



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso

VEÍCULOS ELÉTRICOS: AS TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS EM 2023

Henrique Franklin Brazil da Silva

Campina Grande - PB
Junho de 2023

HENRIQUE FRANKLIN BRAZIL DA SILVA

VEÍCULOS ELÉTRICOS: AS TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS EM 2023

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Célio Anésio da Silva

Campina Grande - PB
Junho de 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso

VEÍCULOS ELÉTRICOS: AS TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS EM 2023

Henrique Franklin Brazil da Silva
Discente

Célio Anésio da Silva
Orientador

Pablo Bezerra Vilar
Professor Avaliador

Campina Grande - PB
Junho de 2023

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Deus pela oportunidade de cursar uma Universidade Federal e ser o primeiro da minha linhagem a se formar Engenheiro, quero agradecer a minha família por proporcionar o suporte financeiro e emocional que me permitiu viver esta magnífica experiência da vida universitária, lugar onde transformou um menino sonhador em um homem.

Quero agradecer em especial a minha mãe, Jane Brazil, a maior de todas, meu exemplo de vida e de dedicação no dia a dia, desde sempre juntos, apoiou minhas decisões e me aconselhou nos momentos difíceis, me instruiu e me guiou, nos momentos felizes comemorou comigo, me educou, forneceu suporte financeiro e emocional de forma a ser um personagem crucial nessa trajetória. Agradeço a minha bisavó Djanete Brazil *in memoriam* por me dar como herança este sobrenome forte, por toda criação, educação e exemplo, agradeço também a minha avó Leni de Oliveira pelo suporte financeiro importantíssimo. Agradeço a minha irmã Beatriz por me ajudar a aprender a dividir. Agradeço as parceiras que me acompanharam na trajetória, assim como os bons amigos que construí pela vida universitária, dos quais, não poderia deixar de citar: Cayo Cesar, Daniel Loula, Edimar Júnior, Everaldo Júnior, Luan Bastos, Nathalia Ferreira, Odenilson Santa, Thiago Moura e tantos outros que convivi durante os anos, sem vocês este momento não seria possível, dividimos experiências e compartilhamos conhecimento, aprendi a ser generoso e menos individualista, aprendi a respeitar a opinião alheia e seus costumes.

Agradeço a toda comunidade da UFCG e o Departamento de Engenharia Elétrica, ao corpo docente principalmente o professor Célio Anésio da Silva e aos funcionários Adail e Tchaikowski por todo suporte, compreensão e esforço para tornar meu sonho possível. Por fim, agradeço também ao povo paraibano e a cidade de Campina Grande por sempre me receber de braços abertos e proporcionar ótima estadia nos 6 anos vividos.

Resumo

Os veículos movidos à eletricidade tendem a se tornar cada vez mais comuns no dia a dia da sociedade brasileira, levando em consideração a preocupação global com os impactos gerados pela emissão de gases poluentes a partir dos veículos movidos a combustíveis fósseis. Dessa forma, o presente trabalho visa realizar uma revisão da literatura sobre os veículos elétricos (VE), apresentando uma breve perspectiva histórica, bem como dados gerais sobre o funcionamento dos VE, seus principais componentes e sistemas de recarga. Em um segundo momento é realizada uma análise das tecnologias disponíveis no âmbito dos VE em maio de 2023 nos principais mercados (China, Estados Unidos e Europa) e o mercado brasileiro, de maneira a identificar os dados sobre a eletrificação da frota de veículos automotores leves (carros) ao longo dos anos, as políticas públicas, a infraestrutura de suporte encontrada nos países supramencionados. Por fim, são demonstrados as possíveis consequências da inserção dos VE na rede elétrica e as perspectivas para o futuro.

Palavras-chave: Veículos Elétricos. Carros Elétricos. Cenário em 2023. Sistemas de Recarga. Infraestrutura de Recarga.

Abstract

Vehicles powered by electricity tend to become increasingly common in the daily life of Brazilian society, taking into account the global concern with the impacts generated by the emission of polluting gases from vehicles powered by fossil fuels. Therefore, the objective of this study is to conduct a literature review on electric vehicles (EVs), presenting a brief historical perspective as well as general data on the operation of EVs, their main components, and charging systems. In a second moment, an analysis of the technologies available in the field of EVs in June 2023 in the main markets (China, United States, and Europe) and the Brazilian market is carried out, in order to identify the data on the electrification of the fleet of light motor vehicles (cars) over the years, public policies, the supporting infrastructure found in the aforementioned countries. Finally, the possible consequences of the insertion of EVs into the power grid and the prospects for the future are demonstrated.

Keywords: Electric Vehicles Electric Cars. 2023 Scenario. Recharging systems. Recharging infrastructure.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Veículo elétrico Edison-Ford.	13
Figura 2 – (a) Gurgel Itaipu (b) Gurgel E-400.	14
Figura 3 – Tipos de veículos elétricos esquematizado.	15
Figura 4 – Esquema de funcionamento de um BEV.	16
Figura 5 – Esquema de funcionamento de um HEV.	16
Figura 6 – Esquema de funcionamento de um PHEV.	18
Figura 7 – Esquema de funcionamento de um FCEV.	19
Figura 8 – Evolução dos motores elétricos como o passar dos anos.	20
Figura 9 – Diagrama em árvore, dos motores mais aplicáveis a veículos elétricos.	21
Figura 10 – Vista em corte de um motor CC com rotor, enrolamento polar e interpolo.	21
Figura 11 – Vista em Corte de um motor BLDC.	22
Figura 12 – Motor gaiola de esquilo.	24
Figura 13 – Motor de ímã permanente de duas fases.	24
Figura 14 – Vista de corte de um motor PMSM.	25
Figura 15 – Esquema de funcionamento de uma bateria.	27
Figura 16 – Densidade Energética e Densidade de Potência para diferentes tipos de bateria.	28
Figura 17 – a) Conector SAE J1772 Tipo 1 b) Conector CCS Tipo 1.	30
Figura 18 – Circuito de carregamento do SAE-J1772.	30
Figura 19 – a) Conector IEC 62196 Tipo 2 b) Conector CCS Tipo 2	32
Figura 20 – Conector GB/T-20234.	33
Figura 21 – Conector CHAdeMO.	34
Figura 22 – Conector Tesla <i>Charging</i>	35
Figura 23 – Evolução das vendas de VE na China (2016 - 2022).	36
Figura 24 – Evolução das estações de recarga na China (2016 - 2022).	37
Figura 25 – Evolução das vendas de VE nos EUA (2016 - 2022).	38
Figura 26 – Evolução das estações de recarga nos EUA (2016 - 2022).	40
Figura 27 – Evolução das vendas de VE na Europa (2016 - 2022).	41
Figura 28 – Evolução das estações de recarga na Europa (2016 - 2022).	43
Figura 29 – Evolução anual da frota de veículos elétricos no Brasil (2015-2022).	44
Figura 30 – Distribuição da infraestrutura de recarga no Brasil por estados (2022).	45

Lista de tabelas

Tabela 1 – Classificações de carga do SAE-J1772.	31
Tabela 2 – Classificações de carga do IEC-62196.	33
Tabela 3 – Classificações de carga do GB/T-20234.	34
Tabela 4 – Características elétricas do Tesla <i>Charging</i>	36

Lista de abreviaturas e siglas

ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
BEN	Balço Energético Nacional
BEV	Veículo Elétrico à Bateria
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DOE	Departamento de Energia / EUA
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
FCEV	Veículo Elétrico a Hidrogênio
HEV	Veículo Elétrico Híbrido
MCI	Motor a Combustão Interna
ME	Motor Elétrico
PHEV	Veículo Elétrico Híbrido Plug-in
UE	União Europeia
VE	Veículo Elétrico

Sumário

1	Introdução	11
2	Objetivos	11
2.1	Objetivo geral	11
2.2	Objetivos específicos	12
3	Metodologia	12
4	Os veículos elétricos	12
4.1	Breve histórico	12
4.2	Tipos de veículos elétricos	15
4.2.1	Veículos Elétricos à Bateria (BEV)	15
4.2.2	Veículos Elétricos Híbridos (HEV)	16
4.2.3	Veículos Elétricos Híbridos <i>Plug-in</i> (PHEV)	17
4.2.4	Veículos Elétricos a Célula de Combustível (FCEV)	18
4.3	Motor	19
4.3.1	Motor de Corrente Contínua com escovas	21
4.3.2	Motor de Corrente Contínua com ímã permanente sem escovas (BLDC)	22
4.3.3	Motor de indução	23
4.3.4	Motor de Relutância Variável	24
4.3.5	Motores de Corrente Alternada síncronos de ímãs permanentes (PMSM)	25
4.4	Bateria	26
4.5	Carregamento	29
4.5.1	SAE-J1772: O padrão americano	29
4.5.2	IEC-62196: O padrão europeu	31
4.5.3	GB/T 20234: O padrão chinês	33
4.5.4	CHAdEMO: O padrão japonês	34
4.5.5	Tesla <i>Charging</i>	35
5	O cenário encontrado em 2023	36
5.1	Na China	36
5.2	Nos Estados Unidos	38
5.3	Na Europa	41
5.4	No Brasil	43
6	Considerações Finais	47
	Referências	48

1 Introdução

As mudanças climáticas têm se apresentado como um desafio para a comunidade internacional, que ao longo dos anos vem debatendo e buscando implementar ações e que mitiguem os efeitos gerados pela exploração excessiva dos recursos naturais em especial a queima de combustíveis fósseis. Um estudo da *International Energy Agency* (IEA) realizado em 2021 mostrou que o setor de transportes é responsável por 60% do consumo de todo o petróleo e seus derivados no mundo e, no Brasil, é causador de 44% das emissões de CO_2 . Desta forma, indústrias e governos procuram alternativas tecnológicas e legislações que regulem os vários setores da economia para a racionalização do consumo de energia, diminuição de emissões de poluentes e redução do uso de combustíveis fósseis nas suas mais variadas formas, dentre elas a transição para uma mobilidade urbana sustentável é um dos pontos mais relevantes.

O avanço tecnológico vem se intensificando nas últimas décadas, de forma que possibilita a indústria automotiva implementar inovações no setor de transportes através dos veículos elétricos (VE), propondo soluções mais viáveis economicamente, com maior autonomia e mais eficientes, gerando menos impacto ao meio ambiente desde a sua construção até a reutilização das baterias.

O carro elétrico tornou-se um dos principais impulsionadores da redução de dióxido de carbono e modernização do transporte a médio e longo prazo. No entanto, por ser um campo pouco explorado pela literatura acadêmica, se faz necessário compreender mais sobre suas características, sua história, como são classificados, seu funcionamento e os principais componentes, com destaque para as baterias e os motores. Além disso, outro ponto fundamental é conhecer sobre o processo de carregamento dos veículos, as tecnologias disponíveis, suas principais diferenças e aplicações, visto que, como não existe uma regulamentação internacional padrão, cada região define sua tecnologia.

China, Estados Unidos e o continente Europeu são os destaques positivos com relação ao avanço da eletrificação da frota de veículos leves sendo os principais mercados automotivos mundiais, ainda que, a presença dos veículos à combustão ainda seja massiva nestes e cada país apresente uma particularidade com relação a sua matriz energética, disponibilidade de recursos, competitividade no mercado interno, políticas governamentais de incentivo e as perspectivas futuras sobre a disseminação dos VE. Com isso, é relevante analisar a evolução recente da infraestrutura de recarga e da frota de elétricos nos países supramencionados de forma a compreender a atual conjuntura sobre o tema proposto.

No cenário brasileiro, mesmo apresentando uma frota de carros composta em sua grande maioria por veículos movidos à combustíveis fósseis, a matriz elétrica nacional é majoritariamente composta por fontes renováveis de energia, com dependência mínima de matéria-prima importada e pequena oscilação de preço quando comparado com derivados do petróleo, sendo crucial para o contexto atual que decorre da crise geopolítica gerada pela guerra Rússia-Ucrânia iniciada em 2021 e grave crise de saúde que assolou o mundo recentemente, o COVID. Desta forma, pode-se estimar que o Brasil oferece uma perspectiva favorável para a inserção dos VE na sociedade. O mercado têm se mostrado favorável em relação as novas tecnologias que surgem, facilitando a aceitação e disseminação dos VE ao redor do globo.

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

Compreender, analisar e apresentar o cenário e as tecnologias disponíveis no âmbito dos veículos elétricos em junho de 2023 nos principais mercados automotivos (China, Estados Unidos e Europa) e o mercado brasileiro.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar as tecnologias de recarga;
- Analisar a evolução na frota dos VE;
- Analisar a evolução da infraestrutura de recarga dos VE;
- Descrever as perspectivas futuras do mercado de VE;

3 Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho é uma pesquisa bibliográfica na literatura existente sobre os veículos elétricos, analisando as tecnologias disponíveis no mercado em junho de 2023. A partir dos resultados obtidos foi produzido o relatório final.

Inicialmente será feito uma breve análise histórica sobre os veículos elétricos, os principais tipos de VE e suas características. Será abordado também os aspectos dos motores utilizados, bem como as tecnologias de bateria e os sistemas de carregamento disponíveis para os VE.

Por fim, serão confrontados os maiores mercados automotivos do mundo (China, Estados Unidos e Europa) e o mercado brasileiro, analisando dados gerais sobre a evolução das frotas de VE e a infraestrutura de recarga disponíveis nesses países, bem como, análise das políticas públicas e possíveis impactos da eletrificação da frota automotiva na rede elétrica.

4 Os veículos elétricos

4.1 Breve histórico

Nos dias de hoje imagina-se que os veículos elétricos são uma tendência moderna, no entanto, a história destes se inicia em meados do século XIX, seu posterior desenvolvimento está intimamente relacionado com a história das baterias (HOYER, 2008). Em 1859, o belga Gaston Planté demonstrou a primeira bateria de chumbo-ácido. O dispositivo foi usado em vários veículos elétricos desenvolvidos na França, Estados Unidos e Reino Unido no início da década de 1880. Em 1885, Benz demonstrou o primeiro motor de combustão interna. Em 1901, Thomas Edison, interessado no potencial dos veículos elétricos, desenvolveu a bateria de níquel-ferro, que tinha 40% mais capacidade de armazenamento do que as baterias de chumbo, mas era muito mais cara de produzir. As baterias de níquel-zinco e zinco-ar também foram inventadas no final do século XIX.

Além das baterias, duas tecnologias desenvolvidas entre 1890 e 1900 também contribuíram para o desempenho dos veículos elétricos: a frenagem regenerativa, dispositivo que converte a energia cinética de um carro em movimento em eletricidade durante a frenagem, e o sistema híbrido gasolina-elétrico.

Em 1903, em Nova York havia cerca de quatro mil automóveis registrados com 20% deles elétricos, atingindo seu ápice em 1912 com cerca de 30 mil unidades. Em 1913, Henry Ford em parceria com Thomas Edison criaram um protótipo de veículo elétrico visto na [Figura 1](#), com investimento de US\$ 1,5 milhões (em valores da época) no projeto que usaria as baterias de níquel-ferro desenvolvidas por Edison, porém, eles não conseguiram extrair da tecnologia da época a capacidade necessária para o veículo funcionar a contento e passaram a testar baterias de chumbo, duas vezes mais pesadas. Em meados de 1914 o sistema de produção em série

¹Disponível em: <<https://autoentusiastas.com.br/2022/08/ford-ja-pensava-nos-carros-eletricos-ha-quase-110-anos/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2023

Figura 1 – Veículo elétrico Edison-Ford.



Fonte: Ford/divulgação.¹

desenvolvido pelo próprio Ford em conjunto com a invenção da partida elétrica em veículos movidos a MCI e a descoberta de petróleo no território do Texas foram fatores cruciais para a queda do valor final dos carros movidos a gasolina e sua conseqüente popularização.

De acordo com [Matulka \(2014\)](#) os veículos elétricos passaram a ser produzidos em menor escala a partir da década de 1930, basicamente sendo utilizados nos Estados Unidos e Reino Unido, houve alguns picos de produção desses veículos durante a Primeira e Segunda Guerra Mundial. O mesmo autor menciona a popularidade do carro elétrico no Japão no pós guerra, devido ao racionamento de combustível, porem esse uso após a década de 1950 passou por uma queda brusca.

Na década de 60 o quando a sociedade começou as discussões sobre a ameaça ao desgaste ambiental surgindo os termos relacionados a sustentabilidade, as grandes montadoras de veículos como *Ford Motor Company* e *General Motors* passaram a voltar sua atenção aos automóveis elétricos, devido a utilização do chumbo como aditivo para gasolina e a falta de catalisadores para conter as emissões poluentes na atmosfera ([TWIGG, 2007](#)).

Através da Conferência da Unesco realizada em 1968 onde foi discutida a conservação e o uso racional dos recursos da biosfera, trouxeram outras discussões sobre a questão ambiental e geração e o consumo de energia, resultaram em uma maior atenção para a necessidade de um limite para a exploração de recursos naturais não renováveis e conscientização a respeito do uso da energia nuclear o que evidenciou a utilização dos veículos elétricos devido a emissão nula de poluentes e a utilização de energias renováveis ([MARTINS; BRITO, 2011](#)).

Apesar dos fatos mencionados, os protótipos dos automóveis elétricos desenvolvidos, mesmo com as iniciativas de produção de veículos elétricos puros bem como os híbridos no período não foram produzidos devido a não estarem aptos a concorrerem com os carros convencionais e seus baixos preços ([BARAN; LEGEY, 2010](#)).

No Brasil, na esteira da primeira crise do petróleo, a Gurgel Motores apresentou no Salão de São Paulo, de 1974, o Itaipu, um minicarro com capacidade para dois passageiros, que foi o primeiro automóvel elétrico desenvolvido na América Latina. O pioneiro da Gurgel utilizava baterias chumbo-ácido de recarga lenta, apresentando baixa autonomia e velocidade máxima de

80 km/h. Embora a proposta fosse interessante pra época, o conceito não foi produzido em série. Posteriormente o Itaipu acabou servindo de base para o E-400, um utilitário produzido entre os anos de 1981 e 1982 e que foi o primeiro carro elétrico produzido em série no Brasil. O movimento pró-álcool foi a alternativa escolhida no país para fugir da dependência dos combustíveis fósseis naquele momento, os modelos elétricos da Gurgel podem ser visto na [Figura 2](#) (GAUTO, 2019).

Figura 2 – (a) Gurgel Itaipu (b) Gurgel E-400.



(a)



(b)

Fonte: Quatro Rodas (2021).^{2 3}

Vale evidenciar que mesmo com as legislações com o intuito de reduzir a poluição nas grandes cidades, a força e o foco dos conceitos de desenvolvimento sustentável, as estratégias para a mobilidade sustentável e as contas de vendas de veículos com emissão zero instituídas nas décadas de 1980 e 1990, a *American Automobile Manufacturers Association* (AAMA) algumas montadoras afirmaram que o preço final ao consumidor sairia com valor muito elevado, outro fator é a substituição da gasolina por baterias de chumbo não trariam benefícios ao meio ambiente (BARAN; LEGEY, 2010).

Ainda na década de 1990 segundo Baran e Legey (2010) o governo dos Estados Unidos instituiu a *Partnership for a New Generation Vehicles* (PNGV) a iniciativa com investimento de US\$ 1 bilhão teve como finalidade o desenvolvimento de veículos com consumo de 4 litros/100 km, os protótipos desenvolvidos pelas montadoras americanas foram todos híbridos, porém não chegaram a ser produzidos.

