. de 2023.

ANEEL. **Resolução Normativa N° 1000/2021**. 07 de dezembro de 2021. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL n° 414, de 9 de setembro de 2010; n° 470, de 13 de dezembro de 2011; n° 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/atren20211000.pdf>>. Acesso em: 24 de mar. de 2023.

ANP. Agência de Notícias do Paraná. **Paraná ganha o Dia da Eletromobilidade para incentivar tecnologia**. 2020 Disponível em: <http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=104262&tit=Parana-ganha-o-Dia-da-Eletromobilidade-para-incentivar-tecnologia-->. Acesso em 26 de mai. de 2023.

KHAN, Antonio. **Quora**. Disponível em: <<https://www.quora.com/profile/Antonio-Khan-5>>. Acesso em: 27 de jun. de 2023.

ARYA, Sandeep; VERMA, Sonali. Nickel-Metal Hydride (Ni-MH) Batteries. **Rechargeable Batteries: History, Progress, and Applications**, p. 131-175, 2020.

BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, mar. 2011., Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2011.

BAZANI, A. **Volta Redonda ganha mais um ônibus elétrico para o “Tarifa Comercial Zero” neste dia 1º**. Diário do Transporte. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2020/01/01/volta-redonda-ganha-mais-um-onibus-eletrico-para-o-tarifacomercial-zero-neste-dia-1o/>. Acesso em: 26 de mai. de 2023.

BAZANI, A. **TCE suspende licitação para aluguel de 400 ônibus elétricos para o transporte coletivo de São José dos Campos (SP)**. Diário do Transporte. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2023/03/09/tce-suspende-licitacao-para-aluguel-de-400-onibus-eletricos-para-o-transporte-coletivo-de-sao-jose-dos-campos-sp/>>. Acesso em: 26 de mai. de 2023.

BEAUDET, Alexandre et al. Key challenges and opportunities for recycling electric vehicle battery materials. **Sustainability**, v. 12, n. 14, p. 5837, 2020

BlombergNEF. **Battery Pack Prices Cited Below \$100/kwh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kwh**. BlombergNEF, 2020. Disponível em: <<https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>> Acesso em: 07 de fev. de 2023.

BOCCHI, Nerilso; FERRACIN, Luiz Carlos; BIAGGIO, Sonia Regina. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. **Química Nova na escola**, v. 11, n. 3, 2000.

CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de; BARROS, Daniel Chiari; VEIGA, Suzana Gonzaga da. Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas

tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. **BNDES Setorial**, n. 37, mar. 2013, p. 443-496, 2013.

CASTRO, B. H. R., FERREIRA, T. T. **Veículos elétricos: aspectos básicos, 223 perspectivas e oportunidades**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 32, out. 2010.

CARNEIRO, Rafael Luiz et al. Aspectos essenciais das baterias chumbo-ácido e princípios físico-químicos e termodinâmicos do seu funcionamento. **Revista virtual de química**, v. 9, n. 3, p. 889-911, 2017.

CEBDS. **O que é o Acordo de Paris?** CEBDS. Disponível em: <[https://cebds.org/o-que-e-o-acordo-de-paris/#.ZAsKJx\\_MJPY](https://cebds.org/o-que-e-o-acordo-de-paris/#.ZAsKJx_MJPY)>. Acesso em: 10 mar. de 2023.

CESAR, Julio. Eletropostos crescem 50% em 4 meses no Brasil . **Tupinambá**, 2021. Disponível em: <<https://tupinambaenergia.com.br/rede-de-recarga-para-eletricos-cresce/>>. Acesso em: 24 de mar. de 2023.

CESAR, Julio. Europa prepara a resposta aos incentivos para os carros elétricos dos EUA. **InsideEVs Brasil**, 2022. Disponível em: <<https://insideevs.uol.com.br/news/627326/europa-incentivos-carros-eletricos-eua/>>. Acesso em: 10 Mar. 2023.

DENTON, Tom. **Electric and Hybrid Vehicles**. 1.ed. Nova York: Routledge, 2016.

DIAS, Daniel. Veja tudo que você precisa saber sobre os carros elétricos. **Diário do Litoral**, 2022. Disponível em: <<https://www.diariodolitoral.com.br/automotor/veja-tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-os-carros-eletricos/158989/>>. Acesso em: 6 mar de 2023.

DIÁRIO DE PERNAMBUCO. **Após seis anos, Noronha começa a implantar projeto Carbono Zero**. 2019. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2019/06/apos-seis-anos-noronha-comeca-a-implantar-projeto-carbono-zero.html> Acesso em 26 de mai. de 2023.

