

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
MÁRCIO ANTÔNIO SALLUM AL'OSTA FILHO
PEDRO HENRIQUE FILIPPINI MARTINS DE ARAUJO

**NO CAMINHO DA SUSTENTABILIDADE, A
BUSCA NA EXCELÊNCIA EM DESENVOLVIMENTO
DE CARROS ELÉTRICOS: SEU FUNCIONAMENTO E
SEUS BENEFÍCIOS.**

Taubaté - SP

2023

**MÁRCIO ANTÔNIO SALLUM AL'OSTA FILHO
PEDRO HENRIQUE FILIPPINI MARTINS DE ARAUJO**

**NO CAMINHO DA SUSTENTABILIDADE, A
BUSCA NA EXCELÊNCIA EM DESENVOLVIMENTO
DE CARROS ELÉTRICOS: SEU FUNCIONAMENTO E
SEUS BENEFÍCIOS.**

Trabalho de Graduação
apresentado para obtenção do Certificado
de Graduação do curso de Engenharia
Mecânica do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientadora: Prof^ª. Msc. Maria Regina
Hidalgo de Oliveira Lindgren

Coorientador: Prof. Msc. Paulo Cesar
Corrêa Lindgren

Taubaté – SP

2023

Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBi
Universidade de Taubaté - Unitau

A316n Al’osta Filho, Márcio Antônio Sallum
No caminho da sustentabilidade, a busca na excelência em desenvolvimento de carros elétricos: seu funcionamento e seus benefícios / Márcio Antônio Sallum Al’osta Filho, Pedro Henrique Filippini Martins de Araujo -- 2023.
78 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2023.

Orientação: Prof. Me. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren, Departamento de Engenharia Mecânica.

Coorientação: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Carros elétricos. 2. Sustentabilidade. 3. Motor elétrico. 4. Meio ambiente. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. Graduação em Engenharia de Mecânica. II. Araujo, Pedro Henrique Filippini Martins de.

CDD – 658.5

**MÁRCIO ANTÔNIO SALLUM AL'OSTA FILHO
PEDRO HENRIQUE FILIPPINI MARTINS DE ARAUJO**

**NO CAMINHO DA SUSTENTABILIDADE, A BUSCA NA EXCELÊNCIA EM
DESENVOLVIMENTO DE CARROS ELÉTRICOS: SEU FUNCIONAMENTO E
SEUS BENEFÍCIOS**

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

DATA: 30/11/2023

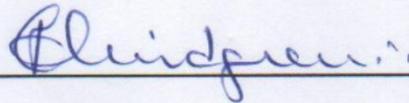
RESULTADO: APROVADO

BANCA EXAMINADORA:

Prof^o Me. Maria Regina Hidalgo O.Lindgren

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura:



Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

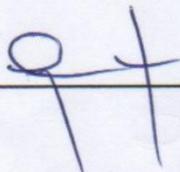
Assinatura:



Prof. Me. José Carlos Sávio de Souza

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura:



AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecemos aos nossos familiares, principalmente nossos pais e irmãs, que sempre estiveram presentes e incentivaram nossos estudos e acreditaram no potencial de cada um.

À Universidade de Taubaté – UNITAU, que ofereceu seu ambiente, seus recursos e profissionais capacitados que contribuíram para nossa formação acadêmica.

À nossa orientadora, Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren e nosso coorientador Paulo Cesar Corrêa Lindgren por toda a motivação, incentivo, atenção, paciência e troca de conhecimentos que foram essenciais na orientação deste trabalho.

RESUMO

Esse trabalho de conclusão de curso, tem como objetivo apresentar um estudo bibliográfico a fim de demonstrar o uso do carro elétrico, visando a sustentabilidade e identificando as possíveis causas e dificuldades de inserção competitiva do carro elétrico no mercado brasileiro. No decurso do trabalho serão abordados conceitos de contextualização, para que o conhecimento do carro elétrico, demonstrando seu funcionamento bem como os componentes a ele envolvidos. Além de demonstrarmos os benefícios voltados às questões energéticas, ambientais e econômicas, bem como o progresso sustentável e suas perspectivas.

Palavras-chave: carros elétricos, sustentabilidade, motor elétrico, meio ambiente.

ABSTRACT

This course completion work aims to present a bibliographic study in order to demonstrate the use of electric cars, aiming at sustainability and identifying the possible causes and difficulties in the competitive insertion of electric cars in the Brazilian market. In the course of the work, contextualization concepts will be addressed, so that knowledge of the electric car is gained, demonstrating its operation as well as the components involved. In addition to demonstrating the benefits aimed at energy, environmental and economic issues, as well as sustainable progress and its prospects.

Keywords: electric cars, sustainability, electric motor, environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Primeiro carro elétrico com bateria chumbo-ácido.....	5
Figura 2 – Triciclo elétrico de Ayrton e Perry.....	6
Figura 3 – Carro elétrico <i>Flocken Elektrowagen</i>	7
Figura 4 – Carro elétrico de William Morrison.....	7
Figura 5 – Veículo elétrico Walter Bersey.....	8
Figura 6 – <i>La Jamais Contente</i> de Camille Jenatzy.....	8
Figura 7 – Modelo T Ford.....	9
Figura 8 – Primeiro carro elétrico da América Latina.....	10
Figura 9 – Partes do motor elétrico.....	11
Figura 10 – Motor elétrico de corrente contínua.....	16
Figura 11 – Motor de relutância.....	17
Figura 12 – Motor síncrono de ímã permanente.....	19
Figura 13 – Motor de relutância comutada.....	21
Figura 14 – Bateria Níquel-Hidreto Metálico.....	24
Figura 15 – Bateria Chumbo-Ácido.....	25
Figura 16 – Bateria de sal fundido do tipo zebra.....	26
Figura 17 – Bateria íon-lítio.....	28
Figura 18 – Energia eólica propulsão veículos elétricos.....	37
Figura 19 – Energia solar e carros elétricos.....	38
Figura 20 – Emissão de gás CO ₂	51
Figura 21 – Venda de veículos na Europa.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis de energia para carregadores de veículos elétricos.....	22
Tabela 2 – Comparação entre as baterias.....	32
Tabela 3 – Pontos fortes e oportunidades dos VE's.....	33
Tabela 4 – Pontos fracos e ameaças dos VE's.....	34
Tabela 5 – Gases e suas consequências.....	41
Tabela 6 – Emissão de CO ₂ por tipo de combustível.....	42
Tabela 7 – Países e seus avanços com os VEs.....	50

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 – Diagrama das famílias de motores elétricos, divididos por tecnologia.....	30
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGM *Absorbent Glass Mat*

BEV Veículos Elétricos à Bateria

BLAC *Brushless Alternating Current*

BLDC *Brushless Direct Current*

BNDES Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CAE Comissão de Assuntos Econômicos

CARB *California Air Resources Board*

°C Celsius

CC Corrente Contínua

CC-CC Conversor

CO₂ Dióxido de Carbono

g Grama

GEE Gases do efeito estufa

H₂O Água ou Água Destilada

H₂SO₄ Ácido Sulfúrico

HC Hidrocarbonetos

HEV Veículos Híbridos Convencionais

IEC *International Electrotechnical Commission*

IVA Imposto sobre valor agregado

Kg Quilograma

Km Kilometer ou Quilometro

kW Kilowatt ou Quilowatt

kWh kilowatt-hour ou Quilowatt-hora

Li Lítio

MP Materiais Particulados

MRC Motor de Relutância Comutada

Mt Megatonelada

Nox Óxido de Nitrogênio

OMS Organização Mundial da Saúde

Pb Chumbo

PbO₂ Óxido de Chumbo

PHEVs *Plug-In Hybrid Electric Vehicle*

PMSMs Motores Síncronos de Ímã Permanente

PV Painel Fotovoltaico

RCHO Aldeídos

SBCS Simpósio Brasileiro De Construção Sustentável

SO₂ Dióxido de Enxofre

SO_x Óxidos de Enxofre

V Volts

VAC Valve Anti-Cheat

VEs Veículos Elétricos

VRLA *Valve-Regulated Lead Acid*

W Watt

Wh Watt-hora

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo Principal	2
1.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Delimitação do estudo	2
1.4 Relevância do estudo	2
1.5 Organização do trabalho	3
2. METODOLOGIA	4
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1 História do Carro Elétrico	5
3.2 O Funcionamento do Motor Elétrico	11
3.2.1 Estator	12
3.2.2 Rotor.....	12
3.2.3 Carcaça	13
3.2.4 Ventilador	13
3.2.5 Eixo	13
3.2.6 Rolamentos	14
3.2.7 Enrolamentos	14
3.2.8 Funcionamento	14
3.3 Motor de corrente contínua	15
3.3.1 Motor de indução	16
3.3.2 Motor síncrono de ímã permanente	18
3.3.3 Motores síncronos de ímãs internos	19
3.3.4 Motor de relutância comutada.....	20
3.4 Fontes de Energia e Armazenamento	21
3.4.1 Carregadores.....	21
3.4.2 Frenagem Regenerativa	23

3.5 Bateria de hidreto metálico de níquel	23
3.5.2 Bateria de chumbo-ácido	24
3.5.3 Bateria de sal fundido do tipo Zebra	25
3.5.4 Bateria de íon-lítio.....	27
3.6 Eficiência Energética	28
3.7 Comparação de motores	29
3.8 Baterias e suas especificações	31
4. ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE.....	33
4.1 Uma Comparação entre o Carro Elétrico E o Carro A Combustão em termos de Eficiência	33
4.2 A Eletricidade Como Alternativa Limpa, Econômica e Sustentável	35
4.2.1 Energia eólica	35
4.2.2 Energia solar	37
4.2.3. Sistema fotovoltaico.....	39
4.3 O Impacto Ambiental do Motor a combustão Interna <i>versus</i> Motor Elétrico	40
4.3.1 Motor a combustão interna	40
4.3.2 Motor elétrico	42
4.4 Políticas e Mercados	43
4.4.1 Políticas de incentivos à oferta	43
4.4.2 Padronização.....	44
4.4.3 Incentivos diretos.....	44
4.4.4 Incentivos fiscais.....	45
4.4.5 Imposto anual de circulação	46
4.4.6 Incentivos no Brasil.....	47
4.5 Fabricação	48
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1 Veículos elétricos no Brasil	53

6. CONCLUSÃO.....	55
7. REFERÊNCIAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

A transformação na indústria automotiva ganhou considerável impulso com a introdução dos carros elétricos, marcando uma mudança fundamental em direção a uma mobilidade mais sustentável e eficiente. Juntamente com essa inovação, coexistem outras tecnologias que moldam o cenário automotivo atual, como os carros híbridos, que combinam elementos de propulsão elétrica e motores a combustão interna, e os convencionais carros movidos exclusivamente por motores a combustão. Nesse ambiente dinâmico, a busca por alternativas ecologicamente conscientes, sem comprometer a praticidade e a autonomia, tornou-se uma prioridade destacada. Este trabalho explora a ascensão dos carros elétricos, a versatilidade dos híbridos e a durabilidade dos veículos a combustão, revelando um panorama variado de opções de mobilidade.

Os veículos elétricos, impulsionados por baterias de alta capacidade, têm ganhado cada vez mais aceitação, representando uma mudança notável em direção a uma matriz energética mais limpa. Com emissões zero durante a operação, esses veículos respondem diretamente às preocupações ambientais, promovendo uma mobilidade sustentável. Contudo, à medida que a infraestrutura de carregamento elétrico se expande, os carros híbridos emergem como uma solução híbrida inteligente. Ao integrar motores elétricos e a combustão interna, os híbridos combinam eficiência energética com autonomia estendida, adequando-se tanto a ambientes urbanos quanto a longas viagens.

1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo geral deste trabalho será apresentar um estudo bibliográfico realizado a partir de artigos científicos e livros, a fim de demonstrar o funcionamento de um carro elétrico e suas características

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo específico é apresentar as vantagens e desvantagens de um carro elétrico quando comparado aos carros híbridos e a combustão. Além de demonstrar os incentivos públicos para o desenvolvimento e consumo de carros elétricos.

1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho será delimitado apenas a carros e sua composição, dando maior ênfase aos carros elétricos e seus componentes.

1.4 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

O estudo de carros elétricos é crucial para entender e promover a transição para formas mais sustentáveis e eficientes de transporte, com impactos positivos no meio ambiente, economia e saúde pública.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esse trabalho está estruturado em sete capítulos:

No primeiro capítulo apresenta-se a Introdução, contendo o objetivo geral, objetivo específico, delimitação do tema, relevância do estudo e organização do trabalho.

No segundo capítulo, tem-se a Metodologia aplicada para que este trabalho pudesse ser desenvolvido.

No terceiro capítulo, denominado de revisão bibliográfica, são contextualizados a história dos carros elétricos e seus componentes.

No quarto capítulo, apresenta-se a análise da sustentabilidade, contendo uma comparação entre carros elétricos, híbridos e a combustão, além de apresentar as fontes de energia e incentivos de um carro elétrico.

No quinto, sexto e sétimo capítulos, são abordados os resultados e discussão e as conclusões, respectivamente, e por fim, as referências bibliográficas.

2. METODOLOGIA

A pesquisa é uma abordagem empregada quando não há respostas claras para uma determinada pergunta. Utilizando conhecimentos, técnicas e métodos disponíveis, desenvolve-se um processo que começa com a identificação do problema e avança até a coleta e análise dos resultados (Gil, 2002).

Pesquisa bibliográfica: utiliza fontes já existentes, como artigos e livros, proporcionando ao pesquisador uma ampla variedade de informações, o que constitui uma vantagem. No entanto, é essencial verificar a precisão das informações nas fontes utilizadas, evitando assim a reprodução de conteúdo incorreto.

Pesquisa descritiva: é um tipo de pesquisa que tem como objetivo principal descrever as características de determinado fenômeno, situação ou relação, sem manipulação de variáveis.

Pesquisa explicativa: busca ir além da simples descrição, procurando entender as razões subjacentes aos fenômenos observados, destacando-se pela investigação das relações causais entre variáveis.