O mesmo autor ressalta que em 1997 a fabricante Toyota lançou o Prius híbrido de quatro portas no mercado Japonês, já no mercado europeu diferentes montadoras desenvolveram automóveis a diesel com o intuito de reduzir a emissão de gases na atmosfera. Outras montadoras empenharam seus esforços na produção de carros híbridos em massa, os quais atingiram vendas de aproximadamente 600 mil unidades até o ano de 2009 (BARAN; LEGEY, 2010).

Em 2007 a iniciativa do governo norte-americano *Energy Independence and Security Act* destinou um montante US\$ 95 milhões anuais para pesquisas, desenvolvimento de sistemas de transporte elétricos, e à formação de capital humano especializado em veículos elétricos, entre os anos de 2008 à 2013.

A Tesla Motors uma pequena empresa do Vale do silício aumentou a popularidade dos carros elétricos com a proposta de fabricação de um carro esportivo elétrico de luxo que poderia percorrer mais de 320 quilômetros com uma única carga, em 2010 a empresa recebeu US\$ 465

²Disponível em: <<https://bitly.com/3VX90>>. Acesso em: 25 de janeiro de 2023.

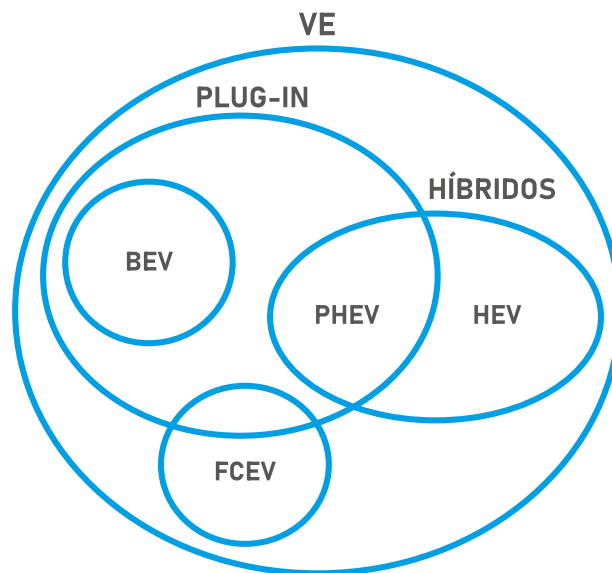
³Disponível em: <<https://abre.ai/fNpz>>. Acesso em: 25 de janeiro de 2023.

milhões para a sua produção. A Tesla tornou-se a maior empresa automobilística da Califórnia e vem produzindo carros cada vez mais tecnológicos e eficientes (MATULKA, 2014).

4.2 Tipos de veículos elétricos

Um veículo elétrico é aquele tracionado por pelo menos um motor elétrico. De modo geral os veículos elétricos referem-se a uma gama de tecnologias que usam eletricidade para impulsionar veículos terrestres, no entanto, com o objetivo de simplificar o entendimento do presente tema, neste trabalho os veículos elétricos são equivalentes aos carros elétricos. Segundo a Neocharge (2021), os VE podem ser classificados em: Veículos Elétricos à Bateria (BEV), Veículos Elétricos Híbridos (HEV), Veículos Elétricos Híbridos *Plug-in* (PHEV) e os Veículos Elétricos a Hidrogênio (FCEV). Na Figura 3 é possível verificar um esquema que representa graficamente os diferentes tipos de VE.

Figura 3 – Tipos de veículos elétricos esquematizado.



Fonte: Adaptado de Delgado et al. (2017, p. 17).

4.2.1 Veículos Elétricos à Bateria (BEV)

Os veículos elétricos a bateria (do inglês BEV - *Battery Electric Vehicle*) - também referidos como "veículos totalmente elétricos", utilizam a eletricidade armazenada na bateria para alimentar o motor elétrico e tracionar as rodas. A bateria pode ser carregada conectando-se à uma fonte de energia externa, geralmente a rede elétrica, no entanto, existem tecnologias de recarga auxiliares, como é o caso dos supracitados freios regenerativos (do inglês KERS - *Kinetic Energy Recovery System*). Na Figura 4 é representado esquematicamente o funcionamento dos BEV.

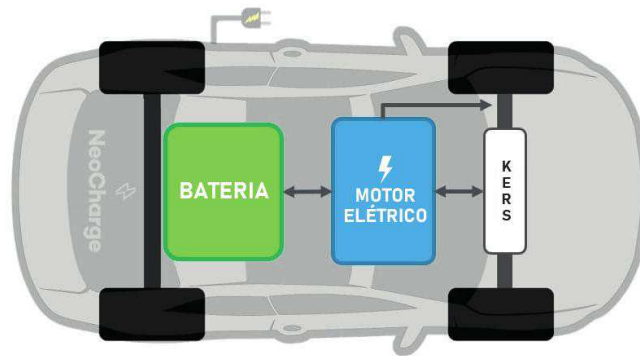
- **Principais Componentes do BEV**

Motor elétrico, Inversor, Bateria, Módulo de Controle e Trem de acionamento.

- **Princípios de Trabalho do BEV**

A energia do motor elétrico é convertida da bateria CC para CA. À medida que o acelerador é pressionado, um sinal é enviado para o controlador. O controlador ajusta a velocidade

Figura 4 – Esquema de funcionamento de um BEV.



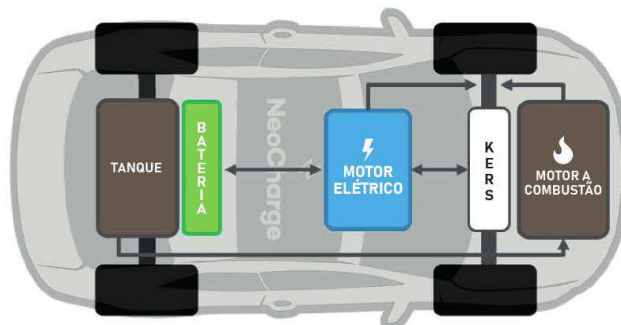
Fonte: Adaptado de [Neocharge \(2021\)](#).

do veículo alterando a frequência da potência CA do inversor para o motor. O motor então se conecta e leva à rotação das rodas através de uma engrenagem. Se os freios forem pressionados ou o carro elétrico estiver desacelerando, o motor se torna um alternador e produz energia, que é enviada de volta para a bateria ([E-AMRIT, 2023](#)).

4.2.2 Veículos Elétricos Híbridos (HEV)

Os Veículos Elétricos Híbridos (do inglês HEV - *Hybrid Electric Vehicle*) - são alimentados por uma combinação de um motor de combustão interna (MCI) com motores elétricos que funcionam em conjunto com uma bateria para maior eficiência. Os HEV alcançam tal feito utilizando o motor elétrico como propulsor principal durante condições em que um MCI é especialmente ineficiente, como ao acelerar a partir de uma parada. Os híbridos também podem favorecer o MCI quando é mais eficiente utilizá-lo, como nas velocidades de cruzeiro. Na [Figura 5](#) é representado esquematicamente o funcionamento dos HEV.

Figura 5 – Esquema de funcionamento de um HEV.



Fonte: Adaptado de [Neocharge \(2021\)](#).

A tecnologia HEV carrega automaticamente a bateria através do que é conhecido como "freio regenerativo" e ativa o sistema do motor elétrico quando as condições são adequadas, o que

significa que os motoristas não precisam monitorar a carga ou conectar os carros às tomadas de energia (NRMA, 2023).

A adição do motor elétrico alimentado a bateria melhora a eficiência do uso do combustível nos híbridos em diversas maneiras. Da mesma forma que as geladeiras desligam as luzes do interior assim que a porta é fechada, uma das características dos veículos híbridos é desligar o motor quando parado (*start-stop*), economizando combustível. A bateria fornece energia para o ar condicionado e outros acessórios enquanto o carro fica parado no semáforo ou no trânsito, e o motor elétrico pode ligar o carro novamente para iniciar o movimento. Se necessário, o motor a combustão irá atuar junto com o elétrico fornecendo maior potência para a aceleração (NEOCHARGE, 2021).

A presença de um ME também permite um design de motor mais eficiente. Essa tecnologia assistente auxilia na redução da demanda de combustível para o motor, pode ter um tamanho reduzido e operar com mais eficiência. Quando o ME é combinado com o MCI, a potência total do sistema ultrapassa a de um veículo convencional.

Os híbridos mais eficientes geralmente utilizam o modo “somente elétrico” fazendo com que o veículo opere inteiramente apenas com eletricidade, consumindo assim, menos combustível e reduzindo a emissão de poluentes. Nos HEV, o modo “somente elétrico” é utilizado como supracitado somente para ignição, acessórios e velocidades baixas, quando o consumo de combustível é maior, deixando que o MCI funcione nas velocidades maiores, onde são mais eficientes (NEOCHARGE, 2021).

- **Principais Componentes do HEV**

Motor a combustão interna, Motor elétrico, Bateria com controlador e inversor, Tanque de combustível e Módulo de controle (E-AMRIT, 2023).

- **Princípios de Trabalho do HEV**

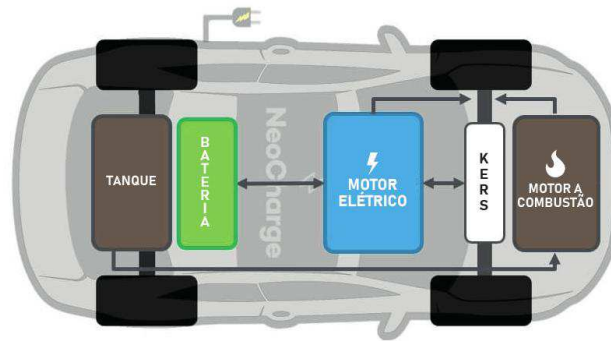
O tanque de combustível fornece energia ao motor como um carro normal. As baterias funcionam em um motor elétrico. Tanto o motor quanto o motor elétrico podem girar a transmissão ao mesmo tempo (E-AMRIT, 2023).

4.2.3 Veículos Elétricos Híbridos *Plug-in* (PHEV)

Os Veículos Elétricos Híbrido *Plug-in* (do inglês PHEV - *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*) são alimentados por uma combinação de um motor de combustão interna (MCI) com motores elétricos que funcionam em conjunto com uma bateria de forma semelhante a um HEV. Diferentemente dos HEV os PHEV podem ter sua bateria recarregada de duas formas: utilizando o sistema de frenagem regenerativa e também pode ser alimentado por uma fonte externa, como a rede elétrica por exemplo, permitindo alcançar longas distâncias usando apenas eletricidade. Os PHEV geralmente têm baterias maiores e motores elétricos mais potentes do que os híbridos, já que o sistema elétrico pode ser acionado como único propulsor, desligando completamente o MCI. Os PHEV usam de 14 a 47% menos combustível do que os veículos convencionais se suas baterias estiverem totalmente carregadas. Um PHEV pode funcionar apenas com gasolina se toda a carga da bateria estiver esgotada, e a carga da bateria sozinha se todo o combustível estiver esgotado. Na Figura 6 é representado esquematicamente o funcionamento de um veículo elétrico híbrido *Plug-in* (PHEV).

Esse tipo de carro elétrico emite consideravelmente menos poluentes que os carros de motor a combustão, devido ao fato de serem carregados por eletricidade vindo da rede. Eles não geram gases de efeito estufa quando funcionando apenas com o motor elétrico, além disso, ganham eficiência no uso do combustível líquido. Uma vez que eles utilizam menos combustível devido ao motor elétrico, dirigir um PHEV gera uma economia de muitos reais por ano em gasolina e diesel (NEOCHARGE, 2021).

Figura 6 – Esquema de funcionamento de um PHEV.



Fonte: Adaptado de [Neocharge \(2021\)](#).

- **Principais Componentes do PHEV**

Motor elétrico, motor à combustão interna, inversor, bateria, tanque de combustível, módulo de controle e o carregador da bateria ([E-AMRIT, 2023](#)).

- **Princípios de Trabalho do PHEV**

Os PHEV iniciam no modo totalmente elétrico e fazem uso da eletricidade até que sua bateria esteja esgotada. Uma vez que a bateria é drenada, o MCI assume o sistema de propulsão principal e o veículo opera como um híbrido convencional e não *plug-in*. Como supramencionado os PHEV podem ser carregados conectando-se a uma fonte de energia elétrica externa ou pela frenagem regenerativa. Quando os freios são aplicados, o motor elétrico atua como um gerador, usando a energia para carregar a bateria. A potência do motor é complementada pelo motor elétrico; como resultado, motores menores podem ser usados, aumentando a eficiência de combustível do carro sem comprometer o desempenho ([E-AMRIT, 2023](#)).

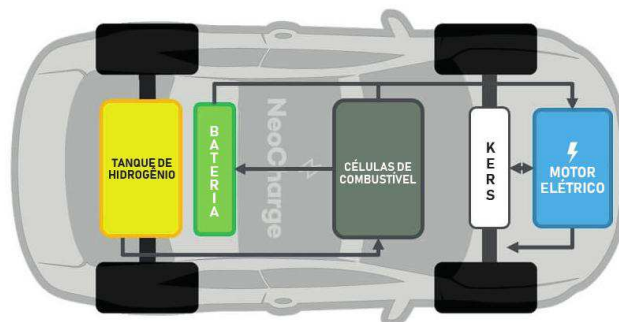
4.2.4 Veículos Elétricos a Célula de Combustível (FCEV)

Os Veículos Elétricos a Célula de Combustível *Plug-in* (do inglês FCEV - *Fuell Cell Electric Vehicle*) - utilizam um processo eletroquímico altamente eficiente para converter hidrogênio em eletricidade, que alimenta um motor elétrico. Os FCEV no mercado hoje não são projetados para recarregar sua bateria de uma fonte externa. Em vez disso, eles são alimentados com gás hidrogênio comprimido que é armazenado em um tanque no veículo (U.S. Department of Transportation). Na [Figura 7](#) é representado o esquema de funcionamento de um veículo elétrico a célula de combustível a hidrogênio (FCEV).

Em muitos aspectos, eles se assemelham aos veículos 100% elétricos, diferenciando-se apenas pela forma que a energia é entregue ao motor elétrico. A conversão de gás hidrogênio em eletricidade produz apenas água e calor, ou seja, nesta conversão não há produção de gases poluentes. A produção do gás hidrogênio em si pode poluir, mas mesmo com o combustível vindo de fontes menos limpas como o carvão mineral, no total, os carros à célula a combustível geram 30% menos poluentes se comparados aos veículos convencionais ([NEOCHARGE, 2021](#)).

Segundo [Neocharge \(2021\)](#) os carros a célula a hidrogênio combinam a autonomia e a facilidade do reabastecimento parecido a um veículo convencional, o hidrogênio pressurizado é vendido em estações de recarga (postos de reabastecimento), assim como a gasolina/álcool ou diesel é vendido em posto. O tanque de hidrogênio leva menos de 10 minutos para ser encher completamente. Uma vez cheio, a autonomia dos célula a combustível pode variar, mas é muito

Figura 7 – Esquema de funcionamento de um FCEV.



Fonte: Adaptado de Neocharge (2021).

semelhante aos carros normais abastecidos a gasolina/álcool ou diesel, entre 320 a 600 km. Assim como os outros veículos elétricos, os de células a combustível minimizam a perda de energia desligando o motor quando parados no trânsito ou no semáforo. Depois, o motor elétrico pode ligar o carro novamente para iniciar o movimento.

- **Principais Componentes do FCEV**

Motor elétrico, pilha de célula de combustível, tanque de armazenamento de hidrogênio, bateria com conversor e controlador.

- **Princípios de Trabalho do FCEV**

Ao contrário dos BEV, que armazenam energia elétrica retirada de um carregador, os FCEV criam sua própria carga elétrica através de uma reação química geralmente envolvendo hidrogênio. Isso significa que os FCEV podem ser preenchidos com hidrogênio e não exigem "carregamento" da rede.

4.3 Motor

O motor é uma parte fundamental nos VE, pois, assim como nos veículos MCI, é responsável por tracionar o veículo gerando o deslocamento esperado. Veículos elétricos são automóveis movidos por um ou mais motores elétricos, o motor elétrico (ME) é uma máquina que transforma a potência elétrica em potência mecânica, com reduzida porcentagem de perdas. Os ME são constituídos de duas partes, o rotor que é a parte móvel (girante) e o estator ou carcaça que é a parte fixa, e são classificados em dois grupos, de acordo com o tipo de tensão que o alimenta: Motor de Corrente Alternada (CA) e Motor de Corrente Contínua (CC).

Os motores ao longo do tempo assim como os veículos evoluíram conforme ilustrado na Figura 8. Na contemporaneidade os motores são leves e atingem eficiência superiores a 90%, fornecendo força rotacional completa a partir da inércia, desta forma de acordo com Riba et al. (2016) os veículos elétricos executam partidas e paradas frequentes que exigem alta aceleração para partidas rápidas e a capacidade de operar em ambientes hostis.

Os sistemas de propulsão elétrica estão no centro dos veículos elétricos e híbridos. Esses sistemas geralmente consistem em um ou mais motores elétricos, conversores de energia e controladores eletrônicos. O motor elétrico converte energia elétrica em energia mecânica, impulsiona o veículo para a frente e se transforma em gerador para recuperar parte da energia nas frenagens.

⁴Disponível em: <https://www.facebook.com/Dismotor/photos/a.468123866539418/4121003404584761/?type=3&locale=pt_BR>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

Figura 8 – Evolução dos motores elétricos como o passar dos anos.



Fonte: Dismotor/WEG (2021).⁴

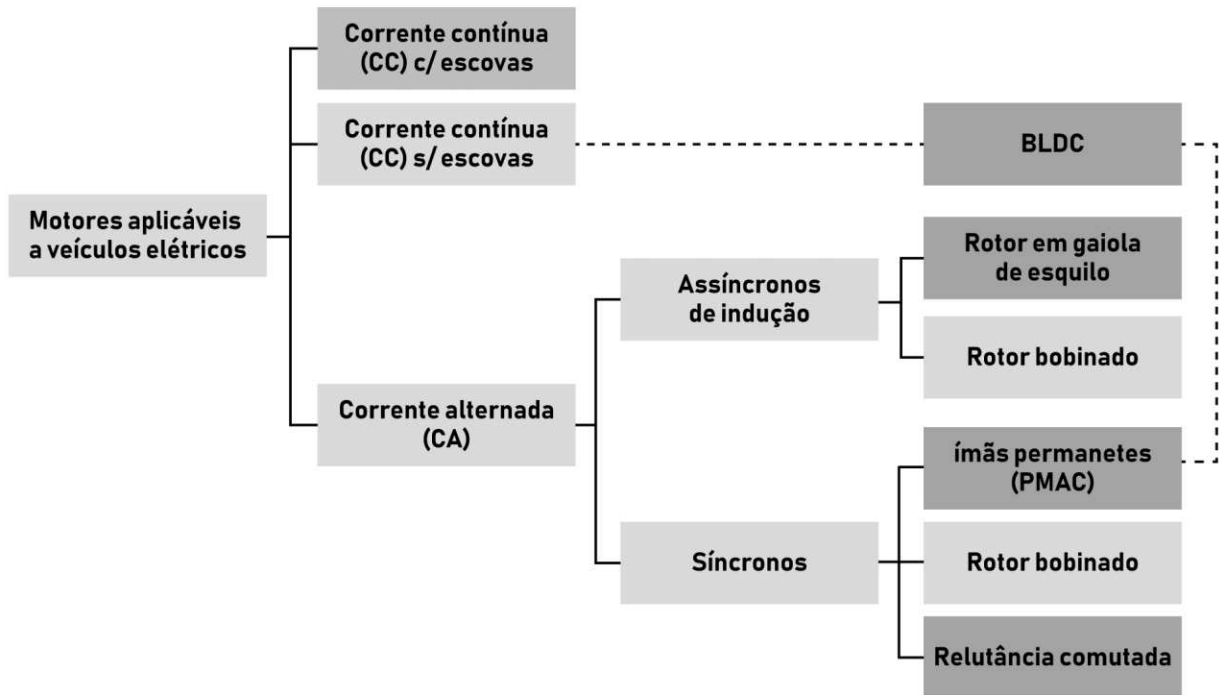
Para VE ou HEV, a escolha do tipo de sistema de propulsão elétrica depende de muitos fatores, incluindo expectativas do motorista, restrições do veículo e fontes de energia. As expectativas do motorista são definidas pelos perfis de direção, que incluem aceleração, velocidade máxima, subida de colina, capacidade de frenagem e distância percorrida.

