

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
AVALIAÇÃO DA MOBILIDADE ELÉTRICA
NO BRASIL

Por,
DANIEL JARDIM BRAZ
JOÃO CARLOS VIEIRA DE SOUSA

Brasília, dezembro de 2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DA MOBILIDADE ELÉTRICA NO BRASIL

POR,

DANIEL JARDIM BRAZ
JOÃO CARLOS VIEIRA DE SOUSA

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Eletricista.

Banca Examinadora

Prof. Ivan Marques de Toledo Camargo, UnB/ENE
(Orientador)

Prof. Rafael Amaral Shayani, UnB/ENE

Prof. Francis Arody Moreno Vásquez, UnB/ENE

Brasília, dezembro de 2019

Dedicatórias

A Deus, por sempre estar comigo. Aos meus pais, Carlos Alberto Bezerra de Sousa e Maria do Socorro Vieira de Sousa. E também ao meu irmão, Pedro Augusto Vieira de Sousa.

A Deus, a Ele toda honra e Glória. Aos meus pais, Maria de Fátima e Eldiro, e minha irmã, Ana Luisa.

João Carlos Vieira de Sousa

Daniel Jardim Braz

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por toda sua graça e misericórdia.

Ao nosso querido orientador, ex-reitor e professor do Departamento de Engenharia Elétrica, Ivan Camargo por sua excelente orientação, além de ser um exemplo de profissional.

Aos meus pais, Maria de Fátima e Eldiro, por todo apoio, não só na minha vida acadêmica, amor incondicional e sacrifícios, sendo os maiores exemplos de vida que poderia ter.

A minha irmã, Ana Luísa, minha namorada, Natália, e meus familiares por todo apoio, carinho e cuidado.

Agradeço também a todos meus amigos, que são muito especiais, em especial, João Carlos, pela participação conjunta neste trabalho, além de todos os brasileiros comuns presentes nesta jornada.

Daniel Jardim Braz

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado oportunidade de estudar e concluir o curso de Engenharia Elétrica em uma Universidade Federal de grande prestígio, a UnB. Ao memorável ex-reitor e professor do Departamento de Engenharia Elétrica Ivan Camargo por sua excelente orientação e notório saber na área.

Aos meus pais, Maria do Socorro e Carlos Alberto, por sempre me apoiarem ao longo da vida acadêmica, dando o suporte e amor ao longo de todos esses anos de curso.

Agradeço ao meu irmão Pedro Augusto e minha cunhada Helen Xavier pelo companheirismo e por me aconselharem nos momentos mais difíceis, sempre dotados de inteligência e afeto.

captA todos os amigos(as), em especial, Daniel Jardim Braz pela participação conjunta neste trabalho e ao André Ravanelli, Edgar Fabiano, Lucas Gabriel, Rodrigo Bittencourt, Samuel Gonçalves e Victória Argolo por sempre estarem presentes.

João Carlos Vieira de Sousa

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho estudos bibliográficos e análises com o objetivo de entender o contexto dos veículos elétricos e da mobilidade elétrica no mundo de uma forma geral, e no Brasil de forma específica, buscando compreender a realidade específica brasileira em torno desse assunto e como se viabilizará a implementação desse tipo de tecnologia. Inicialmente é mostrada um pouco da história dos veículos elétricos. Posteriormente foi realizada uma avaliação técnica relativa aos veículos a combustão e elétricos. Mais à frente, buscou-se entender a situação em alguns países do mundo que foram considerados como referência, Noruega, Japão, Estados Unidos e China. Por fim, estudou-se a situação no Brasil, e buscou-se colocar considerações sobre como se dará a implementação desse tipo de veículo na realidade brasileira.

Palavras-chave: veículos elétricos, mobilidade elétrica, sustentabilidade, Brasil

ABSTRACT

This work presents bibliographical studies and analyzes aiming to understand the context of electric vehicles and electric mobility in the world in general, and in Brazil in a specific way, seeking to understand the specific Brazilian reality around this subject and how the implementation of this type of technology will be enabled. Initially a little of the history of electric vehicles is shown. Subsequently, a technical evaluation was carried out for combustion and electric vehicles. Later, it was sought to understand the situation in some countries of the world that were considered as a reference, Norway, Japan, United States and China. Finally, the situation in Brazil was studied, and it was sought to put considerations on how this type of vehicle will be implemented in the Brazilian reality.

Keywords: electric vehicles, electric mobility, sustainability, Brazil

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO GERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.3 JUSTIFICATIVA.....	12
1.4 METODOLOGIA	12
1.5 UMA BREVE HISTÓRIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	13
2. AVALIAÇÃO TÉCNICA	15
2.1 AUTOMÓVEIS CONVENCIONAIS.....	15
2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	19
2.2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS PUROS (VEP).....	24
2.2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS.....	24
2.2.3 VEÍCULOS À CÉLULA COMBUSTÍVEL.....	25
2.3 BATERIAS.....	26
2.4 ASPECTOS TÉCNICOS E AMBIENTAIS	31
2.4.1 MECÂNICA.....	31
2.4.2 TIPOS DE CARREGAMENTO	31
2.4.3 MEIO AMBIENTE	32
2.4.4 EMISSÃO DE <i>CO2</i>	33
2.4.5 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	34
3. SITUAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO MUNDO	36
3.1 NORUEGA.....	36
3.2 JAPÃO.....	39
3.3 ESTADOS UNIDOS.....	41
3.4 CHINA	43
4. SITUAÇÃO NO BRASIL	45
4.1 MATRIZ ENERGÉTICA E VEÍCULOS ELÉTRICOS	45
4.1.1 ENERGIA EÓLICA NO BRASIL.....	47
4.1.2 ENERGIA SOLAR NO BRASIL.....	48
4.2 IMPACTO NA REDE E CARREGAMENTO.....	49
4.2.1 DEMANDA EM HORÁRIOS DE PICO	50
4.2.2 REDE DE ABASTECIMENTO E CARREGAMENTO.....	50
4.3 CONTEXTO BRASILEIRO, PROJEÇÕES E INCENTIVOS.....	51
4.3.1 INCENTIVOS	53
4.4 COMPARATIVO ECONÔMICO ENTRE UM VEÍCULO ELÉTRICO E UM VEÍCULO A COMBUSTÃO.....	54

4.5	PESQUISA DE OPINIÃO	59
4.6	CONSIDERAÇÕES.....	60
5.	CONCLUSÃO	62
6.	REFERÊNCIAS.....	64

LISTA DE FIGURAS

1.1	Primeiro carro elétrico a ultrapassar os 100 km/h.....	13
1.2	Gurgel Itaipu E-400.....	14
2.1	Partes constituintes de um motor à combustão	15
2.2	Esquema de funcionamento de um motor à combustão.....	16
2.3	Ciclo Otto de um motor a 4 tempos	18
2.4	Consumo Energético Médio de um Veículo a Gasolina	18
2.5	Diagrama de Blocos de Veículo Elétricos	20
2.6	Seção transversal dos motores de relutância variável, motor síncrono de ímãs permanentes e de indução	21
2.7	Motor de relutância variável	21
2.8	Motor de ímã permanente de fluxo radial	22
2.9	Motor de indução em gaiola de esquilo, acoplado a uma caixa redutora	23
2.10	Veículo elétrico puro sendo carregado	24
2.11	Células, módulos e packs de baterias	26
2.12	Relação autonomia – capacidade das baterias, em modelos de VEP’s (esquerda) e de VEHP (direita) nos EUA	29
2.13	Evolução do custo e densidade das baterias.....	30
2.14	Três diferentes padrões de <i>pluges</i> para carregamento.....	32
2.15	– Emissões globais de <i>CO2</i> por setor (<i>GtCO2</i>) no ano de 2017	33
2.16	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU	35
3.1	Registros de veículos elétricos plug-in na Noruega entre 2004 e 2018.....	37
3.2	Distribuição de automóveis de passageiros por tipo de combustível no final do primeiro trimestre de 2019	38
3.3	Vendas cumulativas de veículos elétricos plug-in leves no Japão em comparação com os países mais vendidos no mundo e mercados regionais em dezembro de 2018...40	

3.4	Vendas de carros de passageiros plug-in entre dezembro de 2010 e dezembro de 2018	42
3.5	Vendas mensais cumulativas de carros plug-in entre dezembro de 2010 e 2018, mostrando a divisão entre carros totalmente elétricos e híbridos plug-in	43
3.6	Vendas anuais de veículos elétricos entre janeiro de 2011 e dezembro de 2018...44	
4.1	Capacidade Instalada no SIN – 2018/2023	47
4.2	Esquema de produção de energia eólica	48
4.3	Velocidade média do vento no Brasil (Dez/2018)	49
4.4	Índice de radiação solar anual no Brasil	50
4.5	Projeção – Quantidade de veículos elétricos (milhares de unidades)	53
4.6	Gráfico comparativo de custo anual x quilômetros rodados entre Renault Sandero e Renault Zoe	57
4.7	Gráfico comparativo de custo anual x quilômetros rodados entre Renault Sandero e Renault Zoe, considerando queda nos preços dos VEs e na taxa de juros	58
4.8	Gráfico comparativo de custo anual x quilômetros rodados entre Renault Sandero e Renault Zoe, considerando queda nos preços dos VEs, na taxa de juros, e precificação do CO2	59

LISTA DE TABELAS

2.1	Comparativo entre os tipos de motores apresentados de acordo com estudo de Zeraouila.....	23
2.2	Comparativo dos tipos de bateria.....	27
2.3	Comparativo entre as baterias	28
2.4	Pontos para maximizar e minimizar em uma bateria.....	29
4.1	Aumento percentual dos VEs ao longo dos anos.....	53
4.2	Aumento percentual total dos VEs	53
4.3	Comparativo 1 entre o modelo elétrico e o modelo a combustão.....	56
4.4	Comparativo 2 entre o modelo elétrico e o modelo a combustão.....	56

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Siglas

BLDC	Brushless DC
BMS	Battery Management System
MCI	Motor à combustão interna
MI	Motor de Indução
VC	Veículo à combustível
VE's	Veículos Elétricos
VEP's	Veículos elétricos puros
VEB's	Veículos elétricos a bateria
VEHP	Veículo elétrico híbrido puro
VEHPI	Veículo elétrico híbrido plug-in
VEAE	Veículo elétrico híbrido de alcance estendido

<i>h</i>	Hora-Tempo
<i>rpm</i>	Rotações por minuto
<i>km</i>	Distância
<i>km/h</i>	Velocidade
<i>A</i>	Ampère-Corrente
<i>V</i>	Volt-Tensão
<i>W</i>	Watt-Potência
<i>kWh</i>	Consumo de energia
<i>Wh/L</i>	Densidade de energia volumétrica
$3\emptyset$	Trifásico

Fórmulas Químicas

C_8H_{18}	Gasolina
C_2H_6O	Etanol
CO_2	Dióxido de carbono
<i>PbA</i>	Chumbo-ácido
<i>NiMH</i>	Níquel-metal hidreto
<i>LiNiMnCo</i>	Lítio-níquel-manganês-cobalto

1. INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo estudar o contexto dos veículos e da mobilidade elétrica no mundo de maneira geral, para assim buscar entender a realidade específica brasileira em torno desse assunto e como se viabilizará a implementação desse tipo de tecnologia no Brasil.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Contextualizar o problema e fazer uma análise através dos seguintes pontos:

- Avaliação técnica e funcionamento de um veículo convencional, à combustão;
- Avaliação técnica e funcionamento de um veículo elétrico;
- História dos veículos elétricos;
- Situação dos veículos elétricos em alguns países desenvolvidos;
- Situação dos veículos elétricos no Brasil.

1.3 JUSTIFICATIVA

O trabalho relativo ao estudo da realidade dos veículos elétricos no contexto do Brasil justifica-se ao fato de tais veículos constituírem uma parcela ínfima da frota total, e assim entender como poderá ocorrer a inserção dessa nova tecnologia no meio de transporte do país.

Em uma realidade em que sustentabilidade e desenvolvimento sustentável são conceitos cada vez mais difundidos, e que algumas das formas de alcançar tais conceitos são através do uso de fontes mais “limpas” de energia e ainda pela diminuição da emissão de gases poluentes, os veículos elétricos mostram-se como uma forma interessante de alcançar um mundo mais sustentável.

1.4 METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento teórico sobre o assunto através de pesquisas bibliográficas e documentais. Assim, são apresentadas análises relativas ao tema de uma forma geral no mundo, e posteriormente, de forma mais específica no Brasil. Além disso, foram feitos estudos acerca do funcionamento dos veículos à combustão interna para se comparar com os VEs a fim de analisar quais são as principais vantagens e desvantagens de cada um.

1.5 UMA BREVE HISTÓRIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

A história dos veículos elétricos (VEs) não é recente. No século XIX junto ao avanço das baterias elétricas começa o desenvolvimento desse tipo de automóvel. Os veículos elétricos correspondiam a uma parcela significativa da frota americana no começo do século XX, chegando a representar 1/3 da frota em 1912. Grandes companhias participavam do processo de fabricação, tais como: *Baker Electric, Columbia Electric e Detroit Electric*. Porém, desde sua invenção até a conjuntura atual os carros elétricos não conseguiram ser tão populares quanto os veículos com motor a combustão interna. Os principais fatores para o declínio dos VEs, foram: o sistema de produção de Ford (linhas de produção) o qual diminuiu o preço dos veículos movidos à gasolina e a descoberta de reservas de Petróleo no Texas, responsável por tornar mais barato tal combustível [59]. Com o maior rendimento do motor a combustão interna e a facilidade de transporte de combustíveis líquidos, a rede de distribuição de gasolina se expandiu rapidamente, tornando os carros elétricos ainda mais inviáveis [43].

No século XIX, período em que ocorreu a Revolução Industrial, houve a substituição do trabalho manual ou braçal pelas máquinas. Assim, a demanda por recursos energéticos e a necessidade de avanços tecnológicos que mirassem o melhor aproveitamento de tais recursos aumentou, criando então sociedades focadas em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia para os motores [43].

Nesse contexto, o primeiro projeto de motor elétrico surgiu com o húngaro Ányos Jedlik em 1828, contudo, o primeiro veículo elétrico foi construído nos Estados Unidos por Thomas Davenport em 1835. Após esse fato, durante o século XIX, os veículos elétricos começaram a ser adaptados para funcionarem em trilhos. Já o primeiro automóvel a ultrapassar os 100 km/h foi o carro elétrico *La Jamais Contente no Parc agricole d'Achères* - Paris, em 29 de abril de 1899. Projetado por Camille Jenatzy, sua aerodinâmica foi considerada revolucionária.



Figura 1.1 - Primeiro carro elétrico a ultrapassar os 100 km/h

A partir da segunda metade do século XX (meados da década de 70) o tema de veículos elétricos tornou-se mais popular, como consequência da maior atenção em

assuntos relacionados ao meio ambiente, além de fatores como a crise do petróleo que aumentou o preço desse recurso em cerca de 400%. Assim, nas décadas de 1970 e 1980, surge um conjunto de ideias para tentar mudar tal situação, como a utilização de formas de energia limpa e o uso dos carros elétricos, através de iniciativas que buscavam trazê-los para o mercado.

Entre as medidas observadas no Brasil pode-se falar da produção do E-400, primeiro carro elétrico produzido em série no país. Entretanto nem os veículos elétricos puros, nem os híbridos estavam prontos para competir com os veículos convencionais [43] [60].



Figura 1.2 - Gurgel Itaipu E-400

A partir dos anos 1990 o estímulo aos veículos elétricos passou a aumentar, além do surgimento e desenvolvimento de novas tecnologias na área, como por exemplo o caso do estado americano da Califórnia que implementou suas primeiras normas regulatórias de emissão zero. No final da década e começo do século XXI, o Prius, veículo híbrido da Toyota, é lançado e alcança quase 50% do mercado mundial de carros híbridos atualmente.

2. AVALIAÇÃO TÉCNICA

Para esta parte do trabalho, a qual tratará sobre os aspectos relacionados à avaliação técnica, será apresentado primeiramente os automóveis convencionais e posteriormente os elétricos buscando explicar seu funcionamento e as partes mais importantes. Para este último tipo de automóvel serão vistos mais detalhes como os tipos de motorização, a tecnologia utilizada nas baterias e por fim apresentar suas vantagens e desvantagens.

2.1 AUTOMÓVEIS CONVENCIONAIS

Os automóveis convencionais convertem a energia dos combustíveis líquidos em energia mecânica por meio de um motor a combustão interna (MCI), também chamado de motor de explosão interna. O combustível utilizado nesses casos é a gasolina [C_8H_{18}] ou o álcool [C_2H_6O] para os casos de motor *flex*, que possui regulagem intermediária para queimar os dois tipos de combustível. Os termos “combustão” e “explosão” são usados devido a reação de combustão decorrente da mistura do ar e combustível que ocorre dentro do cilindro do veículo o que acarreta na liberação de energia. Seu funcionamento acontece em quatro estágios ou tempos diferentes, por isso também recebe o nome de “motor a quatro tempos” [26], que serão apresentados em seguida.

As partes constituintes do motor são divididas em três partes: Componentes fixos, componentes móveis e componentes auxiliares. Na *Figura 2.1* são especificados em detalhes cada componente e em seguida a *Figura 2.2* explica o funcionamento do MCI.

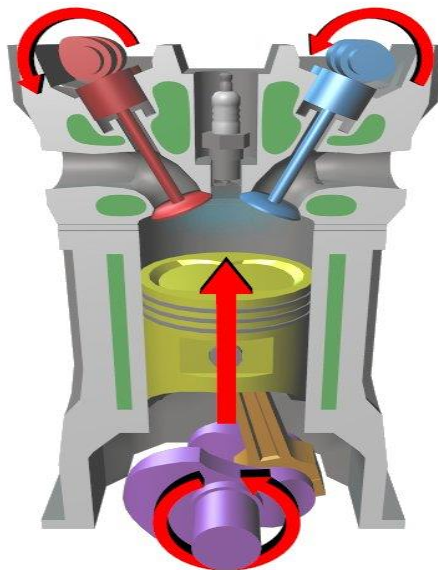


Figura 2.1 - Partes constituintes de um motor à combustão

Fonte: Components parts of internal combustion engines [80]

- Componentes Fixos: Bloco do motor – Cilindro – Cárter – Cabeçote;
- Componentes Móveis: Pistão – Biela – Virabrequim (Árvore de manivelas) - Volante – Válvula – Eixo de comando de válvulas;
- Componentes Auxiliares: Velas – Coletores de admissão e escape – Alternador – Carburador – Flautas - Bicos injetores – Filtros de ar, óleo e combustível – Distribuidor etc.

O funcionamento do motor à combustão interna empregando o Ciclo Otto (mais usual) consiste na seguinte situação: o ar e o combustível são coletados e depois passam cada um pelo seu respectivo filtro. A gasolina ou álcool passam pela flauta e em seguida pelo bico injetor para se misturar com o ar e começar o processo dos quatro tempos. O primeiro tempo é chamado de **admissão**. Quando o pistão está em cima (ponto morto superior), a válvula de admissão abre e o pistão desce, sendo puxado pelo eixo virabrequim. Uma mistura de ar e combustível entra pela válvula para ser “aspirada” para dentro da câmara de combustão que está a baixa pressão. O pistão chega embaixo (ponto morto inferior) e a válvula de admissão fecha, completando o primeiro ciclo do motor. O segundo ciclo chama-se **compressão**, acontece quando o pistão sobe e comprime a mistura de ar e combustível. O terceiro tempo é denominado **explosão ou combustão**. Para iniciar a combustão ($\text{Combustível} + \text{Oxigênio} \rightarrow \text{Dióxido de Carbono} + \text{Água} + \text{Calor}$) da mistura ar combustível que está comprimida solta-se uma descarga elétrica entre dois pontos da vela de ignição. Essa faísca da vela detona a mistura e empurra o pistão para o ponto morto inferior. Para finalizar tem-se a última fase, designada **escape**. Depois da queima de ar e combustível permanecem alguns resíduos, como fumaça, que precisam ser retirados do motor. Isso acontece quando o pistão sobe, a válvula de escape abre e por fim os gases são expulsos pelos canos do escapamento, passam pelo catalisador, componente responsável por reduzir a quantidade de poluentes emitidos e seguem para o abafador para reduzir o barulho. Por fim, a fumaça é liberada para o meio exterior. Esse processo inicia-se novamente e os quatro tempos ocorrem de modo sucessivo [26]. A maioria dos carros atualmente possuem 4 cilindros, porém os tempos não acontecem simultaneamente. Enquanto em um cilindro está acontecendo a admissão, em outro está acontecendo a compressão e assim sucessivamente.