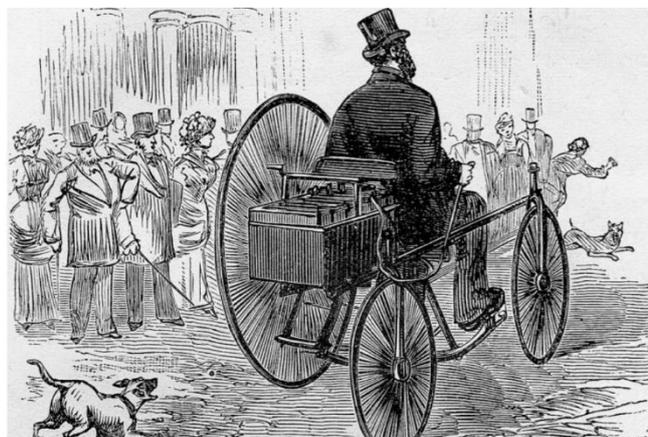
3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 HISTÓRIA DO CARRO ELÉTRICO

O desenvolvimento de carros elétricos é mais antigo do que se imagina. Ele começou mais ou menos no mesmo período dos carros tradicionais, sendo que o título de "primeiro carro elétrico" é bastante disputado entre vários concorrentes que apresentaram experimentos parecidos em países diferentes. Os primeiros registros vieram da Hungria em 1828, quando Ányos Jedlik criou um motor elétrico e, para testá-lo, acoplou-o em uma miniatura de carro. Em 1835, houve mais dois registros: o professor holandês Sibrandus Stratingh usou os princípios do eletromagnetismo e dos eletroímãs de Michael Faraday para fazer outro pequeno modelo; já o norte-americano Thomas Davenport, que também fez o primeiro motor elétrico de corrente direta, usou trilhos para carregar um veículo, segundo Silva et al - 2021 (MCFADDEN, 2020, p.63).

Gaston Planté em 1859, fez a primeira demonstração de uma bateria chumbo-ácido. Essa criação foi um grande avanço para a mobilidade elétrica. Em 1881, o francês Gustave Trouvé, apresentou o primeiro veículo elétrico utilizando a bateria chumbo-ácido de Gaston Planté, apresentada na figura 1 (Baran, 2011).

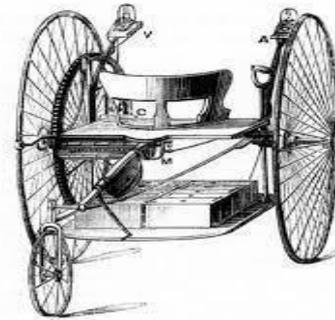
Figura 1 – Primeiro carro elétrico com bateria chumbo-ácido



Fonte: Sekurit-Partner, 2021.

Ainda em 1881, os ingleses William Ayrton e John Perry produziram um triciclo elétrico com duas grandes rodas traseiras, com a direita acionada, e uma roda pequena na dianteira. Este triciclo elétrico utilizava dez baterias de chumbo-ácido de Planté em série, isso fornecia $\frac{1}{2}$ cavalo-vapor. O controle da velocidade era feito ao ligar ou desligar as baterias. O triciclo era capaz de atingir uma distância de no máximo 15 km/h. o veículo de Ayrton e Perry foi o primeiro veículo a ter iluminação elétrica, demonstrado na figura 2. (Matulka, 2014).

Figura 2 – Triciclo elétrico de Ayrton e Perry



Fonte: Maxicar, 2021.

No ano de 1888 em Coburgo, Alemanha. Andreas Flocken criou o primeiro carro elétrico, que se chamava Flocken Elektrovagen (figura 3). Este veículo era capaz de atingir velocidades de 15 km/h e possuía faróis elétricos esportivos. (H. Cutclie, 2001).

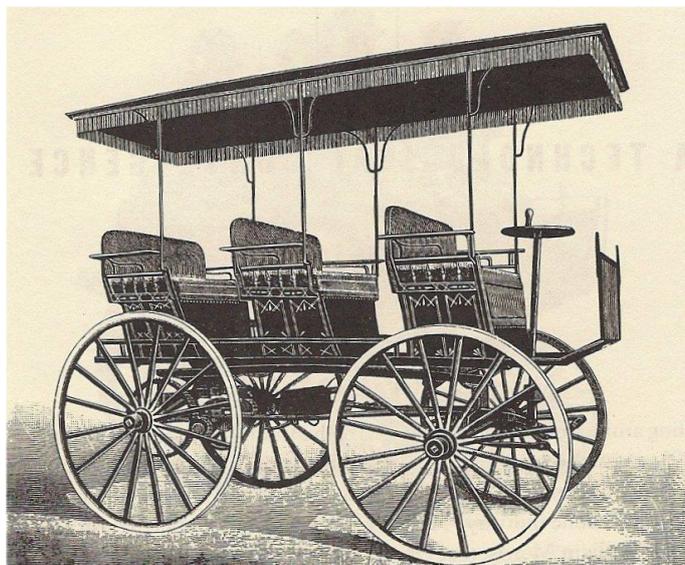
Figura 3 – Carro elétrico Flocken Elektrowagen



Fonte: Iberdrola, 2023.

Um químico de Iowa chamado William Morrison, em 1890, foi o primeiro a produzir um carro elétrico mostrado na figura 4, nos Estados Unidos. O carro alcançava velocidade até 22 km/h. Sua invenção despertou o interesse por essa tecnologia nos Estados Unidos, e muitos construtores começaram a produzir versões de carros elétricos no final do século XIX (H. Cutclie, 2001).

Figura 4 – Carro elétrico de William Morrison



Fonte: Sekurit-Partner, 2021.

No final do século XIX, os táxis elétricos tornaram-se disponíveis. Em Londres, Walter Bersey projetou uma frota de táxis elétricos apresentada na figura 5, e foram às ruas de Londres em 1897. Em Nova Iorque no mesmo ano, Samuel 's Electric Carriage and Wagon Company começou a disponibilizar táxis elétricos. (Hurley, 2012).

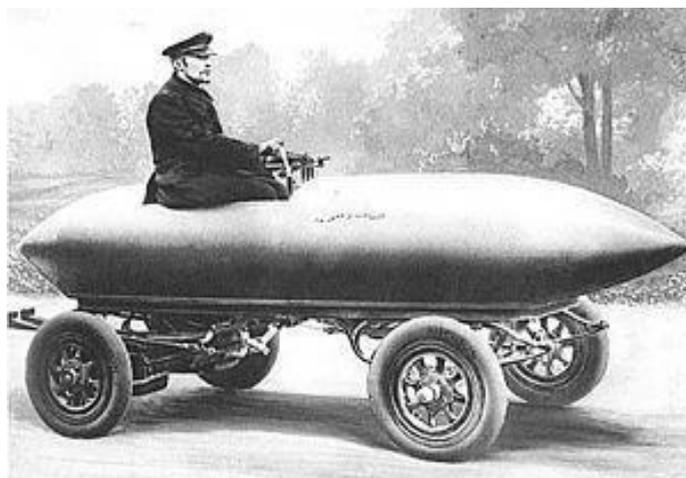
Figura 5 – Veículo elétrico Walter Bersey



Fonte: Blog'eleuza, 2012.

Em 1899, foi quebrado o recorde de velocidade pelo belga Jenatzy, a bordo de um veículo elétrico, o "*La Jamais Contente*" conforme figura 6 a seguir, que atingiu 106 km/h. (LARMINIE; LOWRY, 2003).

Figura 6 – *La Jamais Contente* de Camille Jenatzy



Fonte: MotorTrend, 2011.

Na virada do ano 1900, os automóveis elétricos eram mais comuns do que os automóveis a gasolina e ninguém acreditaria que ocorreriam mudanças significativas. A própria revista *Scientific American* de 1899 dizia que: “a eletricidade é ideal para veículos pois ela elimina os dispositivos complicados associados aos motores movidos a gasolina, vapor e ar comprimido, evitando o ruído, vibração e calor associados (Goldember, 2018).

A aceitação de carros elétricos no começo foi um pouco difícil pela falta de infraestrutura de energia, porém em 1912, muitas residências foram conectadas para a eletricidade, isso permitiu que os carros elétricos ficassem populares. Na virada do século XIX para o XX, 40% dos automóveis eram movidos a vapor, 38% a eletricidade e 22% a gasolina nos Estados Unidos. Havia um total de 33.842 carros elétricos nos Estados Unidos, tornando-se o país com maior aceitação de carros elétricos. (Purdy et al, 2007).

A maioria dos carros elétricos feitos nessa época eram carruagens enormes e ornamentadas, projetadas para a classe alta conforme a figura 7. O ápice das vendas de carros elétricos foi no início dos anos 1910. De acordo com o livro *Standard Catalog of American Cars 1805-1942*, havia mais de 300 fabricantes listados que produziram veículos nos Estados Unidos (Purdy et al, 2007).

Figura 7 – Modelo T Ford



Fonte: Ford Media, 2018.

Em 1912, foi desenvolvido o motor de arranque, ele eliminou a necessidade de uma manivela para o arranque dos motores a combustão (Stephen H, 2001).

Em 1920, vários fatores ajudaram no declínio da comercialização dos veículos elétricos. O primeiro fator foi o grande desenvolvimento da rede rodoviária entre cidades geograficamente distantes, isso trouxe à necessidade de produzir veículos mais rápidos e com alta autonomia, o que os veículos elétricos não proporcionavam. Outro fator importante foi a descoberta de grandes reservas petrolíferas, o que levou a uma significativa queda nos preços dos combustíveis, tornando a mobilidade em veículos de combustão interna mais barata, rápida e com maior autonomia comparada aos veículos elétricos (Stephen H, 2001).

Em 1962 no Brasil, o elétrico Gurgel Itaipú, desafiava a gasolina. Com apenas cinco anos de mercado, a Gurgel lançou o primeiro carro elétrico da América Latina (figura 8). Enquanto nos países mais desenvolvidos a opção de carros elétricos só era empregada em estudos futuristas, em 1974 João Conrado do Amaral Gurgel, que era um engenheiro paulista, terminou seu projeto de carro elétrico. Com isso, ele mostrou que esse mercado tinha espaço para crescer, sendo assim uma alternativa viável desde o começo, principalmente em pequenas distâncias e dentro dos limites da cidade. (Pereira, 2021, p. 12).

Figura 8 – Primeiro carro elétrico da América Latina



Fonte: Quatro Rodas, 2021.

Nas décadas de 1970 e 1980 do século XX, ocorreu uma forte crise na área petrolífera, isso contribuiu para reativar o interesse nos carros elétricos. No início da década de 1990 o California Air Resources Board (CARB) iniciou uma campanha por

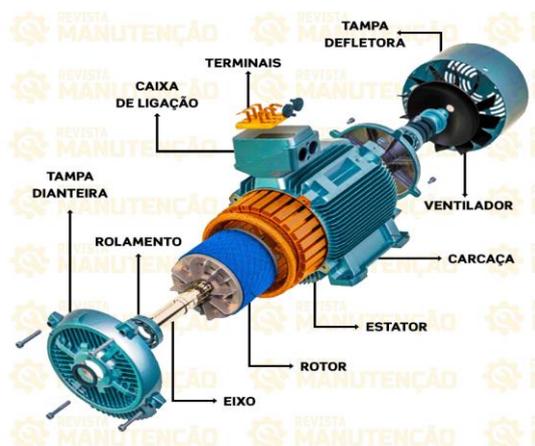
veículos mais eficientes em termos de combustível e emissões mais baixas, com o objetivo de alcançar no futuro, emissões de gases poluentes zero, com isso, as montadoras passaram a desenvolver novamente carros elétricos (Stephen H., 2001).

A General Motors, Chrysler e a Honda reiniciaram a produção de alguns carros elétricos. Porém, havia uma grande semelhança dos veículos mais antigos, esses carros eram pouco competitivos, pelo fato de terem um custo elevado, baixas velocidades e autonomia. Só a partir de 2004, com o desenvolvimento das bateria íon-lítio, e a entrada da Tesla Motors no mercado da mobilidade elétrica, é que surgiram os primeiros veículos com autonomia acima de 300 km por carga. Todas as montadoras devido às crescentes preocupações ambientais relacionadas com a queima de combustíveis fósseis, passaram a desenvolver carros elétricos. (Stephen H., 2001).

3.2 O FUNCIONAMENTO DO MOTOR ELÉTRICO

Para se entender o funcionamento dos motores elétricos é importante saber suas principais partes e as funções de cada uma delas.

Figura 9 – Partes do motor elétrico



Fonte: Revista Manutenção, 2022.

3.2.1 Estator

Nos motores elétricos, o estator desempenha um papel crucial no circuito magnético, trabalhando em conjunto com o rotor. No caso de motores elétricos, o estator age como um ímã quando uma corrente elétrica flui através das bobinas, gerando um campo magnético que interage com o rotor, resultando em movimento. Em motores elétricos modernos, as bobinas de campo costumam ser colocadas no estator, além disso ele serve como um suporte estrutural para a máquina, proporcionando estabilidade (Planas, 2017).

Portanto, o estator é uma parte fundamental de máquinas elétricas e de ação fluida. Ele oferece suporte estrutural e desempenha um papel essencial na criação de campos magnéticos ou na geração de energia, dependendo do tipo de máquina e da aplicação específica (Planas, 2017).

3.2.2 Rotor

Os rotores são partes que podem se mover dentro de sistemas eletromagnéticos. Esses rotores giram devido à interação entre os enrolamentos (bobinas de fio) e os campos magnéticos presentes no sistema, o que cria um torque que faz o rotor girar em torno de seu eixo. Em um motor elétrico, o rotor é a parte que se move e trabalha em conjunto com o estator, que é a parte fixa, para transferir a energia e acionar o equipamento. Em resumo, os rotores são componentes móveis essenciais que respondem às forças magnéticas e desempenham um papel crucial na operação de motores elétricos e sistemas similares (Cyrino, 2020).

3.2.3 Carcaça

É a parte do motor que possui uma função estrutural importante, pois abriga, sustenta e protege as partes magnéticas essenciais do motor. Geralmente, é fabricado em uma liga especial de alumínio injetado sob pressão ou em ferro fundido cinzento, o que garante que o motor seja rígido e apresente níveis baixos de vibração. Isso contribui para a estabilidade e eficiência do motor (Almeida, 2017).

3.2.4 Ventilador

Essa parte do motor foi especificamente desenhada para incorporar um sistema de ventilação forçada, visando proporcionar o máximo de resfriamento ao motor, ao mesmo tempo em que minimiza a geração de ruído. Essa ventilação pode ser construída utilizando materiais como polipropileno ou alumínio não condutor de eletricidade, para garantir a segurança e evitar faíscas (Almeida, 2017).

3.2.5 Eixo

Sua função primordial é transferir a energia mecânica gerada pelo motor. Para garantir seu desempenho adequado, passa por tratamentos térmicos a fim de evitar problemas como deformações e falhas devido à fadiga. Além disso, os eixos são projetados para suportar tanto cargas radiais quanto axiais (Almeida, 2017).

3.2.6 Rolamentos

Os rolamentos projetados para motores elétricos desempenham um papel fundamental em diversas indústrias, distribuindo eficazmente a força motriz. Eles são amplamente empregados nesse contexto e têm a capacidade de possibilitar um funcionamento suave e silencioso do motor. Além disso, sua função primordial é a de suportar as cargas no interior do motor, contribuindo para uma operação eficiente e confiável. Em última análise, os rolamentos específicos para motores elétricos têm o benefício adicional de prolongar a vida útil operacional desses equipamentos (RTE rolamentos, 2018).