Diferentemente das aplicações industriais, os motores usados em veículos elétricos e híbridos geralmente apresentam as características de partidas e paradas frequentes, altas taxas de aceleração e desaceleração, alto torque a baixas velocidades, subidas, velocidade de cruzeiro, baixo torque a alta velocidade operacional.

A Figura 9 mostra um diagrama de blocos com motores elétricos. A cor em destaque representa os motores mais adequados para veículos elétricos. O motor CC com escovas foi caindo em desuso por necessitar de manutenção (mudança de escovas e limpeza do coletor), e pelo desenvolvimento de tecnologias de controle para motores de corrente alternada (síncronos e de indução). O motor de relutância comutada não era apropriado para veículos elétricos, por ter baixa densidade de potência, o que requeria motores grandes e pesados, no entanto novos desenvolvimentos tornaram este motor bastante promissor para uso em veículos elétricos (FREITAS, 2012).

De uma maneira geral atualmente há cinco tipos de motores em aplicação nos VE, são eles: motor de corrente contínua com escovas, motor de corrente contínua com ímã permanente sem escovas, motor de indução, motor de relutância variável e motor PMSM (*Permanent magnet synchronous*) que serão apresentados a seguir.

Figura 9 – Diagrama em árvore, dos motores mais aplicáveis a veículos elétricos.

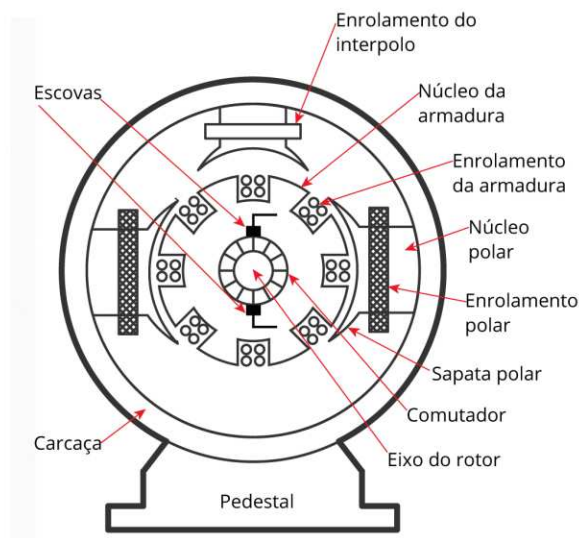


Fonte: Freitas (2012, p. 22).

4.3.1 Motor de Corrente Contínua com escovas

Considerado o mais tradicional conversor rotativo de energia elétrica, os motores CC são motores que utilizam a corrente contínua para gerar o seu trabalho, essa corrente pode ser alimentada por uma bateria ou qualquer outra de alimentação CC. A Figura 10 apresenta as partes que compõe o motor CC com escovas.

Figura 10 – Vista em corte de um motor CC com rotor, enrolamento polar e interpolo.



Fonte: Adaptado de AMAZOM (2017).⁵

Este tipo de motor corrente contínua é composto principalmente por um circuito magnético fixo no qual existem enrolamentos de excitação, chamados de circuitos indutivos, que juntos formam o estator, que constitui a parte estática do motor. A parte de potência é chamada de armadura e possui um núcleo magnético de seção circular com ranhuras longitudinais em sua superfície externa, que contém os condutores conectados ao coletor, através de escovas fixadas ao estator, que permitem a conexão com o exterior e incorporam o circuito de indução. A direção da força eletromotriz no condutor, portanto, sempre tem um valor resultante na mesma direção (VASCO, 2020).

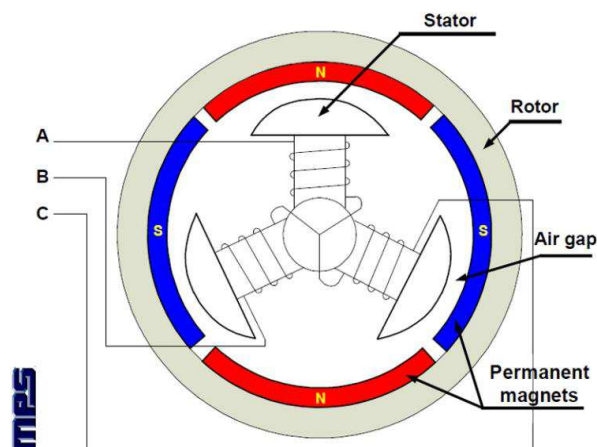
Para que o eixo interno do motor gire, existem, na carcaça externa, ímãs permanentes, que são chamados de estatores. Assim que a corrente passa pelo rotor, ele vira um eletroímã e o campo magnético gerado reage com o campo magnético do estator, fazendo o rotor girar. Para que o rotor continue energizado, é preciso que sempre passe corrente por ele. A solução para essa questão foi as escovas, que são peças de material condutor que ficam em contato com o rotor mesmo que ele esteja girando (MAGALHÃES, 2014).

Segundo Freitas (2012), este tipo de motor tem como vantagens, elevado binário disponível em baixas velocidades de rotação, ampla variação de velocidade e um controle relativamente fácil. O controle pode ser feito por resistências. No entanto, têm menor rendimento e são mais caros que os motores de indução, para além disso necessitam de manutenção (mudança de escovas e limpeza de coletores). A partir dos anos 90, o sucesso dos inversores permitiu o controle de velocidade nos motores de indução, diminuindo o uso dos motores CC com escovas.

4.3.2 Motor de Corrente Contínua com ímã permanente sem escovas (BLDC)

Os Motores BLDC são constituídos de ímãs permanentes ligados a um eixo ou um cilindro rotativo, que são empurrados e/ou puxados por campos eletromagnéticos dos enrolamentos elétricos que, por sua vez, são gerenciados por um controlador eletrônico de velocidade. Eles diferem dos motores DC convencionais que utilizam escovas de contato elétrico deslizando sobre comutadores eletromecânicos para energizar os campos magnéticos. Nos motores BLDC a energia elétrica é convertida em energia mecânica pelas forças de atração (e repulsão) magnética entre os magnetos permanentes do rotor e o campo magnético rotativo induzido pelas bobinas eletromagnéticas do estator. A Figura 11 apresenta os componentes principais de um motor BLDC (KALATEC, 2023).

Figura 11 – Vista em Corte de um motor BLDC.



Fonte: Electroschematics (2019).⁶

O motor BLDC não possui escovas, a comutação é feita eletronicamente. Assim este tipo de motor não tem problemas associados à comutação por escovas, no entanto o controle acrescenta um custo considerável na sua aplicação. A comutação da corrente, entre os enrolamentos do estator, deve ser sincronizada com a posição do rotor, para tal são usados sensores, sendo comum usar sensores de efeito Hall e sensores ópticos. Os BLDC requerem uma alimentação com onda retangular, em geral têm os ímãs montados à superfície do rotor (FREITAS, 2012).

As bobinas (eletroímãs) assumem o papel de estator e os magnetos (ímãs permanentes) funcionam como rotor girando no centro, ou em torno, do estator. O rotor de um motor BLDC consiste em um número par de peças de ímãs permanentes. Um par de polos no rotor é definido por dois ímãs que são instalados em orientação magnética inversa, um em relação ao outro, com referência ao estator. O número de pares de polos magnéticos do rotor afeta tanto o tamanho do passo quanto a ondulação do torque do motor. Mais pares de polos resulta passos menores e menor ondulação de torque (KALATEC, 2023).

Entre as vantagens dos Motores BLDC está sua alta eficiência, a capacidade de eliminar desgastes, perdas de energia, manutenção reduzida e muitos outros benefícios em comparação aos motores CC escovados, incluindo melhor velocidade em comparação ao torque, ausência de ionização do comutador, menor interferência eletromagnética, resposta dinâmica mais rápida, operação silenciosa e maiores faixas de velocidade (KALATEC, 2023).

Os motores BLDC, embora mais eficientes, são mais caros e pesados que os demais. São utilizados com muita frequência nos sistemas de propulsão de veículos elétricos devido à sua alta densidade de potência, alta eficiência e capacidade de dissipar o calor para o exterior. Os motores DC com ímãs permanentes sem escova vêm em uma variedade de configurações. Geralmente, de acordo com a disposição dos ímãs, pode-se dividir em motores com ímãs na superfície do rotor ou motores com ímãs embutidos no rotor, sendo estes últimos os mais fortes (SÁNCHEZ, 2012).

4.3.3 Motor de indução

O motor de indução é o motor CA mais usado, devido a sua simplicidade, construção robusta, baixo custo de fabricação e boas características de funcionamento. Estas características do motor de indução resultam do rotor ser uma unidade autossuficiente que não necessita de conexões externas. O nome do motor de indução é derivado do fato de serem induzidas correntes alternadas no circuito do rotor, pelo campo magnético girante produzido nas bobinas do estator (FILHO, 2013).

Os motores de indução possuem dois tipos distintos de configuração: rotor tipo bobinado e rotor tipo gaiola. O rotor em gaiola de esquilo ilustrado na Figura 12, é o mais utilizado em automóveis por não conter escovas, sendo mais barato e exigindo menos manutenções. Porém seu torque de arranque não é muito elevado resultando em uma rotação inicial lenta.

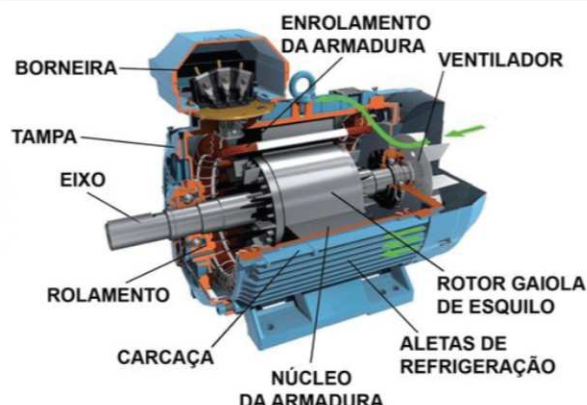
Segundo Freitas (2012) o rotor em gaiola de esquilo é constituído por um núcleo ferroso no qual estão inseridas (com isolamento) barras de alumínio dispostas paralelamente umas em relação às outras e são ligadas nas extremidades por dois anéis. Estas barras condutoras estão dispostas com uma certa inclinação (que se assemelha a uma torção do rotor) para evitar vibrações devido à ação electromagnética entre o rotor e o estator. O estator é bobinado à semelhança de outros motores. A vantagem do rotor em gaiola de esquilo em relação ao rotor bobinado, é ter uma construção mais simples, mais barata, quase sem manutenção, resultando num motor bastante robusto. Porém o binário de arranque não é muito elevado.

Contudo, a baixa eficiência de conversão de energia, as altas perdas e o baixo fator de

⁵Disponível em:<<https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/58/2/2>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

⁶Disponível em:<<https://www.electroschematics.com/hdd-bldc-motor/>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2023.

Figura 12 – Motor gaiola de esquilo.



Fonte: Adaptado de SEIXAS e FERNANDES (2012).

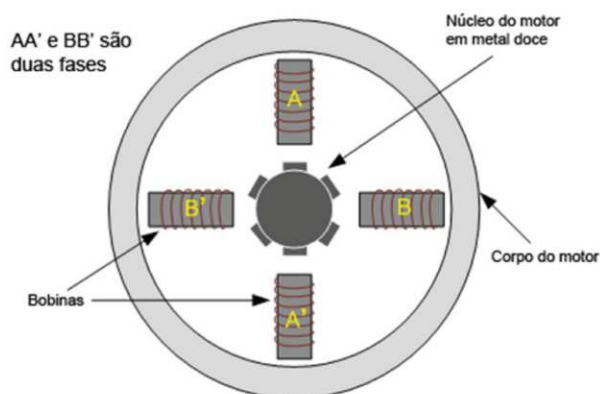
potência são características negativas que o motor elétrico por indução possui. Para que essas características não desejáveis sejam amenizadas, implementa-se um sistema multifásico com mudança de polo ou utilizam-se inversores duplos (DIAS, 2013; MAGALHÃES, 2014).

Os motores gaiolas são amplamente utilizados em industriais e para sistemas de propulsão elétrica, visto que como supracitado oferecem baixo custo, confiança, simplicidade e pouca manutenção, além de poder operar em ambientes agressivos. Os motores “gaiola de esquilo” são encontrados em veículos como: Tesla modelo S, Tazzari Zero, Mercedes-Benz Classe B, Mahindra e2o e Toyota RAV4 (VASCO, 2020).

4.3.4 Motor de Relutância Variável

O motor elétrico de relutância variável ilustrado na Figura 13 é ainda mais robusto e contém a construção mais simples que o motor de indução, é tolerante a falhas, tem uma excelente relação torque-velocidade e contém uma faixa de potência longa. Entretanto, esta configuração de motor elétrico gera muito ruído, causa interferência eletromagnética nos outros componentes e contém o torque oscilante com a velocidade (DIAS, 2013).

Figura 13 – Motor de ímã permanente de duas fases.



Fonte: DEE/Unesp (2013).⁷

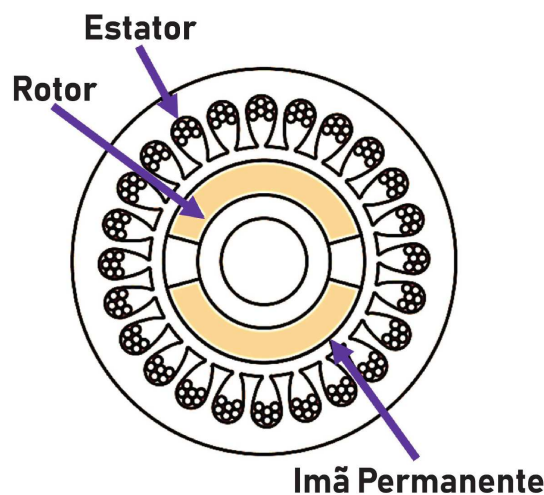
Esses motores consistem em um estator com enrolamentos de campo e um rotor magnético. O rotor não requer enrolamentos porque o torque gerado pelo rotor está alinhado com a onda de fluxo gerada pelo estator, garantindo assim sempre o fluxo máximo, que resulta da aplicação de uma certa quantidade de corrente (SÁNCHEZ, 2012).

O motor de relutância pode operar a velocidades elevadas, tem excelente controlabilidade e um bom rendimento. Além disso funciona facilmente como gerador. Como inconveniente, este motor possuía uma baixa densidade de potência (comparativamente com a generalidade dos motores elétricos) requerendo motores grandes e pesados, assim tornava-se inapropriado para veículos elétricos. No entanto, com o passar dos anos, o desenvolvimento deste motor, possibilitou um aumento na densidade de potência tornando-o menor, e conseqüentemente bastante promissor para uso em veículos elétricos. A construção do estator assemelha-se à de um motor de indução e o rotor é constituído por ferro laminado (com polos salientes). Este tipo de rotor permite o funcionamento a temperaturas elevadas. É uma vantagem em relação aos motores de ímanes permanentes, pois nesses, as altas temperaturas desmagnetizariam os ímanes (FREITAS, 2012).

4.3.5 Motores de Corrente Alternada síncronos de ímãs permanentes (PMSM)

Segundo Chapman (2004) o princípio básico de operação de um motor síncrono de ímã permanente é que a corrente de campo produz um campo magnético estacionário. Os motores de corrente alternada PMSM (*Permanent magnet synchronous*) possuem rotor de ímã permanente como ilustrado na Figura 14. Este motor é uma evolução do motor síncrono de rotor bobinado, onde os enrolamentos do rotor, escovas e anéis coletores são substituídos por ímãs permanentes, e o estator do PMSM é muito semelhante ao de um motor de indução.

Figura 14 – Vista de corte de um motor PMSM.



Fonte: Vasco (2020, p. 21).

Os motores de ímã permanente são os mais eficientes dentre todos os motores elétricos e pela ausência de comutador, como nos motores CC, não possui perdas mecânicas. Devido sua distinta geometria de seu rotor, o mesmo evidencia indutâncias diferentes em seu funcionamento, assim como saliências. Estes itens resultam em um torque de relutância, que auxilia no elevado torque resultante, quando acrescido do torque formado pelos ímãs-torque eletromagnético (RIBEIRO; PRADO, 2018).

⁷Disponível em: <<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/aula3-motor-de-passo-2013-1-13-03-2013-final.pdf>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

Os PMSM têm sido amplamente aplicados em sistemas de propulsão de carros elétricos, no entanto, na maioria das aplicações são usados ímãs de terra rara por causa de suas propriedades magnéticas superiores, já que pode ser projetado com uma menor massa. É importante citar que os PMSM de terras raras têm recursos importantes como altas densidades de potência e torque, velocidade síncrona, alta eficiência, controle de torque preciso ou operação com pouca manutenção (VASCO, 2020).

Esses motores estão sendo inseridos no mercado com grandes vantagens ao consumidor, principalmente em eficiência energética. Por não apresentar quase nenhuma perda joule no rotor, assegura um rendimento muito maior. Sua característica promissora é oferecer maior potência, trabalho em menor espaço, com dimensões reduzidas e menor custo. Os rotores dos motores de ímã permanente possuem em sua maioria seus ímãs fixados em sua superfície, podendo ainda ser instalados no seu interior (RIBEIRO; PRADO, 2018).

No entanto, os PMSM apresentam algumas desvantagens, como a escassez de materiais que dificulta sua produção em larga escala. Esse tipo de material também está sujeito a compartilhar os mesmos problemas de todo ímã como os campos limitados e problemas de desmagnetização induzidos por impactos mecânicos e aumentos de temperatura (VASCO, 2020).

Alguns exemplos de modelos de carros elétricos comerciais que utilizam os motores PMSM de acordo com Vasco (2020) são BMW i3, Nissan Leaf, Volkswagen e-Golf, Mitsubishi i-MiEV, Volkswagen e-UP, Citroën C-Zero, Peugeot iOn, Citroën Berlingo Electric, Ford Focus Elétrico, Fiat 500e, Bolloré Bluecar, Chevrolet Spark EV e Kia Soul EV.

4.4 Bateria

Segundo Bates (2012) uma bateria é um dispositivo capaz de armazenar energia elétrica na forma de energia química e converter essa energia armazenada em eletricidade. Existem três componentes principais de uma bateria: dois terminais, o ânodo e o cátodo; e o eletrólito, que separa esses terminais. O eletrólito é um meio químico que permite o fluxo de carga elétrica entre o cátodo e o ânodo.