A *Figura 2.2* mostra esquematicamente esse funcionamento:

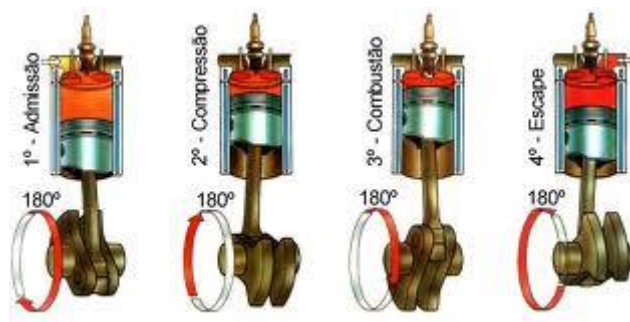


Figura 2.2 - Esquema de funcionamento de um motor à combustão

Fonte: Douglas Amaral 2013-2018 [79]

O motor gira devido a biela estar presa ao virabrequim e os dois executarem um movimento de rotação. Em uma das saídas do virabrequim esse movimento é transmitido

para a caixa de embreagem, passa pela caixa de câmbio e por fim é transmitido para as rodas. A segunda saída faz movimentar uma correia e uma correia metálica. A correia faz mover o compressor do ar condicionado, ou seja, quando o ar é ligado o motor é forçado e consome mais combustível. Ele também faz girar o alternador, que tem como função transformar a energia mecânica em elétrica e recarregar a bateria. Ao ligar o veículo, aciona-se o motor que por meio de suas rotações movimenta a correia do alternador. Esse movimento produz uma corrente alternada que é transformada em contínua por meio de um retificador. Outro equipamento importante nesse processo é o regulador de tensão, responsável por gerenciar a quantidade de carga que passa pelo alternador, a fim de impedir uma sobrecarga. Por fim, a energia é utilizada no reabastecimento da bateria e alimenta todos os dispositivos eletrônicos do automóvel. Já para a correia metálica, sua função consiste em comandar a abertura e o fechamento das válvulas que estão presentes no cilindro.

Vale ressaltar que para se iniciarem os ciclos de combustão é indispensável energia auxiliar para começar a girar os eixos que acionam os pistões e as válvulas de admissão e escape. O motor de partida (arranque) é o motor elétrico responsável por este procedimento, localizado dentro da caixa de marcha, entre o motor e o volante. Quando a chave de ignição é girada este motor é acionado através da energia recebida pela bateria e cria-se um pequeno campo magnético próximo dos campos dos ímãs permanentes, atraindo-os e fazendo girar o induzido. Com isso, o coletor gira fazendo com que o contato das escovas mude, alimentando outra bobina no induzido e assim por diante. Os componentes começam a girar e transmitir esse giro para as engrenagens do motor e assim é dada a partida. Depois que a vela causa a primeira faísca na injeção de combustível o motor de arranque para de funcionar e deixa o motor principal operando sozinho.

Durante o processo de combustão e escape, também chamado de explosão ($c - d$) extrai-se o trabalho necessário para se mover o automóvel. Toda essa energia é fornecida pela expansão da mistura do combustível com o ar. Já no processo de admissão e compressão ($a - b$ e $b - c$) o pistão consome parte da energia, comprimindo o gás. A razão entre os volumes da mistura de ar e combustível no tempo de compressão e escape ($b - c$ e $b - a$) é chamada de taxa de compressão volumétrica. Quanto maior for o valor dessa taxa maior será o rendimento termodinâmico do motor. O automóvel convencional é extremamente ineficiente, pois aproximadamente 20% da energia química é realmente aproveitada para movimentá-lo e mais de 60% da energia do combustível é perdida no MCI [27]. Todo esse processo é representado pelo Ciclo de Otto, como pode-se ver graficamente na *Figura 2.3*.

Ciclo de Otto real

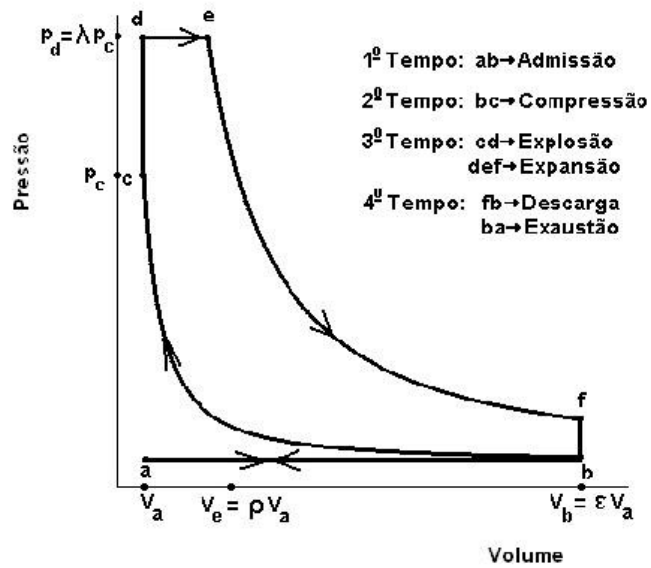


Figura 2.3 - Ciclo Otto de um motor a 4 tempos

Fonte: Máquinas térmicas à combustão interna de otto e de diesel – fernando lang

A figura 2.4 mostra as perdas em um MCI. Os principais tipos de perdas são: baixo rendimento do processo termodinâmico - atrito das partes móveis – perdas aerodinâmicas que ocorrem no bombeamento do ar pelo motor. Percebe-se que a principal causa para a baixa eficiência deste tipo de motor é que a energia absorvida para se realizar o trabalho é realizada somente em um tempo (combustão) dos quatro existentes.

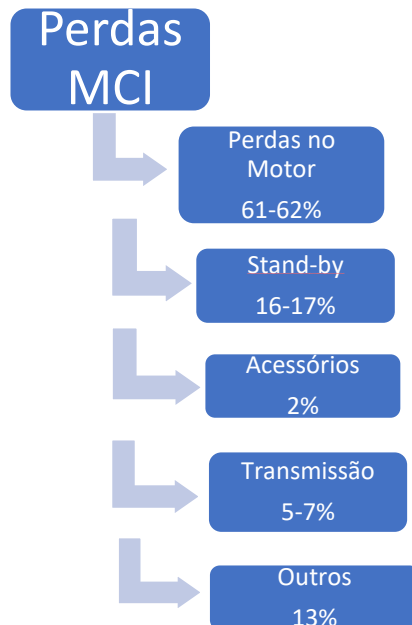


Figura 2.4 - Consumo Energético Médio de um Veículo a Gasolina

Fonte: Adaptado - Kobayashi et al. (2009)

2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Veículo Elétrico, por definição, é aquele acionado/tracionado por pelo menos um motor elétrico para transportar ou conduzir pessoas, objetos ou uma carga específica. Alguns veículos possuem dois motores, um na frente e outro atrás do automóvel. A fonte de alimentação utilizada nesse caso é a eletricidade. É composto por motor elétrico, um banco de baterias e um sistema de acionamento e controle da velocidade. O carro elétrico é simples e compacto pois é constituído por um conjunto de bateria, um inversor, um motor¹ e um sistema de recuperação de energia. Quando comparado ao MCI o motor elétrico apresenta vantagens por possuir menos componentes e por consequência apresentar menor manutenção, e também por ser mais eficiente que no caso do MCI, a eficiência está na faixa dos 20 – 30% de acordo com o ciclo Otto, como descrito anteriormente. Os VE's fazem parte do grupo de veículos denominados zero emissões por não emitirem gases nocivos ao meio ambiente nem ruídos consideráveis durante a sua locomoção. Além disso, a eficiência energética de seus motores pode chegar a mais de 80%, o que os tornam bem mais eficientes do que os veículos equipados com motores à combustão interna [24]

Acerca de seu funcionamento, sabe-se que a velocidade de rotação de um MIT 3ϕ depende da frequência das correntes do estator. A disposição espacial das bobinas e a defasagem no tempo das correntes produzem um campo magnético girante capaz de, por indução eletromagnética, produzir um torque elétrico no motor e acionar mecanicamente o veículo.

Para os motores à relutância ou com imã permanente o mesmo princípio do campo magnético girante do estator é utilizado.

Além de converter a corrente elétrica, o inversor também determina sua frequência e amplitude, de acordo com a pressão que o motorista aplica sobre o pedal do acelerador. No pedal há dois resistores variáveis (potenciômetros) que transmitem um sinal e possibilitam identificar o quanto de energia será necessário. São utilizados dois potenciômetros a fim de evitar possíveis problemas e acidentes, assim o inversor (também pode ser chamado de regulador) recebe o sinal de ambos e verifica se são iguais. Caso forem diferentes, ele ficará inoperante. Se não houver problemas no sinal a quantidade de energia necessária é enviada para o motor fazendo com que o veículo entre em movimento. Quanto mais força o motorista exigir do carro maiores serão a frequência e a amplitude da corrente, o que aumentará o movimento rotacional do campo magnético fazendo o rotor girar mais rápido. Como este processo praticamente não envolve atritos, a capacidade de rotação do rotor pode chegar a 15.000 *rpm* [61]. Com isso, o aproveitamento do torque é instantâneo e constante, dispensando a necessidade de instalação de um câmbio para gerenciar a potência em marchas, por isso há apenas uma marcha num carro elétrico, capaz de fazê-lo atingir sua velocidade máxima. Ademais, o movimento do rotor já está no sentido correto para ser transmitido ao eixo das rodas, não

¹ Foi empregado na explicação o motor de indução trifásico por ser considerado o de melhor entendimento.

existe conversão do movimento vertical para rotacional, como nos veículos convencionais [61].

Em geral há também circuitos que dão aos freios a capacidade de recarregar as baterias pois a força exercida durante as frenagens retorna em forma de energia para elas. Já em um veículo convencional, a desaceleração gera calor e ruído, que é perdido na atmosfera. Outro ponto interessante dos VEs é que as baterias ficam no centro do carro fazendo com que seu centro de gravidade fique baixo dificultando assim as chances de capotar.

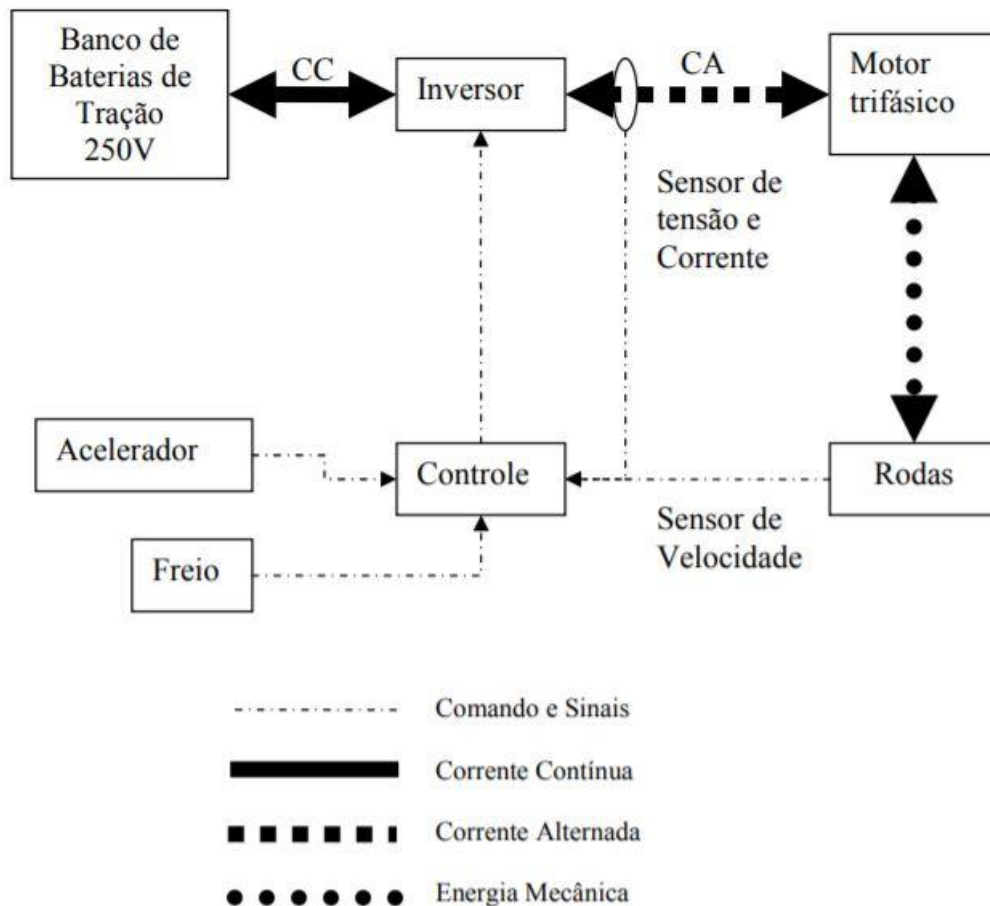


Figura 2.5 – Diagrama de Blocos de Veículo Elétricos

Fonte: Toshizaemom Noe [81]

O motor elétrico converte energia elétrica em energia mecânica usada para dar tração aos automóveis. Os fabricantes de motores elétricos estão a desenvolver vários tipos com vista à aplicação em veículos elétricos. Os chineses têm desenvolvido mais os motores de ímãs permanentes, por possuírem materiais chamados de “terras raras” (lantânio, samário e neodímio). Contrariamente, a agência americana de energia ARPA-E faz grandes investimentos no programa, “Rare Earth Alternatives in Critical Technologies” [66], apesar da diplomacia chinesa ter garantido publicamente que não colocaria problemas à exportação desses produtos para a América.

Existem três tipos principais de motores para os VEs utilizados hoje em dia: motor de relutância variável – motor síncrono de ímãs permanentes – motor de indução [62]. A *Figura 2.5* abaixo representa uma vista da seção transversal de cada um deles.

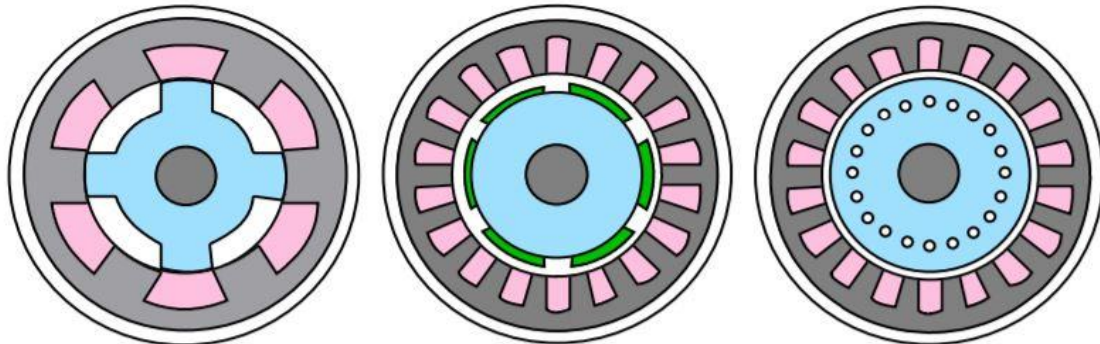


Figura 2.6 - Seção transversal dos motores de relutância variável, motor síncrono de ímãs permanentes e de indução [62]

Fonte: Artigo Controle do motor de indução para veículos elétricos – COPPE UFRJ [62]

Motor de relutância: Os motores de relutância variável ou comutada são interessantes para aplicações de propulsão elétrica por sua construção robusta, controle relativamente simples e baixo custo, pode operar a velocidades elevadas, além de apresentar alta confiabilidade e um bom rendimento. Neste motor tem-se bobinas tanto no rotor como no estator. Essas bobinas criam os campos magnéticos a partir de uma corrente DC fazendo com que as bobinas tendam a se alinhar. A sequência de pulsos de energização das bobinas cria as forças que fazem com que o rotor gire. O tipo de rotor (ferro laminado, com pólos salientes) utilizado permite o funcionamento em temperaturas elevadas. Por outro lado, as maiores desvantagens deste tipo de motor são o alto torque de *ripple* (variação periódica no torque de saída) e uma baixa densidade de potência requerendo motores grandes e pesados, além do ruído acústico. Estes motores precisam, ainda, de uma topologia especial do conversor [63].



Figura 2.7 - Motor de relutância variável [67]

Motor de ímã permanente: O motor de ímãs permanentes é atualmente a opção mais comumente utilizada no projeto de VE, principalmente o motor de CC sem escovas. Isto é consequência de suas altas densidades de torque e de potência, especialmente quando são utilizados ímãs de alta densidade de fluxo magnético. Em um motor BLDC (*brushless DC*) o peso e o volume são significativamente reduzidos para uma determinada exigência de potência. Outras das características favoráveis dos motores BLDC são: sua eficiência maior, inerente à ausência de perdas no rotor e sua melhor dissipação do calor. Esses motores não operam a partir de uma fonte DC, seu nome vem pelo fato deles atuarem segundo o mesmo princípio dos motores DC comuns. Contudo, estes apresentam um elevado custo devido à extração dos ímãs (feitos a partir de terras raras, como o neodímio).

O motor BLCD não possui escovas sendo a comutação feita eletronicamente. Assim, não apresenta problemas relacionados à comutação de escovas, no entanto, o controle acrescenta um custo considerável na sua aplicação devido ao uso de sensores.

Como exemplo para esta aplicação tem-se o Tesla Model 3 Longe Range [69].



Figura 2.8 - Motor de ímã permanente de fluxo radial [67]

Motor de indução: O Motor de Indução é considerado como candidato para a propulsão de VE e VEH devido a sua confiabilidade, robustez, baixa manutenção, baixo custo e sua habilidade para operar em ambientes hostis [65]. Ele funciona com um campo magnético rotativo criado através de uma tensão alternada (monofásica ou trifásica) aplicada aos enrolamentos do estator. O campo magnético do rotor tende a alinhar-se com o campo do estator sendo induzido um conjugado eletromagnético que produz o movimento de rotação do rotor. A velocidade de rotação do rotor tem um ligeiro atraso em relação ao campo magnético girante, devido à carga aplicada ao motor, por isso também é chamado de motor assíncrono. Esse atraso, que também pode ser chamado de escorregamento, representa um aumento de perdas, por efeito joule, o que significará em um menor rendimento do motor. O MI pode ter o rotor em forma de gaiola de esquilo ou bobinado. O motor com rotor bobinado não é muito usual em VEs por possuir coletores com escovas e assim ser mais caro e demandar maior manutenção.

O rotor em gaiola de esquilo é constituído por um núcleo ferroso no qual estão inseridas barras de alumínio (com isolamento) dispostas paralelamente umas em relação as outras e são ligadas nas extremidades por dois anéis. Estas barras condutoras estão dispostas com uma certa inclinação para evitar vibrações devido à ação eletromagnética

entre o rotor e estator. A vantagem do rotor em gaiola de esquilo em relação ao rotor bobinado é ter uma construção mais simples, mais barata, baixa manutenção, porém, não sendo tão eficaz em seu arranque.

O custo destes motores é significativamente inferior ao dos motores síncronos de ímãs permanentes e não requer o uso de “terras raras” cujo monopólio é detido por poucos países. Este fato, aliado à sua simplicidade de construção e fiabilidade, levou a um renovado interesse de algumas marcas de automóveis optarem por esta tecnologia.

Comparados aos motores de ímãs permanentes, os motores de indução têm eficiência e densidade de torque menores, razões pelas quais são mais volumosos e pesados. No entanto, novas técnicas de fundição sob pressão têm permitido a substituição da gaiola de esquilo de alumínio por seu equivalente em cobre. Nestes motores de gaiola de cobre, o tamanho e o peso podem ser consideravelmente reduzidos em comparação com um motor de indução convencional, e a eficiência pode ser melhorada ao ponto de ser superior à do motor de ímãs permanentes de potência similar em altas velocidades.

Pode-se citar o Tesla Model X e Model 3 como utilizadores deste tipo de motor [69].

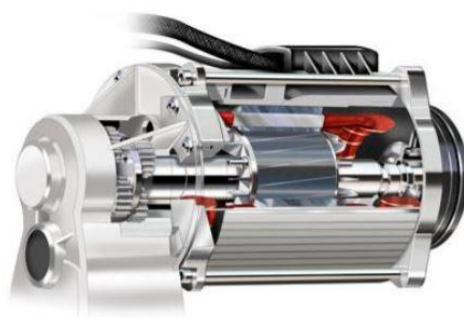


Figura 2.9 - Motor de indução em gaiola de esquilo, acoplado a uma caixa redutora [67]

Com tudo isso apresentado, um estudo apresentado por Zeraouila [65] exibe uma tabela comparativa entre os tipos de motores citados acima e atribui valores de 0 a 5 para cada uma das categorias listadas abaixo, sendo 0 – muito mau e 5 – muito bom.

Tabela 2.1: Comparativo entre os tipos de motores apresentados de acordo com estudo de Zeraouila [65]

	Indução	Imã Permanente	Relutância Variável
Densidade de potência	3,5	5	3,5
Rendimento	3,5	5	4
Controlabilidade	4	4	4
Fiabilidade	5	4	5
Maturidade tecnológica	5	4	4
Custo	5	3	4
Total	26	25	24,5

Fonte: Elaboração própria com base no artigo *Electromobility: Challenging issues* [78]

Os VEs podem ser classificados em diferentes categorias, de acordo com as tecnologias utilizadas nos respectivos veículos. A seguir, serão vistos os tipos e características de cada tipo de veículo elétrico.