3.2.7 Enrolamentos

Os enrolamentos elétricos são compostos por condutores, como fios de cobre esmaltados, que são enrolados em torno de um núcleo ou bobina. Essa estrutura possibilita que a eletricidade flua através dos condutores, o que por sua vez cria um campo eletromagnético (Mattede, 2020).

3.2.8 Funcionamento

O funcionamento básico de um motor elétrico se baseia nos princípios do eletromagnetismo. Quando condutores, por exemplo, fios de cobre, são colocados em um campo magnético e uma corrente elétrica passa por eles, ocorre uma interação entre esses elementos que resulta em uma força mecânica. Essa força pode ser uma atração ou repulsão entre os condutores e materiais magnéticos próximos (Almeida, 2017).

Para iniciar o movimento do rotor do motor elétrico, é necessário aplicar um torque, um momento que produz rotação. Normalmente, esse torque é gerado devido

às forças magnéticas que atuam entre os pólos magnéticos do rotor e os do estator, parte fixa do motor. (Almeida, 2017).

Essas forças magnéticas podem puxar ou empurrar os pólos móveis do rotor, induzindo assim o início de seu movimento rotativo. Conforme o rotor gira mais rápido, as forças magnéticas continuam a agir sobre ele até que eventualmente os atritos ou as cargas conectadas ao eixo do rotor reduzam o torque resultante a zero (Almeida, 2017).

Nesse ponto, o rotor passa a girar com uma velocidade angular constante, mantendo-se em movimento enquanto a corrente elétrica continua a fluir através dos condutores. Esse é o princípio fundamental por trás do funcionamento dos motores elétricos (Almeida, 2017).

3.3 MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA

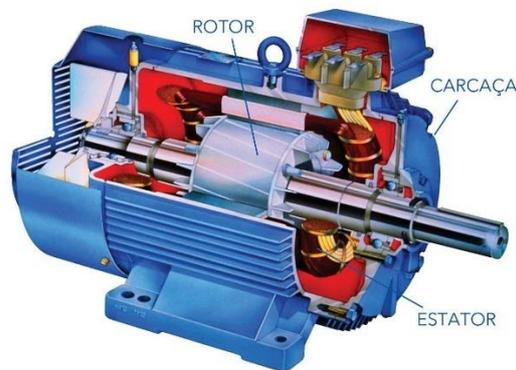
Os motores de corrente contínua são feitos de estruturas magnéticas, o estator e o rotor. O estator é composto por uma estrutura ferromagnética com pólos salientes, nessa estrutura são enroladas as bobinas que originam o campo, ou de um ímã permanente (Honda, 2006).

O rotor é um eletroímã composto de um núcleo de ferro com enrolamentos em sua superfície que são alimentados por um sistema mecânico de comutação. Esse sistema é composto por um comutador, solidário ao eixo do rotor, que possui uma superfície cilíndrica com diversas lâminas onde são ligadas o enrolamento do rotor, e por escovas fixas que fazem uma pressão sobre o comutador e são ligadas aos terminais de alimentação. A função do comutador é inverter a corrente na fase de rotação apropriada de forma a que o conjugado desenvolvido seja na mesma direção (Honda, 2006).

Os enrolamentos do rotor compreendem bobinas de n espiras. Os dois lados de cada enrolamento são inseridos em sulcos com espaçamento igual ao da distância entre dois pólos do estator, de modo que quando os condutores de um lado estão sob o pólo norte, os condutores do outro devem estar sob o pólo sul. As bobinas são conectadas em série através das lâminas do comutador, com o fim da última

conectado ao início da primeira, de modo que o enrolamento não tenha um ponto específico conforme a figura 9. (Honda, 2006).

Figura 10 – Motor elétrico de corrente contínua



Fonte: Issuu, 2020

3.3.1 Motor de indução

O motor de indução trifásico gera torque por meio da interação entre o campo magnético criado pelos enrolamentos do estator e as correntes induzidas no rotor devido à indução eletromagnética entre os enrolamentos do estator e do rotor. O estator possui ranhuras onde se encontra o enrolamento trifásico, enquanto o rotor pode ter um enrolamento trifásico ou uma configuração de "gaiola de esquilo". Quando uma tensão trifásica é aplicada aos enrolamentos do estator, um campo magnético rotativo é criado, o que gera uma força eletromotriz nos enrolamentos do rotor, criando torque (Barbi, 1985).

Nesse tipo de motor, a velocidade de rotação do rotor difere da velocidade do campo magnético girante do estator, o que resulta no chamado "escorregamento". O escorregamento depende da carga aplicada ao motor. Com o aumento da velocidade, a corrente induzida no rotor diminui, o que faz com que a velocidade do campo magnético girante do estator fique mais lenta em relação à velocidade do rotor. Tanto

a velocidade do campo girante no estator quanto a velocidade de rotação do rotor são determinadas pelo número de pares de pólos no motor (Barbi, 1985).

Essa característica é menos relevante em motores de veículos elétricos, uma vez que a velocidade do veículo é controlada pela frequência da tensão trifásica aplicada. O motor de indução trifásico é uma escolha viável para aplicação em veículos elétricos devido à sua construção simples, custo razoável, robustez, capacidade de operar em condições adversas e baixa necessidade de manutenção, uma vez que não possui escovas. Além disso, ele é capaz de atingir velocidades mais elevadas do que os motores de corrente contínua. Como a potência do motor é proporcional ao produto do torque pela velocidade, isso permite reduzir o peso e o tamanho do motor (Barbi, 1985).

Figura 11 – Motor de indução



Fonte: Direct Industry, 2022.

3.3.2 Motor síncrono de ímã permanente

Um motor síncrono de corrente alternada, a conversão de energia elétrica em mecânica ocorre através da interação do campo magnético rotativo do estator com o rotor, essa interação faz com que o rotor rotacione em sincronismo com o campo do estator. O tipo de interação do campo magnético rotativo com o rotor determina a forma como o conjugado será gerado. Para os Motores Síncronos de Ímã Permanente (PMSMs) existem dois tipos de interações de interesse com o campo magnético rotativo do estator, as quais se referem à princípios de geração de conjugados chamados de princípios eletromagnéticos e de relutância (Peretti, 2019).

Os motores de ímãs permanentes possuem um maior rendimento quando comparados com outros motores, pelo fato de não haver perdas de joules no rotor, e ao elevado fator de potência devido ao fluxo magnético de excitação fornecido pelos ímãs permanentes. Nesses motores a temperatura dos rolamentos é mais baixa, pelo fato de não haver perdas joule no rotor, e o tempo de vida deles é maior. Eles também apresentam um rendimento maior em baixas velocidades (Eduardo, 2014).

Motores de ímãs permanentes podem ter características construtivas. Os ímãs podem ser colocados na superfície ou dentro do rotor, o rotor pode ser externo ou interno, os enrolamentos podem ser do tipo distribuído ou do tipo bobinado sobre o polo. Eles podem usar ímãs de ferrite (baixa energia e baixo custo) ou ímãs de terras-raras (alta energia e alto custo). Os ímãs de terras-raras permitem que os motores sejam mais compactos e com maior relação binário/volume. Eles podem ser classificados com BLAC (*Brushless Alternating Current*) ou BLDC (*Brushless Direct Current*). Os ímãs de ferrite usam um acionamento do tipo onda quadrada, ou seja, sua força contra eletromotriz é mais trapezoidal. Geralmente os motores BLDC têm enrolamentos bobinados sobre o pólo, e os motores BLAC têm enrolamentos distribuídos. Porém os motores BLAC também podem ter enrolamentos sobre o polo em aplicações de baixa potência (Eduardo, 2014).

3.3.3 Motores síncronos de ímãs internos

Estes motores geralmente usam ímãs de terras-raras no interior do rotor e podem ter um tamanho menor que os motores por indução, além disso eles apresentam rendimentos maiores aos mínimos exigidos pela norma. Por serem menores, eles apresentam menores níveis de ruído (Eduardo, 2014).

3.3.3.1 Motor de ímã permanente com arranque direto da rede

Os motores de ímã permanente com arranque direto da rede (figura 11) são híbridos, pois possuem ímãs de terras-raras abaixo da gaiola de alumínio do rotor. Eles têm enrolamentos similares aos motores de indução e a particularidade de arrancar diretamente ligado à rede, sem a necessidade de controle eletrônico. Eles arrancam e aceleram como os motores de indução, até atingirem o sincronismo, mantendo velocidade constante mesmo com a variação de carga. Se necessário variar a velocidade, eles são acionados por conversores de frequências convencionais, em modo escalar. Isso permite que vários motores sejam acionados pelo mesmo inversor, na mesma velocidade (Eduardo, 2014).

Figura 12 - Motor síncrono de ímã permanente



Fonte: Xinnuo Motor, 2021.

3.3.4 Motor de relutância comutada

Os enrolamentos de cada fase são do tipo concentrado, colocados em torno dos pólos do estator. O rotor é composto por pólos salientes, sendo constituído apenas por chapas de material ferromagnético, isoladas eletricamente entre si.

O motor de relutância comutada tem uma estrutura semelhante à do motor de relutância variável. Porém, o MRC tem normalmente em menor número de pólos e o rotor roda em modo contínuo; a sua operação requer o conhecimento da posição instantânea do rotor. Outra vantagem é que eles possuem potências bem maiores às dos motores de passo. O desenvolvimento e aplicação desses motores devem-se à revolução tecnológica associada aos semicondutores de potência de estado sólido, bem como ao desenvolvimento dos sistemas de controle digital. (Miller, 1993).

Quando se fala em capacidade de conversão de energia, os MRC têm uma limitação estrutural, que está relacionada à ausência de lps e enrolamentos no rotor, isso é comum em máquinas de relutância. Sua densidade de potência está limitada pela alimentação dos enrolamentos estatóricos, mas também pelas suas características geométricas, magnéticas e pelo tipo de controle aplicado. A geometria do circuito magnético torna o MRC muito sensível aos efeitos dos campos magnéticos na periferia dos pólos e da saturação magnética (Miller, 1993).

Nos MRC (figura 13) de construção regular a indutância mútua entre fases apresenta valores baixos. Esta é também uma característica muito relevante desta máquina: as fases são magneticamente independentes entre si, ao contrário das máquinas polifásicas convencionais. As consequências são várias, sendo de destacar os cenários de avarias. Por exemplo, um curto-circuito numa fase não afeta as restantes; o impacto da falta de uma fase fica circunscrito, sendo possível manter o funcionamento da máquina sem alterações significativas – maior tolerância a falhas (Miller, 1993).

Figura 13 - Motor de relutância comutada



Fonte: Mecânica Industrial, 2023.

3.4 FONTES DE ENERGIA E ARMAZENAMENTO

Veículos elétricos usam apenas a energia das baterias, conseqüentemente, sua autonomia depende da capacidade da bateria. Sendo assim, os veículos precisam de um grande banco de baterias, o que aumenta o preço e o peso final do carro. Em contrapartida, as baterias mais utilizadas em carros elétricos são de simples construção mecânica, possibilitando a reciclagem de seus componentes (Ramírez et al, 2012).

3.4.1 Carregadores

Os veículos elétricos podem ser carregados de duas maneiras, por condução elétrica ou por transferência de energia sem fios. O carregamento mais comum é por condução elétrica, pois o carregamento sem fios ainda não é tão eficiente, têm um custo elevado e não possuem muita segurança (Turksoy et al, 2018).

Os veículos elétricos podem ser carregados por um carregador on-board (presentes internamente no veículo) que está relacionado a baixas potências, ou um

carregador *offboard* (externo ao veículo) que está relacionado à altas potências, com opções de fluxo de energia unidirecional e bidirecional. Essas opções são determinadas de acordo com o local de uso. As estruturas do circuito e o controle do carregador unidirecional são mais simples do que o bidirecional (Turksoy, 2018).

Os carregadores bidirecionais têm uma estrutura que permite que a energia da bateria seja transferida para a rede quando o veículo não estiver em uso e a rede precisar dela. Os carregadores de bateria estão disponíveis em três níveis de potência diferentes de acordo com seus intervalos de potência e de acordo com os tempos de carregamento e áreas de uso (Turksoy, 2018). As especificações para cada nível de carregador são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Níveis de energia para carregadores de veículos elétricos

Tipos de nível de energia	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Tensão da rede	120Vac - 230Vac	240 Vac - 400Vac	208-600 Vac ou Vdc
Faixa de potência	$\leq 3,7$ kW	3,7 kW-22kW	> 50kW
Tempo aproximado de carga	11-36 Horas	1-6 Horas	0,2-1 Hora
Topologia do carregador	On-board	On-board	Off-board
Tipo de fornecimento da rede	Monofásico	Monofásico ou Trifásico	Trifásico
Tipo de carregamento	Carga lenta	Carga semirrápida	Carga rápida

Fonte: adaptado de Turksoy et al, 2018.

O carregador unidirecional é um conversor de energia com estrutura de controle simples que fornece energia da rede para a bateria em uma direção. Os carregadores unidirecionais são recomendados, pois eles reduzem o equipamento, simplificam os

problemas de interconexão e permitem que a bateria dure mais. Os carregadores bidirecionais são conversores de energia que carregam a bateria da rede e transmitem essa energia para a rede quando precisa dela (Turksoy, 2018).

O carregador bidirecional garante maior flexibilidade para a rede devido ao controle de energia da bateria dos veículos elétricos para aumentar a confiabilidade e a sustentabilidade da rede. Os carregadores de nível 1 e nível 2 são projetados como integrados. Os de nível 1 oferecem carregamento lento e eles são conectados à rede por tomadas domésticas. Os de nível 2 são usados em áreas públicas e privadas. Nessa topologia o carregamento é mais rápido em relação aos de nível 1. O nível 3 é geralmente o nível de energia utilizado em estações de carregamento para fins comerciais. (Turksoy, 2018).

3.4.2 Frenagem Regenerativa

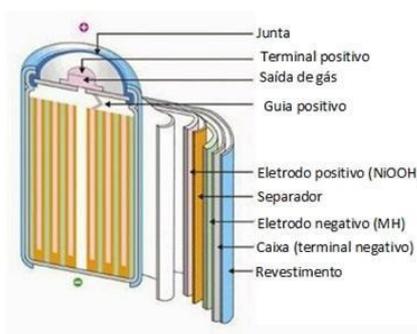
A energia utilizada para desacelerar um veículo elétrico, é dissipada como calor no sistema de travagem e perdido para o veículo. O veículo pode conter ou regenerar a energia e armazená-la no veículo. Um torque negativo é produzido pelo motor de tração, até o valor nominal na direção, que inverte o fluxo de energia fazendo com que a energia cinética do veículo é convertida em potência mecânica negativa no eixo do rotor, e depois convertido à energia elétrica da máquina, que é utilizada para recarregar a bateria (Hayes et al, 2018).