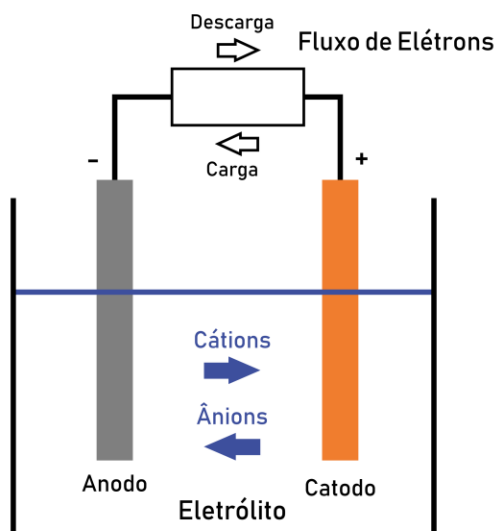
Durante uma descarga de eletricidade, o produto químico no ânodo libera elétrons para o terminal negativo e íons no eletrólito. Enquanto isso, no terminal positivo, o cátodo aceita elétrons, completando o circuito para o fluxo de elétrons. O eletrólito está lá para colocar o ânodo e o cátodo em contato um com o outro, de forma que o potencial químico possa se equilibrar de um terminal para o outro, convertendo a energia química armazenada em energia elétrica útil. Os íons transportam corrente através do eletrólito enquanto os elétrons fluem no circuito externo, gerando uma corrente elétrica. Diferentes eletrodos e eletrólitos produzem diferentes reações químicas que afetam o funcionamento da bateria, quanta energia ela pode armazenar e sua tensão. Na Figura 15 é possível verificar o esquema de funcionamento descrito acima.

A bateria segundo Cardoso (2021) é a parte mais importante de um veículo elétrico. A tecnologia de armazenamento de eletricidade, teve seus primórdios no século XVIII, com o primeiro condensador, a garrafa de Leiden (1745), e a pilha de Volta (1800), mas somente em 1859 com a invenção das baterias recarregáveis de chumbo-ácido por Gaston Planté, e seu posterior aperfeiçoamento por Camille Alphonse Faure em 1881, é que possibilitaram o primeiro *boom* de veículos elétricos no início do século XX.

As principais características das baterias que são determinantes para veículos elétricos são a capacidade de potência (medida em kW) e a energia armazenada (medida em kWh). Ambos dependem de variáveis como o alcance, o tipo de operação (elétrico puro ou misto), o ciclo de

⁸Disponível em: <<https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-recarregaveis-em-geral/conceitos-basicos-sobre-baterias-recarregaveis>>. Acesso em: 25 de janeiro de 2023.

Figura 15 – Esquema de funcionamento de uma bateria.



Fonte: Adaptado de STA Eletrônica.⁸

direção, o design do veículo e o tipo de recarga, entre outros. A potência é a taxa de transferência de energia, sendo um fator crítico para os automóveis elétricos, cuja performance é limitada por quantos kW a bateria é capaz de fornecer. A capacidade de armazenamento, medida geralmente em kWh, é a característica que determina a distância que pode ser percorrida e o peso do sistema de baterias, e está relacionada com a quantidade de energia que a bateria é capaz de armazenar (BARAN; LEGEY, 2011).

As baterias são divididas em:

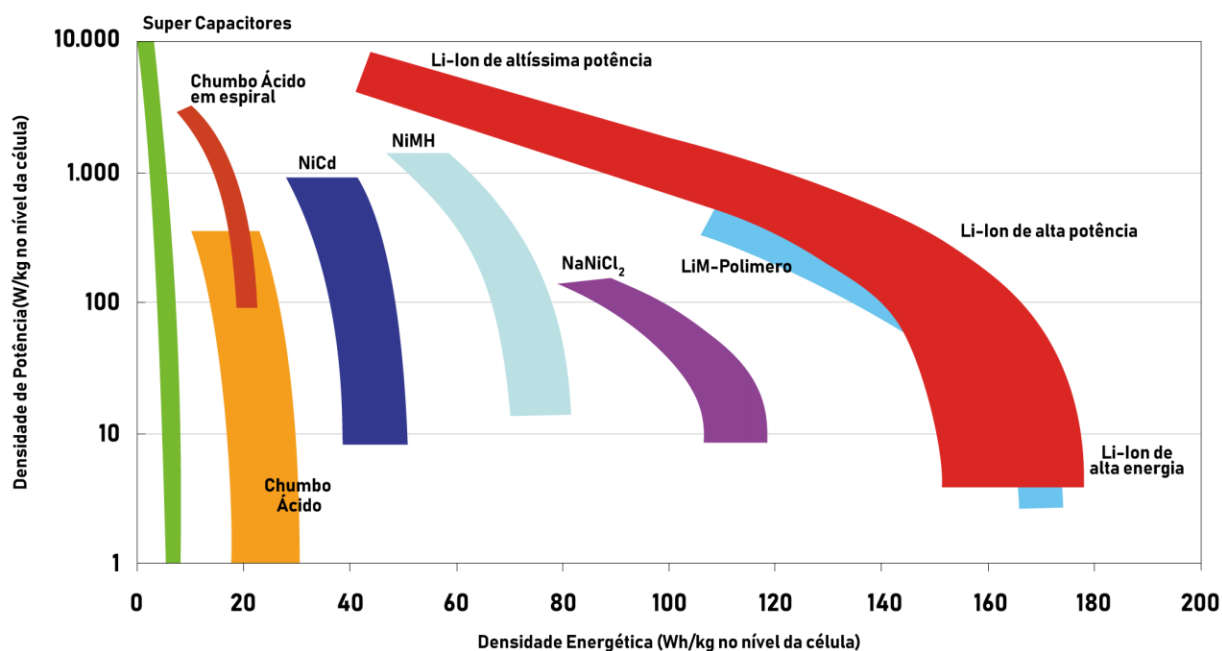
- Baterias primárias (A): As baterias primárias são aquelas que não podem ser carregadas, ou seja, o processo químico de geração de energia é irreversível;
- Baterias secundárias (B): As baterias secundárias são aquelas que podem ser recarregadas em um determinado número de ciclos, observados diversos requisitos, dentre eles: tensão, temperatura e corrente de recarga (NOCE, 2009).

Existem diferentes tecnologias de bateria para as quais os termos de medição são comumente usados, como densidade de potência (W/kg) e densidade de energia (Wh/kg). Na Figura 16 é possível verificar uma comparação com as principais baterias disponíveis no mercado levando em consideração os parâmetros supramencionados.

Baran e Legey (2011) afirma que apesar da relação inversa entre densidade de energia e densidade de potência, as baterias de íon-lítio (Li-Ion) têm clara vantagem em relação às demais tecnologias tanto em termos de energia quanto de potência por kg. Baterias para HEV devem ter grande capacidade de armazenamento de energia, enquanto baterias para PHEV geralmente têm alta densidade de potência.

No que diz respeito aos ciclos de carga-descarga, baterias de PHEV estão sujeitas a ciclos de descarga profunda, seguidos por ciclos rasos, por conta da frenagem regenerativa e do auxílio do MCI. Baterias para HEV, por sua vez, devem sofrer ciclos de descarga profunda constantemente, sem tantos ciclos rasos. Economias de escala devem favorecer a difusão de somente um tipo de bateria para ambas as tecnologias automotivas (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2021).

Figura 16 – Densidade Energética e Densidade de Potência para diferentes tipos de bateria.



Fonte: Silva (2019, p. 27).

Inicialmente as baterias de chumbo-ácido foram a principal tecnologia de armazenamento na indústria automotiva sendo utilizadas principalmente para alimentar o motor, as luzes e os sistemas auxiliares de veículos movidos à MCI. Em um segundo momento, as baterias de hidreto metálico de níquel (NiMH) entraram no mercado como a primeira bateria utilizada em larga escala após a de chumbo-ácido, tornando-se uma proposta atraente para aplicações tracionárias. Os primeiros veículos elétricos modernos de larga escala (EV1 General Motors, embora lançado com baterias de chumbo-ácido em 1997, passou à tecnologia de NiMH em 1999) dos anos 90 e os primeiros veículos híbridos da Toyota (Toyota Prius) e Honda (Honda Insight) utilizavam a tecnologia NiMH por sua alta capacidade de armazenamento de energia e pela maturação da tecnologia adquirida em equipamentos eletro-eletrônicos portáteis (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Cardoso (2021), as características de carga das baterias NiMH são afetadas pela corrente, tempo e temperatura. Quando a corrente de carga aumenta ou a temperatura é mais baixa, a tensão da bateria aumenta. A eficiência de carregamento varia de acordo com fatores como corrente, tempo e temperatura.

As limitadas densidades de energia e capacidades das baterias desenvolvidas até meados do século XX inspiraram a busca por melhores configurações, tornando o lítio um elemento potencial. O metal foi pensado para apresentar excelentes propriedades para uso como componente de bateria. O lítio possui um potencial de redução padrão muito baixo, tornando-o adequado para baterias de alta densidade e alta tensão (THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES, 2019).

Amplamente utilizadas em vários dispositivos eletrônicos, as baterias de lítio possuem diversas vantagens, dentre elas à sua alta reatividade, conseguem armazenar grandes quantidades de energia em um tamanho pequeno, compacto e leve, enquanto em outros tipos de baterias, para armazenar a mesma quantidade de energia que o lítio armazena, elas teriam que ter o dobro do tamanho (ARANHA, 2018).

O funcionamento das baterias íon-lítio, é baseado em um mecanismo conhecido por

intercalação iônica. Nesse mecanismo os materiais utilizados nos eletrodos devem possuir uma estrutura que agregue os íons de lítio, de maneira que não afete sua estabilidade. Dessa forma, quando há a carga da bateria, íons lítio “desagregam” do ânodo, acarretando na oxidação do eletrodo para manter a neutralidade do sistema, e migram através da solução eletrolítica para o cátodo, ocorrendo o contrário para a descarga, havendo a “desagregação” de íons lítio do eletrodo em direção ao cátodo (CARVALHO, 2018).

Segundo Kanno (2022) as baterias de íon de lítio podem ser divididas em vários tipos, dependendo do metal usado para o cátodo. O primeiro metal usado para o cátodo de baterias de íons de lítio foi o cobalto. No entanto, o cobalto é um metal raro com uma baixa produção como o lítio, por isso tem um alto custo de fabricação. Agora, manganês, níquel, ferro, etc. vieram a ser usados como materiais que são baratos e têm um baixo impacto ambiental.

4.5 Carregamento

Além da autonomia, outro aspecto importante é a duração e as características do processo de carregamento das baterias. Para que os VE tenham sucesso definitivo, será necessário que os usuários possam carregar seus veículos de forma rápida e simples. Para isso, será fundamental contar com uma implantação de infraestrutura que permita uma carga tão rápida e simples. Isso implica o carregamento em casa e a criação de estações de carregamento elétrico que forneçam carregamentos rápidos durante longos deslocamentos (SANGUESA et al., 2021).

Em relação aos carregadores dos veículos elétricos, atualmente pode-se encontrar diferentes padrões, que são determinados, principalmente, pela região em que estão sendo utilizados ou aplicados. Atualmente existe uma vasta gama de conectores para carregamento de veículos elétricos. Esses conectores são definidos por diferentes padrões: a Society of Automotive Engineers (SAE) é responsável por sua normalização nos EUA e em parte dos países do Pacífico; o IEC é responsável por sua padronização em grande parte dos países do mundo, principalmente na Europa; e o Guobiao Standards (GB) gerencia a padronização na China (SANGUESA et al., 2021).

Ainda segundo o autor supramencionado os conectores mais utilizados são: SAE-J1772 (padrão americano), IEC-62196 (padrão europeu) e GB/T 20234 (padrão chinês). A principal diferença entre esses três padrões é que enquanto os dois primeiros classificam os modos de carregamento de acordo com o tipo de energia (CC ou CA), o último classifica tais modos pela potência de carregamento envolvida. No Japão as principais montadoras utilizam o padrão CHAdeMO, porém vem sendo descontinuado ultimamente.

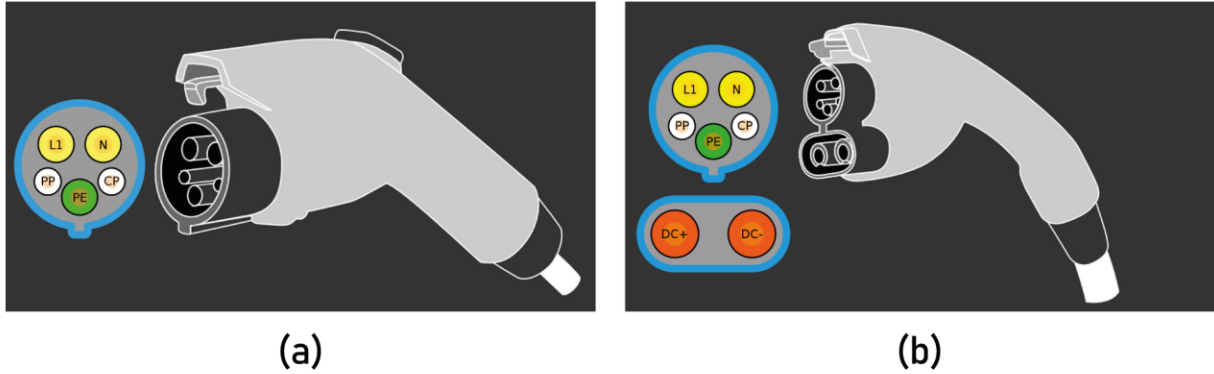
Os veículos elétricos possuem um conversor CA/CC que permite carregar as suas baterias em casa através da utilização das tomadas convencionais. No entanto, quando for necessário carregamentos mais rápidos, deve-se utilizar Postos de Carregamento de VE, pois podem fornecer energia CC diretamente para as baterias. As Estações de Carregamento podem fornecer eletricidade através de diferentes conectores, consoante a norma suportada. Abaixo, são apresentados os diferentes padrões ou regras que são criados para a tecnologia de carregamento de veículos elétricos. Em particular, são detalhados os diferentes modos de carregamento definidos nas normas atuais, bem como os conectores (SANGUESA et al., 2021).

4.5.1 SAE-J1772: O padrão americano

O modo SAE-J1772, visto na Figura 17, é um padrão de conectores elétricos para VE criado em 1996, também conhecido como padrão americano ou Tipo 1 foi desenvolvido nos Estados Unidos e apoiado pela SAE Internacional. Esse padrão é comum nos EUA e no Japão. O conector é chaveado e tem cinco pinos na configuração de corrente alternada: 1 pino de fase, 1 pino de neutro, 1 pino terra e 2 pinos de controle. Nas versões alimentadas por corrente contínua:

possui 2 pinos adicionais para alimentação rápida CC, enquanto isso a parte Tipo 1 do conector permanece a mesma com os contatos CA não sendo usados.

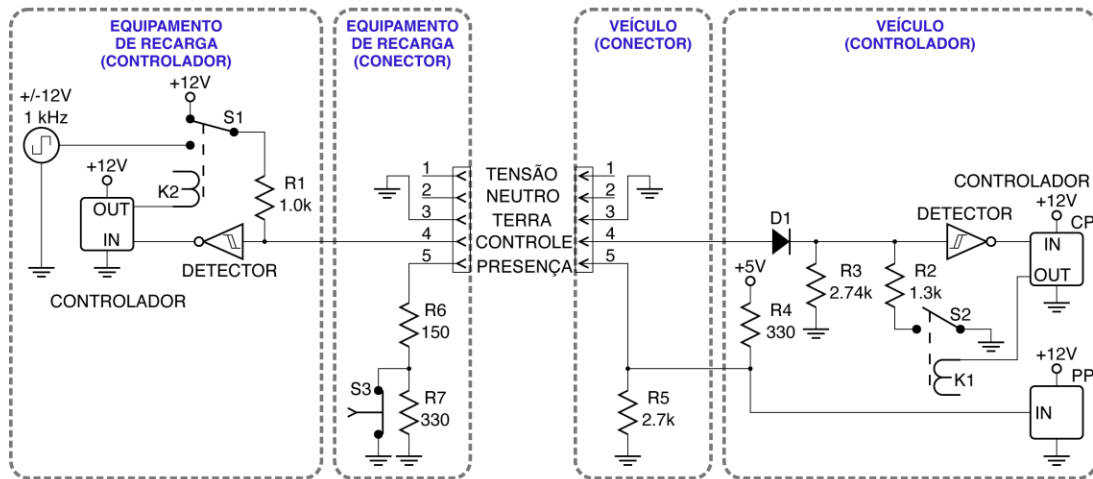
Figura 17 – a) Conector SAE J1772 Tipo 1 b) Conector CCS Tipo 1.



Fonte: Adaptado de Tavares (2019).

Com relação ao protocolo de carregamento os 2 pinos de controle, denominados PP e CP são os agentes principais, a Figura 18 é utilizada para representar o circuito responsável por realizar o comando de carga e descarga para o conector SAE-J1772. Abaixo será descrito o funcionamento do circuito de carregamento de forma sucinta.

Figura 18 – Circuito de carregamento do SAE-J1772.



Fonte: Adaptado de Wikipedia⁹.

O pino PP conhecido como *plug* de presença fornece um sinal para o sistema de controle do veículo para que ele possa evitar o movimento enquanto conectado à estação de carregamento. A botoeira S3 está mecanicamente ligada a um atuador que libera a trava do conector.

Durante o carregamento, a estação de recarga conecta o circuito de presença a partir da S3 e o resistor R6. Quando o atuador é liberado o resistor de R7 é adicionado no circuito de presença, gerando uma queda de tensão na linha permitindo que o veículo elétrico inicie um desligamento controlado antes da desconexão real dos pinos.

⁹https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772/media/File:J1772_signaling_circuit.svg

O pino PP também é usado para indicar a capacidade do cabo. Um resistor é codificado para a capacidade máxima de corrente suportada pelo cabo. O equipamento de recarga interrompe o fornecimento de corrente se a capacidade de corrente do cabo for excedida, conforme detectado pela medição do circuito de controle pelo resistor R5.

O pino CP conhecido como *plug* de controle é uma linha de comunicação usada para sinalizar o nível de carregamento entre o carro e a estação de recarga. A estação de carregamento envia uma onda quadrada de 1 kHz a ± 12 V gerada pelo equipamento de recarga para detectar a presença do veículo, comunicar a corrente de carregamento máxima permitida e controlar do início ao fim do carregamento.

O circuito de presença é conectado ao controlador do veículo através de um resistor R3, causando uma queda de tensão de 12 V para 9 V quando um cabo é conectado à estação de carregamento que ativa o gerador de ondas. O carregamento é ativado pelo veículo adicionando um resistor paralelo R2, resultando em uma queda de tensão para 6 V. O diodo neste circuito é responsável por impedir qualquer tensão negativa no circuito de controle. A estação de carregamento utiliza a modulação de um pulso PWM para definir a corrente de recarga, quando o sinal de controle é de 1 kHz indica a corrente máxima permitida.

O SAE-J1772 estabelece os seguintes modos de carregamento como descrito na [Tabela 1](#):

- **CA Nível 1**
Tomada elétrica padrão que fornece tensão em corrente alternada de 120 V oferecendo uma intensidade máxima de 16 A, que atende a uma potência máxima de 1,9 kW.
- **CA Nível 2**
Tomada elétrica padrão com 240 V CA e intensidade máxima de 80 A, portanto oferece uma potência máxima de 19,2 kW.
- **CC Nível 1**
Carregador externo que inserindo uma tensão máxima de 500 V CC com uma intensidade máxima de 80 A, fornece uma potência máxima de 40 kW.
- **CC Nível 2**
Carregador externo que, inserindo uma tensão máxima de 500 V CC com uma intensidade máxima de 200 A, fornece uma potência máxima de 100 kW.