2.2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS PUROS (VEP)

Os veículos elétricos puros ou à bateria (VEP's ou VEB's) não possuem um motor a combustão e são inteiramente movidos por energia elétrica, seja proveniente de baterias (grande maioria) que armazenam a energia, por células de combustível, por placas fotovoltaicas ou ligados à rede elétrica. O veículo elétrico puro é pesado em razão do conjunto de baterias e são *plug-in*, isto é, sua bateria é carregada por meio de um cabo que transmite a energia elétrica. A maioria dos carros é recarregada somente na tomada, mas alguns deles tem um pequeno motor a combustão que aciona um gerador para recarregar emergencialmente a bateria (*Vide tópico 2.3*) para evitar a pane seca: o carro parado na rua sem energia para movimentá-lo [33]. Como exemplo deste caso tem-se o “Nissan Leaf”.



Figura 2.10 - Veículo elétrico puro sendo carregado

2.2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS

Os veículos elétricos híbridos combinam um motor de combustão interna com um gerador, uma bateria e um ou mais motores elétricos e sua principal função é reduzir o gasto de energia associado à ineficiência dos processos mecânicos. A maior parte da eficiência dos híbridos está no uso de dois tipos de motores. O motor a combustão (usa o ciclo de Otto) é extremamente ineficiente em baixa rotação (5 a 10%) e alcança sua eficiência máxima em alta rotação (28%) [27]. Por esta razão, nos veículos elétricos híbridos puros o motor elétrico é responsável por mover o carro a baixas rotações. Há quatro principais fatores que podem melhorar a eficiência do veículo elétrico híbrido.

1) Assistência do motor elétrico ao de combustão interna: Em baixa rotação é utilizado o motor elétrico pois produz torque máximo na partida e o motor a combustão é utilizado quando conveniente.

- 2) Desligamento Automático: desligamento automático do carro quando este não se encontra em movimento.
- 3) Tecnologias de recarga de bateria: um exemplo é a frenagem regenerativa que aproveita a energia cinética liberada durante a frenagem transformando-a em energia elétrica.
- 4) Otimização da transmissão: desenvolvimento de um sistema de transmissão eletrônica que permite um número infinito de combinações de rotação e potência, diferentemente dos carros à combustão.

Os tipos de veículos elétricos híbridos são três e estão especificados abaixo:

- **Veículo Elétrico Híbrido Puro (VEHP):** O motor elétrico é o responsável pelo movimento do carro a baixas rotações. O motor a combustão interna é acionado em maiores rotações, isto é, quando o veículo necessita de maior potência. A eletricidade do motor elétrico é proveniente do sistema de frenagem regenerativa. É também chamado de híbrido paralelo pois os dois motores podem movimentar o carro [24]. Um exemplo de veículo nesse segmento é o “Toyota Prius”.
- **Veículo Elétrico Híbrido *Plug-in* (VEHPI):** Motor de combustão continua sendo o principal, porém o veículo pode receber energia diretamente de uma fonte externa através de uma tomada (*plug-in*), por exemplo. Como o híbrido puro também é chamado de híbrido paralelo. Quando comparado ao VEHP geralmente garante maior alcance [24] pois combina dois tipos de alimentação. Como exemplo podemos citar o “Chevrolet Volt”.
- **Veículo Elétrico Híbrido de longo alcance ou de alcance estendido (VEHAE):** Veículo elétrico com motor em série: O motor principal é o elétrico (alimentado diretamente por uma fonte externa) e o motor de combustão fornece energia a um gerador que mantém um nível mínimo de energia na bateria, fornecendo um alcance estendido [24]. Como exemplo nesta categoria tem-se “BMW I3”.

2.2.3 VEÍCULOS À CÉLULA COMBUSTÍVEL

Os automóveis movidos com célula a combustível de hidrogênio usam este gás para produzir energia elétrica e alimentar um motor elétrico. Existem diversos tipos de célula combustível definidas, em geral, pelo tipo de eletrólito. No entanto, a reação química final pode ser sumarizada pela combinação do hidrogênio com o oxigênio produzindo água e energia. A célula a combustível possui baixo impacto ambiental, sem vibrações, sem ruídos, sem combustão e ainda sem emissão de material particulado. O hidrogênio pressurizado pode ser encontrado em estações de abastecimento e leva menos de 10 minutos para completar toda a carga. A autonomia fica em torno de 300 a 500 *km* [25]. Essa alta autonomia garantida pelas células de hidrogênio as torna mais apropriadas para o uso em veículos que percorrem longas distâncias e para usuários que não possuem *plug-in* em suas residências [24]. Uma das grandes vantagens que aparece nesse tipo de veículo é a utilização do modo inativo: desligamento da célula de combustível nos sinais de trânsito ou de parada. Há também em alguns modelos o sistema de frenagem

regenerativa, mecanismo já explicado acima [25]. Lançado em 2015, o Toyota Mirai é um dos veículos atuais que se locomove com essa tecnologia [29].

A introdução das células a combustível em veículos híbridos alavancaria muito seu processo de produção e levaria a custos unitários baixos o suficiente para que elas venham a substituir as baterias e os motores a gasolina, fornecendo uma fonte de energia elétrica acessível, segura, confiável e limpa. Porém, resta um desafio a ser vencido para que as células a combustível cumpram sua promessa de eletricidade limpa: A necessária redução de sua temperatura operacional, que atinge várias centenas de graus centígrados, considerada alta demais para aplicações automotivas [34].

Grande parte dos VEs possuem baterias químicas para armazenar a eletricidade e assim acionar o motor e mover o veículo, a autonomia depende do tipo e modelo do veículo em questão. O tópico a seguir tratará melhor a respeito desse assunto.

2.3 BATERIAS

Bateria, por definição, é um acumulador que transforma energia química em energia elétrica e vice-versa, normalmente por uma reação de oxirredução. O polo negativo é denominado ânodo (ocorre oxidação) e o polo positivo cátodo (ocorre redução). Os elétrons fluem do ânodo para o cátodo gerando energia elétrica. Nos automóveis convencionais, a bateria é responsável por alimentar os sistemas elétricos e eletrônicos e é recarregada por um gerador, o próprio motor a combustão que move o veículo. O tipo mais comum utilizado é a bateria de chumbo-ácido (*PbA*), a qual é a mais produzida no Brasil. As baterias dos veículos elétricos possuem características diferentes. A imagem abaixo representa um exemplo de sua arquitetura. Elas são recarregadas ao se conectar o veículo a uma fonte de eletricidade externa. Os veículos elétricos e híbridos utilizam em grande parte as de íon lítio.

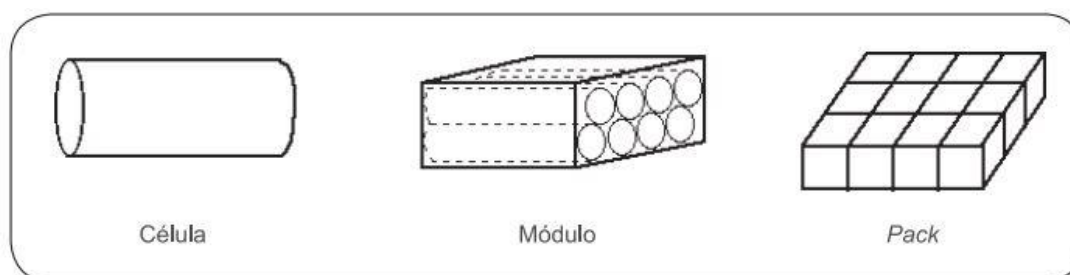


Figura 2.11 – Células, módulos e packs de baterias [78]

Fonte: Artigo Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades – BNDES [78]

Carros como Nissan Leaf (VEP), Toyota Prius (VEHP) possuem além de uma bateria para tração de alta tensão, uma bateria de chumbo-ácido como as encontradas nos veículos tradicionais, de baixa tensão que tem como função acionamento dos sistemas auxiliares. A utilização de uma segunda bateria nos veículos elétricos tem o propósito de dispensar a adaptação dos sistemas auxiliares para não aumentar ainda mais o custo deste

automóvel [28]. A bateria de íon-lítio, a principal, de um Nissan Leaf possui 24 módulos com 8 células de energia em cada módulo. Cada uma dessas 192 células possui 3,65V com capacidade de 56,3Ah o que resulta em um total de 700V e aproximadamente 10.800h . Por fim, a potência fornecida é de 40kWh [61].

Abaixo segue um quadro explicativo acerca dos tipos de baterias aplicáveis para cada tipo de veículo, partindo do convencional (zero grau de hibridização) para o híbrido *plug-in* e elétrico puro.

Tabela 2.2: Comparativo dos tipos de bateria

Tipo de Veículo	Convencional	Híbrido Puro	Híbrido <i>Plug-in</i> e Elétricos Puros
Funções	- Alimentação dos sistemas elétricos - Ignição eletrônica - Injeção eletrônica - Vidro elétrico - Computador de bordo - Alarme - Trava elétrica - Som automotivo	- Start-stop - Frenagem regenerativa - Assistência na aceleração - Propulsão elétrica	- <i>Start-stop</i> - Frenagem regenerativa - Assistência na aceleração - Propulsão elétrica (distância estendida)
Potência Motor Elétrico	-	30kW	50kW(VEHP) 90kW (VE)
Baterias Aplicáveis	PbA	NiMH Íon-lítio	Íon-lítio Sódio-Cloreto (Zebra) ²

Fonte: *Elaboração própria com base no artigo Electromobility: Challenging issues [78]*

As baterias de íon-lítio constituem a maior aposta para equipar os veículos elétricos e híbridos. Embora o princípio de funcionamento pareça semelhante aos demais tipos de bateria, se diferencia pelo fato de o íon de lítio não passar por reações de oxirredução. Dessa forma, os íons são transferidos do eletrodo negativo para o positivo por meio do eletrólito. Como o lítio é um elemento pequeno e leve, as baterias que o usam

² Zeolite Battery Reserach Africa Project – Nome comercial utilizado para a bateria de Sódio-Cloreto.

como base apresentam maiores densidades de potência e energia. A energia específica dessa bateria é duas vezes maior em comparação à energia das baterias *NiMH* e quatro vezes maior em relação a *PbA* [28]. Apresenta também reduzida agressividade ao meio ambiente quando comparada à *PbA* e a de níquel-cádmio. Por esses fatores e devido ao seu tamanho e preço baixo as baterias de íon-lítio tornam-se boas candidatas aos VE's.

Tabela 2.3 - Comparativo entre as baterias

	Energia (Wh/L)	Vida Útil (ciclos)	Custos	Segurança	Problemas
<i>PbA</i>	60 – 75	200 – 300	<i>X</i>	Estável	Baixa energia
<i>NiMH</i>	60 – 120	300 – 500	3 <i>X</i>	Estável	Opção intermediária
<i>Sódio – Cloreto (Zebra)</i>	350	> 1.000	3 <i>X</i>	Estável	Desenvolvimento limitado a uma empresa
Íon – Lítio³	250 – 730	> 1.000	5 <i>X</i>	Necessitam de proteção	Segurança

Fonte: Elaboração própria com base no artigo Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades – BNDES. [78]

Devido a seu custo reduzido e melhor desempenho, as baterias de íons de lítio (*li – ion*) têm sido mais adotadas por fabricantes de VEs. Os gráficos seguintes mostram as capacidades das baterias de alguns modelos de veículos elétricos a bateria e híbridos puros nos Estados Unidos. Observa-se que, geralmente, para os veículos elétricos puros (VEPs), quanto maior a capacidade da bateria, maior a autonomia do carro. No caso dos híbridos puros, essa relação não é tão presente [24].

³ Para fins de comparação foi escolhido o NMC (Lítio-níquel-manganês-cobalto, ou LiNiMnCo) para o tipo de íon-lítio

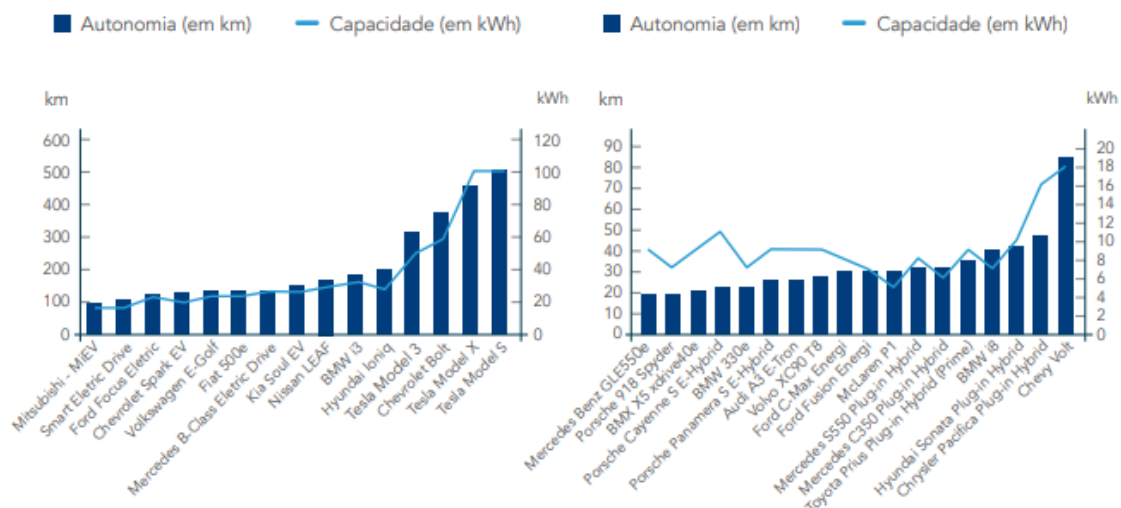


Figura 2.12 - Relação autonomia – capacidade das baterias, em modelos de VEP's (esquerda) e de VEHP (direita) nos EUA

Fonte: Carros Elétricos. Colaboração: Accenture – FGV Energia. Maio 2017, Ano 4, Nº 7. [24]

Atualmente no Brasil não há empresas que produzem baterias de níquel-metal hidreto (*NiMH*) ou de íon-lítio (*li - ion*). Entretanto, estudos coordenados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) apontam que a região do Médio Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais possui um total de 17.750 quilômetros quadrados de lítio, tornando assim a nação brasileira detentora de 8% das reservas mundiais [37]. Com todo esse potencial, empresas como “ Grupo Moura” se prepara para a transição rumo à eletrificação dos veículos [38].

Estão sendo desenvolvidas melhorias tecnológicas e outras combinações de materiais para as baterias e os pontos positivos e negativos para se maximizar e minimizar, respectivamente, estão expostos na *Tabela 2.4* abaixo.

Tabela 2.4 Pontos para maximizar e minimizar em uma bateria

Maximizar	Minimizar
- Confiabilidade	- Tempo de recarga
- Tempo de uso até nova carga	- Peso e volume da bateria
- Desempenho	- Custo e agressividade ao meio ambiente
- Densidade Energética	
- Faixa de temperatura de operação	
- Vida útil	
- Segurança das baterias	

Fonte: Elaboração própria.

Um dos desafios do desenvolvimento tecnológico está relacionado com a segurança e a operação equilibrada quando as cargas são interligadas em série ou paralelo, pois o eletrólito opera em uma faixa bem definida de tensão. Caso esses limites sejam ultrapassados podem ocorrer reações exotérmicas, culminando na explosão e queima da bateria.

Uma maneira de viabilizar a utilização da bateria é a inserção de um circuito eletrônico na célula a fim de controlar sua operação e evitar situações de risco, como: sobrecarga, subcarga, temperatura elevada, curto circuito etc. Se um dos limites é ultrapassado o circuito desabilita a bateria prevenindo a ocorrência desses riscos. Esse sistema é conhecido como BMS - *Battery Management System*, que além de monitorar a bateria pode monitorar essas condições comunicando-se com o condutor ou interagindo aos demais sistemas veiculares [28].

O gráfico da *Figura 2.13* mostra a evolução de custo (eixo vertical à esquerda) que caiu em aproximadamente 75% desde 2008, enquanto a densidade das baterias (eixo vertical à direita) cresceu mais de 330% no mesmo período – e projeções para 2022, que apontam para aumento da densidade e queda do valor do *kWh* [24]. Neste mesmo estudo a meta para a densidade de energia volumétrica no ano de 2022 é que chegue próximo aos *400Wh/L* e que a bateria custe aproximadamente *US\$100/kWh*.

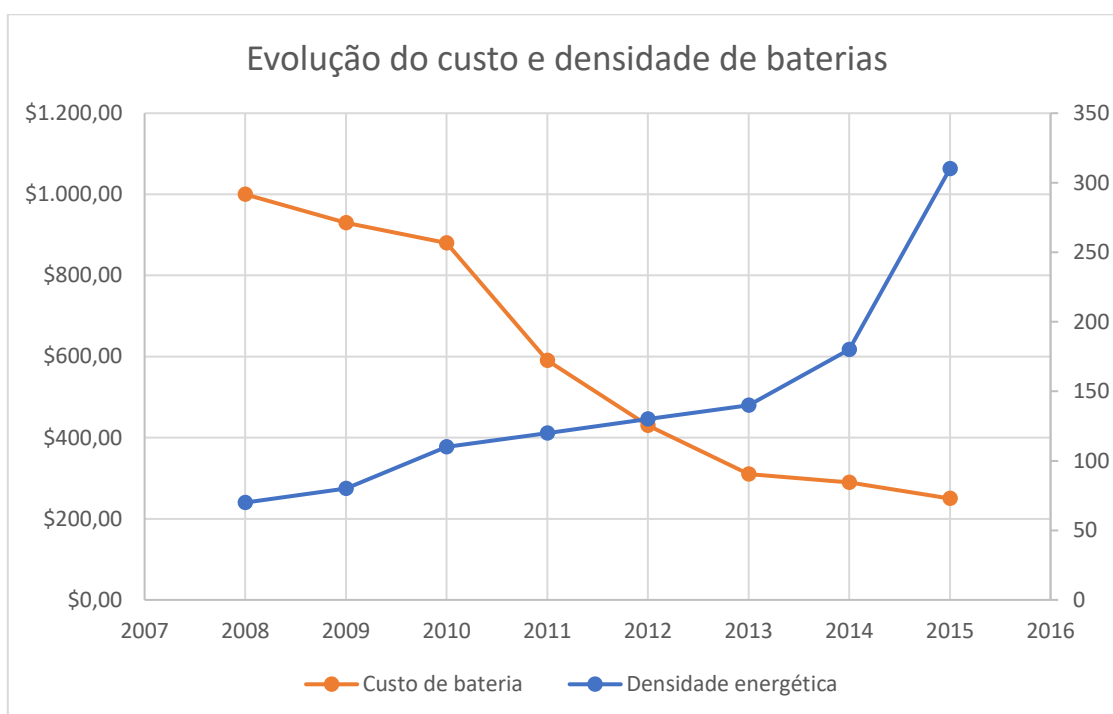


Figura 2.13 - Evolução do custo e densidade de energia volumétrica das baterias [24]

Fonte: Global EV Outlook, IEA, 2016.

Por tudo isso apresentado, pode-se perceber que a maior difusão dos veículos elétricos está intimamente ligada ao desenvolvimento das baterias. Em particular, para baterias de cloreto de sódio e níquel, as prioridades de pesquisa visam melhorias no processo de produção e integração de sistemas, bem como redução de custos. Já para

baterias de íons de lítio, os pontos negativos, e que podem ser melhorados, é a necessidade de circuito de proteção e o seu custo elevado. Melhorar a densidade energética das baterias é importante pois, quanto maior sua densidade energética, mais eficiente seu sistema de armazenamento de energia se torna. Estas melhorias, por sua vez, resultarão em baterias e, conseqüentemente, veículos elétricos mais leves, menores, com maior autonomia e mais baratos [24].

2.4 ASPECTOS TÉCNICOS E AMBIENTAIS

2.4.1 MECÂNICA

Como já visto acima, os motores elétricos são mecanicamente muito simples e chegam a atingir 80% de eficiência na conversão de energia em toda a gama de velocidades e potência. Eles também podem ser combinados com sistemas de freios regenerativos que têm a capacidade de converter a energia do movimento novamente em eletricidade armazenada. Isso pode ser usado para reduzir o desgaste dos sistemas de freio e reduzir o total de energia necessária para uma viagem. A frenagem regenerativa é especialmente eficaz para o uso na cidade em momentos de partida e parada.

Os veículos elétricos proporcionam alto torque a partir do repouso, diferentemente dos motores de combustão interna, e não precisam de várias marchas para se adequar às curvas de potência. Isso elimina a necessidade de caixas de câmbio e conversores de torque. Os VE's oferecem uma operação mais silenciosa e suave e, conseqüentemente, têm menos ruído e vibração do que os motores de combustão interna.