3.5 BATERIA DE HIDRETO METÁLICO DE NÍQUEL

As baterias de níquel-hidreto metálico (figura 14) é uma tecnologia relativamente nova, ela apresenta características operacionais similares às baterias de níquel-cádmio. A principal diferença entre elas consiste no uso de hidrogênio absorvido em uma liga, na forma de hidreto metálico, como material ativo no eletrodo negativo, ao invés de cádmio. O eletrodo de hidreto metálico apresenta uma

densidade de energia maior que um eletrodo de cádmio, então a massa de material ativo para o eletrodo negativo usado em bateria de níquel-hidreto metálico pode ser menor que a usada em baterias de níquel-cádmio. Isto permite a utilização de uma quantidade de material ativo para o eletrodo positivo maior, resultando em uma maior capacidade ou tempo de descarga para esta bateria (Linden, D., 1995).

Figura 14 – Bateria Níquel-Hidreto Metálico



Fonte: Embarcados, 2021.

3.5.2 Bateria de chumbo-ácido

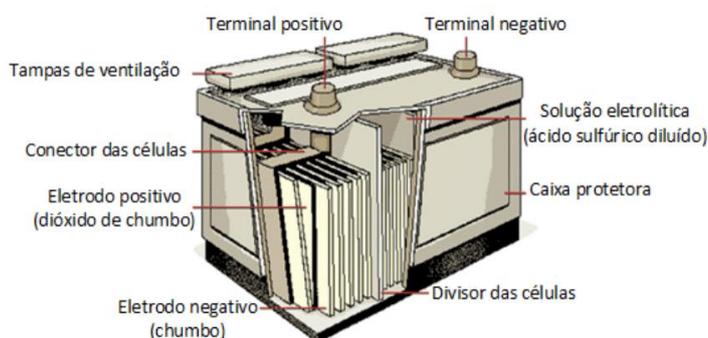
A bateria chumbo-ácido foi inventada por Gaston Planté, em 1859, sendo um tipo de bateria mais usada até os dias atuais. As principais vantagens dessas baterias são o seu baixo custo, longa operação em condições de carga flutuante, alta taxa de reciclagem e baixa autodescarga. As baterias mais recentes, têm as desvantagens de possuir um número limitado de ciclos completos de carga/descarga, possuir uma baixa energia específica causada por alta massa e a necessidade de armazenamento em condições carregadas (Lach et al, 2019).

As baterias de chumbo-ácido requerem uma manutenção de nível e podem ter problemas de derrame de eletrólitos. Em resposta a esses problemas, foi desenvolvida a bateria VRLA (*valve-regulated lead acid*), que é conhecida por bateria de gel, mais recentemente outro tipo de bateria foi desenvolvida, a AGM (*Absorbent*

Glass Mat) que possui um desempenho mais elevado que a bateria convencional. A bateria chumbo-ácido do tipo AGM, tem a particularidade do eletrólito ser absorvido por esteiras de fibra de vidro ao invés das placas submersas em eletrólito líquido. (Chabot et al, 2010).

Ambos os tipos de bateria têm a vantagem de poder operar em qualquer posição e não precisam de manutenção. O processo químico das baterias de chumbo-ácido recorre a dois eletrodos, um negativo de chumbo (Pb), e outro positivo de óxido de chumbo (PbO₂). Ambos são imersos em um eletrólito de água destilada (H₂O) e ácido sulfúrico (H₂SO₄) conforme a figura 15. (Chabot et al, 2010).

Figura 15 – Bateria Chumbo-Ácido



Fonte: Embarcados, 2020.

3.5.3 Bateria de sal fundido do tipo Zebra

Essa bateria não traz muitos prejuízos para o meio-ambiente, pois o sódio é encontrado em abundância na natureza e sua composição também não traz nenhum prejuízo. Outros pontos positivos são o elevado potencial de redução que o sódio é capaz de proporcionar com valor teórico de -2,71 V, baixo custo e alta resistência a sobre descargas e sobrecargas (Dustmann, 2004).

A bateria de sal fundido é capaz de operar em três diferentes estados de carga enquanto é descarregada, o que permite uma faixa de segurança com a possibilidade de operar tanto a uma tensão maior que 2,58 V por célula, como também de trabalhar a regimes com subtensão de 1,58 V. considerando a definição que é feita sobre o estado de carga, essa bateria foge aos limites de 0 a 100% das demais baterias devido a essa propriedade de sobrecarga/descarga permitindo mais que 105% de capacidade total (Dustmann, 2004).

Segundo Castro e Ferreira a bateria do tipo zebra é uma tecnologia madura, mas possui como limitação a necessidade de aquecimento para cerca de 270° C para funcionar, é necessária essa temperatura para manter o sal na fase líquida.

Apesar do isolamento, essa bateria consome bastante energia para compensar a perda de calor para o ambiente. Um dos problemas dessas baterias é que elas são fabricadas por apenas uma empresa, a FZ Sonick. A Itaipu Binacional tem um projeto de desenvolvimento desse tipo de bateria no Brasil, com recursos federais da ordem de R\$32 milhões mostrado na figura 16 (Itaipu Binacional 2012).

Figura 16 - Bateria de sal fundido do tipo zebra



Fonte: FayerWayer, 2022.

3.5.4 Bateria de íon-lítio

O funcionamento das baterias de íon-lítio é baseado no fenômeno de intercalação iônica. Esse fenômeno é obtido pela difusão dos íons de lítio (Li^+) através da rede cristalina do cátodo e do ânodo, com a diferença que quando um intercala o outro não. A intercalação de um íon de lítio em um eletrodo, necessita obrigatoriamente, da intercalação de um elétron, para manter sua neutralidade. O eletrodo que recebe o íon intercalante e um elétron é reduzido, e o eletrodo que cede o íon intercalante e conseqüentemente um elétron é oxidado. Pelo fato desse movimento iônico de intercalar e desintercalar, essa bateria recebeu o nome de “cadeira de balanço”. (Chargas, 2012).

Os eletrodos positivos (cátodos) atualmente são compostos de óxidos de metais de transição litiados, como os à base de manganês (LiMn_2O_4), níquel (LiNiO_2) e cobalto (LiCoO_2). O eletrodo negativo (ânodo) mais usado é o carbono grafite (Cg). O eletrólito é uma mistura de solventes orgânicos apróticos (PC, EC, ...) e sais de lítio (LiClO_4). (Chargas, 2012).

O lítio é um elemento pequeno e leve, e as baterias à base de lítio apresentam maiores níveis de potência e energia por unidade de massa. A energia específica dessas baterias é duas vezes maior quando comparadas à energia das baterias NiHMH e quatro vezes maior em relação aos níveis da bateria PbA. Portanto, para aplicações em que o tamanho e o peso são requisitos importantes, as baterias de íon-lítio (figura 17) tornam-se as mais utilizadas. Outra característica importante é que essas baterias são menos agressivas ao meio ambiente, quando comparadas a outras baterias (Scrosati et al, 2010).

Figura 17 – Bateria íon-lítio

Fonte: AutoEsporte, 2021.

3.6 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Os automóveis elétricos são altamente eficientes em termos de uso de energia. Eles são classificados com base na fonte de energia elétrica que alimenta o motor elétrico e na maneira como os componentes do sistema de tração elétrica estão organizados. Em geral, os veículos elétricos conseguem converter cerca de 90% da energia elétrica que recebem em energia mecânica utilizável no próprio veículo. (Santos, 2017).

Os veículos elétricos utilizam eletricidade como fonte de energia para criar movimento e impulsionar suas rodas. Como resultado, não dependem de combustíveis fósseis para operar, o que contribui significativamente para a redução do uso de fontes não renováveis de energia. Além disso, os automóveis elétricos não emitem quaisquer gases na atmosfera, uma vez que não envolvem a queima de combustíveis, o que os torna uma opção ambientalmente mais limpa. (Santos, 2017).

A eficiência energética de uma bateria pode diminuir ao longo do tempo devido aos ciclos de carga e descarga, bem como ao método de carregamento utilizado. Com o uso contínuo, a capacidade energética da bateria pode ser observada pelo valor teórico da corrente que a bateria pode fornecer durante uma hora de operação. A principal desvantagem dos veículos elétricos é a sua dependência de baterias, que

atualmente têm uma capacidade energética relativamente baixa em comparação com outras fontes de energia. (Azevedo, 2018).

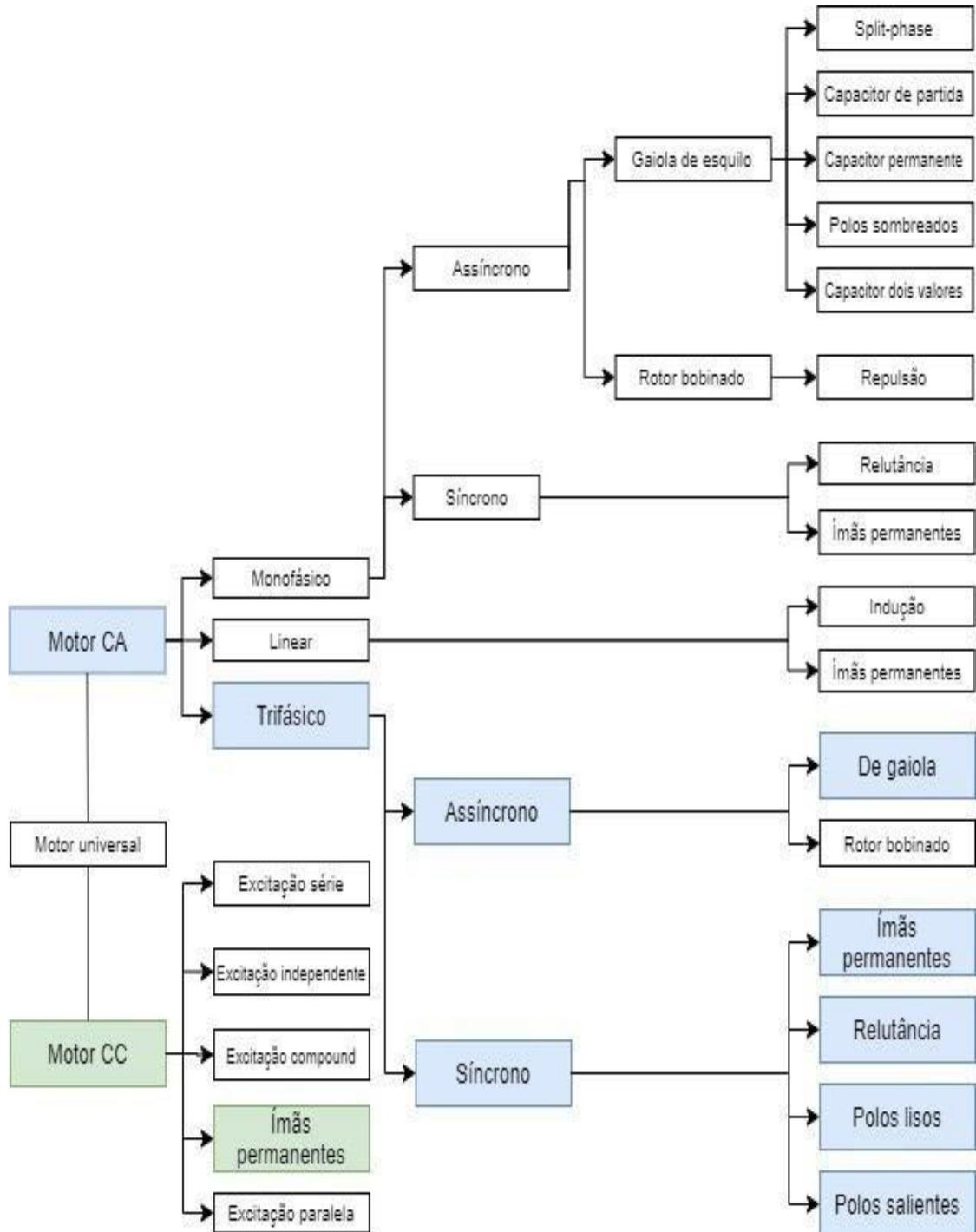
A recarga de veículos elétricos em eletro postos leva aproximadamente 30 minutos, o que é suficiente para abastecer cerca de 80% da capacidade de uma bateria. Para dar uma ideia de consumo, a recarga de uma bateria de carro elétrico requer 24 kWh de eletricidade, o que é equivalente ao consumo de energia de um chuveiro elétrico convencional funcionando continuamente por sete horas. (Antunes, 2019).

3.7 COMPARAÇÃO DE MOTORES

Embora os motores elétricos compartilhem princípios físicos semelhantes, existem várias tecnologias que os distinguem. Essas diferenças podem incluir o tipo de corrente elétrica usada, a disposição das partes internas (estator e rotor), a presença ou ausência de um comutador, o número de fases, o design do rotor, o sistema de resfriamento, a presença de controle e o tipo de controle utilizado, entre outros (Hashemnia e Asaei, 2008).

A forma mais comum de classificação dos motores elétricos é baseada no tipo de corrente elétrica que eles usam, dividindo-os principalmente em duas categorias: motores de corrente alternada e motores de corrente contínua, conforme o diagrama a seguir:

Diagrama 1: Diagrama das famílias de motores elétricos, divididos por tecnologia.



Fonte: Adaptado de WEG (2020).

Devido às diferenças nas correntes elétricas aplicadas, às máquinas elétricas operam de maneira distinta em termos de construção, funcionamento e conexões elétricas com os dispositivos de acionamento e controle. Um exemplo notável dessas discrepâncias é que a maioria dos motores de corrente contínua (CC) requer um componente chamado comutador. Esse dispositivo permite inverter a direção da corrente elétrica no rotor, mesmo quando alimentado com corrente contínua, a fim de criar o campo magnético rotativo necessário para o funcionamento do motor. (Hashemnia e Asaei, 2008).

Outra diferença significativa entre esses tipos de motores diz respeito ao controle de torque e rotação. Nos motores de corrente contínua, é possível controlar o desempenho variando a tensão e/ou a corrente aplicada a eles. Esses controles são relativamente simples de implementar. Por outro lado, nos motores de corrente alternada, o controle é mais complexo, pois é possível alterar não apenas a tensão e a corrente, mas também a frequência da corrente elétrica. Além disso, é possível ajustar as combinações dos vetores de força magnética em cada bobina do motor, um método conhecido como controle por campo orientado. (Hashemnia e Asaei, 2008).

3.8 BATERIAS E SUAS ESPECIFICAÇÕES

As baterias utilizadas atualmente em carros elétricos e híbridos são as baterias de íon lítio, hidreto metálico e chumbo ácido (Daniel, 2019).