DUFFNER, Fabian et al. Post-lithium-ion battery cell production and its compatibility with lithium-ion cell production infrastructure. **Nature Energy**, v. 6, n. 2, p. 123-134, 2021.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] **Balanco Energético Nacional (BEN) 2022: Ano base 2021**. Disponível em < [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN\\_S%C3%ADntese\\_2022\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf)>. Acesso em: 07 de fev. de 2023.

EV-INSTITUTE. **Plug-in around the EV world**. Disponível em: <[http://ev-institute.com/images/media/Plug\\_World\\_map\\_v5.pdf](http://ev-institute.com/images/media/Plug_World_map_v5.pdf)>. Acesso em: 23 de mar. de 2023

FIPE Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. Preço médio de veículos, 2023. Disponível em:<<https://veiculos.fipe.org.br/>>. Acesso em: 07 de fev. de 2023.

FORTALEZA. **Prefeitura de Fortaleza apresenta novo programa de ações de coleta seletiva e limpeza urbana para a Capital.** 2019 Disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-de-fortaleza-apresenta-novo-programa-de-acoes-de-coleta-seletiva-e-limpeza-urbana-para-a-capital>. Acesso em: 26 de mai. de 2020.

FREITAS, Joaquim Carlos Novais de. **Projeto e análise ao funcionamento de carros elétricos.** 2012. Tese de Doutorado.

GARCHE, J.; MOSELEY, P. T.; KARDEN, E. Lead–acid batteries for hybrid electric vehicles and battery electric vehicles. In: **Advances in battery technologies for electric vehicles.** Woodhead Publishing, 2015. p. 75-101.

HANNAN, Mohammad A. et al. A review of lithium-ion battery state of charge estimation and management system in electric vehicle applications: Challenges and recommendations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 834-854, 2017.

IEA. Global EV Outlook 2022. Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad8fb04c-4f75-42fc-973a-6e54c8a4449a/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf>>. Acesso em: 22 de mar. de 2023

INGELBOR. **Los incentivos al coche eléctrico están creciendo en toda Europa.** Forococheseléctricos. Disponível em: <<https://forococheselectricos.com/2017/09/incentivos-al-coche-electrico-europa.html>>. Acesso em: 10 de mar. de 2023.

JAC MOTORS. Jac e-JS1, 2023. Disponível em <<https://www.jacmotors.com.br/veiculos/eletricos-detalhes/e-js1>>. Acesso em 26 de jun. de 2023.

JEYASEELAN, Christine et al. Ni-Cd Batteries. **Rechargeable Batteries: History, Progress, and Applications**, p. 177-194, 2020.

LEUTHNER, Stephan. Lithium-ion battery overview. **Lithium-Ion Batteries: Basics and Applications**, p. 13-19, 2018.

LINDEN,D; REDDY, T.B. **Handbook of batteries.** McGraw-Hill, 3ª Ed.,2002

MARQUES, J. **Rio de Janeiro recebe caminhões de coleta de resíduos 100% elétricos.** Diário do Transporte. Disponível em: <https://diariodotransporte.com.br/2019/09/26/rio-de-janeiro-recebe-caminhoes-de-coleta-de-residuos-100-eletricos/>. Acesso em 26 de mai de 2020.

MATULKA, Rebecca. **The History of the Electric Car.** Department of Energy, 2014. Disponível em:< <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>> Acesso em 07 de fev. de 2023.

KBB. Brasileiros rodam em média 12,9 mil Km no primeiro ano de uso de um veículo, 2019. Disponível em: <<https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/quanto-brasileiro-roda-carro-ano/?ID=1830>>. Acesso em 07 de fev. de 2023.

KIA MOTORS. **Stonic**. Kia Brasil. Disponível em: <<https://www.kia.com.br/stonic>>. Acesso em: 6 de mar de 2023.

NEOCHARGE. **Tipos de Carregadores para Carros Elétricos**. NeoCharge. Disponível em: <<https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carregador-carro-eletrico/tipo-carregador-ve#carregador-comercial>>. Acesso em: 21 de mar de 2023.

NEOCHARGE. **Tipo de Conector para Carga de Carro Elétrico**. NeoCharge. Disponível em: <<https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carregador-carro-eletrico/tipo-conector-veiculo-eletrico>>. Acesso em: 21 de mar de 2023.

OLIVEIRA, Diogo. **Aceleramos o Hyundai Nexo, crossover a hidrogênio capaz de purificar o ar poluído**. Autoesporte. Disponível em: <<https://autoesporte.globo.com/testes/noticia/2019/06/aceleramos-o-hyundai-nexo-crossover-hidrogenio-capaz-de-purificar-o-ar-poluido.ghtml>>. Acesso em: 6 Mar. 2023.

ORANGE. **From home to car: seamless uses of digital technology - Hello Future Orange**. Disponível em: <<https://hellofuture.orange.com/en/home-car-seamless-uses-digital-technology/>>. Acesso em: 03 de Mar. 2023.