Método de carga	Alimentação	Corrente Máxima	Tensão	Potência
CA Nível 1	CA	16 A	120 V	1,9 kW
CA Nível 2	CA	80 A	240 V	19,2 kW
CC Nível 1	CC	80 A	200 - 500 V	40 kW
CC Nível 2	CC	200 A	200 - 500 V	100 kW

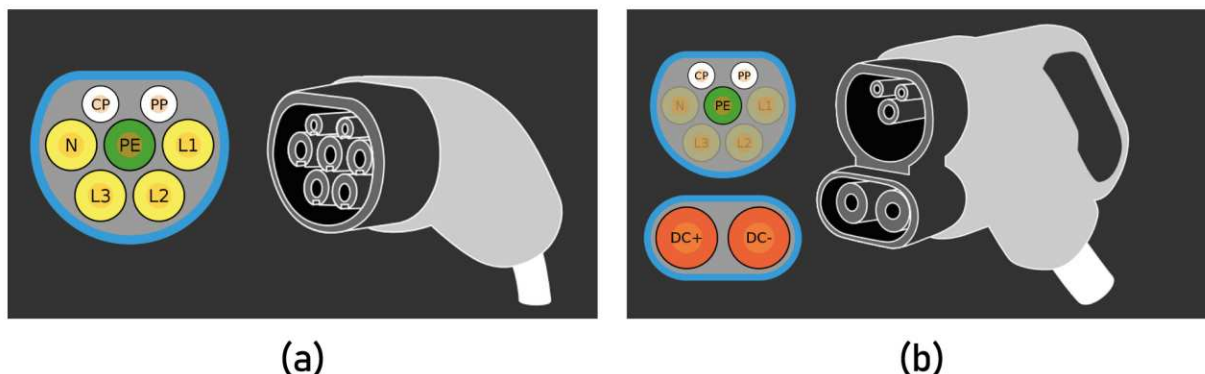
Tabela 1 – Classificações de carga do SAE-J1772.

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

4.5.2 IEC-62196: O padrão europeu

Segundo [Sanguesa et al. \(2021\)](#), o IEC-62196, visto na [Figura 19](#), é um padrão internacional criado pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) em 2001 para carregar veículos elétricos amplamente difundido pelo mundo e utilizado principalmente pelas montadoras europeias, também conhecido como padrão europeu ou Tipo 2. A IEC-62196 estabelece as características gerais do processo de carregamento, bem como a forma como a energia é fornecida. Esta norma

Figura 19 – a) Conector IEC 62196 Tipo 2 b) Conector CCS Tipo 2



Fonte: Adaptado de Tavares (2019).

deriva da IEC-61851 e fornece uma primeira classificação do tipo de carregamento de acordo com sua potência nominal e, portanto, do tempo de carregamento.

Possui 7 pinos: 3 pinos de fase, 1 pino de neutro, 1 pino terra e 2 pinos de controle, nas versões alimentadas por corrente alternada, no caso da versão alimentada por corrente contínua possui 2 pinos adicionais para alimentação rápida CC, os contatos L1, L2, L3 e N são completamente removidos do conector e, restando apenas os pinos de controle e o pino terra como visto na Figura 19. O protocolo de comunicação e de controle é semelhante ao padrão regulamentado pela SAE descrito pelo circuito da Figura 18.

O Tipo 2 pode ser alimentado por sistemas monofásicos e trifásicos, entre 250V e 400V. Entrega até 50 kW de potência quando em corrente alternada. Por isso, sua velocidade de recarga é bem menor e é ideal para uso residencial ou várias cargas ao longo do dia, como em paradas nos shoppings e mercados. Todos os carros híbridos plug-in no Brasil são compatíveis com este tipo de conector. Os modos de operação são descritos na Tabela 2 (SANGUESA et al., 2021).

- **Modo 1 (carregamento lento)**

É definido como um modo de carregamento doméstico, com intensidade máxima de 16 A, e usa uma tomada padrão monofásica ou trifásica com fase(s), neutro e condutores de aterramento de proteção. Este modo é o mais utilizado em nossas casas.

- **Modo 2 (Carregamento semi-rápido)**

Este modo pode ser usado em casa ou em áreas públicas, sua intensidade máxima definida é de 32 A e, semelhante ao modo anterior, utiliza tomadas padronizadas com condutores fase(s), neutro e terra de proteção.

- **Modo 3 (Carregamento rápido)**

Fornecer uma intensidade entre 32 e 250 A. Este modo de carregamento requer o uso de um VE Supply Equipment (EVSE), uma fonte de alimentação específica para carregar veículos elétricos. Este dispositivo (ou seja, o EVSE) fornece comunicação com os veículos, monitora o processo de carregamento, incorpora sistemas de proteção e interrompe o fluxo de energia quando a conexão com o veículo não é detectada.

- **Modo 4 (carregamento ultrarrápido)**

Publicado no IEC-62196-3, define uma conexão direta do VE à rede de alimentação CC com uma intensidade de energia de até 400 A e uma tensão máxima de 1000 V, o que fornece uma potência máxima de carregamento de até 400 kW. Esses modos também requerem um

carregador externo que forneça comunicação entre o veículo e o ponto de carregamento, além de proteção e controle.

Método de carga	Alimentação	Corrente Máxima	Tensão	Potência
Modo 1	CA monofásico	16 A	230-240 V	3,8 kW
	CA Trifásico	16 A	480 V	7,6 kW
Modo 2	CA monofásico	32 A	230-240 V	7,6 kW
	CA Trifásico	32 A	480 V	15,3 kW
Modo 3	CA monofásico	32-250 A	230-240 V	60 kW
	CA Trifásico	32-250 A	480 V	120 kW
Modo 4	CC	250-400 A	600-1000 V	400 kW

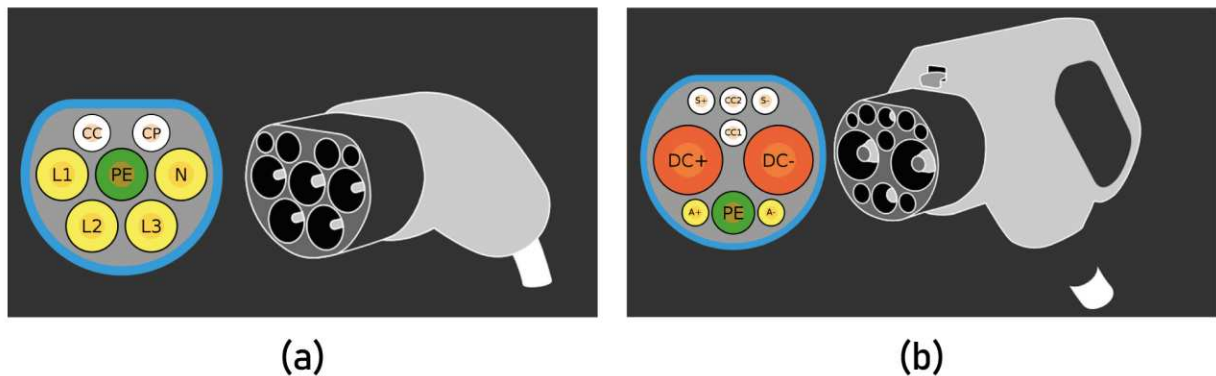
Tabela 2 – Classificações de carga do IEC-62196.

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

4.5.3 GB/T 20234: O padrão chinês

A Guobiao Standards (GB) criou o padrão GB/T-20234, visto na [Figura 20](#), para carregar infraestruturas de veículos elétricos na China. Embora a China inicialmente tenha adotado o padrão europeu IEC-62196, o uso de seu próprio padrão sendo amplamente difundido pelas montadoras do país.

Figura 20 – Conector GB/T-20234.



Fonte: Adaptado de Tavares (2019).

Em relação ao padrão GB/T 20234 que é utilizado na China, um diferencial em relação ao SAE-J1772 e IEC-62196, é que, enquanto estes últimos utilizam o mesmo protocolo de comunicação entre o veículo e o carregador, o padrão chinês opera com outro diferente, o que causa a incompatibilidade desses sistemas de carregamento. O conector chinês considera dois tipos de conectores. O conector utilizado para cargas baseadas em CC é fisicamente o mesmo utilizado no IEC Tipo 2, embora sejam incompatíveis com os veículos europeus que utilizam o mesmo conector, pois utilizam protocolos diferentes. O padrão define seu próprio conector para realizar as cargas CC. A norma classifica os modos de carregamento entre CA e CC, conforme [Tabela 3](#).

No Brasil o GB/T 20234 é encontrado nos carros importados de montadoras chinesas, como a Caoa Chery e a JAC. Existem duas versões: a primeira é de corrente alternada de 32 A e tensão entre 220 V e 440 V, fornecendo até 14,08 kW; a segunda é de corrente contínua, chegando a 187,5 kW de potência e tensão entre 400 V e 750 V.

Modo	Tensão	Corrente Máxima	Potência
CA	250 V	10 A	27,7 kW
		16 A	
		32 A	
	440 V	16 A	
		32 A	
CC	750 - 1000 V	80 A	250 kW
		125 A	
		200 A	
		250 A	

Tabela 3 – Classificações de carga do GB/T-20234.
 Fonte: Adaptado de [Sanguesa et al. \(2021\)](#).

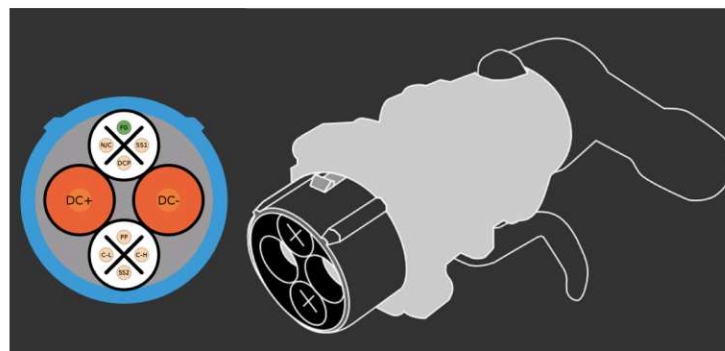
O conector GBT usa sinalização CAN BUS para controle, é um protocolo de comunicação serial síncrono. O sincronismo entre os módulos conectados a rede é feito em relação ao início de cada mensagem lançada ao barramento. Os sinais controlam os processos de carregamento, como iniciação e reconhecimento de conexão, configuração de corrente e tensão, carregamento e suspensão do carregamento. A comunicação de carregamento é definida usando sinais digitais seguindo um protocolo de barramento.

Com relação ao modo de carregamento CA, mesmo a interface de sete pinos seja capaz de passar energia CA trifásica, a implementação atual é limitada à energia monofásica. Em geral, as velocidades de carregamento também são limitadas pelo carregador de bordo do veículo, que geralmente é inferior a 10 kW. Enquanto no modo de carregamento CC, existem quatro pinos para sinalização: dois para fornecer confirmação de carregamento e dois para comunicação. Além disso, o conector GB/T fornece 2 pinos de alimentação CC auxiliar.

4.5.4 CHAdeMO: O padrão japonês

Desenvolvido no Japão e promovido pela TEPCO (*Tokyo Electric Power Company*), o CHAdeMO, visto na [Figura 21](#), é comumente encontrado em equipamentos de carregamento de VE no Japão, embora também seja utilizado na Europa e EUA. Ele nasceu em 2010 e foi proposto pelas cinco grandes japonesas (Honda, Nissan, Mitsubishi, Subaru e Toyota) para que fosse o padrão mundial. Não aconteceu e ficou restrito ao Japão.

Figura 21 – Conector CHAdeMO.



Fonte: Adaptado de [Tavares \(2019\)](#).

O CHAdeMO é projetado para fornecer cargas rápidas em CC. Em suas primeiras versões,

suportava até 400 V, iniciando a carga com até 200 A. Atualmente, os carregadores CHAdeMO já são projetados com potência de 150 kW, e pretendem chegar a 350 kW. Este conector possui dez pinos, dois para alimentação DC, um para conexão de aterramento e sete pinos para comunicação com a rede.

Além de transportar energia, o conector faz uma conexão de dados usando o mesmo protocolo do padrão chinês (CAN). Isso executa funções como um intertravamento de segurança que evita energizar o conector antes que seja seguro, transmitindo parâmetros da bateria para a estação de carregamento, incluindo quando parar de carregar, tensão alvo, capacidade total da bateria e como a estação deve variar sua corrente de saída durante o carregamento.

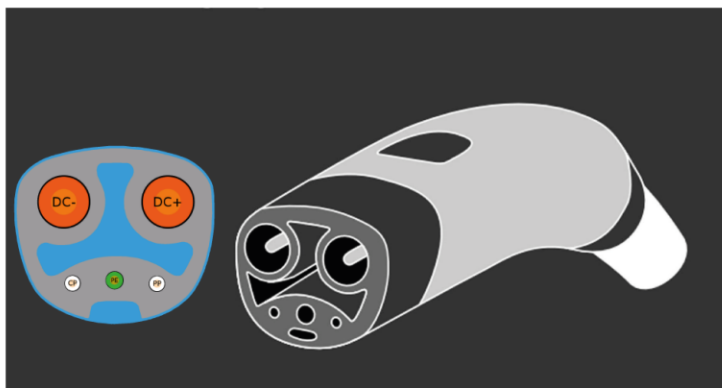
O CHAdeMO é projetado para fornecer cargas rápidas em CC. Em suas primeiras versões, suportava até 400 V, iniciando a carga com até 200 A. O mais recente Protocolo CHAdeMO (3.0) permite até 900kW de carregamento a 600A e 1,5kV.

Embora esteja disponível em muitos postos de recarga mais robustos pelo Brasil (que usam também as tomadas CCS Tipo 2 e Tipo 2), alguns carros japoneses também contam com uma segunda tomada de outro padrão, como é o caso do Leaf, que tem um segundo plugue do Tipo 1 no Brasil.

4.5.5 Tesla *Charging*

Como diz o nome, é o conector exclusivo da Tesla, embora não seja um padrão internacional propriamente dito, possui pontos próprios de carregamento rápido, chamados de *Supercharger Stations*. Ele foi criado para trabalhar tanto com corrente alternada quanto contínua. As estações residenciais com corrente alternada fornecem até 19,26 kW, entre 110 V e 240 V. Já os *Superchargers* usam corrente contínua e uma potência de até 250 kW (as primeiras versões tinham um limite de 135 kW). A marca oferece adaptadores para Tipo 1 e CHAdeMO, além de entregar os carros no resto do mundo com conectores CCS Tipo 2. O carregador Tesla *Charging* é ilustrado na [Figura 22](#) (TAVARES, 2019).

Figura 22 – Conector Tesla *Charging*.



Fonte: Adaptado de [Tavares \(2019\)](#).

Os *superchargers* da Tesla funcionam em CC e usam sistema próprio. Embora tenham uma potência máxima de carregamento de 145 kWh, atualmente essa potência está limitada a 120 kWh, o que permite carregar metade da bateria de um Model S em apenas 20 min, ou 80% em meia hora. Embora a Tesla afirme que seus *superchargers* são pontos de carregamento ultrarrápidos, se considerarmos o critério IEC-62196, esses pontos de carregamento seriam iguais a um Modo 3 (carregamento rápido). Na [Tabela 4](#) são apresentadas as características elétricas do Tesla *Charging*.

Modo	Corrente Máxima	Tensão	Potência
CA monofásico	12 A	110 - 240 V	1,32 kW
CA trifásico	80 A	110 - 240 V	19,26 kW
CC	250 A	500 V	250 kW

Tabela 4 – Características elétricas do Tesla *Charging*.

Fonte: Adaptado de [Tavares \(2019\)](#).

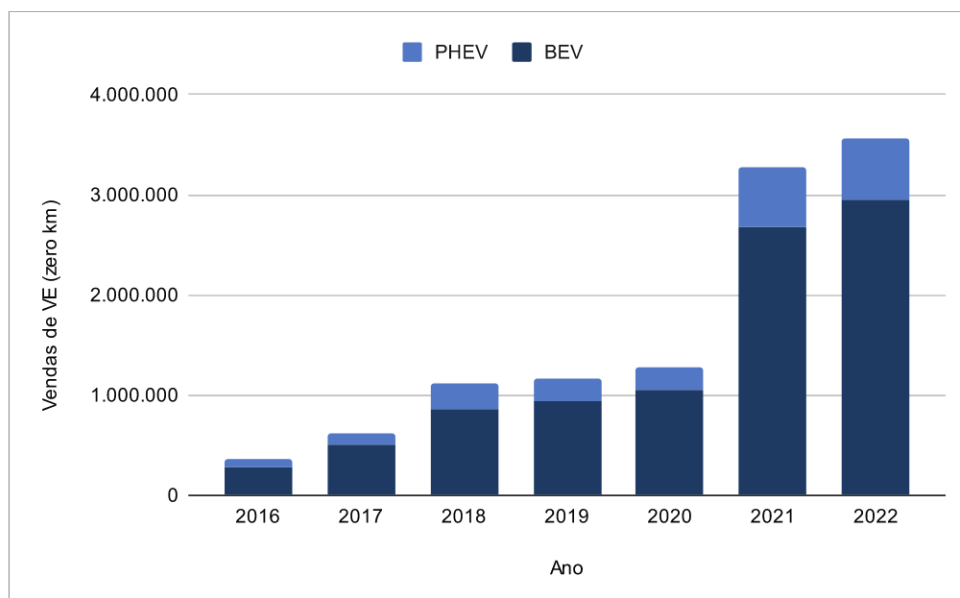
5 O cenário encontrado em 2023

5.1 Na China

A China, que abriga o maior mercado automotivo do mundo, convenientemente vêm liderando as vendas globais de VE nos últimos anos, com mais carros vendidos do que os demais países do globo combinados e aproximadamente cinco vezes mais do que a Alemanha, que detém a segunda posição ([STATISTA, 2023a](#)).

Após o lento crescimento durante os primeiros anos (estágio embrionário), as vendas dos elétricos cresceram maciçamente em 2013, quando o governo chinês dedicou mais apoio financeiro nacional à utilização dos VE, se tornando o maior mercado de VE leves do mundo em 2015, com 207.000 vendas incluindo os BEV, PHEV e HEV. O mercado de VE da chinês cresceu rapidamente desde 2020 — dobrando as vendas em 2022. Os fatores responsáveis pelo crescimento exponencial do mercado chinês são apoiados em parte por subsídios do governo, enquanto isso, os veículos movidos a MCI de montadoras estrangeiras estão apodrecendo em lotes, se tornando extremamente difíceis de vender em algumas regiões do país devido ao desinteresse do mercado e mudanças iminentes nas regras de emissões ([OU et al., 2019](#); [FU](#); [WAKABAYASHI, 2023](#)).

Figura 23 – Evolução das vendas de VE na China (2016 - 2022).



Fonte: Adaptado de [Statista \(2023a\)](#).