As baterias de íon de lítio são amplamente utilizadas devido à sua capacidade de recarga antes de serem completamente descarregadas, bem como sua eficiência e consistência (Daniel, 2019).

Já as baterias de hidreto metálico de níquel têm uma vida útil mais longa em comparação com as de íon de lítio, mas são mais comuns em veículos híbridos devido à sua tendência a descarregar rapidamente, gerar calor em temperaturas elevadas e ter custos mais elevados (Daniel, 2019).

Por outro lado, as baterias de chumbo-ácido são empregadas principalmente para complementar outras fontes de energia, como as de dispositivos auxiliares. Elas

oferecem alta potência, são econômicas e confiáveis, mas sua durabilidade é limitada e seu desempenho é modesto (Daniel, 2019).

Entre as análises realizadas e estudadas, pode-se gerar uma tabela de comparações.

Tabela 2 – Comparação entre as baterias.

	Íon de Lítio	Níquel Hidreto Metálico	Chumbo-ácido	Supercapacitor
Densidade energética (Wh/kg)	100 - 300	40 - 120	30 - 40	1 - 10
Densidade de potência (W/kg)	1.000 – 5.000	300 – 1.000	180	1.000 – 10.000
Ciclo de vida	500 – 15.000	500 – 1.000	500 - 800	Ilimitado
Eficiência de carga e descarga	95 - 99%	65 - 80%	70 - 92%	98%
Taxa de descarga própria	1 - 5% / mês	-30% / mês	3 - 20% / mês	-
Tolerância à sobrecarga	Baixa	Baixa	Alta	-
Manutenção	Sem necessidade	60 - 90 dias	3 - 6 meses	Sem necessidade
Tempo de carga rápida	1 hora ou menos	2 - 4 horas	8 - 16 horas	Segundos

Fonte: NeoCharge, 2021.

4. ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE

4.1 UMA COMPARAÇÃO ENTRE O CARRO ELÉTRICO E O CARRO A COMBUSTÃO EM TERMOS DE EFICIÊNCIA

A comparação abaixo destaca os benefícios dos veículos elétricos (VE) através de pontos fortes e oportunidades. Os VE oferecem menor poluição atmosférica, custos operacionais reduzidos e diversidade de modelos. As oportunidades incluem o desenvolvimento de um novo mercado, dinamização do setor automotivo, criação de empregos, internacionalização e possibilidade de armazenamento de energia. A eficiência aprimorada dos VE também contribui para benefícios ambientais e econômicos, consolidando a transição como uma oportunidade abrangente.

Tabela 3 – Pontos fortes e oportunidades dos VE's

Pontos Fortes	Oportunidades
Menores níveis de poluição atmosférica;	Desenvolvimento de um novo segmento de mercado com potencial de crescimento;
Menores custos de operação e manutenção;	Dinamização do mercado do setor automóvel e criação de emprego;
Menor ruído associado à deslocação do veículo;	Internacionalização: possibilidade de desenvolvimento de parcerias estratégicas e sinergias entre empresas nacionais e estrangeiras;
Diversidade de oferta de modelos no mercado (monovolume, familiar, entre outros);	Equilíbrio da balança comercial e redução do volume de importações;
Possibilidade de existência de incentivos à aquisição;	Possibilidade de armazenamento de energia para alimentar a rede de distribuição elétrica nacional.
Maior eficiência.	-

Já a comparação a seguir destaca os desafios e ameaças associados à adoção de veículos elétricos (VE). Pontos fracos incluem o custo elevado, autonomia limitada, tempo de carregamento e necessidade de infraestrutura específica. Ameaças abrangem incerteza tecnológica, competição com alternativas existentes, resistência a mudanças de comportamento e impactos econômicos. A superação desses obstáculos é vital para uma transição bem-sucedida, considerando também fatores como pressões econômicas, evolução do preço da eletricidade e surgimento de novas opções de mobilidade.

Tabela 4 – Pontos fracos e ameaças dos VE's

Pontos Fracos	Ameaças
Custo de aquisição elevado;	Incerteza quanto à tecnologia a adotar;
Autonomia limitada;	Menores custos e maior flexibilidade por parte das alternativas existentes no mercado, como os veículos à combustão interna;
Tempo de carregamento de baterias;	Modelo de negócio ainda indefinido;
Necessidade de uma garagem privada para carregamento dos veículos;	Necessidade de modificação de comportamentos de condução e percepções relativas à mobilidade;
Tempo de vida útil/desgaste de bateria;	Conjuntura econômica desfavorável e baixo poder de compra por parte dos consumidores nacionais;
Ausência de know-how especializado por parte de mecânicos/oficinas (tecnologia recente).	Dinamização de incentivos poderá conduzir a um aumento da utilização do transporte individual;
-	Incentivo à manutenção de frotas particulares e empresariais devido à retratação da economia;
-	Crescente pressão para a utilização de transportes públicos;
-	Evolução do preço da eletricidade;
-	Novas alternativas de mobilidade com elevada propensão de crescimento.

Fonte: Balsa, 2013.

4.2 A ELETRICIDADE COMO ALTERNATIVA LIMPA, ECONÔMICA E SUSTENTÁVEL

4.2.1 Energia eólica

O crescimento da geração de energia por fontes renováveis nas economias avançadas contribuiu para a diminuição das emissões de CO₂ em 130 Mt (megatonelada) em 2019, sendo que a energia eólica obteve a maior contribuição neste fator, com uma expansão de 12% em comparação com 2018. Quanto à energia solar, foi possível observar um rápido crescimento entre as fontes de energia renováveis, ajudando a impulsionar a contribuição das fontes renováveis para a produção mundial de eletricidade em 28% (International Energy Agency, 2020).

No caso do Reino Unido é importante mencionar que são direcionados esforços visando promover a descarbonização. Atualmente, o uso da queima de carvão compõe apenas 2% de toda a produção de eletricidade na região. Essa realidade tem como principal motivo a rápida expansão da energia eólica, bem como os esforços no desenvolvimento de outros projetos. Em 2020, as fontes de energia renováveis foram responsáveis por cerca de 40% da eletricidade gerada, seguida pela energia eólica, energia solar, dentre outras fontes (International Energy Agency, 2020).

A energia eólica é a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Com isto o seu aproveitamento ocorre em meio de uma conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, isto tudo ocorre com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade (ou cataventos), e moinhos, para trabalhos mecânicos como bombeamento de água (Costa, 2009).

A energia eólica já vem sendo utilizada há milhares de anos para moagem de grãos, para mover barcos impulsionados por velas, para bombeamento d'água, entre outras aplicações mecânicas. O consumo de energia elétrica tem crescido nas últimas décadas nas áreas residenciais e industriais, dessa forma os governantes de todo o mundo se viram obrigados a estudar novas fontes de fornecimento de energia, fontes renováveis de energia (Tolmasquim, 2003).

A energia eólica ou dos ventos é uma abundante fonte de energia renovável, limpa e disponível em todos os lugares no mundo, sua utilização para a geração de eletricidade, em escala comercial, teve início há pouco mais de 30 anos e um dos precursores para esta tecnologia foi a indústria aeronáutica, evoluindo rapidamente. (Argentino, 2007).

A conversão da energia cinética dos ventos em eletricidade é feita através de aerogeradores, que são constituídos, basicamente, por: turbina ou rotor eólico; sistemas integrados ou auxiliares, sistema de orientação, caixa de multiplicação de velocidade, o sistema de segurança e um gerador elétrico. A principal forma de caracterizar um aerogerador é quanto à configuração do eixo do rotor. Existem, basicamente, dois tipos de aerogeradores: com rotor de eixo vertical ou com rotor de eixo horizontal.

As turbinas de eixo vertical são montadas verticalmente em relação ao seu eixo, o que significa que elas operam em altitudes mais baixas, recebendo o fluxo de ar próximo ao solo com maior turbulência. Por isso, devem operar em frequência mais lenta, resultando em menor eficiência de extração energética, não necessitam de um mecanismo de orientação em relação à direção do vento incidente, pois sempre estão permanentemente alinhadas ao vento tornando seu custo mais baixo.

As turbinas de eixo horizontal necessitam do mecanismo de orientação usado para girar o rotor e mantê-lo de frente para o vento, extraíndo o máximo de energia eólica, tornando o custo mais elevado, porém apresentam maior eficiência e rendimento, por isso, são os mais conhecidos e os mais utilizados na geração de energia elétrica em larga escala. Este tipo de turbina contém uma torre para alçar os componentes da turbina a uma altura ideal para a velocidade do vento, ocupando muito pouco espaço no solo, as turbinas eólicas de eixo horizontal podem ser de uma, duas, três, quatro pás ou múltiplas.

Figura 18 - Energia eólica propulsão veículos elétricos



Fonte: Renault, 2015.

4.2.2 Energia solar

O sol, fonte infinita de energia, é utilizado como combustível diretamente para aquecimento de fluidos e geração direta de energia elétrica por meio de materiais fotovoltaicos (Aneel, 2012).

4.2.2.1 Painel solar fotovoltaico

Os painéis solares, ou módulos, são os principais componentes do sistema fotovoltaico de geração de energia. Estes são formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto. O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua transformação em energia elétrica (Pereira et al, 2011).

A energia solar é gerada por placas fotovoltaicas de silício, instaladas sobre casas e edifícios, é infinita e não emite GEE (Gases de Efeito Estufa) durante sua produção. A demanda por essa energia solar apresentou crescimento e estima-se que em 2030 ela será responsável por 80% do crescimento da energia renovável (IEA, 2020c). O custo da eletricidade proveniente da energia solar fotovoltaica caiu 73% entre os anos de 2010 e 2017, isso mostra que o custo de instalação da mesma vem diminuindo (Gielen et al., 2019).

A produção de energia solar pode ser realizada através de um sistema *On-grid* ou de um sistema *Off-grid*. O sistema *On-grid* é conectado à distribuidora de energia da sua cidade por um controlador bidirecional. Toda a energia excedente ao seu consumo produzida durante o dia é enviada para a distribuidora e convertida em créditos, que serão utilizados para cobrir o custo da energia utilizada no período da noite proveniente da distribuidora da sua cidade. O sistema *Off-grid* é um sistema independente que armazena a energia captada em baterias, sendo formado por controladores de carga, inversores, baterias e pelas placas fotovoltaicas. Os controladores de carga são utilizados para evitar sobrecargas e proteger as baterias, os inversores são responsáveis por transformar a energia de corrente contínua vinda das baterias em corrente alternada e pelas placas fotovoltaicas, que são responsáveis pela captação da energia. O sistema *Off-Grid* possui um custo mais elevado, contudo é a solução para muitos locais onde a rede de energia elétrica não chega, ou é muito instável (Solen, 2019).

Figura 19 – Energia solar e carros elétricos



Fonte: Blog Blue Sol, 2018.

4.2.3. Sistema fotovoltaico

4.2.3.1. Sistemas autônomos ou isolados (*OFF GRID*)

São sistemas que não dependem da rede elétrica convencional para funcionar, sendo possível sua utilização em localidades carentes de rede de distribuição elétrica. Existem dois tipos de sistemas autônomos: com armazenamento e sem armazenamento. O primeiro pode ser utilizado em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e, até mesmo, em pequenos aparelhos portáteis (Villalva et al, 2012).

Enquanto o segundo, além de ser frequentemente utilizado em bombeamento de água, apresenta maior viabilidade econômica, já que não utiliza instrumentos para o armazenamento de energia. (Pereira et al, 2011).

A composição e funcionamento do sistema autônomo para a iluminação pública, por exemplo: “Um painel fotovoltaico (PV), responsável por carregar as baterias durante o período diurno através de um conversor CC-CC. (...). Durante a noite, as baterias fornecem energia para (...)” os equipamentos que fornecem intensidade luminosa. (Schuch et al, 2010, p.18).

4.2.3.2. Sistemas ligados à rede (*ON GRID*)

São aqueles que trabalham concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. De forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica. (Pereira et al, 2013).

4.2.3.3. Sistemas híbridos

A associação de sistemas fotovoltaicos com demais fontes de energia fundamenta-se no sistema híbrido. O seu maior benefício é proporcionar eletricidade (armazenada nas baterias), na privação de sol, ou seja, em dias de baixa, ou nenhuma, geração. No entanto, é apontado como um sistema complexo, já que necessita integrar diversas formas de produção de energia elétrica, como motores a diesel ou gás, ou por geradores eólicos (Pereira et al, 2011).

4.3 O IMPACTO AMBIENTAL DO MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA *VERSUS* MOTOR ELÉTRICO

4.3.1 Motor a combustão interna

No Brasil, os derivados de petróleo como gasolina e óleo diesel são os combustíveis mais utilizados nos automóveis. A utilização de energia é indispensável para as atividades do dia-a-dia e para os homens, os combustíveis fósseis são a principal fonte de energia. Este autor ainda aponta que os usos de combustíveis fósseis de fontes não renováveis apresentam impactos ambientais, no que toca às emissões de poluentes na atmosfera e mudanças climáticas. (Pozzagnolo, 2014).

A poluição do ar é um dos maiores problemas ambientais da atualidade, colocando em risco a saúde e a qualidade de vida das pessoas. Estudos vem demonstrando que o aumento do uso de combustíveis fósseis elevará o nível de dióxido de carbono (CO₂), mudando assim o ecossistema e levando ao aquecimento global. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que mais de 4 milhões de pessoas em todo o mundo morrem prematuramente devido à poluição do ar. Aproximadamente 90% da população mundial está exposta a concentrações de poluentes superiores ao nível recomendado pela OMS. (CETESB, 2021).

Tabela 5 – Gases e suas consequências.

Tipo do gás	Formação	Efeitos Nocivos
Monóxido de Carbono (CO)	É um gás resultante da queima incompleta de combustível.	Inalada, reduz a capacidade do sangue de transportar oxigênio.
Óxido de Nitrogênio (NOx)	São formados quando o nitrogênio reage com o oxigênio em razão da alta temperatura na câmara de combustão.	Prejudicial ao sistema respiratório.
Aldeídos (RCHO)	São emitidos na queima de combustível em veículos automotores, principalmente nos veículos que utilizam etanol.	Causa irritação das mucosas, dos olhos, do nariz e das vias respiratórias em geral. Podem causar crises asmáticas e têm potencial carcinogênico.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	É gerado através da queima de combustíveis com enxofre em sua composição.	Causa agravamento da asma e de problemas respiratórios.
Hidrocarbonetos (HC)	São a parcela de combustível não queimado ou parcialmente queimado que é expelido pelo motor.	Causa irritação nos pulmões e problemas neurológicos.

Fonte: Oliveira, David et al, 2022.

Segundo dados do SBCS (Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável), para cada litro de combustível consumido pelos veículos, são emitidos os valores apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Emissão de CO₂ por tipo de combustível.