2.4.2 TIPOS DE CARREGAMENTO

Todo carro elétrico pode ser recarregado a partir de uma tomada. Existem três principais tipos de carregamento estático: carregamento em casa; *wallbox*; e carregamento em eletropostos.

O carregamento em casa (carga lenta) pode acontecer em tomadas de 110V ou 220V. De acordo com o padrão recomendado pela NBR-5410 as de 110V podem ser 10A ou 20A e as de 220V a capacidade de corrente é de 20A. Quanto maior for a relação tensão-corrente menor será o tempo de carregamento devido à maior potência. Por esta via o carregamento é concluído entre 15h a 20h.

O *wallbox* (carga semirrápida) é um carregador de parede com a instalação feita em tomada trifásica, que aguenta maior carga de potência [70]. O que muda em uma tomada trifásica é o fato de haver uma maior entrega de potência para carregamento, uma vez que a 380V (tensão de linha) e a 20A sua capacidade de entrega aumenta para 13.200W, reduzindo o tempo de recarga para próximo das 8 horas [70].

Já o terceiro tipo e mais eficiente é o carregamento em postos de recarga públicos e privados (carga rápida), capazes de abastecer 80% da bateria em 1 hora, quase sempre

de forma gratuita. Em qualquer posto não há cobrança. Por lei, é proibido cobrar qualquer taxa ou tarifa por uso de energia em locais públicos. No caso de shoppings ou estacionamentos, o cliente teria que pagar o preço cobrado no estacionamento, mas não pelo serviço de carregar [70].

Um fator importante a se observar é o tipo de plugue empregado nos locais de recarregamento. Como existem três padrões diferentes: norte-americano, europeu e japonês, para a expansão da mobilidade elétrica no Brasil é necessário definir qual das características de *plugues* deverá ser adotada.



Figura 2.14 – Três diferentes padrões de plugues para carregamento

2.4.3 MEIO AMBIENTE

Os VEs além de não liberarem gases poluentes no ar também geram menos poluição sonora que um veículo com motor de combustão interna, seja em repouso ou em movimento. A energia que os carros elétricos e híbridos consomem é geralmente gerada por fontes que geram impactos ambientais, como por exemplo a extração de determinada substância química para a composição da bateria. No entanto, a adaptação dos VEs traria um benefício ambiental líquido significativo, exceto em alguns países que continuam a depender de usinas de energia a carvão mais antigas para a maior parte de sua geração de eletricidade ao longo da vida útil do carro [30].

Um estudo feito pela *Cambridge Econometrics* [31] mostra os potenciais benefícios da redução da poluição do ar com os VEs. De acordo com um dos cenários do estudo, a Europa estaria no caminho de reduzir as emissões de CO_2 dos carros em 88% até 2050. As melhorias tecnológicas associadas reduziriam os óxidos de nitrogênio tóxicos (NOx) dos carros de cerca de 1,3 milhões de toneladas por ano para cerca de 70.000 toneladas no mesmo período [31].

Vale citar também o impacto ambiental, na produção e exploração do lítio para as baterias dos VEs. O lítio é um metal raro, cuja exploração libera toxinas que são danosas à saúde dos mineradores e ao meio ambiente. Sua extração ocorre em pequenas quantidades e em locais de difícil acesso, sendo necessário um grande esforço de mineração para se conseguir pequenas quantidades do metal. Os resíduos da extração são,

geralmente, liberados na natureza [24]. A atividade de mineração também possui emissões “escondidas”. Quanto mais difícil, maior a possibilidade de a extração requerer equipamentos potentes, que consomem energia nem sempre de fontes renováveis. Como um todo, dependendo do modelo, estima-se que um VE emita entre 15% a 68% mais gases de efeito estufa que um veículo convencional durante sua produção – esta desvantagem, contudo, é superada após a utilização do veículo dentre 6 a 18 meses, dependendo de como a eletricidade que o abastece é gerada, e dura pelo restante da sua vida útil. No final desta, VEs emitem aproximadamente metade da quantidade de GEE que veículos à combustão interna [24]. Por fim, os componentes das baterias podem ser reciclados no final da vida útil dos veículos – atividade que vem, cada vez mais, se desenvolvendo à medida que o mercado de carros elétricos evolui e que ocorra uma maior padronização mundial dos componentes das baterias. Além disso, a bateria como um todo pode ser reutilizada em outros veículos elétricos ou como recurso energético distribuído de armazenamento de energia em residências e na rede elétrica – uma vertente que pode, inclusive, dar desenvolvimento a novas oportunidades de negócios [24].

2.4.4 EMISSÃO DE CO₂

Sabe-se que a concentração de gases de efeito estufa aumenta periodicamente e que o principal deles é o CO₂ causando o aquecimento global e alterando o padrão climático. O uso intensivo de combustíveis fósseis como carvão mineral, gás natural e derivados do petróleo é considerada a principal causa. E isso acaba por acarretar em diversos efeitos na natureza, tais como: secas longas, chuvas intensas, ondas de frio e calor, furacões etc.

A *Figura 2.14* ilustra a participação do setor de transportes nas emissões de CO₂ mundiais no ano de 2017, sendo o setor que mais emite gases de efeito estufa após o setor de Eletricidade/Calefação, emitindo um total 8,04 *gigatoneladas de CO₂* no ano de 2017, o que correspondeu a cerca de 25% das emissões totais de CO₂ em 2017 [76].

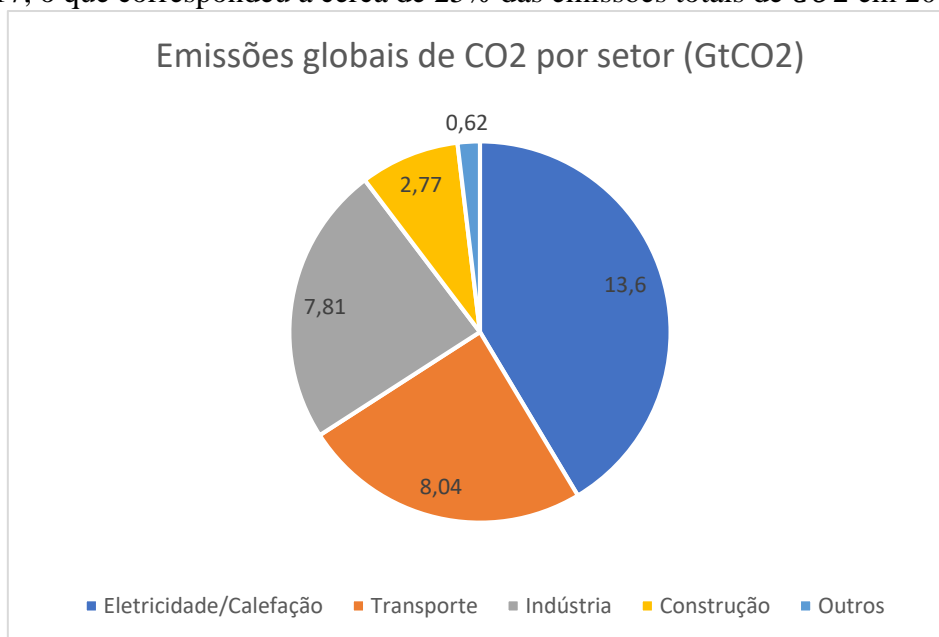


Figura 2.15 – Emissões globais de CO₂ por setor (GtCO₂) no ano de 2017 [76]

Por estas razões, a sociedade de uma forma geral, se preocupa com a gestão de carbono sendo considerada na avaliação de riscos socioambientais e no estabelecimento de metas de eficiência.

Os veículos elétricos, como já é sabido, possuem emissão zero de CO_2 no tráfego rodoviário. Porém, a produção de baterias e sua recarga podem gerar até mais CO_2 que os automóveis a diesel ou a etanol, a depender de como se gera a energia elétrica no país. Vale ressaltar que um veículo convencional emite cerca de 150 gramas de CO_2 por quilômetro rodado, ou seja, considerando um veículo que roda entre 20.000 e 30.000 quilômetros por ano, gera entre 3 e 4,5 toneladas de CO_2 por ano, logo essa é a quantidade média de gás carbônico que um veículo elétrico deixa de emitir anualmente em comparação com um veículo a combustão convencional, considerando tais condições [77]. Para países que tem uma matriz energética baseada em fontes renováveis o VE configura-se como uma ótima opção. Esse fator chega a depender do local e hora em que o veículo é carregado. O Sistema Interligado Nacional (SIN) controla o fluxo e a fonte de energia, e em um dado momento a energia que abastece o VE pode vir de uma hidrelétrica enquanto em outro momento pode vir de uma usina a carvão [55].

Apesar de todas as questões referentes ao tipo de geração da energia que abastece os VEs, pode-se observar como vantagem que ele transfere a poluição que estaria sendo gerada na cidade (onde há um grande número de pessoas) para um local fora dela, distante dos grandes centros. O impacto na saúde das pessoas é positivo.

O relatório da Agência Europeia do Ambiente (AEA) [57] aponta que o processo de produção dos veículos elétricos é mais prejudicial ao meio ambiente do que a produção dos carros tradicionais. Entretanto, a compensação vem na hora da circulação: os VEs emitem muito menos gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos em seu ciclo de vida do que os motores movidos a gasolina ou diesel.

2.4.5 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Dentro do contexto de sustentabilidade, vale destacar o conceito de desenvolvimento sustentável. De acordo com a WWF - *World Wide Fund for Nature*, a definição mais aceita para esse termo é o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações, não esgotando os recursos para o futuro. Essa definição surgiu na Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pelas Nações Unidas para discutir e propor meios de harmonizar dois objetivos: o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental [42].

Para seguir esse conceito e atender as metas de sustentabilidade foi criada uma Agenda de Desenvolvimento Sustentável pela ONU. Esta agenda é formada por 17 metas globais envolvendo temas relacionados a saúde, educação sustentabilidade, entre outros, que devem ser implementados por todos os países do mundo até o ano de 2030.



Figura 2.16 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU

Deste modo, percebe-se que veículos elétricos e os veículos híbridos estão alinhados com os objetivos de número 9, 11, 12, 13 por proverem uma inovação em relação aos meios de transporte adotados atualmente e desenvolver a indústria responsável por este setor. Tornam as cidades mais sustentáveis por reduzirem a emissão de CO_2 combatendo assim as mudanças climáticas e seus impactos, além de serem mais eficientes e apresentarem menores custos de manutenção e por *km* percorrido em relação aos automóveis convencionais.

3. SITUAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO MUNDO

Depois de serem superados pelos veículos a combustão, os veículos elétricos voltam ao mercado com a promessa de assumir um papel importante na frota automotiva mundial. Vários países adotaram essa nova política devido à preocupação com questões ambientais, avanço da tecnologia e segurança energética.

Como foi dito, entre 1900 e 1920 os automóveis elétricos dominaram o mercado americano. Baixos níveis de ruído, inexistência de marchas e vibrações eram as grandes vantagens percebidas. A autonomia não era um fator preocupante pois as malhas viárias eram precárias concentrando assim as melhores vias em perímetros urbanos. Entretanto, com a facilidade do uso de petróleo, com a descoberta de grandes reservas petrolíferas no Texas; o barateamento dos veículos a combustão interna graças à produção em massa criada por Henry Ford; as limitações de velocidade dos veículos elétricos que impedia sua utilização em trajetos mais longos foram aspectos relevantes para o fracasso deles. Assim, os veículos a combustão foram conquistando seu espaço mais facilmente com o surgimento da partida elétrica e a melhoria das vias de rodagem.

Agora, para o século XXI, os carros elétricos voltam à tona por conta de assuntos como: preocupações ambientais, volatilidade do mercado de petróleo e o desenvolvimento da tecnologia das baterias.

Assim entendendo esse contexto de mudança de realidade, onde os veículos elétricos estão tornando-se mais populares, esta sessão estuda o contexto dos veículos e da mobilidade elétrica em alguns países do mundo, considerados referências, como Noruega, Japão, Estados Unidos, e China, buscando entender a realidade específica e como está ocorrendo a implementação dessa tecnologia em cada um dos países citados, para assim, posteriormente, buscar entender a realidade brasileira.

3.1 NORUEGA

A Noruega é um país referência, no que tange o uso de veículos elétricos (VEs), em todo o mundo. De acordo com dados da revista Forbes [1], quase 60% dos carros novos vendidos na Noruega durante o mês de março de 2019 eram totalmente movidos a eletricidade. É a estatística recorde envolvendo os registros de veículos elétricos no país, ressaltando que a nação escandinava quer impedir as vendas de carros movidos a combustíveis fósseis até 2025 [1].

De acordo com dados da indústria, um total de 11.518 VE's foram registrados na Noruega durante o primeiro trimestre de 2019, o dobro do ano anterior. O novo Tesla Model 3, o Nissan Leaf e o Volkswagen Golf GTE são responsáveis pela maioria dos registros [1].

A Noruega é o país que proporcionalmente apresenta mais VE's em todo o mundo, tais resultados são possíveis em grande parte pelo sistema de tributação ao veículo. As

taxas de registro de veículos na Noruega, calculadas de acordo com o valor do carro, peso do carro, emissões de *CO2* e emissões de *NOX*, têm sido muito altas desde a década de 1960. Desde 1990, no entanto, os veículos elétricos à bateria estão isentos do imposto de registro e, desde 2001, do imposto sobre o valor agregado - IVA (25%). Além disso, estão sujeitos a um imposto anual reduzido [2].

Em março de 2014, a Noruega se tornou o primeiro país em que um a cada 100 carros de passeio, que estavam nas ruas, eram veículos elétricos plug-in; a penetração no mercado passou de 5% em dezembro de 2016 e atingiu 10% em outubro de 2018. [3] [4] [5]. A participação de mercado da Noruega no segmento de vendas de veículos plug-in tem sido a maior do mundo durante anos, alcançando 39,2% em 2017, ante 29,1% em 2016 e 49,1% em 2018 [6] [7].

Os gráficos abaixo baseados em dados da Federação Norueguesa de Estradas (OCV) [6] demonstram a situação dos veículos elétricos na Noruega. O primeiro (*Figura 3.1*) representa o aumento no número de registros de veículos elétricos *plug-in* na Noruega entre os anos de 2004 e 2018, já o segundo (*Figura 3.2*) demonstra a distribuição de automóveis de passageiros por tipo de combustível no final do primeiro trimestre de 2019.

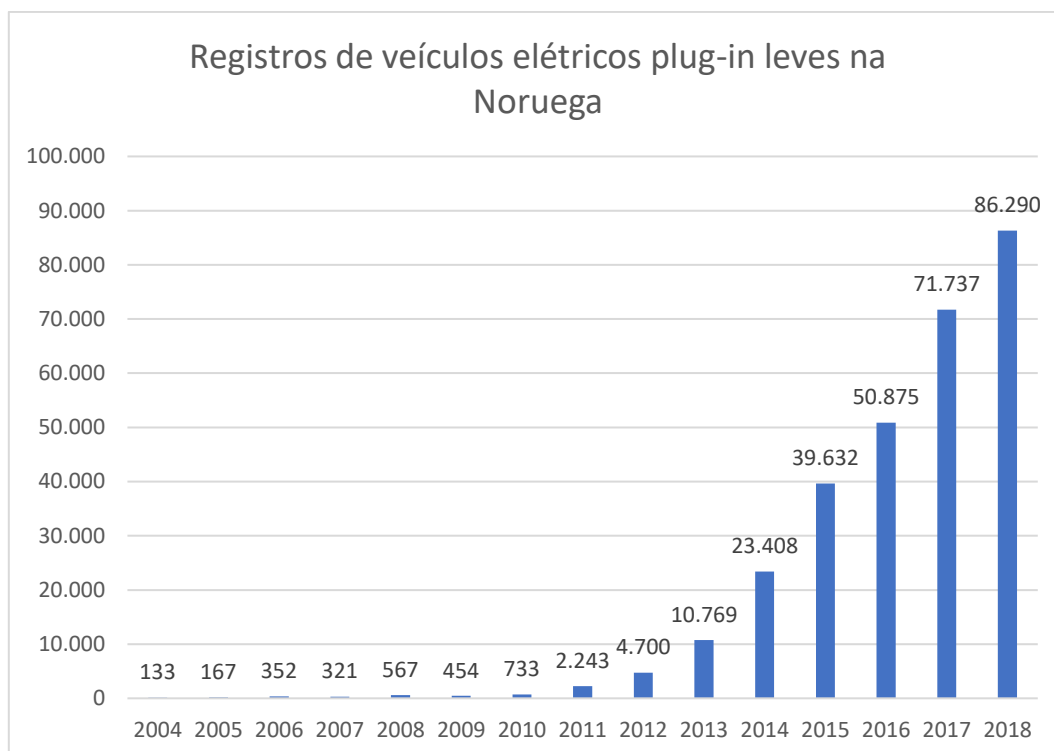


Figura 3.1 - Registros de veículos elétricos plug-in na Noruega entre 2004 e 2018 [6]

Dados do artigo *Electromobility: Challenging issues* [2] apontam que o número de veículos elétricos *plug-in* registrados na Noruega totalizou 296.214 unidades no final de dezembro de 2018, consistindo em 200.192 automóveis totalmente elétricos e 96.022 híbridos *plug-in*. Em dezembro de 2018, o país tinha o maior estoque europeu de veículos *plug-in* e o terceiro maior do mundo depois da China e dos EUA. A Noruega, desde 2016, apresenta a maior venda desse tipo de veículo na Europa por três anos consecutivos [8][9].

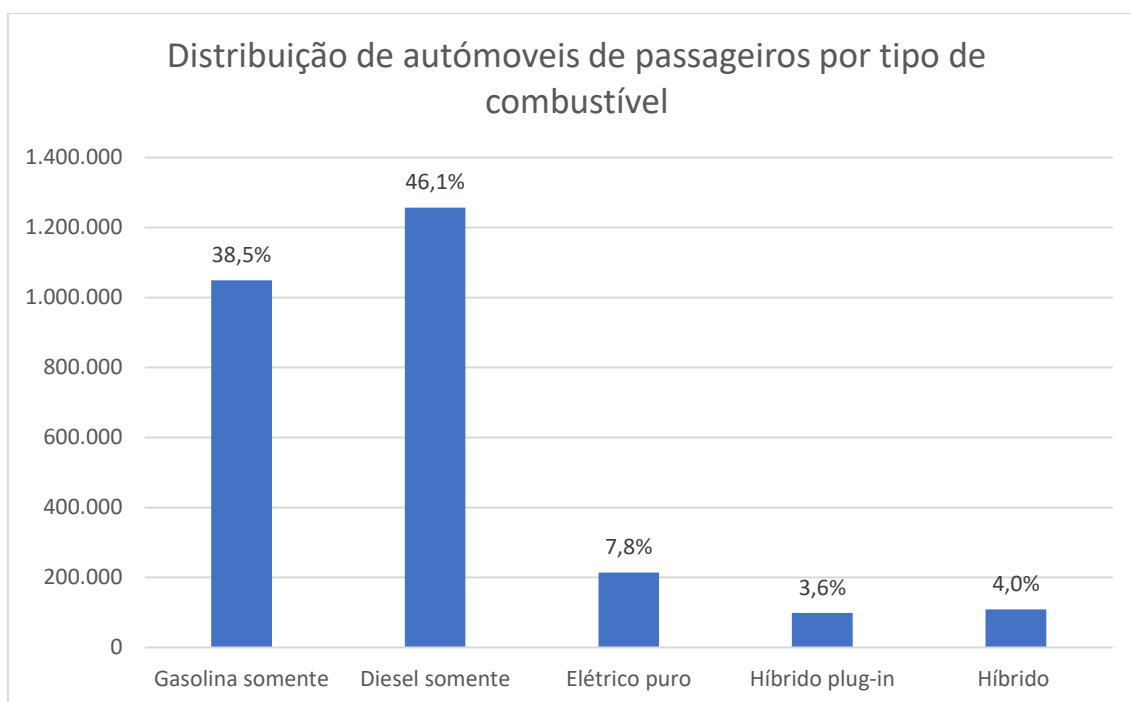


Figura 3.2 - Distribuição de automóveis de passageiros por tipo de combustível no final do primeiro trimestre de 2019, na Noruega [6]

Os proprietários de VEs podem esperar usufruir de benefícios como redução do custo de energia, menor custo de troca de óleo, taxas mais baixas para serviços anuais, pacotes locais de incentivo, acesso gratuito a rodovias, economia de tempo graças ao acesso às faixas exclusivas para ônibus, estacionamento gratuito e custo reduzido para balsas na costa oeste.