ORSI, Francesco. On the sustainability of electric vehicles: What about their impacts on land use? **Sustainable Cities and Society**, v. 66, p. 102680, 2021.

PETROBRAS. Como são formados os preços - Gasolina, 2023. Disponível em: <<https://precos.petrobras.com.br/sele%C3%A7%C3%A3o-de-estados-gasolina#:~:text=Pre%C3%A7o%20M%C3%A9dio%20do%20Brasil%3A%20R,de%2027%25%20de%20etanol%20anidro.>> Acesso em 26 de jun. de 2023.

PLACKE, Tobias et al. Lithium ion, lithium metal, and alternative rechargeable battery technologies: the odyssey for high energy density. **Journal of Solid State Electrochemistry**, v. 21, p. 1939-1964, 2017.

PNME (Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica). **2º Anuário Brasileiro da Mobilidade Elétrica – PNME**, 2022. Disponível em: <<https://www.pnme.org.br/biblioteca/2o-anuario-brasileiro-da-mobilidade-eletrica-pnme/>>. Acesso em: 24 de mar. de 2023.

REDAÇÃO. **BRT Salvador recebe novos ônibus e terá terminal de eletrocarga**. BA de Valor. Disponível em: <<https://badevalor.com.br/brt-salvador-recebe-novos-onibus-e-tera-terminal-de-eletrocarga/>>. Acesso em: 26 de mai. de 2023.

RENAULT. Ficha Técnica Renault Kwid, 2023. Disponível em <<https://www.renault.com.br/veiculos-de-passeio/kwid/ficha-tecnica.html>>. Acesso em 26 de jun. de 2023.

RIBEIRO, R. L. **Prefeitura inicia serviço de carros elétricos compartilhados.** Prefeitura de São José dos Campos. Secretaria de Mobilidade Urbana. Disponível em: <https://www.sjc.sp.gov.br/noticias/2019/dezembro/13/prefeitura-inicia-servico-de-carros-eletricos-compartilhados/>. Acesso em: 26 de mai. de 2023.

SADEGHIAN, Omid et al. A comprehensive review on electric vehicles smart charging: Solutions, strategies, technologies, and challenges. **Journal of Energy Storage**, v. 54, p. 105241, 2022.

SANGUESA, Julio A. et al. A review on electric vehicles: Technologies and challenges. *Smart Cities*, v. 4, n. 1, p. 372-404, 2021.

SANTOS, Bruno dos. Europa sofre com expansão de elétricos chineses e diminui incentivos. **Quatro Rodas**, 2022. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/carros-eletricos/europa-sofre-com-expansao-de-eletricos-chineses-e-diminui-incentivos/>. Acesso em: 10 de mar de 2023.

SANTOS, C. Baterias de íons lítio para veículos elétricos. **Revista IPT**, 2 (9), 2018.

SCARABOTTO, Natália. **Como a agenda ESG impulsiona o mercado de carros elétricos.** Automotive Business. Disponível em: <https://www.automotivebusiness.com.br/pt/posts/mobility-now/como-a-agenda-esg-impulsiona-o-mercado-de-carros-eletricos/>. Acesso em: 17 de mar de 2023.

SCHAUN, André. **Gurgel Itaipu foi o primeiro carro elétrico nacional, mas morreu por problemas que existem até hoje.** Auto Esporte, 2021. Disponível em <https://autoesporte.globo.com/um-so-planeta/noticia/2021/04/gurgel-itaipu-foi-o-primeiro-carro-eletrico-nacional-mas-morreu-por-problemas-que-existem-ate-hoje.ghtml> Acesso em 26 de Jun. de 2023.

VAMO (2020). **Projeto VAMO Fortaleza.** Disponível em: <http://www.vamofortaleza.com/>. Acesso em 26 de mai. de 2023.

VARELA, Hamilton et al. Materiais para cátodos de baterias secundárias de lítio. **Química Nova**, v. 25, p. 287-299, 2002.

WALLBOX. **O que é carregamento inteligente? (Com vídeo).** Wallbox. Disponível em: [https://wallbox.com/pt\\_catalog/faqso-que-e-que-e-carregamento-inteligente](https://wallbox.com/pt_catalog/faqso-que-e-que-e-carregamento-inteligente). Acesso em: 7 mar de 2023.

WANG, Panding et al. Real-time monitoring of internal temperature evolution of the lithium-ion coin cell battery during the charge and discharge process. **Extreme Mechanics Letters**, v. 9, p. 459-466, 2016.

WOLFF, Eliane; CONCEIÇÃO, Samuel Vieira. Resíduos sólidos: a reciclagem de pilhas e baterias no Brasil. **Anais... XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP. Belo Horizonte**, 2011.