	Emissão Mínima	Emissão Máxima
Combustível	KgCO₂/litro	
Diesel	3,33	3,41
Gasolina 20% etanol	2,1	2,21
Gasolina 25% etanol	2	2,11
Etanol hidratado	0,49	0,61

Fonte: CBCS

Além de CO₂, os principais poluentes veiculares são os Hidrocarbonetos (HC) ou compostos orgânicos voláteis (COV), o monóxido de carbono (CO), os materiais particulados (MP), os óxidos de nitrogênio (NO_x), os óxidos de enxofre (SO_x) e o Ozônio. (Carvalho, 2011).

4.3.2 Motor elétrico

Não é possível afirmar se os veículos elétricos podem realmente contribuir para o controle da poluição atmosférica no curto prazo, uma vez que há inúmeros fatores envolvidos. Não obstante, para os centros urbanos que apresentam mais poluição que outros setores, podem conter benefício ambiental, se o trajeto for curto. Haja visto que os veículos de propulsão são mais poluentes e menos eficientes quando operam em temperaturas não ideais de funcionamento. Quando o trajeto cotidiano é insuficiente para atingir a temperatura ideal, há uma elevação de consumo e poluição. Logo, o carro elétrico pode solucionar esse problema, já que é ideal para curtos trajetos, já que não possui a mesma autonomia que um carro tradicional. (Vonbun, 2015).

Nos veículos elétricos, no Brasil, usa a bateria íons de lítio. O lítio é um material presente em rochas vulcânicas e sais minerais, logo é um elemento de quantidade considerável, na casca terrestre há 65 partes por milhão. Contudo, em 2017, a

demanda anual do principal elemento para a fabricação da bateria dos automóveis elétricos chegou por volta de 40 mil toneladas. Tendo um crescimento de 10% desde 2015. Assim, o preço do metal aumentou e outras questões surgiram, como a preocupação das reservas de lítios não serem capazes de abastecer o crescente mercado. (Castro et al, 2020).

As baterias íons de lítio utilizadas nos automóveis elétricos não são recondiçionadas, visto que ainda nem se fabrica esse tipo de bateria no país. A maior parte é produzida no Japão e na Coreia do Sul, onde aproximadamente 25% a 40% da geração de eletricidade dependem do carvão. Portanto, ainda há emissões de gases poluentes na atmosfera (Castro et al, 2020).

Apesar de ainda não haver tecnologia para reciclar a bateria de íon de lítio, esta é menos tóxica, causa menos danos ambientais e tem a durabilidade superior à bateria de chumbo-ácido utilizada nos veículos movidos à combustão, em que a atual tecnologia apresenta tempo de vida útil aproximadamente de 10 anos ou 1500 ciclos, o que vier primeiro. (Azevedo et al, 2018).

Por causa da grande quantidade de diferentes elementos nas baterias de íon-lítio é complexo o seu processo de reciclagem. Encontram-se diversos materiais em pó, envolvidos em lâminas metálicas em cada célula e que devem ser separados, durante o processo de reciclagem. Os componentes que não podem ser reutilizados devem ser descartados adequadamente em aterros sanitários. Poucas empresas no mundo, atualmente, fazem a reciclagem desse tipo de baterias, como exemplo, a belga Umicore e a canadense Retrie Technologies (EPE, 2018).

4.4 POLÍTICAS E MERCADOS

4.4.1 Políticas de incentivos à oferta

Os incentivos à oferta vão desde o suporte à atividade de P&D em células a combustível, baterias e veículos elétricos até estabelecimento de normas mais rígidas

para a redução das emissões de poluentes e de padronização de componentes como o carregador veicular. (BNDES, 2018).

4.4.2 Padronização

A padronização dos componentes centrais é importante para facilitar o comércio mundial, ampliando os mercados potenciais dos produtos. A atuação apenas nos mercados nacionais não confere, em geral, uma escala suficiente para viabilizar sua produção. Os padrões dos plugues para recarga, são regulados pela International Electrotechnical Commission (IEC) por meio do padrão IEC 62196-2.16. Se uma vasta gama de padrões convivesse ao mesmo tempo, muitos fabricantes teriam dificuldade para se inserir globalmente, configurando-se como mais uma barreira à difusão dos veículos elétricos.

4.4.3 Incentivos diretos

Existem inúmeras políticas de incentivo com a intenção de aumentar as vendas de carros elétricos.

Subsídios diretos são definidos como um bônus único na compra de um carro elétrico.

Incentivos fiscais que são definidos com desconto na compra e/ou impostos anual para veículos elétricos

Poupança de custos com combustível é um incentivo pelo fato de o preço da eletricidade ser inferior ao preço do combustível como resultado, impostos mais baixos e custos de energia mais baixos.

Alguns países oferecem subsídios diretos na compra de veículos elétricos:

Na França, no contexto do sistema francês de tributação de veículos, os veículos que emitem menos de 20 g/km de CO₂ recebem um bônus único de 7 mil euros, porém o valor do incentivo não pode ultrapassar 30% do preço de compra do

veículo, e entre 21 e 50 g/km o bônus é de 5 mil euros. No Reino Unido, desde 2011 os clientes que compram um carro elétrico zero, e que emitem menos de 75 g CO₂/km ou um veículo com célula de combustível, recebem um incentivo único de 25% do carro, de até no máximo 5 mil libras. Na Suécia, desde 2012 os carros com emissões de CO₂ de 50 g/km ou menos recebem um “prêmio de carro super verde”, único, de 4.500 euros (Mock, 2014).

Nos Estados Unidos, um programa de subsídio federal para veículos elétricos permite um bônus único, dependendo da capacidade da bateria do veículo, de até, no máximo, 7 mil e 500 dólares na forma de crédito fiscal. Existe também outro no programa na Califórnia, em nível estadual, dando aos compradores de veículos elétricos à bateria (BEV) outros 2 mil e 500 dólares e para HEV (veículos híbridos convencionais) 1 mil e 500 dólares na forma de um pagamento único de bônus (Mock, 2014).

No Japão, um programa do governo permitiu um bônus único para veículos elétricos e outros veículos qualificados com baixo consumo de combustível. Esse programa oferece um bônus com base na diferença de preço entre os veículos elétricos e um carro a gasolina. O bônus é limitado a 6 mil e 300 euros. Na China, um programa nacional oferece um bônus único para veículos elétricos, que está entre 4 mil e 200 euros e 7 mil e 200 euros (Mock, 2014).

4.4.4 Incentivos fiscais

Os incentivos fiscais para veículos elétricos são outros elementos importantes para incentivar a compra de veículos elétricos.

IVA (imposto sobre valor agregado): O alcance do imposto está entre 5% no Japão e 25% na Dinamarca, Noruega e Suécia, e geralmente aplica-se ao preço base do veículo, excluindo qualquer imposto de compra. o mercado norueguês é o único que isenta os veículos elétricos a bateria do IVA. A isenção do IVA não se aplica aos PHEVs (*Plug-In Hybrid Electric Vehicle*). Contudo, em outros países os veículos elétricos geralmente têm um preço muito elevado, portanto, estão sujeitos a um preço mais alto do IVA, mesmo após o bônus ser de acordo com o preço base do veículo elétrico (Yang, 2014).

Taxa única de compra/registo: Alguns países cobram um imposto de compra ou registo. Além do IVA, é fornecido uma redução de imposto para veículos elétricos. Por exemplo na Holanda, o imposto de registo depende do nível de emissão de CO₂ de um veículo, com índices maiores para veículos a diesel do que para veículos a gasolina. Veículos com menos de 95 g/km (gasolina) ou 88 g/km (diesel) estão isentos de impostos de registo. Na Noruega e Dinamarca o imposto de registo é calculado com base no preço do veículo, equipamento de segurança de bordo e consumo de combustível. Os veículos elétricos a bateria estão isentos desse imposto. O imposto de registo é baseado no peso do veículo, potência do motor e emissão de CO₂ (Yang, 2014).

4.4.5 Imposto anual de circulação

Alguns países cobram um imposto anual sobre a circulação de veículos, e para carros elétricos eles fornecem uma redução desse imposto. Na Alemanha, por exemplo, esse imposto é calculado com base nas emissões de CO₂ e na potência do motor. Os veículos elétricos movidos a bateria (BEVs) e veículos híbridos *plug-in* são isentos desse imposto por um período de 10 anos a partir da data de registo do veículo (Yang, 2014).

Na Holanda o imposto de circulação anual é calculado através do peso do veículo, porém, até o final de 2013, todos os veículos que emitem menos de 11 g/km (gasolina) ou 96 g/km (diesel) de CO₂ eram isentos do imposto. Os limites para isenções fiscais foram atualizados em 2014, de forma que somente os carros de 50 g/km de CO₂ continuam isentos do imposto anual de circulação (Yang, 2014).

Imposto de carro empresa: os carros da empresa são populares em muitos países europeus. Por exemplo, na Alemanha, 38% dos carros novos de passageiros foram registrados por empresas, enquanto 62% foram registrados por proprietários particulares. Esses números também incluem registros de curto prazo de concessionárias de automóveis, mesmo assim a participação de mercado de carros da empresa é muito significativa (Yang, 2014).

A ideia dos carros é que ao invés de pagar um salário maior para seus funcionários, a empresa oferece um carro, e ela paga todas as despesas do carro,

que geralmente são incluídos custos de combustível, a empresa pode reivindicar os custos de veículo e encargos associados como despesas comerciais. O empregado, por outro lado, tem acesso ao veículo que ele também pode utilizar no particular, em troca o empregado tem que pagar o imposto de carro empresa para contabilizar o benefício de livre acesso ao veículo. Na Holanda, os veículos que emitem até 50 g/km são isentos desse imposto (Yang, 2014).

4.4.6 Incentivos no Brasil

A Comissão de Assuntos Econômicos (CAE) do Senado aprovou recentemente o projeto de lei 6.020/2019, de autoria da senadora Leila Barros (PDT/DF), que cria uma política de incentivo tributário à pesquisa de desenvolvimento da mobilidade elétrica no Brasil. O objetivo do projeto é incentivar a mobilidade elétrica no país e garantir os recursos necessários para as pesquisas que envolvem a produção necessária para a transição do carro movido a hidrocarbonetos para a propulsão elétrica. (Barros, 2019). O projeto de lei é composto de cinco artigos, sendo que o primeiro enuncia seus propósitos e o último determina a vigência da lei 180 dias após sua eventual sanção (Barros, 2019).

Encontra-se na CCT o PL nº 6.020, de 2019, da Senadora Leila Barros, que “altera a Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997, Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000 e a Lei nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018, para incentivar a pesquisa sobre mobilidade elétrica no Brasil”. (Barros, 2019).

O art. 2º insere dois incisos no art. 1º da Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997, que trata da política energética nacional, para incluir dois novos objetivos das políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia: “XIX- Incentivo e desenvolvimento da mobilidade elétrica”, e “XX- Incentivo ao desenvolvimento e uso de energias renováveis para geração elétrica”. (Barros, 2019).

O art. 3º, por sua vez, altera o § 2º do art. 4º da Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, para determinar que o “desenvolvimento da mobilidade elétrica” figure entre os programas e projetos de pesquisa científica e tecnológica do setor de energia elétrica. (Barros, 2019).

Por fim, o art. 4º do PL insere um novo artigo (art. 38-A) na Lei nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018, para determinar que as empresas participantes do programa Rota 2030 deverão aplicar 1,5% do montante equivalente às renúncias fiscais obtidas no âmbito daquele programa em “desenvolvimento de tecnologia para veículos automotores de propulsão exclusivamente elétrica” e para a “produção de energia para veículo elétrico a partir do etanol ou das células de etanol”. (Barros, 2019).

Na Justificação, a Senadora Leila esclarece que o objetivo do PL é o de incentivar a mobilidade elétrica no País e garantir os recursos necessários para as pesquisas que envolvem a produção de pesquisa necessária para a transição do carro movido a hidrocarbonetos para a propulsão elétrica”. O projeto foi distribuído a esta Comissão e à CAE (Assuntos Econômicos), a quem cabe a decisão terminativa. No dia 12 de abril do corrente ano, na qualidade de Presidente da Frente Parlamentar Mista pela Eletro mobilidade, avocou a relatoria da proposta na CCT. Por último, cabe informar que não foram oferecidas emendas à proposta aqui analisada. (Barros, 2019).

4.5 FABRICAÇÃO

A China se tornou o maior produtor de veículos movidos por eletricidade (VEs) no mundo. Nos últimos dois anos, o número de unidades vendidas anualmente no país cresceu de 1,3 milhão para 6,8 milhões, fazendo de 2022 o oitavo ano consecutivo em que a China foi o maior mercado mundial de VEs. No mesmo período, os Estados Unidos venderam cerca de 800 mil unidades e o Brasil, pouco mais de 49,2 mil. O domínio nesse setor não apenas deu à indústria automobilística chinesa um crescimento sustentado durante a pandemia, como também impulsionou o país em sua busca para se tornar um dos líderes mundiais em política climática. (Andrade, 2023).

O governo chinês teve papel importante na consolidação dessa indústria, ajudando a sustentar tanto a oferta de veículos elétricos quanto a demanda por eles. A partir de 2009, passou a conceder subsídios financeiros a empresas de VEs para produzirem ônibus, táxis e automóveis individuais — à época, menos de 500 unidades foram vendidas no país.

De 2009 a 2022, a China concedeu mais de US\$ 29 bilhões em subsídios e incentivos fiscais para que suas empresas melhorassem seus veículos, tornando-os mais acessíveis a consumidores individuais. A estratégia deu certo: os 6,8 milhões de VEs vendidos no país em 2022 representaram mais da metade das vendas globais.

O governo chinês também ajudou as empresas domésticas a se manterem em seus primeiros anos de vida, por meio de contratos de aquisição. Caso da BYD Co., fundada em 2003. Por volta de 2010, antes de se popularizarem, os VEs já integravam parte do vasto sistema de transporte público do país. Em 2012, o governo da cidade de Shenzhen comprou 500 carros elétricos da BYD para serem usados como táxis.

Enquanto isso, políticas locais encorajam os indivíduos a substituírem seus veículos com motor a combustão interna por elétricos. Em Pequim, as placas dos carros são relacionadas há mais de uma década. Leva-se anos ou milhares de dólares para conseguir uma para um carro a gasolina. Mas o processo foi dispensado para quem comprasse um VE.

Os governos locais também trabalharam em colaboração com empresas privadas para personalizar políticas que pudessem impulsionar seu crescimento. A BYD, fabricante chinesa que hoje desafia a californiana Tesla na produção de veículos elétricos, surgiu mantendo um relacionamento próximo com o governo de Shenzhen, primeira cidade no mundo a eletrificar completamente a sua frota de ônibus públicos.