Apesar de sua reputação como um importante participante da indústria petrolífera, quase toda a energia doméstica da Noruega vem da energia hidroelétrica. Como grande parte da eletricidade do país é renovável, mudar para os VE's é uma solução muito mais ecológica do que seria para os países cuja eletricidade é proveniente de usinas movidas a carvão, altamente poluidoras. O governo norueguês investiu pesado em incentivos financeiros e na infraestrutura de carregamento dos veículos. Além disso, os custos de energia são menores na Noruega do que em outros países europeus, ou seja, o preço da eletricidade para produzir e abastecer os veículos elétricos é menor, já que a eletricidade é muito barata graças à energia hidroelétrica, enquanto o gás e o diesel têm um custo muito alto. Para fins de comparação, devido a Noruega utilizar mais fontes de energia renovável na França a economia é 24% menor do que na Noruega [2]. Já na Alemanha, país ainda menos vantajoso para veículos elétricos, 56% à menos [2].

O típico proprietário de um veículo elétrico à bateria na Noruega é um comprador mais jovem que a média, 80% vêm de famílias com vários veículos e tem filhos menores de 18 anos. Eles também mostram necessidades significativas de transporte, cobrindo longas distâncias para ir trabalhar e morar nos arredores de cidades. Com isso, consideram que o veículo elétrico atende às suas necessidades como um dos veículos domésticos,

graças aos custos reduzidos do usuário, aos fortes incentivos e ao respeito pelo meio ambiente. Pesquisas apontam que 88% dos proprietários atuais afirmam que comprariam um veículo elétrico novamente; apenas 1% não [2].

Como resultado das políticas bem-sucedidas implementadas para promover a adoção de VEs, o estoque de veículos elétricos na Noruega aumentou rapidamente, resultando em algumas consequências não intencionais e levantando queixas. Incluindo: a possibilidade de congestionamento do tráfego em algumas faixas de ônibus de Oslo devido ao crescente número de carros elétricos; a perda de receita para alguns operadores de balsas devido ao grande número de carros elétricos isentos de pagamento; e a falta de vagas de estacionamento para proprietários de carros convencionais devido à preferência por carros elétricos (embora essa fosse realmente a política pretendida) [10][11].

Um outro ponto interessante é que a mobilidade elétrica na Noruega tende a estender-se além dos carros. A “Avinor”, operadora estatal da maioria dos aeroportos do país, recebeu uma encomenda do país norueguês para que toda a aviação doméstica seja eletrificada até 2040. Entretanto, o voo de demonstração ocorrido em agosto de 2019 não obteve sucesso pois o avião utilizado: Alpha Electro G2 caiu em um lago e ficou parcialmente submerso por motivos ainda não revelados. Outro fato que mostra o interesse e a busca pela mobilidade elétrica na Noruega é que a Airbus assinou um memorando de entendimento (MdE) com a *SAS Scandinavian Airlines* para realizar pesquisas sobre os pré-requisitos de ecossistemas e infraestrutura de aeronaves híbridas e elétricas [36]. As duas empresas trabalharão de maneira colaborativa visando aprimorar o conhecimento sobre as oportunidades e desafios de operação/infraestrutura na introdução em larga escala em aeronaves completamente elétricas ou híbridas.

3.2 JAPÃO

O contexto dos veículos elétricos no Japão apresenta cinco categorias principais de veículos: o veículo elétrico híbrido puro (VEHP), cujo motor é movido a combustão; o veículo elétrico híbrido de plug-in (VEHPI), que também usa motor elétrico, e pode funcionar a gasolina ou eletricidade; o veículo elétrico a bateria (VEB), mais frequentemente designado por “veículo elétrico” (VE), cuja força motriz do motor é apenas a eletricidade; o veículo elétrico a bateria com extensor de alcance (VEHAE), atraindo uma grande atenção no Japão, que funciona com um pequeno gerador e requer eletricidade ou gasolina; e o veículo a célula combustível (VCC), menos popular no Japão, que funciona com um motor e usa hidrogênio como fonte de combustível. O VEB é mais adequado para percursos mais curtos, compartilhamento e mobilidade pessoal; o VEHP e o VEHPI são vistos como bons veículos de passageiros; e o VCC é melhor para longas distâncias e veículos maiores (ônibus roteados, caminhões pesados, caminhões de entrega etc.) [2].

Em dezembro de 2018, a frota de VEHPI leves no Japão totalizava cerca de 257.300. Em 2017, o estoque japonês consistia em 104.490 carros totalmente elétricos (50,9%) e 100.860 híbridos plug-in (49,1%) [11].

As vendas de veículos plug-in totalizaram 24.660 unidades em 2015 e 24.851 unidades em 2016. A taxa de crescimento do segmento de plug-in japonês diminuiu a partir de 2013, com as vendas anuais ficando atrás da Europa, EUA e China durante 2014 e 2015. A participação de mercado do segmento caiu de 0,68% em 2014 para 0,59% em 2016. As vendas recuperaram-se em 2017, com quase 56.000 carros vendidos, e a participação de mercado do segmento atingiu 1,1%. As vendas caíram ligeiramente em 2018 para 52.000 unidades, com uma participação de mercado de 1,0% [12][13].

A queda nas vendas de carros plug-in juntamente com a iniciativa do Japão de desenvolver tecnologias de armazenamento de hidrogênio reflete a decisão do governo japonês e das grandes montadoras de adotarem e promoverem veículos movidos a célula de combustível de hidrogênio em vez de veículos elétricos plug-in [14]. A facilidade de reabastecimento é outro motivo pelo qual os consumidores japoneses estão cada vez mais escolhendo o hidrogênio.

O gráfico abaixo mostra uma comparação do número de veículos elétricos plug-in nos principais países como Japão, China, Estados Unidos, Reino Unido e Noruega.

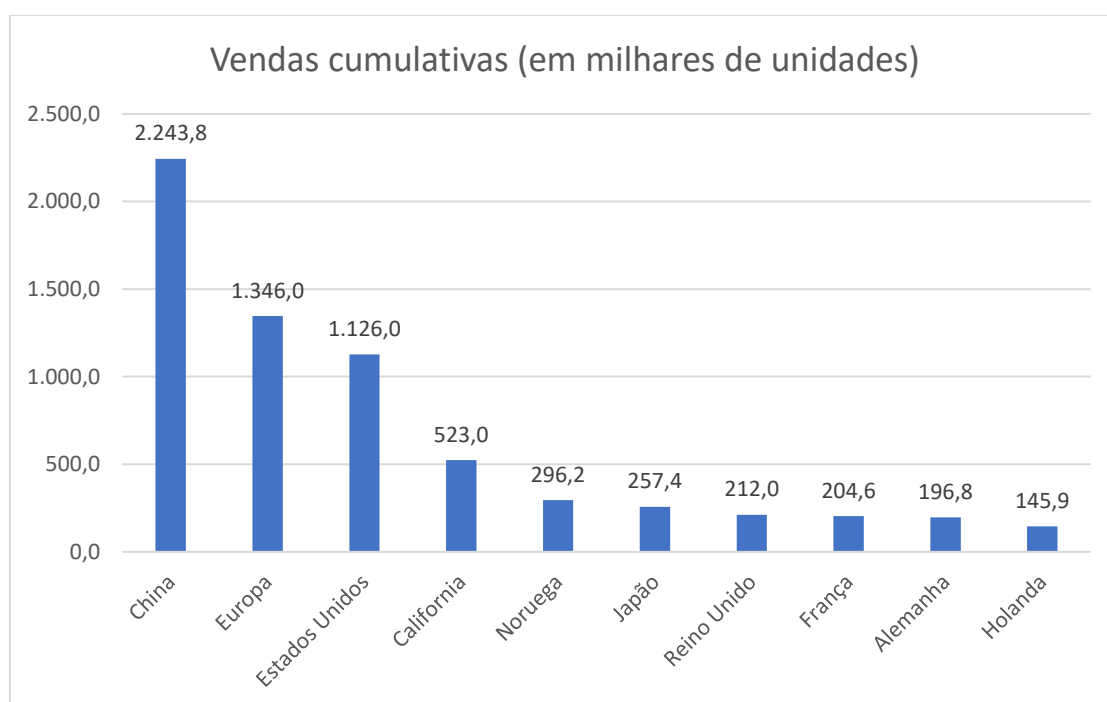


Figura 3.3 - Vendas cumulativas de veículos elétricos plug-in leves no Japão em comparação com os países mais vendidos no mundo e mercados regionais em dezembro de 2018 [9] [11][12]

O governo japonês estabeleceu metas para a inserção de veículos eletrificados para cada tipo de veículo, em termos de porcentagem de participação de mercado total. Em 2020, os VEP devem responder por 25% do mercado total, os VEHPI e os VEB por 20% e todos os veículos de baixa emissão de carbono 50% do mercado total. Em 2030, espera-se que a porcentagem de veículos com baixas emissões de carbono chegue a 70%, crescendo para 95% em 2050. Olhando para o futuro, o Japão deseja moldar uma política

que combine esses tipos de veículos, trazendo as distinções em termos de custo, desempenho, usabilidade e infraestrutura [2].

As soluções com maior probabilidade de prevalecer nos próximos 10 anos são o VEHPI e o VEHAE, pela combinação de desempenho de curto alcance equivalente ao do VE e maior distância de condução graças ao motor e ao gerador. Até 2030, o VEP e VEHAE devem ser adotados como um veículo de posse, enquanto o pequeno VEP poderia ser preferido para serviços de compartilhamento. Posteriormente, até 2050, o VEP, VEHPI e VCC poderiam se tornar complementares [2].

3.3 ESTADOS UNIDOS

A adoção de VEHPI nos Estados Unidos é apoiada pelo governo federal americano e por vários estados e governos locais. Em 2018, as vendas acumuladas nos EUA totalizaram 1,126 milhão de veículos. Em 2017, o estoque americano representava cerca de 25% do estoque global de carros *plug-in*, e os EUA apresentavam o terceiro maior estoque mundial de carros *plug-in* de passageiros, depois da China e da Europa [11][15].

A Lei de Aprimoramento e Extensão de Energia de 2008 concedeu créditos fiscais federais para novos VEHPI, cujo valor varia entre US\$ 2.500 e US\$ 7.500, dependendo da capacidade da bateria. Desde 2014, Washington, D.C. e diversos outros estados estabeleceram incentivos e isenções fiscais ou tarifárias para VEP e VEHPI, e outros incentivos não monetários, como estacionamento gratuito e acesso de pista de veículos de alta ocupação.

As vendas nacionais aumentaram de 17.800 unidades entregues em 2011 para 53.200 em 2012, e atingiram 97.100 em 2013, um aumento de 83% em relação ao ano anterior. Durante 2014, as vendas de VEHPI totalizaram 123.347 unidades, um aumento de 27,0% em relação a 2013, e caíram para 114.248 unidades em 2015, uma queda de 7,4% em relação a 2014. Um total de 157.181 carros *plug-in* foram vendidos em 2016, um aumento de 37,6% em relação a 2015, subiu para 199.818 em 2017 e alcançou um volume de vendas recorde de 361.307 unidades em 2018. A participação de mercado de carros elétricos de passageiros *plug-in* nos EUA aumentou de 0,14% em 2011 para 0,62% em 2013; atingiu 0,75% em 2014 e caiu para 0,66% em 2015. Em seguida, subiu para 0,90% em 2016, para 1,13% em 2017, e alcançou uma participação de mercado de 2,1% em 2018. A Califórnia é o maior mercado regional de carros *plug-in* do país, com 537.208 VEHPI vendidos até o final de 2018 [16][17]. A *Figura 3.4* representa melhor esses números.

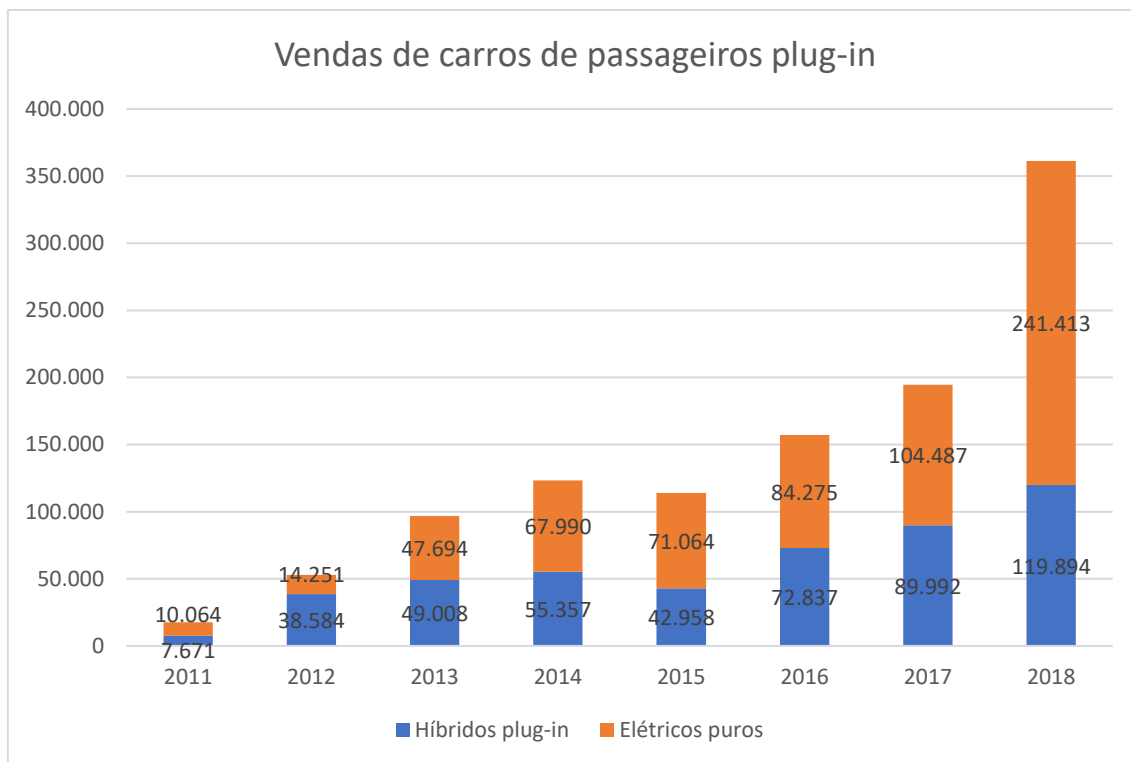


Figura 3.4 - Vendas de carros de passageiros plug-in entre dezembro de 2010 e dezembro de 2018, nos EUA [18]

Em dezembro de 2014, as vendas acumuladas de VEHPI nos EUA desde dezembro de 2010 eram lideradas por híbridos *plug-in*, com 150.946 unidades vendidas representando 52,7% de todas as vendas de carros *plug-in*, enquanto 135.444 carros eram totalmente elétricos (47,3%). Durante 2015, o segmento totalmente elétrico cresceu muito mais rápido, com um total de 72.303 carros totalmente elétricos vendidos, um aumento de 6,6% em relação ao ano anterior, enquanto o híbrido *plug-in* caiu 22,4% ano a ano, com 42.959 unidades vendido. Estes resultados invertem a tendência, e em dezembro de 2015, um total de 206.508 carros totalmente elétricos e 193.904 híbridos *plug-in* foram vendidos desde 2010, com todos os elétricos representando agora 51,6% das vendas acumuladas. A liderança de carros elétricos a bateria continuou em 2016, com 84.246 unidades totalmente elétricas vendidas, um aumento de 18,4% em relação a 2015, representando 53,6% das vendas do segmento *plug-in* de 2016, enquanto as vendas de híbridos *plug-in* totalizaram 72.935 unidades, um aumento de 69,1% 2015. Desde agosto de 2016, a distribuição de vendas acumuladas desde 2010 entre essas duas tecnologias é de 52,8% de híbridos totalmente elétricos e 47,2% de híbridos *plug-in* [18].

Isso tudo mostra que o governo tem um papel importante na maior adoção de VEs e VEHPIs e o grande aumento nas vendas está inteiramente ligado com créditos fiscais e isenção de tarifas para esses tipos de veículos.

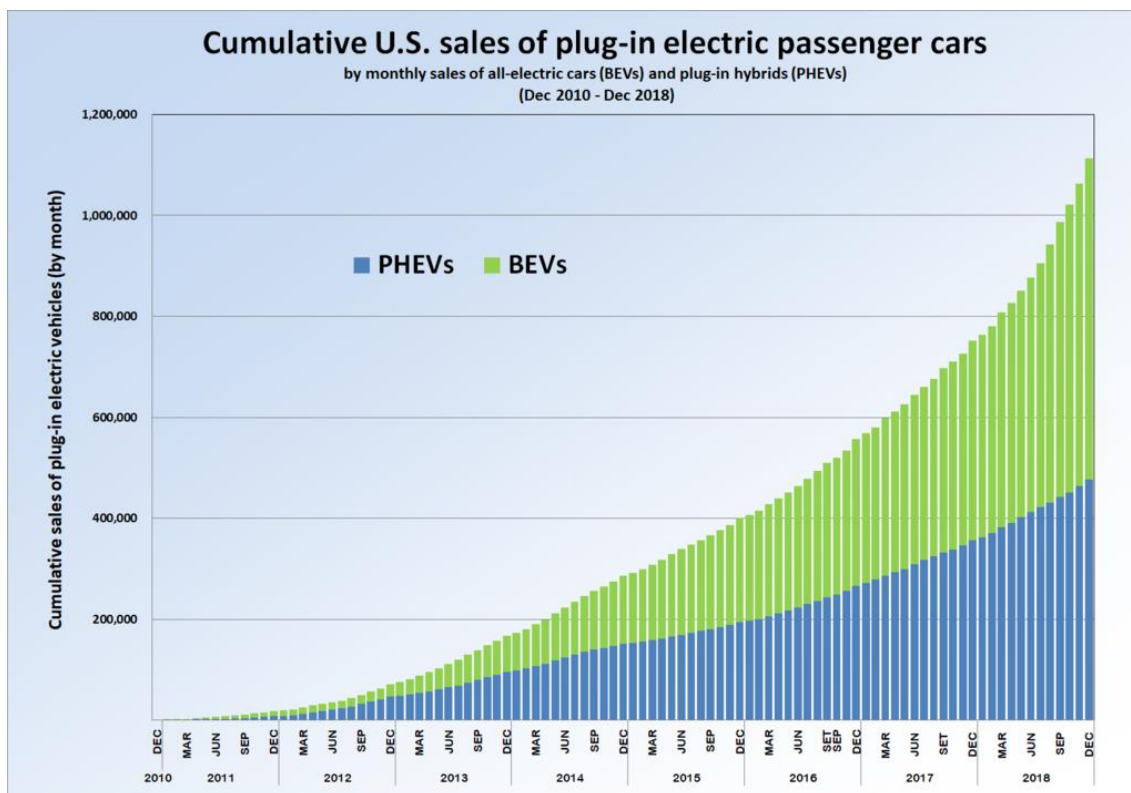


Figura 3.5 - Vendas mensais cumulativas de carros plug-in entre dezembro de 2010 e 2018, mostrando a divisão entre carros totalmente elétricos e híbridos plug-in [18]

3.4 CHINA

O estoque de veículos elétricos na China é o maior do mundo, com vendas acumuladas de quase 3 milhões de unidades até 2018. Esses números incluem carros de passeio e veículos comerciais pesados, como ônibus e caminhões sanitários, e contabilizam apenas veículos fabricados no país. As vendas, ultrapassaram o marco de 500.000 unidades em março de 2016, e a marca de 1 milhão no início de 2017, ambas, excluindo as importações. Os carros de passeios produzidos internamente correspondem por 96% das vendas de veículos elétricos na China [19] [20].

Em dezembro de 2018, o estoque chinês de VEHPI domésticos consistia em 2.369.000 veículos totalmente elétricos (79,4%) e 614.000 veículos híbridos *plug-in* (20,6%) vendidos desde 2011. A maior parte do estoque de veículos de energia nova foi vendida entre 2015 e 2018. As entregas entre 2015 e 2018 representam 96,2% de todas as vendas de veículos novos de energia construídos nacionalmente desde 2011, dos quais 42,1% foram vendidos em 2018, 26,0% em 2017 e 17,0% em 2016 [19].

Em dezembro de 2017, a China tinha a maior frota mundial de veículos elétricos plug-in leves, com mais de 1,2 milhão de unidades, depois de ter superado em 2016 tanto os EUA quanto a Europa em termos de vendas acumuladas. A China tem sido o mercado de carros elétricos plug-in mais vendido do mundo por três anos consecutivos desde 2015, com vendas anuais de mais de 207.000 carros de passageiros *plug-in* em 2015; 320.000

em 2016; e cerca de 600.000 automóveis *plug-in* de passageiros em 2017, que representou cerca de metade das vendas globais de automóveis desse tipo naquele ano [19] [21].