Segundo [Pontes \(2023\)](#) e com base nos dados do relatório de vendas da Clean Technica, em março de 2023 os veículos *plug-in* atingiram 34% de participação de mercado, os totalmente elétricos corresponderam a 24% das vendas de automóveis do país. A evolução das vendas anuais dos VE - considerando apenas os veículos à bateria - no mercado chinês entre 2016 e 2022 pode

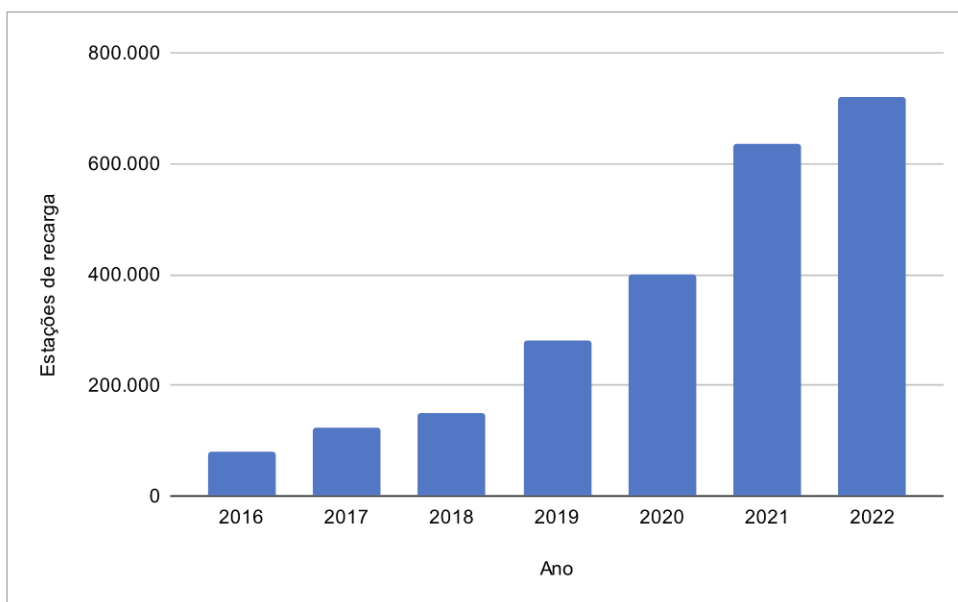
ser observada na [Figura 23](#).

A rápida eletrificação da frota de veículos leves na China tem implicações importantes tanto para o mercado global de veículos quanto para as políticas energéticas. Com relação a demanda, veículos baratos e de pequeno porte foram os que mais contribuíram para o recente aumento nas vendas, mas essa tendência está diminuindo. A maioria das vendas chinesas de VE nos últimos anos ocorreu em regiões ou cidades economicamente prósperas (Pequim, Xangai, Cantão, Shenzhen) que são capazes de fornecer incentivos monetários lucrativos e privilégios de compra e condução de VE aos consumidores ([OU et al., 2019](#)).

Do lado da oferta, a expansão do mercado de VE, incentivada por políticas governamentais, permite que as jovens montadoras privadas concorram com as montadoras estabelecidas. No geral, a taxa de concentração do mercado de VE ainda é pequena: centenas de modelos de VE e novas montadoras de VE estão competindo na China; mas quando se trata de alguns dos principais mercados locais, as vendas de VE são geralmente dominadas pelas montadoras locais ([OU et al., 2019](#)).

Com relação a infraestrutura, segundo dados do [Statista \(2023a\)](#) até o final de 2022 a China apresentava em torno de 720 mil pontos de recarga distribuída ao longo do país, com destaque naturalmente para as megacidades chinesas, pois além de ter a maior frota eletrificada, também contam com capacidade fiscal para impulsionar a construção de infraestrutura para os VE. Enquanto isso, a restrição de veículos convencionais nessas cidades incentiva as pessoas a comprar VE, o que também leva às demandas das instalações de pontos de carregamento. Na [Figura 24](#) é possível observar a evolução da infraestrutura de recarga na China desde 2016 ao fim de 2022 ([OU et al., 2017](#)).

Figura 24 – Evolução das estações de recarga na China (2016 - 2022).



Fonte: Adaptado de [Statista \(2023a\)](#).

Com objetivo de melhorar a velocidade de instalação de novas estações de recarga de VE, o governo chinês vem reformando o setor de energia elétrica quebrando os monopólios de distribuição de eletricidade sobre as vendas e abrindo gradualmente o mercado de energia elétrica ao público. Tais incentivos permitem as capitais construir suas próprias redes de carregamento de energia elétrica e a vender a energia diretamente aos consumidores por meio dos pontos de carregamento de automóveis, residências ou aquecimento ([OU et al., 2017](#)).

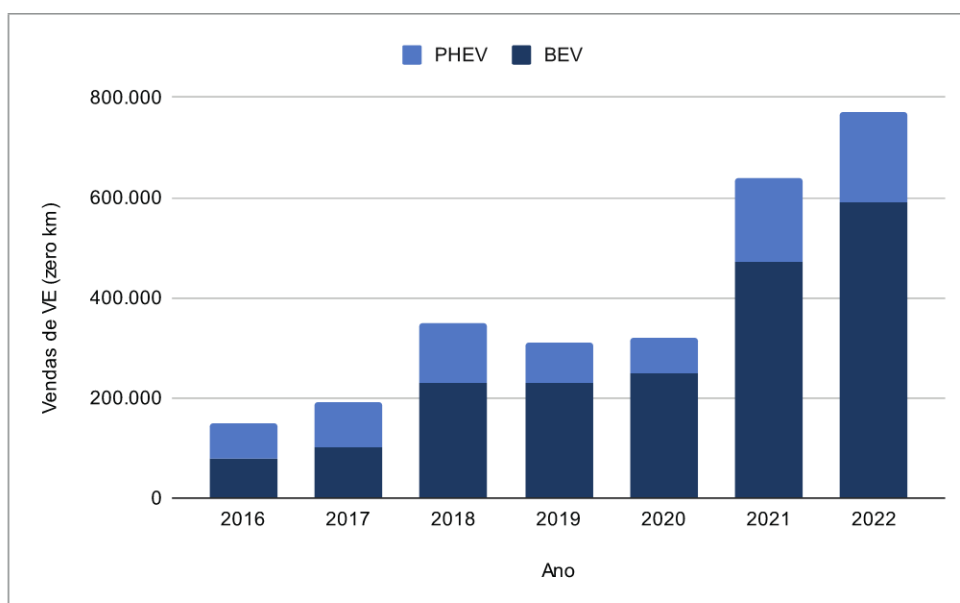
Do ponto de vista energético, a eletrificação da frota chinesa basicamente transfere o consumo de gasolina para a geração de eletricidade a carvão (principal fonte da matriz elétrica na China). Estima-se que a implantação da quantidade planejada de VE aumenta o consumo de carvão do sistema de energia em cerca de 4%. Além disso, a implantação da quantidade planejada de VE tem um impacto muito limitado na integração das energias renováveis com o sistema elétrico nacional (LI et al., 2016).

A implementação dos veículos elétricos na mobilidade pode beneficiar ou ameaçar a segurança do fornecimento de energia em termos da quantidade de carga não atendida, dependendo da estratégia de carregamento. Especificamente, o carregamento descontrolado aumenta a quantidade de carga não atendida, pois tende a agrupar a carga de carregamento dos VE com a carga de pico da rede elétrica. No entanto, até que ponto o carregamento descontrolado de VE aumenta a carga não atendida depende de uma combinação de níveis de expansão dos VE no mercado, das taxas de energia de carregamento e conexões com o sistema elétrico nacional. Por outro lado, as estratégias de carregamento controlado podem restringir a carga de pico adicional decorrente dos VE, e a estratégia de realimentação da rede por meio das baterias dos VE pode até reduzir a carga de pico do sistema de potência de referência (LI et al., 2016).

5.2 Nos Estados Unidos

Os Estados Unidos representam grande parcela do mercado global de VE, juntamente com os principais mercados elétricos mundiais da China e da Europa. Segundo dados do [Departament Of Energy - EUA \(2023\)](#), em setembro de 2022 o percentual das vendas de VE nos EUA alcançou a marca de 7,4% excedendo pela primeira vez uma participação de 7%. Dos quais, 6,2% eram BEV e 1,2% eram PHEV. Desde a introdução dos VE no mercado americano em 2010, levou cerca de uma década para que as vendas mensais de VE excedessem rotineiramente uma participação de 2% de todas as vendas de veículos leves. Essa participação vem crescendo consideravelmente nos últimos anos como pode-se observar na [Figura 25](#), onde é apresentada graficamente a evolução das vendas anuais de VE - considerando apenas os veículos à bateria - nos EUA desde 2016 até o fim de 2022.

Figura 25 – Evolução das vendas de VE nos EUA (2016 - 2022).



Fonte: Adaptado de Statista¹⁰.

Segundo Archsmith, Muehlegger e Rapson (2022) a taxa de eletrificação do transporte nos EUA será determinada por três forças: crescimento intrínseco na demanda por veículos elétricos, declínio nos custos de produção e estímulo governamental à indústria. Muitos planos de mitigação das mudanças climáticas incorporam a rápida adoção de VE leves como o pilar central dos esforços de descarbonização.

Os resultados das previsões futuras para o mercado de VE revelam vários *insights* importantes. As vendas de veículos elétricos nos EUA variam significativamente de acordo com as diferenças demográficas e geográficas. A demanda de VE está fortemente correlacionada com níveis mais altos de renda e educação. A taxa de crescimento da demanda intrínseca por VE é o fator mais importante, pois representa um cenário com ausência de subsídios governamentais, onde os compradores preferem os VE em relação a carros movidos a combustão. No entanto, os incentivos do governo podem ser uma ferramenta eficaz para estimular a demanda de VE. Em uma perspectiva pessimista a participação de mercado norte-americano de VE em 2035 será de 10%. No entanto, em uma ótica otimista, a expectativa de crescimento pode chegar aos 42%. Essas participações de mercado em todo o país obscurecem uma heterogeneidade geográfica substancial (ARCHSMITH; MUEHLEGGGER; RAPSON, 2022).

Embora o crescimento dos VE e da energia limpa dos EUA tenha sido estável ao longo dos anos, o número de carros elétricos nas estradas ainda é baixo, com menos de 6% do total de veículos leves. A distribuição da frota elétrica varia substancialmente nos níveis estadual, regional e local, assim como as ações do governo e as políticas de apoio, incluindo incentivos ao consumidor, implantação de infraestrutura e campanhas de informação que ajudam a superar as barreiras do consumidor à adoção dos VE (SLOWIK; LUTSEY, 2018).

Os maiores mercados consumidores nos EUA estão localizados em regiões litorâneas, com destaque para o estado da Califórnia na costa Oeste. Em 2023, 21% dos carros vendidos até o momento na Califórnia foram elétricos. Isso representa 40% de todos os veículos de emissão zero vendidos no país. Historicamente, a Califórnia foi responsável por cerca de metade da participação total de VE dos EUA. O país como um todo registrou 5,6% das vendas de veículos elétricos em 2022 (DOW, 2023).

Com objetivo de acelerar a implementação da mobilidade elétrica, o estado californiano vai banir a venda de novos carros a combustão em 2035. A medida foi aprovada por unanimidade pelo Conselho de Recursos Aéreos da Califórnia (CARB). Atualmente, o estado exige que 12% dos veículos vendidos sejam eletrificados. Com a nova proposta, a meta subirá para 35% até 2026 e para 68% em 2030. A partir de 2035, todos os novos veículos gasolina ou a diesel serão banidos. Os automóveis comercializados deverão ser zero emissão, sendo que um quinto das vendas podem ser de modelos híbridos plug-in (AUTOMOTIVE BUSINESS, 2022).

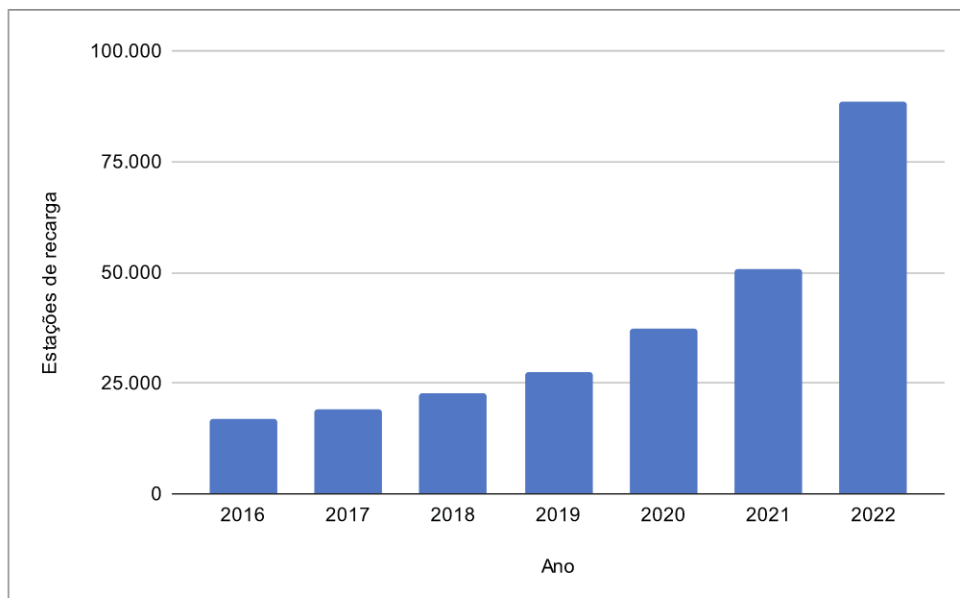
Com base nas previsões impulsionadas pela proibição dos veículos movidos à MCI, estima-se que irão existir cerca de 5 milhões de VE na Califórnia em pouco mais de uma década, levando a uma necessidade cada vez maior de estações de recarga de VE que atendam às demandas do mercado de mobilidade elétrica. Embora a tecnologia de carregamento tenha evoluído rapidamente, o desenvolvimento da infraestrutura elétrica nos EUA permanece desafiador. De acordo com um relatório recente da McKinsey & Company, a demanda de energia de carregamento de VE para veículos elétricos pode chegar a 53 bilhões de quilowatts-hora até 2030, um aumento de 20 vezes necessário para apoiar a próxima "onda" de veículos elétricos (EV CHARGING INFRASTRUCTURE USA 2024, 2023).

Para que isso aconteça, o país necessita de uma rede robusta de estações de carregamento em todos os estados. Na Figura 26 é possível observar a evolução da infraestrutura de recarga nos Estados Unidos ao longo dos últimos anos. Em 2021 o então presidente americano Joe Biden

¹⁰Disponível em: <<https://www.statista.com/outlook/mmo/electric-vehicles/united-states>>. Acesso em: 25 de maio de 2023.

assinou um projeto de lei de infraestrutura que aloca US\$ 7,5 bilhões para a construção de mais 500.000 carregadores públicos de VE até 2030 (AVERY, 2023).

Figura 26 – Evolução das estações de recarga nos EUA (2016 - 2022).



Fonte: Adaptado de Statista¹¹.

De acordo com o Centro de Dados de Combustíveis Alternativos do Departamento de Energia dos EUA, até março de 2023 existiam cerca de 51.000 estações públicas nos EUA (além de aproximadamente 37.000 estações privadas), dos quais 14.040 dos pontos de recarga localizadas na Califórnia sendo a região mais bem estruturada. Os estados com a pior cobertura estão no Centro-Oeste: Iowa, Nebraska, Dakota do Norte e do Sul e Wyoming. Parte dessa ausência pode ser atribuída à demografia, mas também há outros fatores em jogo: áreas pouco povoadas mais ao centro do país, utilização do etanol como fonte principal de combustível nos estados produtores de milho que utilizam o cereal como matéria prima, o tempo frio pode diminuir o alcance dos veículos em até 40%, tornando os VE menos atraentes nas regiões com as temperaturas mais baixas do país. O fator político também aparece como empecilho, pois mais ao centro-norte do país, os republicanos há muito tempo se opõem a investir em carros elétricos (AVERY, 2023).

A incorporação do veículo elétrico nas redes de distribuição prevê um impacto técnico e econômico no sistema elétrico. Prevê-se uma recarga massiva destes, o que afetará o funcionamento do sistema e possíveis reforços necessários na atual infraestrutura elétrica. Dimensionar o impacto que a recarga dos VE terá no setor elétrico dependerá de quando, onde e como eles serão carregados. Atualmente existem três tipos de recarga de acordo com o local onde é feita. A curva de procura não é constante ao longo do dia, mas é previsível, pelo que devemos evitar carregar os VE nas horas de ponta, onde há maior procura de energia, e promover o carregamento fora das horas de ponta, ou onde se consome menos energia (ABO-KHALIL et al., 2022).

Os veículos elétricos compartilham seu destino com a disseminação da infraestrutura de carregamento. É altamente provável que a infraestrutura de carregamento revolucione a distribuição de energia existente. Do ponto de vista do serviço de energia, pode-se resumir que surge uma nova fonte de receita e a complexidade do gerenciamento aumenta (ABO-KHALIL et al., 2022).

¹¹Disponível em: <<https://www.statista.com/outlook/mmo/electric-vehicles/united-states>>. Acesso em: 26 de maio de 2023.

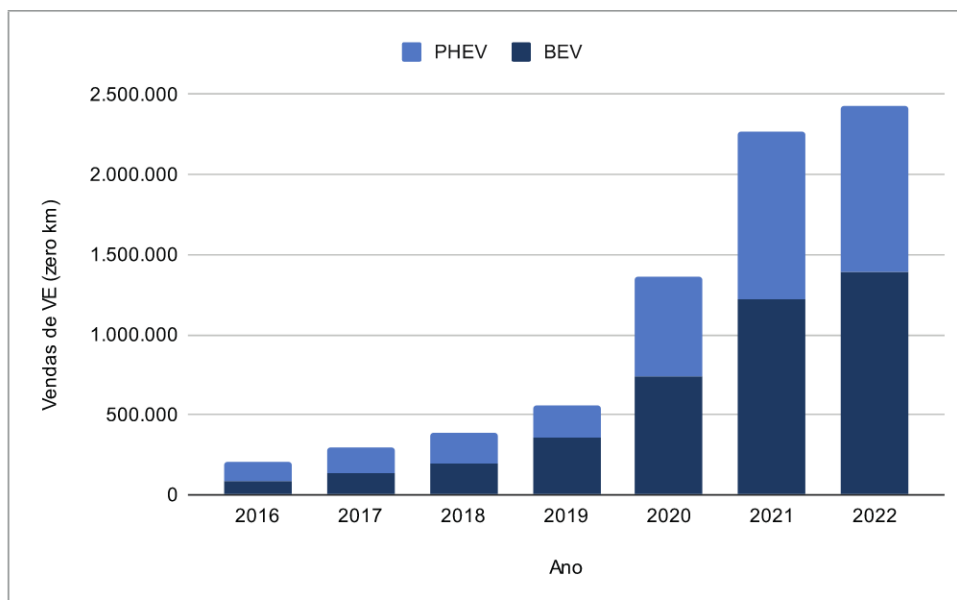
5.3 Na Europa

O veículo elétrico é tendência no mundo todo, na Europa prazos curtos para extinção dos motores a combustão interna de suas frotas. O setor de transportes é um dos grandes emissores de gás de efeito estufa, estima-se 80% dessas emissões vem da queima de combustíveis fósseis. Com a ideia de uma economia verde, os países impulsionaram com força a fabricação dos elétricos.

Reduzir a poluição nos grandes centros é um dos principais objetivos da Europa ao abraçar o carro elétrico como solução para a mobilidade. No entanto, há também uma pauta geopolítica. A eletrificação resolve o problema de dependência que o continente tem em relação ao combustível, cuja matéria-prima, o petróleo, é importada de locais como o Oriente Médio. A dependência é uma das razões para a Europa não investir no biocombustível, pois, no continente, não há áreas para cultivar matérias-primas necessárias para a produção de etanol e biodiesel, por exemplo. Adotar o biocombustível como solução para reduzir a degradação da camada de ozônio seria manter a dependência de matérias-primas importadas (BORGES, 2021).