O desenvolvimento da indústria chinesa de VEs, por sinal, está profundamente atrelado à ascensão da Tesla. Isso porque, ao distribuir subsídios, o governo chinês não se limitou apenas às empresas domésticas. Muitas companhias de outros países abriram filiais ou se mudaram para lá para aproveitar as subvenções, caso da Tesla.

Não por acaso, a China tornou-se parte indispensável da cadeia de suprimentos da gigante estadunidense. A Shanghai Gigafactory é hoje o centro de fabricação mais produtivo da Tesla, respondendo por mais da metade dos carros da empresa entregues em 2022.

Também pela primeira vez as empresas chinesas de veículos elétricos sentem que têm chance de expandir para fora da China. Algumas já estão entrando no mercado europeu e até pensando em ir para os Estados Unidos, apesar de seu mercado saturado e da delicada situação política entre os dois países. Os carros a gasolina chineses nunca poderiam ter sonhado com isso.

Seguem, conforme ilustrado à tabela 5, as metas de estoque de carros elétricos até 2020 para alguns países selecionados:

Tabela 7 – Países e seus avanços com os VEs

Países que anunciaram metas até 2020 ou mais tarde	Estoque de VEs em 2015 (mil veículos)	Meta do estoque de VEs em 2020	Participação dos VEs na venda de carros entre 2016 e 2020	Participação dos VEs no estoque total em 2020
Áustria	5,3	0,2	13%	4%
China*	312,3	4,5	6%	3%
Dinamarca	8,1	0,2	23%	9%
França	54,3	2	20%	6%
Alemanha	49,2	1	6%	2%
Índia	6	0,3	2%	1%
Irlanda	2	0,1	8%	3%
Japão	126,4	1	4%	2%
Holanda**	87,5	0,3	10%	4%
Portugal	2	0,2	22%	5%
Coreia do Sul	4,3	0,2	4%	1%
Espanha	6	0,2	3%	1%
Reino Unido	49,7	1,5	14%	5%
EUA***	101	1,2	6%	2%

* Essa meta inclui 4,3 milhões de carros e 0,3 milhões de táxis e faz parte de uma meta geral de 5 milhões de carros, táxis, ônibus e veículos especiais em 2020.

** Estimativa baseada em uma meta de 10% de participação de mercado em 2020.

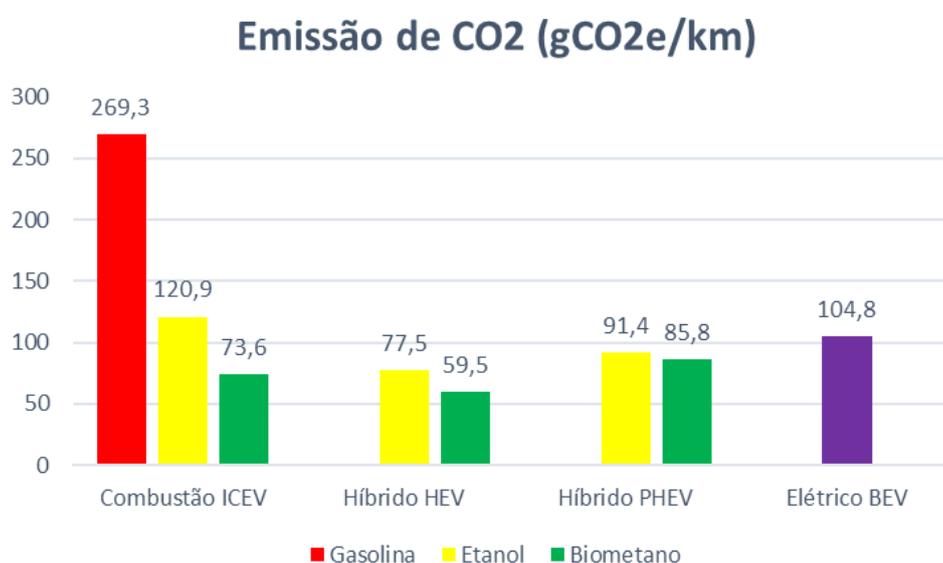
*** Estimativa baseada no alcance da meta de 3,3 milhões de VEs até 2025 anunciada em oito estados americanos (Califórnia, Connecticut, Maryland, Massachusetts, New York, Oregon, Rhode Island e Vermont). Todos os indicadores nessa tabela referem-se a esses oito estados americanos; assume-se que participação de mercado e participação de mercado e participação no estoque somem 25% da participação e estoque totais de veículos nos EUA.

Fonte: Global EV Outlook, IEA, 2016

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises sobre as emissões ao longo do ciclo de vida destacam claramente os biocombustíveis, especialmente o gás biometano. Conforme o estudo revela, considerando desde a produção até o uso do veículo, um carro que utiliza gasolina emite 269,3 gramas de CO₂ equivalente por quilômetro (gCO₂e/km). Em contraste, um veículo a combustão utilizando etanol E100 emite menos da metade, ou seja, 120,9 gCO₂e/km, e apenas um terço, 73,6 gCO₂e/km, ao utilizar gás biometano, conforme apresentado no gráfico ilustrado à figura 20.

Figura 20 – Emissão de gás CO₂



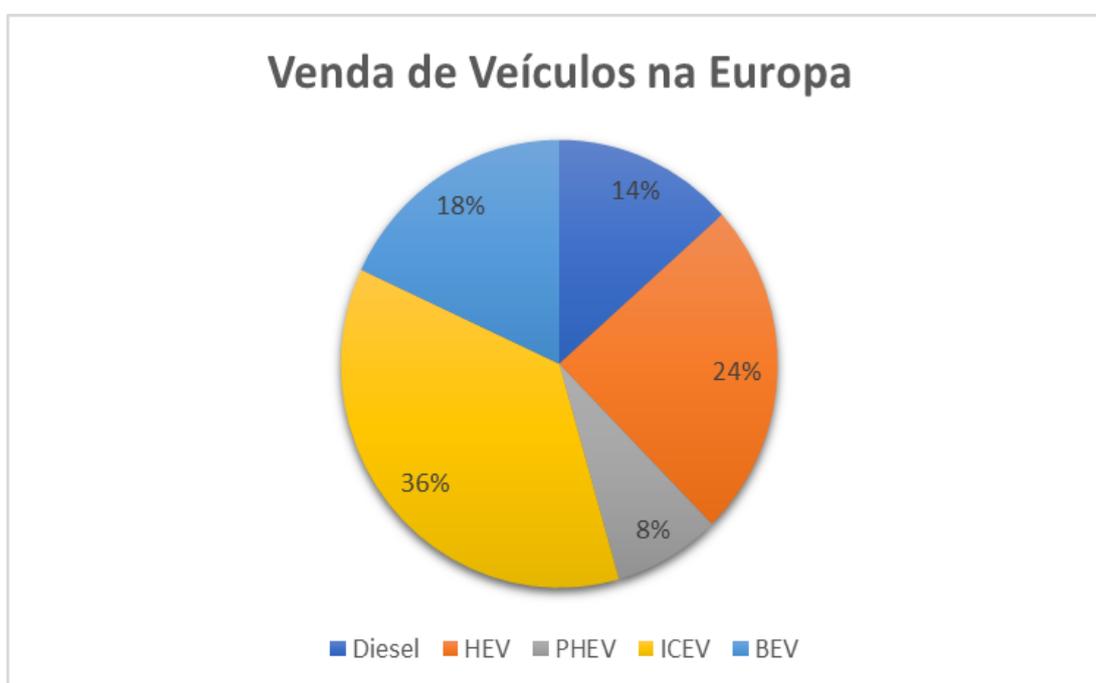
Fonte: Autores 2023.

Os híbridos elétricos (HEV), que se carregam apenas com o motor a combustão, são apontados como a opção mais ecológica. Eles emitem ainda menos quando alimentados exclusivamente com biocombustíveis: 77,5 gCO₂e/km com E100 e 59,5 gCO₂e/km com biometano – este último marcando o melhor desempenho no estudo.

Os híbridos *plug-in*, que podem ser recarregados na tomada, perdem parte dessa vantagem devido ao aumento do uso da propulsão elétrica e à necessidade de baterias maiores, que geram mais emissões de CO₂ durante a produção. Com E100, um PHEV emite 91,4 gCO_{2e}/km, e com biometano, 85,8 gCO_{2e}/km. Apesar disso, esses números ainda são melhores do que os de um veículo a combustão utilizando etanol, embora sejam inferiores aos de motores alimentados por biometano.

Por outro lado, um veículo totalmente elétrico a bateria (BEV) emite 104,8 gCO_{2e}/km ao longo de seu ciclo de vida, considerando a matriz energética brasileira, que é mais de 80% renovável. Mesmo assim, esse resultado é menos favorável do que qualquer híbrido combinado com etanol ou biometano, ou mesmo um veículo a combustão abastecido exclusivamente com biometano.

Figura 21 – Venda de veículos na Europa



Fonte: Autores 2023.

Os carros elétricos estão se tornando populares na Europa devido a incentivos governamentais, infraestrutura de carregamento expandida e crescente preocupação ambiental. Muitos países estabeleceram metas ambiciosas para a redução de emissões, planejando futuras proibições de veículos a combustão interna. Apesar das

preocupações sobre autonomia e infraestrutura de recarga, os consumidores estão gradualmente adotando veículos elétricos.

Os híbridos, que combinam motores a combustão interna e motores elétricos, também estão experimentando um aumento nas vendas. Esses veículos oferecem uma transição mais suave para a eletrificação total e são vistos como uma opção acessível por alguns consumidores. O desempenho eficiente de combustível e as menores emissões têm atraído compradores ambientalmente conscientes.

Os híbridos *plug-in*, recarregáveis na tomada, estão perdendo popularidade apesar de oferecerem a vantagem de operar em modo totalmente elétrico por distâncias mais longas em comparação com os HEVs, pois existem algumas preocupações sobre a eficiência real em modo elétrico, especialmente quando as baterias estão descarregadas.

As vendas de veículos a combustão estão em declínio em alguns países europeus, devido a regulamentações ambientais mais rígidas e à preferência crescente dos consumidores por opções mais limpas. Contudo, os veículos a combustão ainda mantêm uma parcela considerável do mercado devido à falta de infraestrutura de carregamento, preocupações com a autonomia e custos mais baixos.

Os veículos a diesel enfrentam desafios significativos devido a preocupações com a qualidade do ar e emissões de poluentes. Alguns países e cidades estão impondo restrições ao acesso desses veículos em áreas urbanas, impactando negativamente as vendas.

Em resumo, a Europa está passando por uma notável transição em direção à eletrificação, com carros elétricos liderando esse movimento. A trajetória de híbridos, híbridos *plug-in* e veículos a combustão reflete as diversas preferências dos consumidores e as condições regulatórias específicas de cada país europeu.

5.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL

Em julho, as vendas de veículos leves híbridos e elétricos no Brasil atingiram um marco histórico, totalizando 7.462 emplacamentos, a cifra mais elevada desde o início da série histórica da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE) em 2012.

Esse número representa um aumento de 20% em relação a junho (6.225) e um impressionante salto de 138% em comparação com julho de 2022 (3.136 veículos).

A ABVE destaca que esse desempenho reflete o crescente impulso da eletromobilidade no Brasil, impulsionado tanto pela maior disponibilidade de veículos quanto pela expansão da infraestrutura de recarga, marcada pela instalação de aproximadamente 3.500 eletro postos até junho de 2023.

Nos primeiros sete meses de 2023, o mercado de carros híbridos e elétricos registrou 39.701 unidades emplacadas, representando um aumento significativo de 68,5% em comparação com o mesmo período do ano anterior (25.536 veículos). Em relação a 2021, esse aumento é ainda mais expressivo, alcançando 126%.

Em julho, a participação de mercado dos veículos leves eletrificados atingiu 3,5%, um aumento notável em relação aos 1,9% de 2022, representando um crescimento de 87% em relação ao ano anterior.

Os veículos elétricos *plug-in* (BEV e PHEV) estão se destacando, com os PHEV (híbridos com recarga externa) registrando um notável aumento de 250% em julho de 2023 em comparação com o mesmo mês do ano anterior, totalizando 2.627 unidades. Os BEV (veículos elétricos a bateria, com recarga externa) também apresentaram um aumento significativo, alcançando 950 emplacamentos, um aumento de 116% em relação a julho de 2022.

Os veículos híbridos sem recarga externa (HEV) totalizaram 3.885 emplacamentos em julho de 2023, representando um aumento de 54% em relação a julho de 2022 (1.946 unidades). Dentre esses veículos, 2.426 são HEV flex e 1.459 a gasolina, mostrando crescimentos notáveis de 77% e 154%, respectivamente, em comparação com julho de 2022.

6. CONCLUSÃO

A revolução na indústria automotiva, impulsionada pela busca por soluções mais sustentáveis, destaca-se pela coexistência de carros elétricos, híbridos e veículos a combustão. Os carros elétricos, alimentados por baterias de alta capacidade, lideram a transição para uma matriz energética mais limpa, oferecendo zero emissões durante a operação. Os híbridos, ao integrarem motores elétricos e a combustão, destacam-se como uma solução versátil, combinando eficiência energética com autonomia estendida. Enquanto isso, os carros a combustão continuam a desempenhar um papel vital, sustentados por uma infraestrutura estabelecida e avanços em eficiência.

A diversidade nas opções de mobilidade reflete não apenas diferentes estágios de evolução tecnológica, mas também as diversas necessidades e preferências dos consumidores. A transição para uma mobilidade mais sustentável demanda uma abordagem abrangente, reconhecendo o papel crucial dos híbridos e dos veículos a combustão em um ecossistema automotivo em constante transformação. À medida que essas tecnologias coexistem, a indústria avança para um futuro mais equilibrado, oferecendo escolhas diversas e contribuindo para um panorama automotivo mais consciente e eficiente.

7. REFERÊNCIAS

Almeida, Daniel. **Como funcionam os motores elétricos. 2017.** Disponível em: <<https://traction.com/blog/motores-eletricos-entenda-a-funcionalidade-desse-ativo>>. Acesso em: 09/07/2023.

Andrade, R. **China se torna o maior produtor de carros elétricos no mundo.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2023. Disponível em <<https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/noticias/noticias/345-china-se-torna-o-maior-produtor-de-carros-eletricos-no-mundo>> Acesso em 30/08/2023.

Aneel. **Energia Solar.** Aneel, [S.l.], 2012. Disponível em <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)> Acesso em 12/09/2023.

Antunes, P. D. R. (2018). **Veículos elétricos, funcionamentos e seus benefícios. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). UNIFACVEST.** Disponível em:<https://www.unifacvest.net/assets/uploads/files/arquivos/7af59-22_paulo_donizete.pdf>. Acesso em: 17/07/2023.