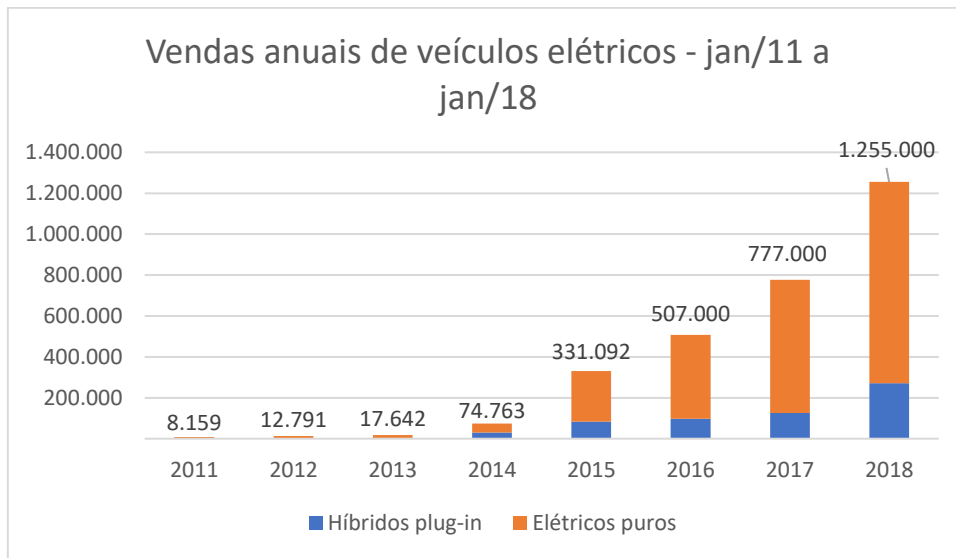


Figura 3.6 - Vendas anuais de veículos elétricos entre janeiro de 2011 e dezembro de 2018 [19] [22]

O apoio político do governo para a adoção de veículos elétricos tem quatro objetivos: criar uma indústria líder mundial que produza empregos e exportações; segurança energética para reduzir sua dependência de petróleo que vem do Oriente Médio; reduzir a poluição atmosférica urbana; e reduzir suas emissões de carbono [23].

4. SITUAÇÃO NO BRASIL

O Brasil, assim como os outros países do mundo, tende a buscar cada vez mais mecanismos para promoção da sustentabilidade e eficiência energética levando, dentre outros fatores, à procura por veículos elétricos e/ou híbridos. Estes veículos representam uma parte mínima da frota total de automóveis ($\pm 0,03\%$) [71], mas políticas públicas e incentivos governamentais estão sendo implementados para reverter esse quadro. Porém, algumas limitações técnicas e regulatórias limitam a maior penetração destes veículos em território nacional.

Sabe-se que no Brasil uma das principais fontes de energia é renovável (geração hídrica). De acordo com o relatório “Situação Global do Transporte e Mudança Climática Global” 25% das emissões mundiais de gases de efeito estufa são originadas do setor de transportes. Além disso, de acordo com o relatório, as emissões provocadas por esse setor cresceram de 5,8 *gigatoneladas* de *CO₂* em 2000 para 7,5 *gigatoneladas* em 2016. Assim os VE’s tornam-se opções viáveis de sustentabilidade visando reduzir assim as emissões deste setor. Devido ao fato de grande parte da matriz elétrica ser renovável, a adoção de veículos elétricos torna-se ainda mais vantajosa do que em países onde a geração de energia elétrica se dá por combustíveis fósseis [39] [54]. Nessas situações, como é o caso da Alemanha, o VE acaba por não ser tão “limpo” por estar sendo recarregado por fontes provenientes da queima de carvão (energia térmica).

4.1 MATRIZ ENERGÉTICA E VEÍCULOS ELÉTRICOS

Como falado, sabe-se que os veículos elétricos não emitem poluentes através de gases expelidos devido ao fato de não ocorrer combustão no processo de conversão da energia elétrica em energia mecânica no motor, como ocorre nos veículos a combustão interna que realizam a queima de combustível liberando gás carbônico (*CO₂*) e monóxido de carbono (*CO*). Entretanto, vale citar que os veículos elétricos não são isentos de quaisquer danos ambientais. Existe o impacto ambiental no processo de fabricação das baterias e dos veículos em si, como foi explicado no tópico 2.4.3 – *Meio Ambiente*. Vale destacar então, que o uso de veículos elétricos é mais efetivo quando as fontes de energia são fontes renováveis, como fontes hídricas, e ainda fontes renováveis com menores impactos e danos ambientais do que a energia hidrelétrica, como a energia eólica e solar que apresentam um grande potencial de crescimento no Brasil [43].

Sabendo da importância das matrizes energéticas no contexto dos veículos elétricos, um país cuja matriz é essencialmente renovável tem um aspecto positivo a mais para o desenvolvimento de tal tipo de veículo. Como observado na figura abaixo, a maior parte da matriz energética brasileira é renovável, sendo que 67,6% da capacidade instalada no Sistema Interligado Nacional (SIN) é hidrelétrica, 8,9% é eólica, e 1,1% é solar. Além disso, observa-se uma tendência para que a evolução da matriz brasileira seja ainda mais composta por fontes que poluem menos e/ou que sejam renováveis, ou seja, fontes ambientalmente mais “amigáveis”, observa-se a projeção de aumento de

capacidade instalada das fontes eólica e solar para 9,8% e 2,1% respectivamente, em 2023, quase dobrando a capacidade instalada de fontes solares. Além disso nota-se um aumento na capacidade instalada de fontes térmicas a gás e gás natural, sendo menos poluente do que os derivados de petróleo e carvão, além da diminuição na capacidade instalada de fontes térmicas a óleo e diesel [70].

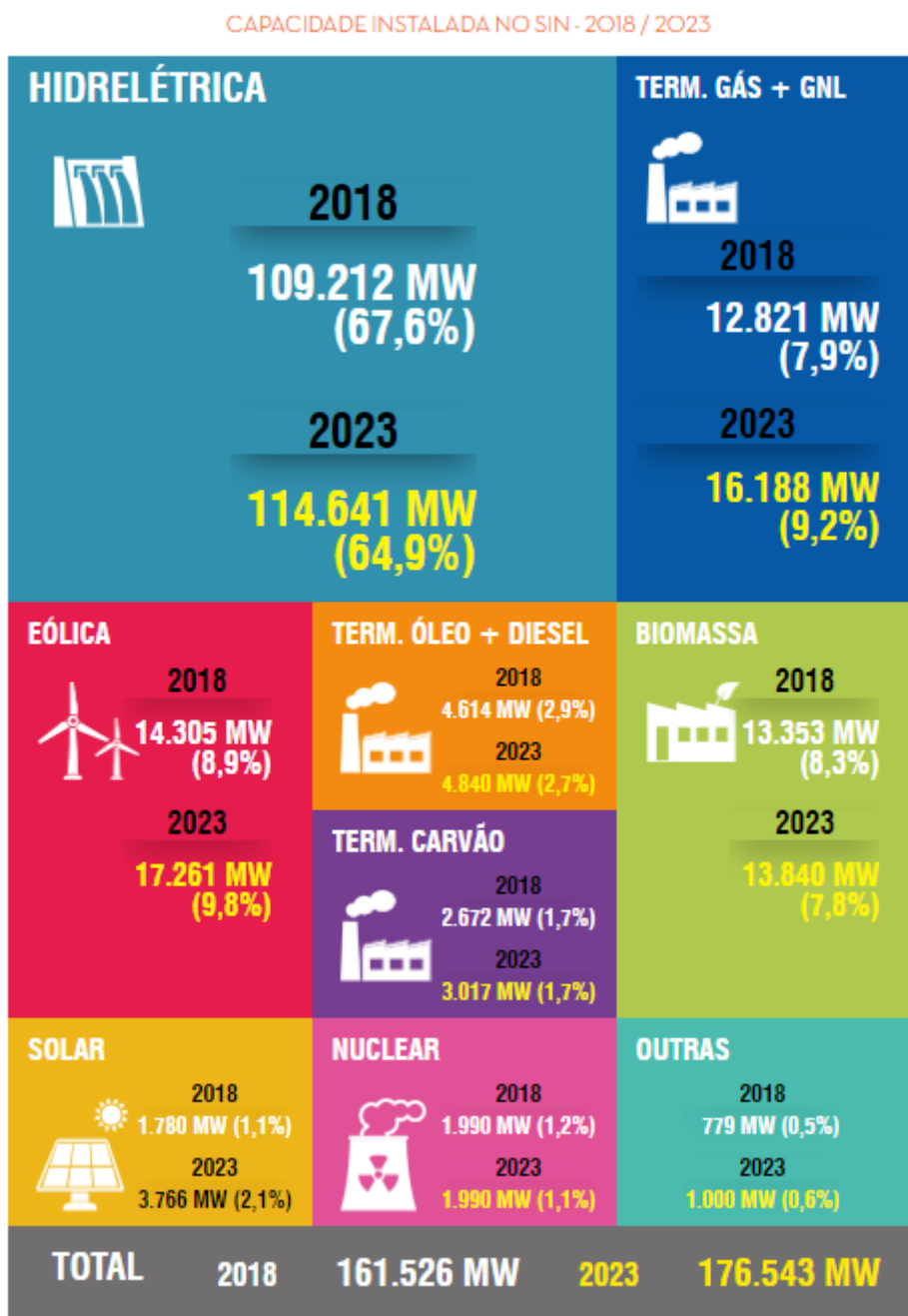


Figura 4.1 - Capacidade Instalada no SIN – 2018/2023 [70]

4.1.1 ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Energia eólica é a transformação da energia do vento em energia útil, tal como na utilização de aerogeradores para produzir eletricidade. A energia eólica enquanto alternativa aos combustíveis fósseis está permanentemente disponível. Pode ser produzida em diversas regiões onde o vento é adequado e se encontra em abundância. É uma energia limpa, renovável, não produz gases de efeito estufa durante a produção e requer menor terreno para instalação. O impacto ambiental é geralmente menos problemático do que o de outras fontes de energia [48].

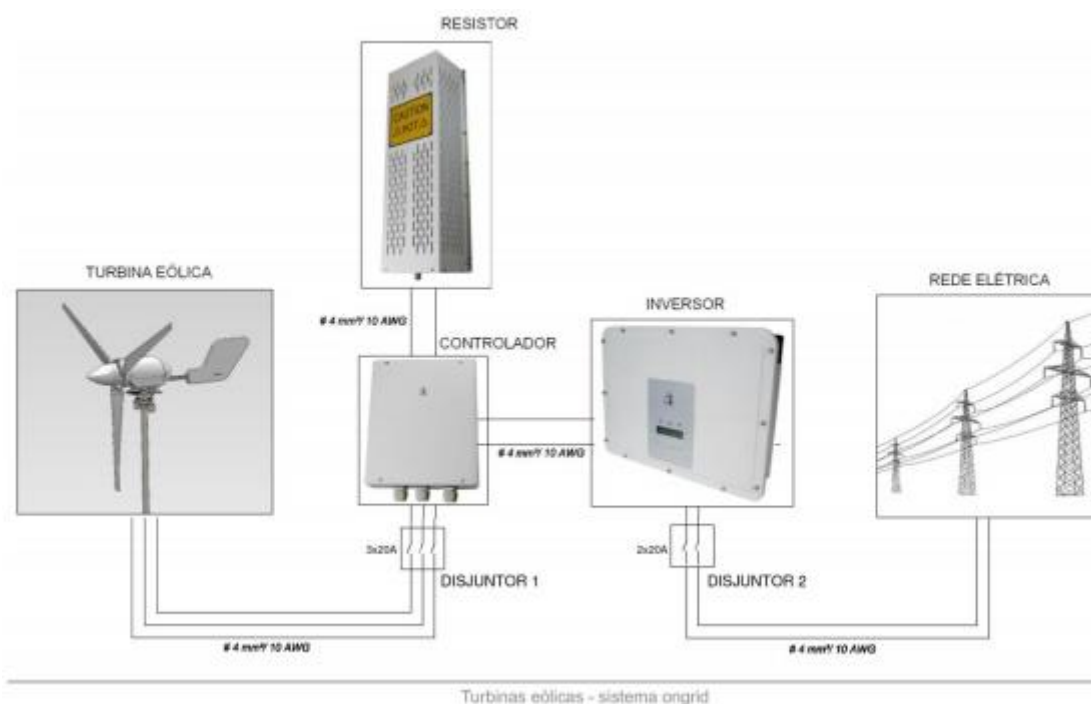


Figura 4.2 - Esquema de produção de energia eólica [49]

O Brasil é o principal desenvolvedor de parques eólicos na América Latina. O progresso da energia eólica no Brasil pode ser explicado pelo progresso tecnológico alcançado por essa indústria (geração de muita renda), as boas características do vento brasileiro como pode se ver na Figura 4.3, bem como as atrativas condições dos leilões do mercado regulado e as condições de financiamento [46].

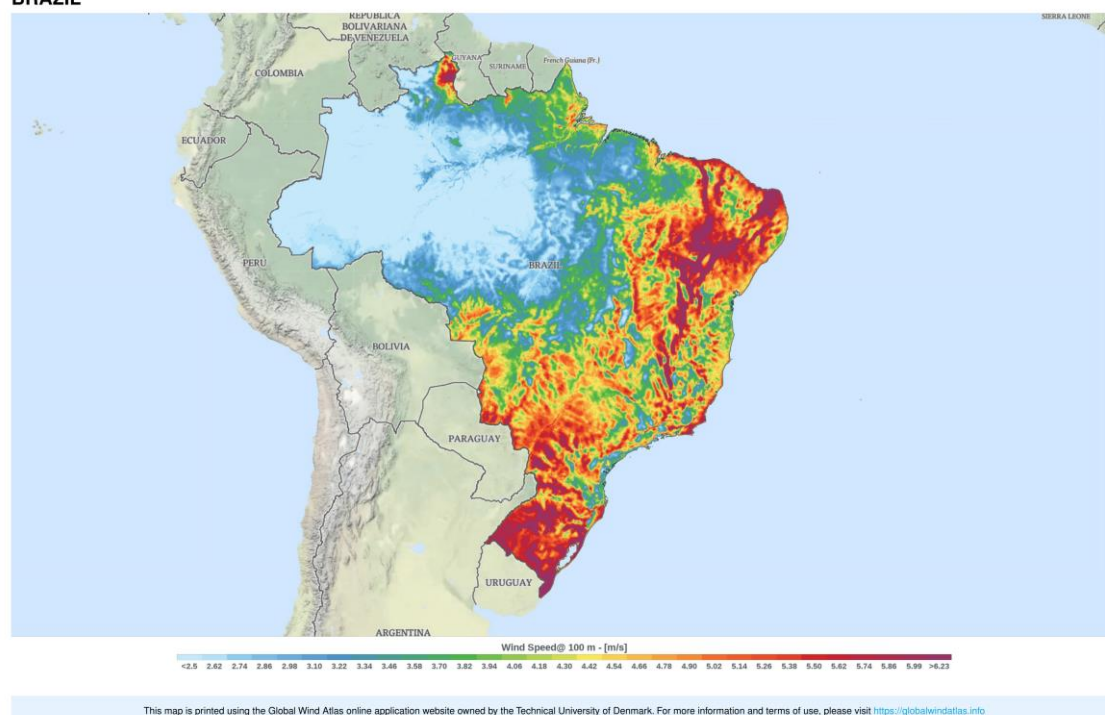


Figura 4.3 - Velocidade média do vento no Brasil (Dez/2018) [47]

4.1.2 ENERGIA SOLAR NO BRASIL

Energia solar é um termo que se refere à energia proveniente da luz e do calor do Sol. É utilizada por meio de diferentes tecnologias em constante evolução, como o aquecimento solar, a energia solar fotovoltaica, a energia heliotérmica, a arquitetura solar e a fotossíntese artificial. Na produção de energia elétrica através da energia solar, o sistema fotovoltaico é o mais utilizado, utilizando-se a placa fotovoltaica que é composta de células feitas de materiais semicondutores. Quando as partículas da luz solar colidem com os átomos desses materiais provocam o deslocamento dos elétrons, gerando corrente elétrica [43][50].

O Brasil, por ser um país tropical, possui boa incidência solar o ano inteiro, como pode ser visto na Figura 4.4. Percebe-se o grande potencial do país para produção desse tipo de energia, possui grandes parques solares, como o parque de Pirapora em Minas Gerais que ocupa uma área equivalente a 1500 campos de futebol. Existem ainda grandes parques na Bahia e no Piauí [43].



Figura 4.4 - Índice de radiação solar anual no Brasil [51]

4.2 IMPACTO NA REDE E CARREGAMENTO

Assim como nos outros países do mundo, a inserção dos VEs na frota nacional acarreta em impactos no setor energético. O principal impacto será ocasionado pela maior potência local requerida por esses veículos, enquanto o acréscimo de demanda causado pela inserção dos mesmos na rede elétrica tem um impacto agregado menor [39]. Seria uma nova transição para as concessionárias assim como foi para o aumento de aparelhos de ar condicionados nas casas. Isso gerou uma sobrecarga na rede, mas com o tempo conseguiu-se adaptar.

De acordo com estudos realizados pela Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) estima-se que até 2030, cerca de 3,8% da frota total de veículos seja representada por veículos elétricos (sendo incluídos tanto os veículos híbridos plug-in quanto veículos elétricos puros), e também realizou simulações da penetração dos veículos elétricos na sua área de concessão. Segundo a CPFL, considerando uma participação na frota veicular total de 4% a 10% até 2030, o consumo de energia elétrica adicional causado por esses veículos aumentaria de 0,6% a 1,6%, o que seria totalmente administrável pelo sistema elétrico brasileiro, que já está acostumado a lidar com oscilações de carga bem maiores

do que as previstas nas simulações [71] [24]. Ainda de acordo com os testes da CPFL, para uma penetração de até 5% de veículos elétricos na frota total, 80% das redes de distribuição não apresentariam qualquer tipo de problema, logo tais redes não necessitariam de novos investimentos para atender a demanda causada pela entrada dos veículos elétricos [52].

4.2.1 DEMANDA EM HORÁRIOS DE PICO

O horário de pico ou horário de ponta de consumo de energia elétrica se dá entre às 18h e 21h. Ou seja, devido ao fato de haver mais cargas funcionando simultaneamente o consumo de energia é maior do que no resto do dia. Muitas indústrias continuam operando nesse período, além de ocorrer um maior uso de energia elétrica nas residências e na iluminação pública [52] [72].

Supondo um cenário onde a maioria das pessoas saem dos respectivos expedientes de trabalho, retornam para casa e podem colocar os veículos para carregar, o aumento da demanda de energia elétrica nos horários de ponta devido a entrada de veículos elétricos é algo que deve ser observado. Para evitar os elevados custos de planejar a infraestrutura de energia para atender à demanda do horário de pico, as concessionárias podem fazer uso de tarifas diferenciadas para incentivar usuários a consumirem energia fora desse período. No Brasil, a chamada Tarifa Branca já promove o consumo de energia fora dos horários de pico através de tarifas mais baratas. Atualmente, a opção pela tarifa branca está disponível para consumidores com média de consumo mensal superior a 500 *kWh*, mas uma alternativa seria estender a opção para os demais consumidores [52].

Assim, concluiu-se que a capacidade atual da rede conseguiria suportar a entrada de VEs. Entretanto o maior ou menor impacto da mobilidade elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) depende de como se dará a recarga das baterias dos veículos. No caso de recargas desordenadas, muito provavelmente ocorrerá um aumento da demanda de ponta do sistema. Para evitar essa situação, tarifas diferenciadas ao longo do dia serviriam de incentivo para que as recargas fossem realizadas ao longo do dia ou a noite, fora do horário de pico da demanda por energia elétrica [24].

4.2.2 REDE DE ABASTECIMENTO E CARREGAMENTO

Incentivos do Congresso Nacional vem sendo criados, como por exemplo um Projeto de Lei que busca instituir às concessionárias de energia elétrica a obrigatoriedade de instalação de eletropostos para VEs em vias públicas, em ambientes residenciais e comerciais, além de obrigar o poder público a desenvolver mecanismos para instalação nos prédios residenciais de tomadas para recarga desses veículos nas vagas de garagens.

Na iniciativa privada, a distribuidora EDP Brasil planeja inaugurar 30 eletropostos na região Sudeste, entre 2019 e 2022, ao custo de R\$ 32,9 milhões. Cerca de 150 quilômetros afastados uns dos outros (distância menor que a autonomia das novas baterias), os postos vão cobrir todo estado de São Paulo. A área representa apenas 3% do

território brasileiro, mas concentra metade da atual frota de carros elétricos e 30% do mercado de automóveis. O projeto também prevê a eletrificação das principais estradas que partem da capital (rodovias Tamoios, Imigrantes, Carvalho Pinto, Dom Pedro, Governador Mario Covas e Washington Luís), além da integração aos corredores elétricos já existentes (Via Dutra e Régis Bittencourt). Dessa maneira, o motorista poderá percorrer mais de 1,4 mil quilômetros de Vitória (ES) até Joinville (SC), passando por Rio de Janeiro (RJ) e Curitiba (PR), sem emitir fumaça. Ou seja, o maior eixo populacional e econômico do Brasil será interligado por estrutura de carregamento aos veículos elétricos [53].