No geral, a Europa registrou um aumento entre 2020 e 2021, atingindo cerca de 66%, com a participação híbrida *plug-in* de todas as vendas de veículos elétricos sendo a maior do mundo. Impulsionado pela disponibilidade de mais modelos, bem como pela expansão do mercado e incentivos à compra, espera-se que o mercado europeu continue ao longo dessa tendência à medida que os países da UE adotam padrões mais rigorosos de emissão de CO₂ e avançam em direção a mandatos de veículos com emissões zero. Na Figura 27 é possível observar a evolução na venda de VE - considerando apenas os veículos à bateria - novos na Europa desde 2016 ao fim de 2022.

Figura 27 – Evolução das vendas de VE na Europa (2016 - 2022).



Fonte: Adaptado de Statista¹².

Analisando a Figura 27 verifica-se que os VE estão gradualmente ganhando espaço no mercado europeu. No entanto, apesar de um aumento constante no número de novos registros de carros elétricos à bateria anualmente, de 210.000 unidades em 2016 para cerca de 2.400.000 unidades em 2022, eles ainda representam uma participação de mercado de apenas 3,5%. Além

¹²Disponível em: <<https://www.statista.com/outlook/mmo/electric-vehicles/europe>>. Acesso em: 25 de maio de 2023.

disso, Noruega, Alemanha, França, Reino Unido e Holanda são os cinco principais países com um número significativo de BEV registrados na Europa. Ao mesmo tempo, Liechtenstein, Chipre e Letônia têm menos BEV na frota (KOENGGAN et al., 2022; STATISTA, 2023b).

Em 2021, a participação de veículos à bateria nos registros nacionais de carros novos aumentou em todos os países europeus em comparação com 2020. As maiores ações foram encontradas na Noruega (86%), Islândia (64%), Suécia (46%) e Dinamarca (35%). Alemanha, França e Noruega foram responsáveis por cerca de 63% dos registros de BEV em 2021. Na Noruega, o país onde o maior número de VE foi registrado em 2021, os puramente elétricos foram responsáveis por 65% das vendas de carros novos. As vendas percentuais de PHEV foram mais altas na Islândia (36%), Suécia (25%) e Noruega (22%). Os países líderes em mobilidade elétrica ofereceram, ao longo dos anos, incentivos financeiros, como reduções de impostos e isenções para veículos elétricos, projetados para estimular uma maior aceitação desses veículos (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2022).

No continente europeu também foi estabelecido uma regulamentação para o controle de emissões de gases tóxicos dos automóveis, impondo restrições as emissões de veículos. O sistema chamado de “Euro” visava reduzir as taxas de emissão de poluentes e aumentar a eficiência dos motores dos veículos, de início o nível Euro I foi introduzido em 1992, o Euro 2 em 1996, o Euro 3 em 2000, o Euro 4 em 2005, o Euro 5 em 2009 e o Euro 6 em 2014, propondo redução de até 90% os gases tóxicos dos veículos, em relação ao período anterior à regulamentação (BERGEK et al., 2014).

A União Europeia estabeleceu objetivos ambiciosos para alcançar a neutralidade do carbono até 2050. Isto requer obviamente a substituição gradual de veículos motorizados de combustão interna por veículos elétricos. Segundo Borges (2021) na Europa, está prevista para 2035 o fim das vendas de carros a combustão, inclusive híbridos. Porém, alguns países têm seu próprio cronograma. São eles Noruega (2025), Holanda, Suécia, Eslovênia, Irlanda e Israel (2030), e Dinamarca e Reino Unido (2035 - vetarão não apenas as vendas, mas a circulação de carros a combustão).

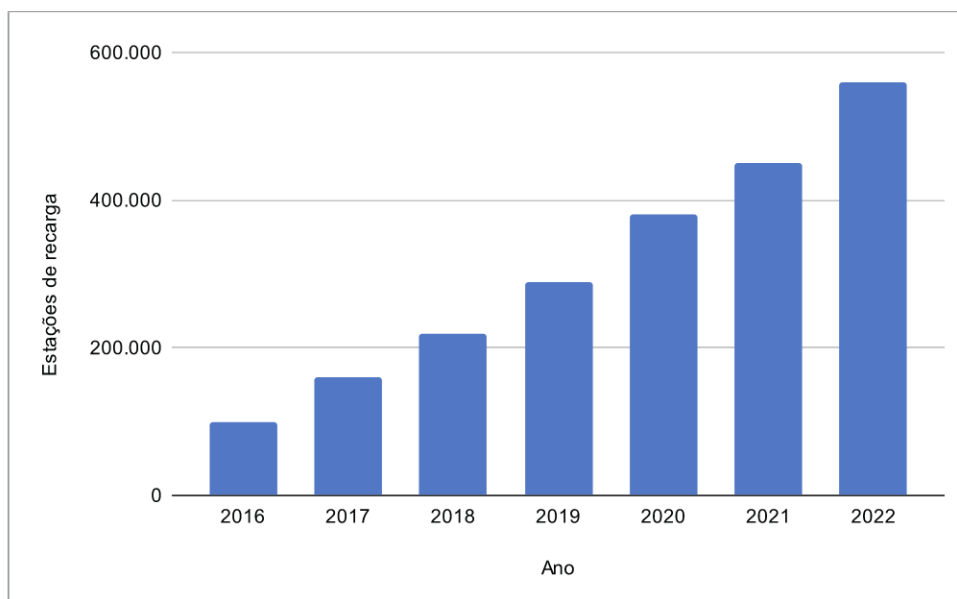
A União Europeia promove a eletrificação dos meios de transporte, bem como toma medidas para estimular o desenvolvimento da infraestrutura de veículos elétricos. Devido ao diferente nível de desenvolvimento do mercado de veículos elétricos nos estados membros, há também uma taxa diferente de disponibilidade de infraestrutura de carregamento. Na Figura 28 é possível observar a evolução da infraestrutura de recarga na Europa desde 2016 ao fim de 2022 (SZUMSKA, 2023).

Para proteger contra a possibilidade de falta de infraestrutura de carregamento disponível, a UE estabeleceu diretrizes e regulamentos sobre o desenvolvimento de infraestrutura de carregamento para veículos elétricos. O desenvolvimento da rede de carregamento na UE é um desafio, dado o ritmo muito mais lento de desenvolvimento da eletromobilidade na Europa Central e Oriental em comparação com a Europa Ocidental. O objetivo da política da UE é oferecer aos usuários de VE a oportunidade de usar VE em todos os países membros, bem como ao viajar pela UE nas principais rodovias. Também é importante que as estações e pontos de carregamento sejam tecnicamente padronizados entre os estados membros (SZUMSKA, 2023).

Conforme mencionado anteriormente, o carregamento de VEs pode ocorrer por meio de carregadores de corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA). A maioria dos carregadores públicos na UE utiliza corrente alternada. Eles representam 90% de todos os pontos de carregamento públicos. Entre os pontos de carregamento com corrente alternada, os mais disponíveis são carregadores com velocidade média de carregamento com corrente trifásica com faixa de potência de 7,4 kW a 22 kW. Enquanto isso, os pontos de carregamento CC, os carregadores rápidos

¹³Disponível em: <<https://www.statista.com/outlook/mmo/electric-vehicles/europe>>. Acesso em: 25 de maio de 2023.

Figura 28 – Evolução das estações de recarga na Europa (2016 - 2022).



Fonte: Adaptado de Statista¹³.

com uma faixa de potência de 50 kW a 150 kW são os mais numerosos, representando metade dos carregadores CC disponíveis publicamente. Os carregadores rápidos em 2021 representaram aproximadamente 11% de todos os carregadores disponíveis ao público na UE. (SZUMSKA, 2023).

As decisões políticas relativas à implantação em grande escala de veículos elétricos para integração com o sistema de energia são atualmente retardadas por questões não respondidas sobre o impacto que tal implantação teria na demanda de eletricidade e o potencial de mecanismos de carregamento inteligentes para mitigá-la. Isso é particularmente relevante para a Europa, cuja diversidade de condições socioeconômicas e climáticas entre os países membros exige respostas específicas de cada país para as questões acima mencionadas, apesar de metas e ambições comuns (MANGIPINTO et al., 2022).

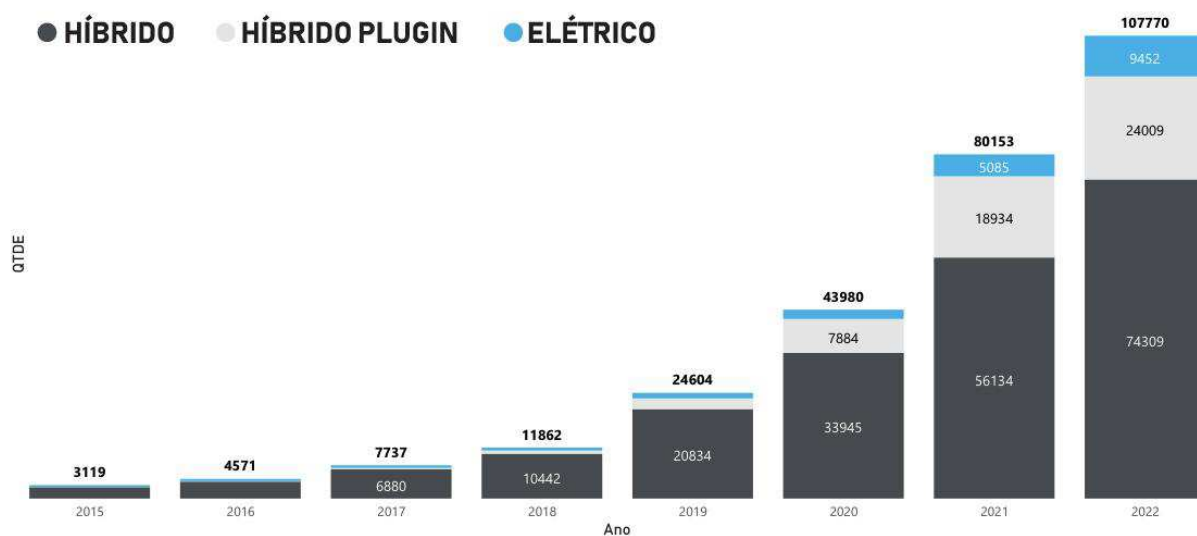
Em relação ao impacto potencial dos VE na rede elétrica, uma das principais preocupações é a maior demanda geral de energia, resultando em instabilidade da rede. Verifica-se que caso ocorra uma possível eletrificação “descontrolada” da frota, o aumento na demanda de pico diária a ser atendida pelos sistemas de energia seria em torno de 36% a 51%, dependendo do país específico. Assim também, como o aumento das perdas no sistema de energia, violação do limite regulatório de tensão, possível sobrecarga de transformadores, rede de distribuição e fios. Por outro lado, utilizando a metodologia do carregamento inteligente pode ser um meio altamente eficaz para suavizar os perfis de demanda de carregamento de grandes frotas de VE podendo limitar o aumento da demanda de pico ao intervalo de 30% a 41% (MANGIPINTO et al., 2022; SZUMSKA, 2023).

5.4 No Brasil

Com uma frota de aproximadamente 55 milhões de veículos, o Brasil atingiu em 2022 a marca dos 100 mil carros elétricos. Dados da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE) indicam que a maioria absoluta de VE no Brasil se refere a veículos híbridos, com aproximadamente 70% dos veículos emplacados.

Ao olhar para a esfera brasileira, verifica-se um desempenho de mercado que demonstra números e volumes tímidos, se comparados a outros mercados automotivos globais. Contudo, deve-se atentar à dinâmica do mercado brasileiro, que vem crescendo de forma exponencial, conforme ilustrado na [Figura 29](#), superando ano após ano as marcas estabelecidas em termos de novas vendas ([SILVA, 2023](#)).

Figura 29 – Evolução anual da frota de veículos elétricos no Brasil (2015-2022).



Fonte: [Neocharge \(2021\)](#).

Analisando as estatísticas do Departamento Nacional de Trânsito do Brasil sobre a evolução da frota nacional de VE apresentadas na [Figura 29](#), pode-se entender o ano de 2019 como um marco para o mercado de BEV por romper as dez mil unidades vendidas no Brasil, nesse mesmo ano, houve também o lançamento do primeiro modelo híbrido *flex* (gasolina/etanol) do país. Em 2020, registrou-se aproximadamente 20 mil novos veículos, mesmo, durante os efeitos da pandemia do COVID no Brasil e no mundo, representando praticamente o dobro de vendas em relação ao ano precedente (2019). Ressalta-se, ainda, que em 2020 os BEV alcançaram a marca de 1% de participação nacional nas novas vendas. E essa mesma dinâmica também se colocou para 2021, que, mesmo com os efeitos prolongados da pandemia, atingiu, aproximadamente, 35 mil veículos emplacados, representando, aproximadamente, 2% do total das novas vendas e crescimento de 77% sobre as 19.745 unidades do ano anterior ([SILVA, 2023](#)).

Ainda, segundo a ABVE 49.245 veículos elétricos foram vendidos no Brasil em 2022, representando um aumento de 41% em relação ao ano anterior (2021). Com esses números, o total da frota eletrificada em circulação no Brasil passa dos 125 mil VE emplacados, incluindo automóveis e comerciais leves híbridos (HEV), híbridos plug-in (PHEV) e totalmente elétricos (BEV). Analisando os dados pode-se destacar o desempenho dos BEV que em 2022 com tiveram 8.460 de emplacamentos, representando 17% do total de eletrificados do ano (49.245). Os elétricos híbridos HEV, puxados pelos veículos *flex*, seguem na liderança do mercado nacional, com 30.439 unidades comercializadas em 2022, ou 62%. Já os elétricos híbridos plug-in (PHEV) fecharam o ano com vendas de 10.348 unidades, ou 21% do total de eletrificados (ABVE, 2023).

Diversos países da Europa lançaram cronogramas para a proibição do carro à combustão e várias montadoras anunciaram a extinção desses modelos em suas linhas a médio prazo. No Brasil, a eletrificação é abraçada por importadoras, principalmente pelas marcas de veículos de luxo, que vendem automóveis de nicho. Já as principais montadoras do País, que vendem modelos

em alto volume, não estão abraçando a ideia do veículo elétrico como carro-chefe. Para elas, o Brasil já tem uma fonte sustentável e com baixo índice de poluição: o etanol (BORGES, 2021).

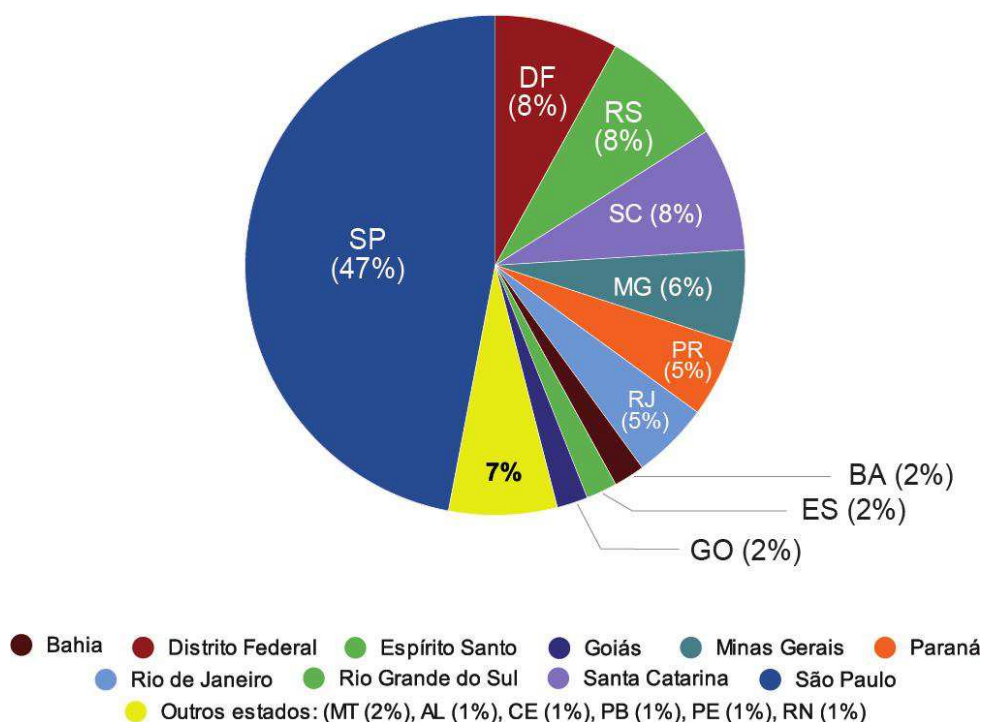
Segundo Gama (2019), mesmo que o movimento pró-elétricos pelo mundo seja cada vez maior, quando se compara um veículo de MCI *flex* utilizando biocombustível no Brasil com um VE rodando na Europa o elétrico é mais poluente. Na avaliação do ciclo de vida um carro elétrico europeu emite em média 92g de CO_2 por km rodado, devido a tecnologia e a matriz energética da Europa. O mesmo veículo no Brasil onde a matriz é mais renovável emite em média 65g de CO_2 por km rodado. O veículo de motor *flex* utilizando etanol como combustível gera em média 46g de CO_2 por km rodado.

Seguindo a tendência global, o parlamento brasileiro no ano de 2017 propôs a PLS 304/2014, com objetivo de alterar o Código de Trânsito Brasileiro de maneira a proibir a oferta, a partir de 2030, e a circulação, a partir de 2040, de automóveis movidos a combustíveis fósseis, os populares gasolina, diesel e Gás Natural (GNV). A justificativa foi pautada nas questões climáticas, trazendo como solução tecnológica, os automóveis movidos a eletricidade, carregados pelas tomadas da rede elétrica. Levando em consideração a matriz energética nacional, que possui uma produção de eletricidade relativamente limpa (SENADO FEDERAL DO BRASIL, 2017).

A princípio a proposta foi bem aceita pelo Senado Federal com votação positiva, no entanto, gerou muitas dúvidas na sociedade e impactou negativamente o setor de petróleo e gás. Obteve parecer favorável em 2020, após o encaminhamento para as comissões auxiliares de avaliação, o projeto foi "esquecido". A pandemia do COVID, associada a crise econômica e política que atingiu o Brasil nos últimos anos culminaram no arquivamento da proposta no final da legislatura de 2022.

Acerca da infraestrutura, visualiza-se também uma expressiva expansão entre os anos de 2019 e 2022, passando dos 226 unidades de recarga instalados no Brasil para 1250 unidades, concentrados principalmente no eixo sul e sudeste do país.

Figura 30 – Distribuição da infraestrutura de recarga no Brasil por estados (2022).



Fonte: Adaptado de (SILVA, 2023).

Analisando o gráfico apresentado na [Figura 30](#), verifica-se que aproximadamente metade das estações de recarga encontram-se no estado de São Paulo. Nesse caso específico, verifica-se que esse estado tem sido o vetor da difusão da mobilidade elétrica no país, a considerar os números da infraestrutura, veículos em circulação e parâmetros do lado da oferta - como investimentos empreendidos e novas empresas estabelecidas. Contudo, outros estados também seguem essa trajetória de crescimento, como Santa Catarina e Rio Grande do Sul, no Centro-Oeste, o Distrito Federal, e no Sudeste, Minas Gerais ([SILVA, 2023](#)).