Argentino, F. L.; Beppu, S. K. **Projeto e construção de turbina eólica para instalações comerciais e residenciais.** Projeto de pesquisa apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Graduação em Engenharia Mecânica. 2007.

AutoEsporte. **Bateria íon-Lítio.** Dá para reciclar as baterias de íons de lítio que equipam os carros elétricos, 2021.

Azevedo, Marcelo Henrique. **Carros elétricos: viabilidade econômica e ambiental de inserção competitiva no mercado brasileiro.** Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Universidade Federal de Ouro Preto. 2018. Disponível em:<https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1579/6/MONOGRRAFIA_Carros_El%C3%A9tricosViabilidade.pdf>. Acesso em 01/09/2023.

Baran, Renato; LEGEY, Luiz Fernando Loureiro. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, mar. 2011. Disponível em: < <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1489>>. Acesso em: 16/08/2023.

Balsa, J. M.R. **Avaliação do impacto da introdução de veículos elétricos na procura de combustíveis em Portugal** (Dissertação de Mestrado em Gestão). Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, 2013. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/24945/1/Tese_vf.pdf> Acesso em 30/08/2023.

Barros, Leila. **CAE pode aprovar incentivos para veículos elétricos**. Rádio Senado. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2023/06/23/cae-pode-aprovar-incentivos-para-veiculos-eletricos>> Acesso em 29/08/2023.

Blog Blue Sol. **Em tempos de crise de combustível, carros elétricos e energia solar reforçam suas vantagens**. Energia solar e carros elétricos, 2018.

Blog'eleuza. **The Surprisingly old story of London's first ever electric taxi**. Veículo elétrico Walter Bersey, 2012.

BNDES. **Veículos elétricos: um mercado em ascensão**. O Banco Nacional do Desenvolvimento. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/veiculos-eletricos>> Acesso em 31/08/2023.

Cavalcanti, José; ALMEIDA, Edmar; FRANCISCO, Antonio; et al. **Veículos Elétricos No Brasil, Desafios Para Sua Adoção E Seu Potencial De Contribuição Na Redução Dos Gases De Efeito Estufa, 2018**. Disponível em: <<https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/28349>>. Acesso em: 23/08/2023.

CBCS. **Simpósio Brasileiro de construção sustentável**. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Disponível em:

<http://www.cbcs.org.br/sbcs10/website/userFiles/palestras_sbcs_10/emissao_co2_transporte.pdf> Acesso em 02/09/2023.

Carvalho, M. A. S. de. **Avaliação de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis**. Orientador: Márcio Carvalho. 2011. 168f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

CETESB. **Emissão veicular**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/>> Acesso em 11/09/2023.

Castro, C. P.; Consoni, F. L. (2020). Diagnóstico dos Cenários de Manejo Ambiental do Uso e Disposição Final de Baterias de Lítio de Veículos Elétricos. Revista Científica e-Locução, edição 17, ano 9.

Chabot et Al. **Bateria chumbo – ácido**. Disponível em: <http://repositorium.uminho.pt/bitstream/1822/22557/1/Tese_VF_a52762_Pdf.pdf>. Acesso em: 30/08/2023.

Chagas, Luciana Gomes. URBANO, Alexandre. SCARMINIO, Jair. **Princípios Físicos e Químicos de Baterias de Íon Lítio. Laboratório de Filmes Finos e Materiais. 2012 Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina Londrina, PR.** Disponível em: <<https://www.uel.br/cce/fisica/sefis/xisefis/arquivos/resumos/r44.pdf>>. Acesso em: 12/09/2023.

Costa, W. Metodologia para conversão de veículos equipados com motores a combustão interna para tração elétrica, Dissertação de Mestrado, UERJ, 2009.

Cyrino, Luis. **Rotores: quais tipos existem e para que servem**. Disponível em: <<https://traction.com/blog/rotores-entenda-quais-tipos-existem-para-que-servem>>. Acesso em: 12/08/2023.

David, Daniel. **Bateria de um veículo elétrico**. Disponível em: <<https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/bateria-veiculo-eletrico>>. Acesso em: 29/08/2023.

Direct Industry. **Motores de ímãs permanentes**. Motor de indução, 2022.

Dustmann, C.-H. **Advances in ZEBRA batteries. J. Power Sources.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/245105773_Advances_in_ZEBRA_batteries>. Acesso em: 31/08/2023.

Eduardo, Carlos. **Motores de ímãs permanentes: para aplicações de alta eficiência.** Disponível em: <Motores de Ímãs Permanentes para Aplicações de Alta Eficiência (researchgate.net)>. Acesso em: 18/08/2023.

Embarcados. **Baterias de Níquel-Metal Hidreto e baterias de chumbo ácido. 2020.** Disponível em: <<https://embarcados.com.br/>>. Acesso em: 10/09/2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. (2018). Eletromobilidade e Biocombustíveis: documento de apoio ao PNE 2050. Rio de Janeiro.

Ford Media. **Ford Modelo T, primeiro carro popular da História.** Modelo T Ford, 2018.

FayerWayer. **Bateria de sal fundido.** Bateria de sal fundido do tipo zebra, 2022.

Forgaça, Jennifer Rocha Vargas. **Bateria de Níquel-Cádmio. Mundo educação. 2018.** Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/bateria-niquelcadmio.htm>>. Acesso em: 06/09/2023.

Goldemberg, C.; Lebensztajn, L.; Pellini, E.L.; **A evolução do carro elétrico, 2005.** Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5138633/mod_resource/content/1/A%20evolu%C3%A7%C3%A3o%20dos%20ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20V6%20Compacta.pdf> . Acesso em: 03/09/2023.

H. Cutclie; **ELECTRIC VEHICLE, 2011,p. 4** Disponível em: <<https://autocrypt.io/wp-content/uploads/2021/08/electric-vehicle-ebook.pdf>> Acesso em: 24/09/2023.

Hashemnia, N; Asaei, B. **Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles. 18th International Conference on Electrical Machines.** Vilamoura: 2008, p 1-5. Disponível em: <

https://www.researchgate.net/publication/224394177_Comparative_study_of_using_different_electric_motors_in_the_electric_vehicles>. Acesso em: 29/09/2023.

Hayes, John G.. **Electric Powertrain: energy systems, power electronics and drives for hybrid, electric and fuel cell vehicles**. Pondicherry, India: **Wiley, 2018**. Disponível em: <<https://pt.br1lib.org/book/3420151/9a6d6b>>. Acesso em: 15/08/2023.

Honda. F. **Motores de corrente contínua**. Siemens. 2006. Disponível em: <[http://www.evtech.com.br/usuario/aciona%20-%20Apostila%2001%20-%20Motores%20CC%20\(Siemens\).pdf](http://www.evtech.com.br/usuario/aciona%20-%20Apostila%2001%20-%20Motores%20CC%20(Siemens).pdf)>. Acesso em: 05/08/2023.

Hurley, Selina. **The Surprisingly Old Story of London's First Ever Electric Taxi**. Science Museum Blog, publicado em: 9 jul. 2012. Disponível em: <<https://blog.sciencemuseum.org.uk/the-surprisingly-old-story-of-londons-first-ever-electric-taxi/>>. Acesso em: 28/07/2023.

I. Barbi, “**Teoria Fundamental do Motor de Indução**”, Editora da UFSC, Florianópolis, SC, 1985. Disponível em: <<https://ivobarbi.com.br/livro-teoria-fundamental-do-motor-de-inducao/>>. Acesso em. 25/08/2023.

Iberdrola. **O veículo elétrico: uma viagem por mais de 200 anos de história**. Carro elétrico Flocken Elektrowagen, 2023.

International Energy Agency. Global CO2 emissions in 2019. 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019>> Acesso em: 31/08/2023.

Issuu. **Motores de corrente alternada**. Motor elétrico de corrente contínua, 2020.

Itaipu Binacional. **Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global 2012**. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1511/3/A%20mar37_11_Baterias%20automotivas-panorama%20da%20ind%C3%BAstria%20no.pdf>. Acesso em: 19/08/2023.

Larminie, James; LOWRY, John. **Electric vehicle technology explained. Chichester: The Atrium, 2003.** Disponível em: <<http://www.ev-bg.com/wordpress1/wpcontent/uploads/2011/08/electric-vehicle-technology-explained-2003-j-larminie.pdf>> Acesso em: 7/06/2023.

Linden, D.; **Handbook of Batteries New York: Mc Graw-Hill, Inc, 1995.** Disponível em: <https://www.academia.edu/38511540/HANDBOOK_OF_BATTERIES_Third_Edition>. Acesso em: 24/09/2023.

Matulka, Rebecca. **The History of the Electric Car. Energy.gov, Departamento de Energia. Publicado em: 15 set. 2014.** Disponível em: <<https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>> . Acesso em: 03/08/2023.

Mattede, Henrique. **Tipos de enrolamentos elétricos.** Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/tipos-de-enrolamentos-eletricos/#:~:text=Os%20enrolamentos%20el%C3%A9tricos%20desempenham%20um,e%20confi%C3%A1vel%20do%20sistema%20el%C3%A9trico>>. Acesso em: 19/09/2023.

Maxicar. **140 anos! A “NOVA” História do Automóvel.** Triciclo elétrico de Ayrton e Perry, 2021.

Mecânica Industrial. **Motor de relutância comutada, 2023.**

Mock, P.; Yang, Z. **Driving electrification: a global comparison of fiscal incentive policy for electric vehicles. Washington, DC: International Council on Clean Transportation, 2014.** Disponível em: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EV-fiscal-incentives_20140506.pdf>. Acesso em: 19/09/2023.

MotorTrend. **First to Sixty.** *La Jamais Contente* de Camille Jenatzy, 2011.

NeoCharge. **Bateria de um veículo elétrico, 2021.** Disponível em: https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/bateria-veiculo-eletrico?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAjrArBhAWEiwA2qWdCO41pxn9DiZjKTnDkdr

STtiF16428ANRVr8legMbTU6ECdkVmLK9oxoCPqIQAvD_BwE. Acesso em: 25/08/2023.

Oliveira, David et al. **Análise comparativa entre veículos automotivos elétricos, híbridos e downsizing de motores** (Trabalho de conclusão de curso). Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2022.

Pereira, F.; OLIVEIRA, M. Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. Porto: Publindústria, 2011.

Peretti, L. EJ2201 **Electrical Machines and Drives Course Material. [S.l.]: Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), 2019.** Disponível em: <<https://www.kth.se/student/kurser/kurs/EJ2201?l=en>>. Acesso em: 13/08/2023.

Planas, Oriol. **Estató de um motor elétrico: Definição e função.** Disponível em: <<https://pt.demotor.net/motores-electricos/componentes-de-um-motor-eletrico/estator>>. Acesso em: 11/09/2023.

Pozzagnolo, M. (2014). Análise das Emissões de Gases em Veículos Automotores do Ciclo Otto. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Univates. Disponível em: <<https://univates.com.br/bdu/bitstream/10737/393/1/MarceloPozzagnolo%20.pdf>>. Acesso em 22/08/2023.

Purdy, Ken W.; FOSTER, Christopher G. **History of the Automobile. Encyclopaedia Britannica, publicado em: 22 fev. 2007.** Disponível em: <<https://www.britannica.com/technology/automobile/Cooling-system>>. Acesso em: 29/07/2023.

Quatro Rodas. **Gurgel Itaipu: há 46 anos, um brasileiro elétrico desafiava a gasolina.** Primeiro carro elétrico da América Latina, 2021.

Ramírez, Álvaro Lazúen; JIMÉNEZ, Adriano Linero. **Simulation of an extended range electric vehicle usage in a real environment. 2012. Monografia (Bacharel em Engenharia mecânica) - Universidade de Skovde, Skovde, 2012.** Disponível em: <<http://www.divaportal.org/smash/get/diva2:545994/FULLTEXT01.pdf>>. Acesso em: 02/08/2023.

Renault do Brasil. **Energia eólica propulsão veículos elétricos Renault na Escócia**. Energia eólica propulsão veículos elétricos, 2015.

Revista Manutenção. **Motores elétricos: componentes e suas aplicações**. Partes do motor elétrico, 2022.

Riba, Jordi Roger et al. **Rare-earth-free propulsion motors for electric vehicles: a technology review**. Catalunha: **Universitat Politècnica de Catalunya, Electrical Engineering Department**, 2016. Disponível em: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/87933/Rev1_2015_12_14_eprint.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16/06/2023.

RTE rolamentos. **Rolamento para motor elétrico**. Disponível em: <<https://rterolamentos.com.br/informacoes/rolamento-para-motor-eletrico>>. Acesso em: 17/08/2023.

Santos, A. C. F. R. (2017). **Análise da Viabilidade Técnica e Econômica de um Veículo Elétrico Versus Veículo a Combustão**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Eficiência Energética). UFSM. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12590/TCCE_EEAPP_EaD_2017_SANTOS_ANA.pdf?sequence=1>. Acesso em 27/08/2023.

Sekurit-Partner. **Primeiro carro elétrico com bateria chumbo-ácido**. Carro elétrico de William Morrison, 2021.

Schuch, L. et al. **Sistema Autônomo de Iluminação Pública de Alta Eficiência Baseado em Energia Solar e Leds**. Ele-trôn. Potên., Campinas, v. 16, n. 1, p.17-27.

T. J. E. Miller, **Switched reluctance motors and their control**. Magna Physics Lebanon, OH, 1993. Disponível em: <[https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45\)\)/journal/paperinformation.aspx?paperid=23097](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/journal/paperinformation.aspx?paperid=23097)>. Acesso em: 12/09/2023.

Tolmasquim, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2003, 515p.

Turksoy, Omer; TEKE, Ahmet; YILMAZ, Unal. **Overview of battery charger topologies in plug-in electric and hybrid electric vehicles. 2018.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327422059_OVERVIEW_OF_BATTERY_CHARGER_TOPOLOGIES_IN_PLUG-IN_ELECTRIC_AND_HYBRID_ELECTRIC_VEHICLES>. Acesso em: 02/09/2023.

Villalva, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** São Paulo: Erica, 2012.

Vonbun, Christian. (2015). **Impactos Ambientais e Econômicos dos Veículos Elétricos e Híbridos Plug-In: uma Revisão da Literatura.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro.

Xinnuo Motor. **Motor síncrono de ímã permanente de tamanho grande série XNTZ.** Motor síncrono de ímã permanente, 2021.

WEG. **Guia de especificação motores elétricos.** Diagrama das famílias de motores elétricos, divididos por tecnologia, 2020.

Yang, Zifei. **DRIVING ELECTRIFICATION A GLOBAL COMPARISON OF FISCAL INCENTIVE POLICY FOR ELECTRIC VEHICLES.** Disponível em: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EV-fiscal-incentives_20140506.pdf>. Acesso em: 16/07/2023.