O aporte de R\$ 32,9 milhões em eletropostos, liderado pela EDP Brasil, é o primeiro de uma série de investimentos. Em setembro de 2019, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou 30 projetos de pesquisa e desenvolvimento em mobilidade elétrica, com investimento total previsto de R\$ 463,8 milhões nos próximos três anos. Encabeçados por empresas de energia, como EDP, CPFL, Light e Neoenergia, os grupos de trabalho atraíram grandes empresas mundiais como ABB, Efacec, Siemens (responsáveis por 90% do mercado de carregadores veiculares) e Grupo Volkswagen (maior montadora do mundo), além de instituições de estudo acadêmico como a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Universidade de Coimbra [53].

4.3 CONTEXTO BRASILEIRO, PROJEÇÕES E INCENTIVOS

De janeiro a agosto de 2019, a frota brasileira de carros elétricos cresceu ao índice de 38%, saindo de 11 *mil* unidades para um total de 15 *mil*, o que já é suficiente para justificar um mercado diverso em empresas e produtos [53].

Além da estimativa da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) onde até 2030, cerca de 3,8% da frota total de veículos seja representada por veículos elétricos (sendo incluídos tanto os veículos híbridos plug-in quanto veículos elétricos puros), a consultoria *Boston Consulting Group (BCG)* prevê que em 2030 os carros elétricos representem 5% da frota brasileira, com vendas de 180 *mil* unidades ao ano. Com 5% do mercado, serão cerca 2 *milhões* de carros e cerca de 400 *mil* pontos de carregamento. Nessa conta entram postos de abastecimento e, principalmente, sistemas de carregamento residenciais, como os que são vendidos no mercado americano pela Tesla, integrados a baterias ou geradores de energia solar [53].

Para fazer uma projeção do número total de veículos elétricos na frota brasileira até meados de 2031, primeiramente foram observados dados da ANFAVEA e para se observar o aumento percentual dos veículos elétricos ao longo dos anos desde 2012 até 2019, como exposto nas *Tabelas 4.1 e 4.2*.

Tabela 4.1 – Aumento percentual dos VEs ao longo dos anos

Período apurado	Aumento percentual (%)
2012 – 2013	320%
2013 – 2014	74%
2014 – 2015	-1%
2015 – 2016	29%
2016 – 2017	202%
2017 – 2018	20%
2018 – 2019	138%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANFAVEA [82]

Tabela 4.2 – Aumento percentual total dos VEs

Período apurado	Aumento percentual (%)
2012 – 2019	7.979%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANFAVEA [82]

A partir do que foi exposto considerou-se o dado de que em agosto de 2019 a frota total era de 15 mil veículos elétricos. Considerando então uma taxa média de 50% a.a. de crescimento dessa categoria, o que é uma taxa condizente com os países mostrados ao longo do trabalho e até mesmo com o crescimento observado no Brasil, observa-se que até agosto de 2031 chega-se a uma projeção de quase 2 milhões de veículos elétricos. Tal resultado também condiz com as outras projeções citadas anteriormente. A *figura - 4.5* demonstra graficamente tal projeção.

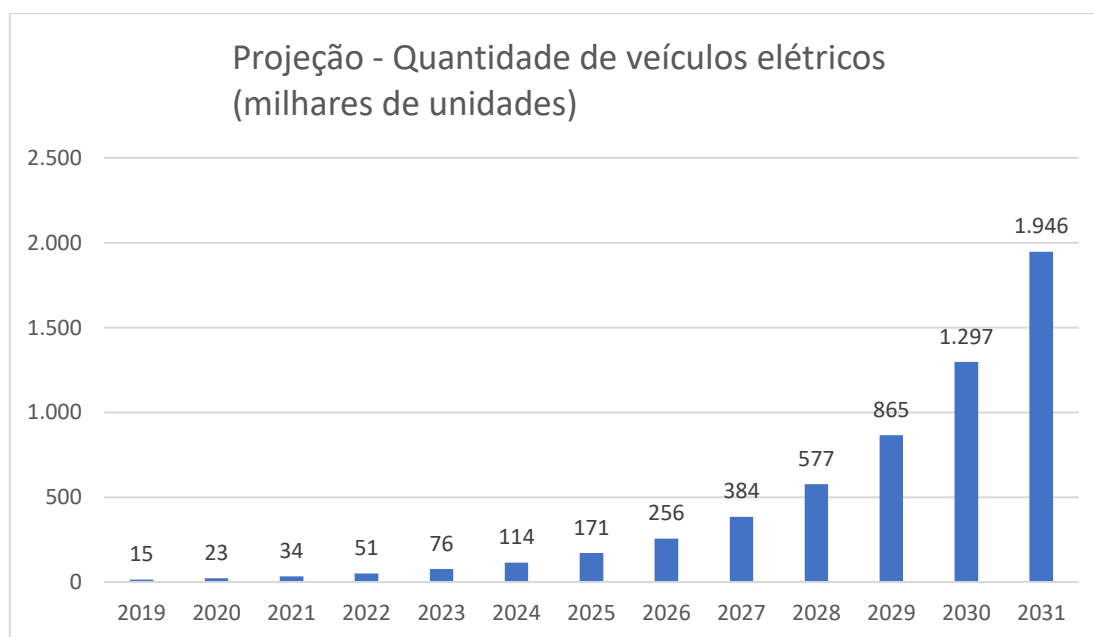


Figura 4.5 – Projeção – Quantidade de veículos elétricos (milhares de unidades)

Entre os veículos elétricos presentes no mercado, alguns se destacam. Os dois carros elétricos mais vendidos da Europa chegaram ao Brasil no fim de 2018: *Renault Zoe* e *Nissan Leaf*. Vice-líder do mercado americano, o Chevrolet Bolt chegou no mercado brasileiro em outubro de 2019. No começo de setembro de 2019, a chinesa JAC Motors apresentou cinco modelos diferentes para abastecer na tomada: carro urbano, SUV pequeno, SUV médio, picape média e caminhão. Inclusive, o modelo urbano JAC Iev 20 tornou-se o carro elétrico mais barato presente no país, com uma diferença de quase R\$30.000,00 para o segundo veículo mais barato, que anteriormente era o Renault Zoe, que custa quase R\$150.000,00. Ou seja, apesar de serem veículos ainda caros para a maioria da população brasileira, observa-se a tendência de redução nos preços e de lançamento de carros mais acessíveis [53].

Vale citar também os carros híbridos. Considerado o primeiro passo para a eletrificação, esse formato já está presente no mercado há alguns anos e chegou ao alcance da classe média brasileira de uma forma mais geral com o lançamento da nova geração do Toyota Corolla por R\$ 124.990, o primeiro híbrido flex do mundo que custa o mesmo valor da versão à combustão, ou seja, os preços já estão se equiparando para os VEHP. O modelo prepara consumidores e fornecedores de peças no Brasil para os elétricos, sem ainda depender da implantação de uma rede de carregadores. Em novembro de 2019 a Volkswagen planeja lançar o híbrido Golf GTE, para substituir o esportivo GTI.

4.3.1 INCENTIVOS

Um dos motivos da ainda baixa implementação dos veículos elétricos é o baixo incentivo de compra aos consumidores, visto que em outros locais do mundo o estímulo é maior. Entretanto algumas medidas já foram e vêm sendo tomadas buscando modificar tal situação. Vários congressos, palestras e exposições de VEPs e VEHPs estão sendo realizadas para uma maior promoção desse setor.

Das iniciativas observadas pode-se citar:

Inovar-Auto: Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores que durou entre 2013 e 2017, estimulando a concorrência e a busca de ganhos sistêmicos de eficiência e aumento de produtividade da cadeia automotiva, das etapas de fabricação até a rede de serviços tecnológicos e de comercialização [45]. O programa visou estimular a maior eficiência energética de diversas tecnologias veiculares: MCI, etanol, *total flex*, e propulsão elétrica e híbrida.

Inova Energia: Iniciativa destinada a coordenação das ações de fomento à inovação e ao aprimoramento da integração dos instrumentos de apoio disponibilizados pela Finep, BNDES e Aneel [41]. Apóia iniciativas que promovem o adensamento da cadeia de componentes na produção de veículos elétricos e melhorar a eficiência energética de toda a frota veicular do país.

Rota 2030: Programa elaborado pelo Governo Federal para o desenvolvimento do setor automotivo no país e incentivos fiscais. O IPI que hoje é de 25% passará para 7% a 20%, de acordo com a eficiência energética dos carros híbridos e elétricos.

VEM DF: Programa lançado pelo Governo do Distrito Federal que usa carros elétricos compartilhados no transporte dos servidores públicos. O projeto conta inicialmente com uma frota de 16 veículos elétricos modelo Twizy da marca Renault para que os servidores cadastrados possam se deslocar por rotas previstas no *software* do automóvel.

Com relação a incentivos de taxaço, desde 2015, o imposto de Importação para veículos movidos unicamente a eletricidade ou hidrogênio passou de 35% para zero, sendo exigido que a autonomia mínima seja de 80km. Já para os híbridos a alíquota de importação contínua entre 0 – 7% a depender das características do modelo, como: cilindradas e eficiência energética [24] [39]. Entretanto, existem outros impostos que incidem sobre os veículos como o IPI, e em nível estadual o IPVA e ICMS.

Além da isenção do imposto citado acima, os VEBs e híbridos já se isentam do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) em alguns estados como Ceará, Maranhão, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Sergipe, e mais recentemente o Distrito Federal, além da redução parcial em três (Mato Grosso do Sul, São Paulo e Rio de Janeiro). Na cidade de São Paulo, VEBs e híbridos também são favorecidos pela isenção do rodízio municipal que proíbe a circulação de alguns veículos no centro expandido em determinados horários por 1 dia na semana [24].

Outro incentivo para veículos elétricos é encontrado no BNDES Finame que ao reduzir incentivos para aquisição de ônibus e caminhões a diesel por grandes empresas, incentiva indiretamente os VEs [45].

4.4 COMPARATIVO ECONÔMICO ENTRE UM VEÍCULO ELÉTRICO E UM VEÍCULO A COMBUSTÃO

Para uma comparação mais próxima da realidade, foi utilizado um estudo feito pela Universidade Federal de Santa Maria [44], onde foram adotados dois veículos com características estruturais semelhantes, o Renault Zoe (elétrico) e o Renault Sandero (a combustão).

A comparação é feita considerando o número de quilômetros rodados em um ano. Como o investimento nesse caso, no veículo elétrico é da ordem de três vezes o do veículo a combustão e, por outro lado, o custo da manutenção, por quilômetro rodado, é da ordem de 1/3, quanto mais quilômetros rodados por ano, melhor fica a comparação para os VE.

Nas *Tabelas 4.3 e 4.4*, são comparados algumas características como os valores de compra e custo por *km* rodado.

Tabela 4.3 - Comparativo 1 entre o modelo elétrico e o modelo a combustão [44]

	Renault Zoe	Renault Sandero
Segmento	Compacto	Compacto
Capacidade	5 pessoas	5 pessoas
Valor	R\$ 147.990,00	R\$ 46.990,00
Motorização	Motor elétrico a bateria	Motor de combustão interna
Combustível	-	Gasolina ou etanol
Potência	57 kW (77 cv)	58 kW (79 cv)
Torque máximo	210 Nm	100 Nm
Aceleração de 0 a 100 km/h	15,5 s	13,1 s
Velocidade máxima	135 km/h	160 km/h
Consumo	133 Wh/km	14,2 km/l
Autonomia	300 km	710 km
Valor do km rodado (somente energia)	R\$ 0,09	R\$ 0,27

Fonte: Elaboração própria a partir de artigo SANTOS, A. C. F. d. R. *Análise da viabilidade técnica e econômica de um veículo elétrico versus veículo a combustão*

Tabela 4.4 - Comparativo 2 entre o modelo elétrico e o modelo a combustão [44]

	Renault Zoe	Renault Sandero
Valor do km rodado (energia + manutenção)	R\$ 0,13	R\$ 0,33
Emissões de CO2	0	93 g/km
Peso total	1480 kg	1011 kg
Comprimento	4084 mm	4060 mm
Entre eixos	2588 mm	2590 mm
Largura	1730 mm	1733 mm
Altura	1562 mm	1536 mm
Volume do porta malas	339 L	320 L

Fonte: Elaboração própria a partir de artigo SANTOS, A. C. F. d. R. *Análise da viabilidade técnica e econômica de um veículo elétrico versus veículo a combustão*

Observando as tabelas acima, pode-se com os dados obtidos, fazer o cálculo de viabilidade econômica entre esses dois veículos. Ou seja, pode-se dividir o custo do investimento no tempo, ao longo de anos, trazer a valor presente e assim determinar em qual momento o veículo elétrico tornar-se-á mais atrativo economicamente do que o veículo a combustão, considerando algumas variáveis como a taxa de juros, o quanto o carro é utilizado (quilometragem por ano) e o número de anos que o carro é utilizado. Vários fatores podem influenciar e mudar o ponto de inflexão da curva. Esse exemplo

pretende analisar de forma simplificada quais as variáveis mais importantes e como elas influenciam o resultado final.

Considerando então as condições do valor por quilômetro rodado e o custo de aquisição dos veículos nas *Tabelas 4.3 e 4.4*, pode-se fazer uma primeira simulação, um caso base, de estudo observando o custo anual que cada um dos veículos demandaria em função de quanto cada carro roda, para os seguintes parâmetros:

- Taxa de Juros: 6% a. a.
- Número de anos: 10 anos

Observando os parâmetros considerados, chega-se ao seguinte gráfico:

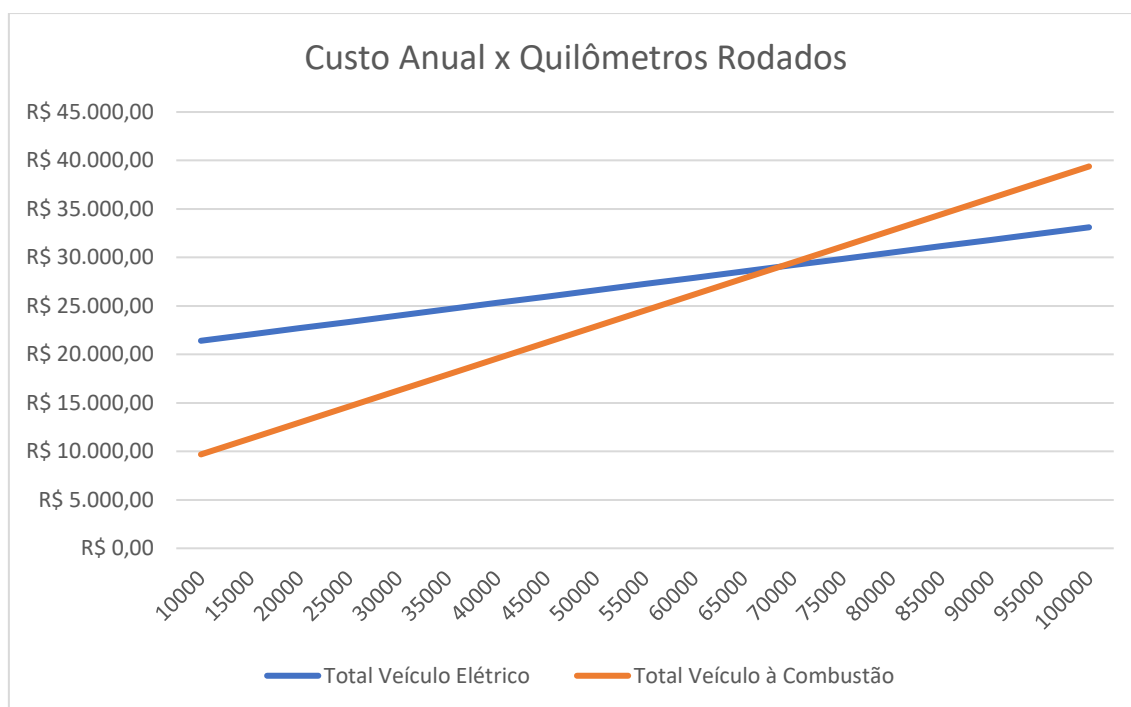


Figura 4.6 – Caso base, gráfico comparativo de custo anual x quilômetros rodados entre Renault Sandero e Renault Zoe

Para as condições de preço de aquisição atuais, nota-se que o Renault Zoe passa a tornar-se mais atrativo economicamente para uma utilização acima da faixa dos 70.000 km rodados por ano. Considerando um caso mais próximo da realidade de uma pessoa que vive em uma grande cidade brasileira, rodando na faixa de 25.000 km por ano, tem-se os seguintes resultados de gasto anual:

- Renault Zoe: R\$23.357,10/ano
- Renault Sandero: R\$14.634,44/ano

Mantendo-se os mesmos parâmetros utilizados anteriormente, mas supondo um cenário que os veículos elétricos sejam isentos do IPI, o que significa reduzir em 25% o preço inicial do veículo, e também considerando uma queda nos preços dos veículos além da redução do IPI, considerando uma queda na casa dos 20%, o que é razoável num cenário de queda natural nos preços dos veículos elétricos, como como discutido nesse trabalho, pode-se considerar então um valor de aquisição de R\$ 90.000,00 . Além disso,

considerando uma taxa de juros de 5,00% a.a., ou seja, um cenário de queda nos preços dos veículos elétricos e de queda na taxa de juros, chega-se à seguinte situação:

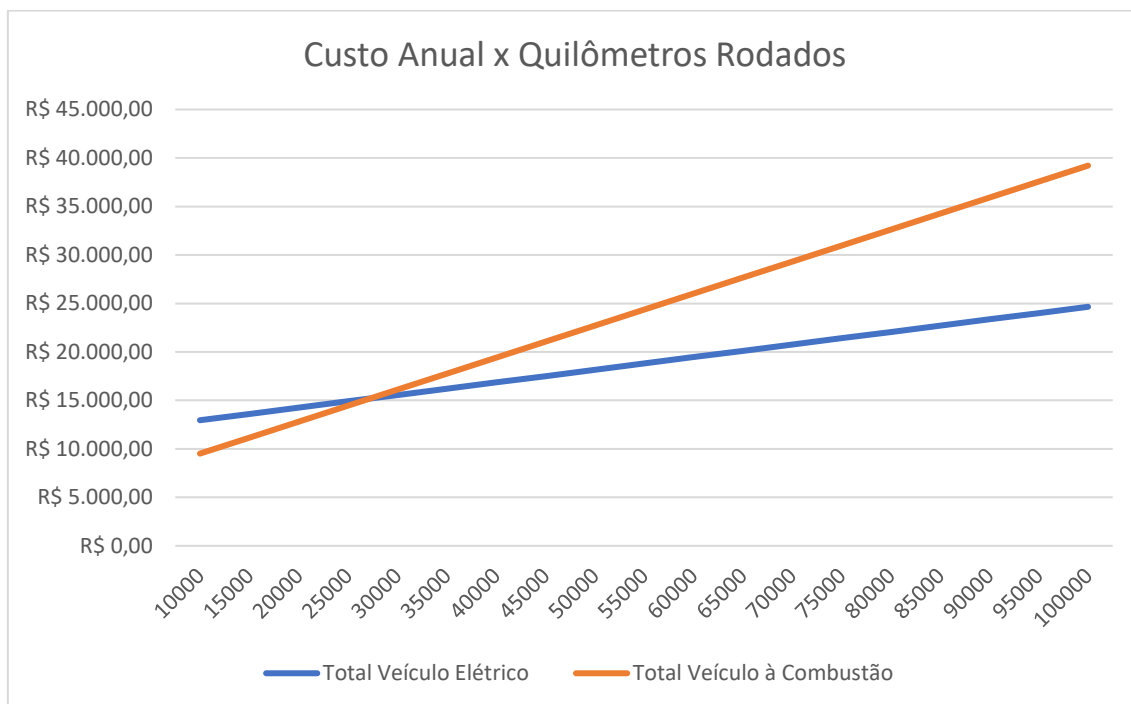


Figura 4.7 - Gráfico comparativo de custo anual x quilômetros rodados entre Renault Sandero e Renault Zoe, considerando queda nos preços dos VEs e na taxa de juros

Para tais circunstâncias, nota-se que o Renault Zoe já torna-se mais atrativo economicamente para uma utilização acima da faixa dos 25.000 km rodados por ano. Considerando esse caso em que o carro rode 25.000 km por ano, tem-se os seguintes resultados de gasto anual:

- Renault Zoe: R\$14.905,41/ano
- Renault Sandero: R\$14.335,42/ano

Outra hipótese razoável é precificar o CO₂ emitido pelos veículos a combustão. Algumas referências consideram o valor de 20 euros/tonCO₂ [72]. Considerando o dado padrão de que um veículo a combustão emita 1,77 kgCO₂ por litro de gasolina, teria-se um acréscimo da ordem de 2 centavos no valor da manutenção do veículo a combustão, tendo o valor de quilômetro rodado de R\$0,35. Chegando no seguinte cenário:

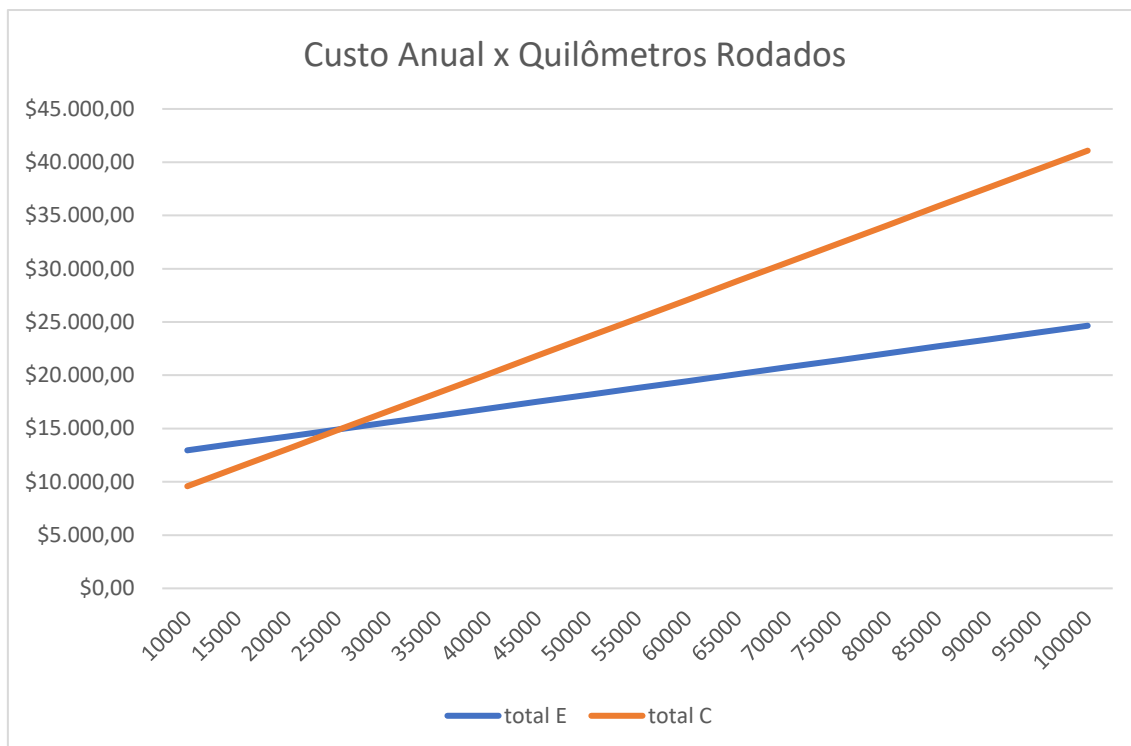


Figura 4.8 - Gráfico comparativo de custo anual x quilômetros rodados entre Renault Sandero e Renault Zoe, considerando queda nos preços dos VEs, na taxa de juros, e precificação do CO₂.