Com relação as estações de recarga rápida alimentadas por corrente contínua no país, atualmente são encontradas geralmente em espaços públicos como: shoppings, estacionamentos, aeroportos, grandes mercados e lojas de departamento, observou-se um crescimento relevante no número de carregadores rápidos, saltando de números que não somavam uma dezena em 2020 para mais de três dezenas em 2022 ([SILVA, 2023](#)).

Estima-se que em 2035 a frota nacional de veículos elétricos deve alcançar a marca de 3,2 milhões, o que demanda a instalação de aproximadamente 150 mil pontos de recarga. A estimativa para o mercado global é que, em 2035, dos quatro milhões de veículos novos vendidos, 32% sejam eletrificados em algum grau, de híbridos, híbridos *plug-in* ou puramente elétricos. Segundo [Gama \(2019\)](#) uma pesquisa recente da ANFEAVA existem três cenários possíveis para o futuro da mobilidade brasileira:

- Permanecer inerte
- Acompanhar a tendência global
- Apostar nos biocombustíveis

O primeiro cenário indica o que aconteceria caso o Brasil seguisse no ritmo atual, com ausência de metas estabelecidas para o transporte e na geração de energia, e sem uma política de Estado que incentive a eletrificação. A previsão é de que em 2030 os carros eletrificados representem cerca 12% a 22% e atinja 33% em 2035 em 2035, com domínio de 18% de carros híbridos. Seriam 432 mil elétricos leves por ano em 2030, passando para 1,3 milhões por ano em 2035. Os outros 67% seriam à combustão, utilizando álcool ou gasolina. Mesmo no cenário inercial, serão necessários altíssimos investimentos em toda a cadeia de produção da indústria automotiva nacional, para que o Brasil supra a necessidade de seu mercado local e se consolide como um polo exportador dessas tecnologias para os países vizinhos, e até de outros continentes ([TRINDADE, 2021](#); [GAMA, 2019](#); [ANFEAVA, 2022](#)).

Se o Brasil seguir o caminho da “Convergência Global” e avançar para a total eletrificação tendo uma visão mais alinhada às mudanças em curso nos países desenvolvidos, a projeção é de que em 2035 65% dos carros vendidos sejam elétricos, com uma divisão equilibrada entre BEV e híbridos. O estudo comprovou que neste cenário, será necessário a instalação de ao menos 150 mil estações de recarga para atender a demanda, implicando em um investimento da aproximadamente R\$ 14 bilhões em infraestrutura. Além disso, é imprescindível um investimento significativo no sistema elétrico nacional, que criará uma demanda adicional de aproximadamente 7.252 GWh de potência. Daí a importância de uma política de Estado com a participação do poder público ou de parcerias público-privadas, sejam quais forem as rotas tecnológica e energética definidas ([ANFEAVA, 2022](#)).

O terceiro cenário é o investimento no etanol. Nesse caso, a porcentagem de eletrificados ficaria em torno de 33%, como na inércia, mas os carros a combustão teriam preferência por etanol. Atualmente, apenas 37% dos usuários de carro flex utilizam álcool, nesse cenário, o número pularia para 61%. Mas seria necessário uma regulação favorável, para que o etanol pareça mais vantajoso aos olhos dos consumidores ([GAMA, 2019](#); [TRINDADE, 2021](#)).

6 Considerações Finais

Dessa forma, o estudo considera que a implementação dos veículos elétricos como forma principal de mobilidade pode não ser a solução definitiva para o mundo. A tecnologia, depende de diversos fatores para ser amplamente implementada, principalmente a matriz energética do país, em diversos casos não resolve o problema ambiental. O elétrico não polui em sua utilização, porém a energia que o alimenta é obtida em diversos países, a partir de um processo de produção que depende da queima de combustíveis fósseis. A previsão é que o futuro seja elétrico na mobilidade da China, Estados Unidos, Europa e os demais países desenvolvidos mesmo para aqueles que têm sua matriz energética considerada "suja", pois o investimento e desenvolvimento tecnológico no âmbito das energias renováveis ajuda a reduzir pegada de carbono e viabilizar a eletrificação.

No Brasil, onde 85% da matriz energética é renovável, a pegada de carbono do ciclo de um elétrico é bem menor em relação ao elétrico europeu ou americano como analisado. Ainda assim, é superior à do etanol, quando comparado no mesmo período, ou seja, no que se refere a pauta ambiental, o veículo movido a etanol é menos poluente. Desta forma, a total eletrificação parece ter um futuro distante para os brasileiros. O entrave principal é o custo global da substituição dos combustíveis "convencionais" (diesel, etanol, gasolina e GNV) para elétrico. Do ponto de vista econômico, alterar a espinha dorsal da indústria de petróleo e gás, além da geração de eletricidade tem um custo muito alto.

Em relação a infraestrutura, uma numerosa frota de carros elétricos precisará de uma rede de recarga robusta para viabilizar conveniência e confiabilidade aos usuários. Nos países desenvolvidos o planejamento visa intensificar a expansão dos "eletropostos" a partir de incentivos financeiros. No entanto, o sistema elétrico também precisa suportar a adição de novas cargas em simultâneo. A introdução dos veículos deve ser gradativa e se adequar à oferta de energia, evitando possíveis sobrecargas a rede elétrica. Considerando os sistemas de carregamento analisados, não pode-se afirmar superioridade de nenhum dos conectores analisados, pois, sua escolha é determinada, principalmente, seguindo a necessidade dos usuários, pela região em que estão sendo utilizados ou aplicados pelas montadoras e fabricantes.

Diante dos desafios da analisados, pode-se pressupor que os veículos movidos à combustão interna terão amplo espaço no mercado por longos anos, especialmente nos países emergentes. Para ocorrer a eletrificação da mobilidade, são necessários subsídios governamentais. É o que ocorre na China, Estados Unidos e Europa onde a elevada representatividade dos carros elétricos se dá, sobretudo, por um regime de tributação favorável e da boa rede de infraestruturas de carregamento. No Brasil, subsidiar o modelo elétrico não está previsto, assim como, não há incentivos do governo para infraestruturas de recarga. A evolução dos motores à MCI e os híbridos, além da massiva utilização de etanol como combustível se apresenta como uma realidade mais próxima do dia a dia do país.

Contudo, acredita-se que a transição gradual para os elétricos seja um caminho inevitável da evolução humana. Em confronto com o modelo defendido por grande parte das montadoras, o elétrico a bateria deve ser uma tecnologia de transição, e aparentemente não é a solução final, pois não soluciona o problema ambiental. A melhor resposta para o futuro talvez seja o veículo elétrico a célula de combustível.

Referências

- ABO-KHALIL, A. G. et al. Electric vehicle impact on energy industry, policy, technical barriers, and power systems. *International Journal of Thermofluids*, Elsevier, v. 13, p. 100134, 2022. Citado na página 40.
- ANFEAVA. *Estudo ANFEAVA-BCG aponta cenários e desafios do Brasil no caminho da descarbonização do setor automotivo*. Brasil, 2022. Disponível em: <<https://encurtador.com.br/ICOUV>>. Acesso em: 16 de junho de 2023. Citado na página 46.
- ARANHA, W. M. *Caracterização de bateria recarregável de lítio de veículos híbridos visando sua reciclagem*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/18029>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023. Citado na página 28.
- ARCHSMITH, J.; MUEHLEGGGER, E.; RAPSON, D. S. Future paths of electric vehicle adoption in the united states: Predictable determinants, obstacles, and opportunities. *Environmental and Energy Policy and the Economy*, The University of Chicago Press Chicago, IL, v. 3, n. 1, p. 71–110, 2022. Citado na página 39.
- AUTOMOTIVE BUSINESS. *Califórnia vai banir venda de carros a combust~o em 2035. Brasil, 2022. Disponível em: <<https://automotivebusiness.com.br/pt/posts/mobility-now/California-banir-carros-combustao-2035/>>. Acesso em: 27 de abril de 2023. Citado na página 39.*
- AVERY, D. *How Many EV Charging Stations Are There in the US?* Clean Technica, 2023. Disponível em: <<https://www.cnet.com/roadshow/news/how-many-ev-charging-stations-are-there-in-the-us/>>. Acesso em: 21 de maio de 2023. Citado na página 40.
- BARAN, R.; LEGEY, L. F. Electric vehicles: a recurrent story; veículos eletricos: uma historia recorrente. 2010. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.
- 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. Citado na página 27.
- BATES, M. How does a battery work? *Ask an Engineer. MIT School of Engineering*, 2012. Citado na página 26.
- BERGEK, A. et al. The impact of environmental policy instruments on innovation: A review of energy and automotive industry studies. *Ecological Economics*, Elsevier, v. 106, p. 112–123, 2014. Citado na página 42.
- BORGES, R. *Etanol x elétricos*. Uol, 2021. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/carros/reportagens-especiais/etanol-x-eletricos/>>. Acesso em: 2 de fevereiro de 2023. Citado 3 vezes nas páginas 41, 42 e 45.
- CARDOSO, E. *Carregador de baterias off-board para carros elétricos a partir de redes monofásicas*. Caixias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/8884>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 28.

- CARVALHO, A. *Baterias íon-lítio: uma revisão*. Medium, 2018. Disponível em: <<https://bityli.com/2QuH5>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2023. Citado na página 29.
- CHAPMAN, S. J. *Electric machinery fundamentals*. [S.l.]: McGraw-hill, 2004. Citado na página 25.
- DELGADO, F. et al. Carros elétricos. FGV Energia, 2017. Citado na página 15.
- DEPARTMENT OF ENERGY - EUA. *Monthly Plug-in Electric Vehicle Sales in the United States Exceeded 7% of All New Light-Duty Vehicle Sales for the First Time in September 2022*. Estados Unidos, 2023. Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/fotw-1275-january-30-2023-monthly-plug-electric-vehicle-sales-united-states>>. Acesso em: 21 de maio de 2023. Citado na página 38.
- DIAS, C. M. T. Projeto e desenvolvimento de um automóvel híbrido. 2013. Citado na página 24.
- DOW, J. *CA hits EV target ahead of schedule. It's not the first place to do so, and won't be the last*. Electrek, 2023. Disponível em: <<https://electrek.co/2023/04/21/ca-hits-ev-target-ahead-of-schedule-its-not-the-first-place-to-do-so-and-wont-be-the-last/>>. Acesso em: 21 de maio de 2023. Citado na página 39.
- E-AMRIT. *Types of Electric Vehicles*. Índia, 2023. Disponível em: <<https://e-amrit.niti.gov.in/types-of-electric-vehicles>>. Acesso em: 28 de janeiro de 2023. Citado 3 vezes nas páginas 16, 17 e 18.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *New registrations of electric vehicles in Europe*. Dinamarca, 2022. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/ims/new-registrations-of-electric-vehicles>>. Acesso em: 1 de junho de 2023. Citado na página 42.
- EV CHARGING INFRASTRUCTURE USA 2024. *Monthly Plug-in Electric Vehicle Sales in the United States Exceeded 7% of All New Light-Duty Vehicle Sales for the First Time in September 2022*. Estados Unidos, 2023. Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/fotw-1275-january-30-2023-monthly-plug-electric-vehicle-sales-united-states>>. Acesso em: 21 de maio de 2023. Citado na página 39.
- FILHO, J. M. Instalações elétricas industriais, 8ª edição. Editora LTC, Rio, 2013. Citado na página 23.
- FREITAS, J. C. N. d. *Projeto e análise ao funcionamento de carros elétricos*. Tese (Doutorado), 2012. Citado 5 vezes nas páginas 20, 21, 22, 23 e 25.
- FU, C.; WAKABAYASHI, D. *Buy Now and Save! Price War Over Electric Cars Erupts in China*. New York Times, 2023. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2023/04/17/business/china-electric-vehicle-prices.html>>. Acesso em: 25 de maio de 2023. Citado na página 36.
- GAMA, P. *Etanol x elétrico: qual é o melhor caminho para futuro dos carros no Brasil*. Uol, 2019. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/carros/colunas/paula-gama/2022/12/02/etanol-e-atraso-ou-caminho-para-popularizacao-de-carros-sustentaveis-no-br.htm>>. Acesso em: 8 de fevereiro de 2023. Citado na página 46.
- GAUTO, M. *Dossiê carros elétricos: futuro eletrizante no setor de transportes*. EPBR, 2019. Disponível em: <<https://epbr.com.br/dossie-carros-eletricos-futuro-eletrizante-no-setor-de-transportes-por-marcelo-gauto/>>. Acesso em: 2 de fevereiro de 2023. Citado na página 14.

HOYER, K. G. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. *Utilities Policy*, v. 16, n. 2, p. 63–71, 2008. ISSN 0957-1787. Sustainable Energy and Transportation Systems. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957178707000768>>. Citado na página 12.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Global EV Outlook 2021*. Paris, 2021. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>>. Acesso em: 22 de outubro de 2022. Citado na página 27.

KALATEC. *Máquinas Elétricas: Máquinas de Corrente Contínua*. Brasil, 2023. Disponível em: <<https://www.kalatec.com.br/motor-brushless-dc/>>. Acesso em: 28 de janeiro de 2023. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.

KANNO, R. *What are lithium-ion batteries? An expert describes their mechanism and characteristics*. Murata, 2022. Disponível em: <<https://article.murata.com/en-us/article/basic-lithium-ion-battery-1>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2023. Citado na página 29.

KOENGGAN, M. et al. The impact of battery-electric vehicles on energy consumption: A macroeconomic evidence from 29 european countries. *World Electric Vehicle Journal*, MDPI, v. 13, n. 2, p. 36, 2022. Citado na página 42.

LI, Y. et al. Electric vehicle charging in china's power system: Energy, economic and environmental trade-offs and policy implications. *Applied energy*, Elsevier, v. 173, p. 535–554, 2016. Citado na página 38.

MAGALHÃES, B. F. de O. Híbridação de veículo automóvel. 2014. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 24.

MANGIPINTO, A. et al. Impact of mass-scale deployment of electric vehicles and benefits of smart charging across all european countries. *Applied Energy*, Elsevier, v. 312, p. 118676, 2022. Citado na página 43.

MARTINS, J.; BRITO, F. Carros elétricos. *Publindústria*, 2011. Citado na página 13.

MATULKA, R. *The History of the Electric Car*. Department Of Energy - EUA, 2014. Disponível em: <<https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 15.

NEOCHARGE. *Conheça os tipos de carros elétricos*. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tipos-veiculos-eletricos>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2023. Citado 6 vezes nas páginas 15, 16, 17, 18, 19 e 44.

NOCE, T. *Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento*. Belo Horizonte: PUC-MG, 2009. Disponível em: <https://cdn.hackaday.io/files/9272396693248/EngMecanica_NoceT_1.pdf>. Acesso em: 6 de janeiro de 2023. Citado na página 27.

NRMA. *What are the different types of electric vehicles?* Austrália, 2023. Disponível em: <<https://www.mynrma.com.au/cars-and-driving/electric-vehicles/buying/types-of-evs>>. Acesso em: 28 de janeiro de 2023. Citado na página 17.

OLIVEIRA, T. C. d. *Estudo da tecnologia empregada em veículos elétricos com autonomia estendida: comparativo experimental com veículos híbridos*. Brasília: Universidade de Brasília, 2018. Disponível em: <<https://bdm.unb.br/handle/10483/22120>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023. Citado na página 28.

- OU, S. et al. Light-duty plug-in electric vehicles in china: An overview on the market and its comparisons to the united states. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 112, p. 747–761, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 37.
- OU, S. et al. A study of china’s explosive growth in the plug-in electric vehicle market. *Knoxville TN*, 2017. Citado na página 37.
- PONTES, J. *34% Plugin Vehicle Market Share In China*. Clean Technica, 2023. Disponível em: <<https://cleantechnica.com/2023/05/01/34-plugin-vehicle-market-share-in-china-march-2023-sales-report/>>. Acesso em: 25 de maio de 2023. Citado na página 36.
- RIBA, J.-R. et al. Rare-earth-free propulsion motors for electric vehicles: A technology review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 57, p. 367–379, 2016. Citado na página 19.
- RIBEIRO, D. dos S.; PRADO, C. C. Motores de ímãs permanentes. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- SÁNCHEZ, F. Z. Eficiência energética de veículos elétricos híbridos em série. *Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-RIO*, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 25.
- SANGUESA, J. A. et al. *A review on electric vehicles: Technologies and challenges*. Smart Cities, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2624-6511/4/1/22>>. Acesso em: 18 de outubro de 2022. Citado 4 vezes nas páginas 29, 31, 32 e 34.
- SEIXAS, F.; FERNANDES, R. C. Máquinas elétricas ii. *Ilha Solteira: Atlas*, 2012. Citado na página 24.
- SENADO FEDERAL DO BRASIL. *Projeto de Lei do Senado n° 304, de 2017*. Brasil, 2017. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/130612>>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2023. Citado na página 45.
- SILVA, J. E. d. *Estudo da tecnologia empregada em veículos elétricos com autonomia estendida: comparativo experimental com veículos híbridos*. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4190>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023. Citado na página 28.
- SILVA, J. E. d. *O que há de novo no Brasil em se tratando de mobilidade elétrica? Insights do mercado, tecnologias e políticas públicas*. 2º Anuário brasileiro da mobilidade elétrica, Plataforma Brasileira de Mobilidade Elétrica (PNME), 2023. Disponível em: <<https://www.pnme.org.br/biblioteca/2o-anuario-brasileiro-da-mobilidade-eletrica-pnme/>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2023. Citado 3 vezes nas páginas 44, 45 e 46.
- SLOWIK, P.; LUTSEY, N. The continued transition to electric vehicles in us cities. *White paper. The International Council of Clean Transportation (ICCT)*, 2018. Citado na página 39.
- STATISTA. *Electric Vehicles - China*. Alemanha, 2023. Disponível em: <<https://www.statista.com/outlook/mmo/electric-vehicles/china>>. Acesso em: 25 de maio de 2023. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 37.
- STATISTA. *Electric Vehicles - Europe*. Alemanha, 2023. Disponível em: <<https://www.statista.com/outlook/mmo/electric-vehicles/europe>>. Acesso em: 1 de junho de 2023. Citado na página 42.
- SZUMSKA, E. M. Electric vehicle charging infrastructure along highways in the eu. *Energies*, MDPI, v. 16, n. 2, p. 895, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 43.

TAVARES, N. *Conectores de recarga: quais são os tipos que existem*. InsideEVs, 2019. Disponível em: <<https://insideevs.uol.com.br/features/379522/conector-tomada-recarga-tipos/>>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2023. Citado 6 vezes nas páginas 30, 32, 33, 34, 35 e 36.

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES. *Lithium-ion Batteries*. Suécia, 2019. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/advanced-chemistryprize2019.pdf>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023. Citado na página 28.

TRINDADE, F. *Anfavea: estudo aponta caminho para 65% de eletrificados até 2035*. Motor 1, 2021. Disponível em: <<https://motor1.uol.com.br/news/526037/anfavea-caminho-eletrificados-brasil>>. Acesso em: 19 de junho de 2023. Citado na página 46.

TWIGG, M. V. Progress and future challenges in controlling automotive exhaust gas emissions. *Applied Catalysis B: Environmental*, v. 70, n. 1, p. 2–15, 2007. ISSN 0926-3373. Papers presented at the 4th International Conference on Environmental Catalysis (4th ICEC) Heidelberg, Germany, June 05 – 08, 2005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337306002013>>. Citado na página 13.

VASCO, M. N. Breve abordagem da viabilidade econômica dos carros 100% elétricos. Universidade Federal do Tocantins, 2020. Citado 4 vezes nas páginas 22, 24, 25 e 26.