Para tais circunstâncias, nota-se que os custos do Renault Zoe e do Renault Sandero são basicamente os mesmos. Considerando esse caso em que o carro rode 25.000 km por ano, tem-se os seguintes resultados de gasto anual:

- Renault Zoe: R\$14.905,41/ano
- Renault Sandero: R\$14.835,42/ano

Logo, pode-se concluir que para as condições de preço de aquisição vigentes no caso desses dois veículos, o veículo à combustão ainda tende a ser mais atrativo economicamente, e o elétrico passa a ser mais atrativo nos casos em que roda mais de 70.000 km por ano. Já com a diminuição de preços dos veículos elétricos e com o cenário da taxa de juros mais baixos, além de um cenário de aumento de custos dos veículos a combustão, os veículos tornam-se mais atrativos economicamente. Ou seja, com a tendência de diminuição de preços, os veículos elétricos tendem a ser mais atrativos e assim a ganhar maior escala no contexto brasileiro.

Assim como o Renault Zoe, os carros elétricos no Brasil apresentam altos valores de aquisição, apesar dos custos operacionais serem bem menores. A tendência, é de que com a diminuição dos preços dos veículos elétricos, eles tornem-se mais atrativos economicamente do que os veículos à combustão, devido aos custos mais baixos.

4.5 PESQUISA DE OPINIÃO

Para fins de análise e perspectiva da adoção de carros elétricos no Brasil, por parte dos órgãos públicos, foi encaminhada uma pesquisa ao Ministério de Minas e Energia com o intuito de saber sua posição em relação a esse tema. A seguinte resposta foi recebida no dia 25 de setembro de 2019. Também foram levados em consideração perspectivas e opiniões de outros órgãos e entidades.

“Do ponto de vista energético, o MME não vê restrições significativas à penetração de carros com motores elétricos na frota nacional de transporte. Em uma visão de planejamento, cabe a este órgão garantir a oferta de energia respeitando os princípios da segurança energética, a modicidade tarifária e a sustentabilidade ambiental. Neste sentido, o advento de uma tecnologia que vem ao encontro com a eficiência energética do sistema, conjugada com a redução das emissões de gases de efeito estufa e a poluição atmosférica poderá oferecer ganhos em diversos aspectos sócio econômicos.

No entanto, não são apenas questões energéticas que balizam esta temática. A política industrial nacional é fundamental para o desenvolvimento desta tecnologia, bem como, para induzir a uma maior abertura dos mercados.⁴”

Ministério de Minas e Energia

“Os veículos elétricos no Brasil deverão ficar concentrados em nichos de mercado, como frotas de ônibus, táxis e car sharing, os carros de compartilhamento. De acordo com o diretor de Petróleo, Gás e Biocombustíveis da Empresa de Pesquisa Energética, José Mauro Coelho, o país absorveria melhor os veículos híbridos do tipo flex. “Faz mais sentido que a utilização de veículos elétricos em larga escala.

Ainda segundo Coelho, a entrada de veículos híbridos e elétricos o Brasil ainda é pequeno. Segundo ele, em 2016, de 2 milhões de licenciamentos para carros, apenas 1.091 eram de carros híbridos ou elétricos. Já em 2017, mesmo com o aumento para 2,2 milhões de licenciamentos, os licenciamentos foram para 3.500, ainda um número baixo. “O licenciamento ainda é baixo”, observa. O diretor explica que no Brasil a infraestrutura para carros elétricos ainda enfrenta entraves, como uma rede de eletropostos com capilaridade para abastecimento.⁵”

José Mauro Coelho - EPE

⁴ Resposta da manifestação encaminhada à Ouvidora-geral do Ministério de Minas e Energia – MME.

⁵ Perspectiva da Empresa de Pesquisa Energética – EPE.

4.6 CONSIDERAÇÕES

Observando o contexto apresentado para o mundo e para o Brasil, buscou-se entender os cenários passados e presentes para assim definir um cenário mais provável de como se dará a implementação dos carros elétricos no país. Tal questão é imprecisa e incerta, pois tenta-se definir uma realidade futura, logo trata-se de um cenário subjetivo e de probabilidades baseadas nas evidências apresentadas e não em certezas.

Um dos principais fatores que estimulou o crescimento dos carros elétricos foi a questão ambiental focada em uma realidade mais sustentável, que também está presente na realidade brasileira. Ou seja, os veículos elétricos são um dos meios de alcançar-se isso, entretanto, como o país tem o setor de biocombustíveis bem desenvolvido, isto é, o país utiliza-se dos biocombustíveis para alcançar uma maior descarbonização, o foco nesta área apesar de crescente, ainda não é tão notório como acontece em outros países com a matriz energética voltada mais para combustíveis fósseis, o que pode ser observado no fato da frota de veículos brasileira ser composta por cerca de 75% veículos flex, além disso, menos de menos de 20 mil são veículos elétricos em uma frota total de cerca de 45 milhões de veículos [53] [73]. Tal fator pode ser levado em conta como uma das causas do Brasil ainda não ter desenvolvido um cenário de veículos elétricos mais presentes no país.

Outro ponto a ser levado em consideração são as questões referentes ao carro propriamente dito, tanto tecnicamente quanto financeiramente de um VE ou VEHPI. Tecnicamente falando é notório que os carros elétricos são bem mais eficientes que os carros com motor à combustão interna, sendo mais silenciosos, não emitindo gases poluentes e gerando menos manutenção que os veículos convencionais. Por outro lado, as baterias ainda são os desafios de tais veículos, pois a autonomia de uma forma geral é menor nos elétricos, além do tempo de recarga ser um outro desafio, entretanto, como mostrado ao longo do trabalho, tais desafios diminuem com as melhorias tecnológicas referentes ao aumento da densidade de carga na bateria.

Além disso, tem-se a questão financeira, onde na realidade brasileira os veículos elétricos ainda são relativamente caros e acessíveis as parcelas mais ricas da população, mas como observado no comparativo econômico, ao mesmo tempo os carros elétricos puros apresentam um custo por quilômetro de cerca de 30% de um veículo convencional e os híbridos apresentam tal custo entre 60% e 70%, logo quanto maior a utilização dos veículos elétricos mais eles tornam-se atrativos. Logo, nesse caso, o fator mais importante para uma maior adoção dos elétricos é a redução dos preços, sendo que já há casos de veículos elétricos híbridos que custam os mesmos valores que os equivalentes convencionais, como por exemplo o Toyota Corolla, e a BMW 530, ou seja, nesses casos, os elétricos híbridos já são mais atrativos economicamente desde o momento da compra.

Alguns dos pontos que foram levantados são aqueles relativos à realidade energética brasileira. O Brasil é um país em que as fontes de energia elétrica são em grande parte fontes renováveis, sendo a principal forma as fontes hídricas, além das fontes solares e eólicas que tendem a crescer. Como o uso dos carros elétricos é mais efetivo quando as fontes de energia são renováveis, esse torna-se um ponto favorável a implantação desses veículos na realidade brasileira.

O trabalho também abordou as variáveis concernentes aos impactos na rede, além dos incentivos por parte das iniciativas públicas e privadas. Notou-se que os impactos na rede elétricas seriam mínimos, sendo um possível desafio a questão da demanda em horários de pico (ou ponta), como já citado. Além disso, observou-se que as empresas do setor elétrico têm interesse em desenvolver e estimular a mobilidade elétrica e os veículos elétricos no país, como por exemplo a EDP Brasil, que trabalha no desenvolvimento de uma rede de eletropostos na região Sudeste. Assim o maior desafio encontra-se na iniciativa pública, em criar programas de estímulo e desenvolvimento dos veículos e da mobilidade elétrica, além de formas financeiras de estímulo, ou seja, formas de diminuir os impostos e tarifas sobre tais veículos.

Observando o contexto brasileiro e levando em conta tanto os pontos que já são favoráveis quanto os que são desafios à implementação dos veículos elétricos pode-se especular sobre como se dará tal implementação. Nota-se que o Brasil é um país que apresenta desafios a implementação aos carros elétricos, como os casos acima citados, entretanto, apresenta também pontos positivos, o que confirma-se com o aumento que observou-se entre janeiro e agosto de 2019 na frota de veículos elétricos, de 11 mil para 15 mil unidades. Ou seja, apesar da pequena proporção, a eletrificação dos meios de transporte é algo que já está acontecendo no país e tende a continuar ocorrendo na realidade brasileira, mas de maneira gradativa e não tão rápida como observado em alguns países desenvolvidos. Tal crescimento gradativo pode ser corroborado pelas projeções da CPFL e do BCG, que estimam frotas, em 2030, de 3,8% e 5% de veículos elétricos, respectivamente [53].

5. CONCLUSÃO

Ao longo do trabalho fez-se uma análise bibliográfica por meio de pesquisas e análises documentais que permitiram entender o cenário e as perspectivas dos veículos elétricos/híbridos e da mobilidade elétrica. Primeiramente mostrou-se um pouco da história dos veículos elétricos de uma maneira geral, desde os primeiros automóveis lançados até os mais atuais. Também foi realizado uma avaliação técnica acerca deste tipo de veículo, em que estudou-se o funcionamento de um veículo convencional e de um veículo com motor elétrico. Em seguida, buscou-se compreender a situação no mundo através do estudo de caso de alguns países que foram julgados como referência, como: Noruega, Japão, Estados Unidos e China. Após estudar a situação no mundo, estudou-se a situação no Brasil, e buscou-se buscar considerações sobre como se dará a implementação desse tipo de veículo na realidade brasileira.

Assim conclui-se que o Brasil terá em sua frota veicular uma participação cada vez maior de veículos elétricos/híbridos como visto nas projeções apresentadas pela BCG e CPFL e pela projeção própria realizada no item 4.3 deste artigo. Trata-se de uma questão de tempo por se tratar de uma tecnologia nova e ainda cara juntamente com políticas de incentivos governamentais e mitigação de impostos/tarifas para o impulsionamento desse novo modelo de automóveis.

Como foi visto no tópico sobre a avaliação técnica, o motor elétrico torna o VE mais eficiente que um carro movido a MCI. O ciclo Otto aproveita na faixa de 20-30% da energia gerada enquanto o veículo elétrico 80%. Outros fatores como zero emissão de CO_2 , baixo ruído, pouca manutenção devido ao número reduzido de peças torna este automóvel mais vantajoso que o convencional. Cabe também considerar que o carro elétrico é parte da evolução natural da tecnologia veicular, que levará a veículos mais eficientes e com melhor performance no futuro, ou seja, o surgimento e crescimento do setor de veículos elétricos vai além das questões ambientais. Porém, o grande empecilho para a maior difusão certamente está ligado ao desenvolvimento das baterias. Chegando a custar quase metade do valor do carro e ainda apresentar baixa autonomia e densidade energética esses fatores inviabilizam e desmotivam a maior aceitação dos veículos por parte dos consumidores e até do governo.

Devido ao alto valor de aquisição apresentado e tomando como exemplo os quatro países de referência estudados, percebe-se que o governo federal tem uma importância fundamental para a maior adoção de VEs através da redução de impostos e subsídios de tarifas. É preciso que haja uma educação dos consumidores em relação aos carros elétricos, desmistificando seus reais custos e benefícios; e segundo, investindo em infraestrutura, seja pública ou privada, de estações de recarga. Embora se espere que, no futuro, as baterias dos carros elétricos sejam também recarregadas nas residências dos usuários, a disponibilidade de uma infraestrutura pública de eletropostos ainda assim será de grande importância nesta fase de transição da mobilidade à combustão para a elétrica.

Vale ressaltar que o veículo elétrico depende da fonte de energia utilizada para abastecer sua bateria para ser considerado limpo ou não. Para países que têm a matriz energética baseada em fontes poluentes não é interessante a implementação dos VEs por

estes dependerem desse tipo de fonte para serem alimentados o que aumenta a produção e geração da energia suja, caso em que acontece em países como a Polônia. Já para o caso do Brasil, constituído majoritariamente de energia renovável, como é o caso das hidrelétricas e da energia solar/eólica que apresentam um grande crescimento ao longo dos anos, os carros elétricos tornam-se uma alternativa sustentável e viável.

Para finalizar, de acordo com a avaliação apresentada, com as projeções de aumento dos VEs apresentadas durante o texto, para os próximos anos o impacto na rede elétrica até 2050 será desprezível como foi visto no item 4.2, ou seja, o Brasil tem capacidade de suportar o aumento de demanda energética causado pelos veículos elétricos/híbridos.

6. REFERÊNCIAS

- [1] NIKEL, DAVID. *Electric Cars: Why Little Norway Leads The World In EV Usage*; Junho de 2019.
- [2] *Electromobility: Challenging issues*; Conference organized by the Armand Peugeot Chair in cooperation with the Governance & Regulation Chair, the Vedecom Institute and the Maison des Sciences de l'Homme. Dezembro de 2017.
- [3] Klippenstein, Matthew. "One Percent Of Norway's Cars Are Already Plug-In Electrics". *Green Car Reports*. Abril de 2014.
- [4] Cobb, Jeff. "Top 10 Plug-in Vehicle Adopting Countries of 2016". *HybridCars.com*. Janeiro de 2017.
- [5] Kane, Mark. "10% Of Norway's Passenger Vehicles Are Plug Ins". *InsideEVs.com*. Julho de 2018.
- [6] Federação Norueguesa de Estradas (OFV). "Bilsalget i 2014" "Bilsalget i 2015" "Bilsalget i 2016" "Bilsalget i 2017" "Bilsalget i 2018"
- [7] Norsk Elbilforening (Associação Norueguesa de Veículos Elétricos) "Elbilsalget: Ned i fjor – venter ny vekst i år", Maio de 2017.
- [8] Bratzel, Stefan. "E-Mobility 2019: An International Comparison of Important Automotive Markets", Janeiro de 2019.
- [9] Cobb, Jeff. "The World Just Bought Its Two-Millionth Plug-in Car". *HybridCars.com*. Janeiro de 2017.
- [10] Cobb, Jeff. "Norway Aiming For 100-Percent Zero Emission Vehicle Sales By 2025". Março de 2016.
- [11] Agência Internacional de Energia (IEA), Clean Energy Ministerial, and Electric Vehicles Initiative (EVI). "Global EV Outlook 2017: 3 million and counting". Maio de 2018.
- [12] Agência Internacional de Energia (IEA), Clean Energy Ministerial, and Electric Vehicles Initiative (EVI). "Global EV Outlook 2017: Two million and counting", Junho de 2017.
- [13] Kane, Mark. "Plug-In Electric Car Sales Visualized From 2011 to 2015". Abril de 2016.
- [14] Deign, Jason. "Japan Makes a Big Bet on the Hydrogen Economy". Fevereiro de 2015.
- [15] Kane, Mark. "Plug-In Electric Cars Sales In U.S. Surpass 1 Million". Outubro de 2018.

- [16] Cobb, Jeff. "December 2012 Dashboard" "December 2013 Dashboard" "December 2014 Dashboard" "December 2015 Dashboard" "December 2016 Dashboard" "December 2017 Dashboard" "December 2018 Dashboard". *HybridCars.com and Baum & Associates*. Janeiro de 2018.
- [17] "Veloz: 2018 banner year for EV sales in California; up 84% from 2017; 312% increase from January to December". *VELOZ*. Green Car Congress. Janeiro de 2019.
- [18] Electric Drive Transportation Association (EDTA). "Electric Drive Sales Dashboard". Janeiro de 2019.
- [19] Automotive News China. "Electrified vehicle sales surge 53% in 2017". (Janeiro de 2018).
- [20] Dune, Michael J. "China's Automotive 2030 Blueprint: No. 1 Globally In EVs, Autonomous Cars". *Forbes*. Dezembro de 2016.
- [21] Cobb, Jeff. "China Takes Lead As Number One In Plug-in Vehicle Sales". *HybridCars.com*. Dezembro de 2016.
- [22] China Association of Automobile Manufacturers (CAAM)
- [23] Henry Lee; Sabrina Howell & Adam Heal. "Leapfrogging or Stalling Out? Electric Vehicles in China". Junho de 2014.
- [24] Carros Elétricos. Colaboração: Accenture – FGV Energia. Maio 2017, Ano 4, Nº 7. Maio de 2017.
- [25] FEREGUETTI, Larissa. Carro do futuro pode ser movido a célula a combustível hidrogênio. Engenharia 360. Disponível em: < <https://engenharia360.com/carros-com-celula-a-combustivel-hidrogenio/> > . Maio de 2019.
- [26] Funcionamento do motor de combustão interna. Mundo Educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm>> Acessado em Setembro de 2019
- [27] BARAN, Renato. A introdução de veículos elétricos no Brasil: Avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade. Rio de Janeiro: UFRJ, 2012. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Planejamento Energético COPPE. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/10634/1/Doutorado_Renato%20Baran_P_PO_BD.pdf>. Setembro de 2012.
- [28] CASTRO, Bernardo; BARROS, Daniel; VEIGA, Suzana. Baterias Automotivas - Panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. BNDES. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1511/3/A%20mar37_11_Baterias%20automotivas-panorama%20da%20ind%3%baustria%20no.pdf>. Março de 2013.
- [29] Carros Elétricos: Entenda o significado e diferenças entre a sigla dos automóveis. Garagem 360. Disponível em: <<https://garagem360.com.br/carros-eletricos-entenda-o-significado-e-diferencas-entre-as-siglas-dos-automoveis/>>. Agosto de 2017.

- [30] Buekers, J; Van Holderbeke, M; Bierkens, J; Int Panis, L. "Health and environmental benefits related to electric vehicle introduction in EU countries". Dezembro de 2014.
- [31] "Electromobility could create over 200,000 net additional jobs by 2030 in Europe – study | Transport & Environment. " Disponível em: <www.transportenvironment.org> Fevereiro de 2018.
- [32] Carros Elétricos: Como funcionam? Disponível em: <https://www.carrodegaragem.com/carros-eletricos-como-funcionam/>; Acessado em setembro de 2019.
- [33] Híbrido, plug-in e elétrico: Você sabe qual é a diferença entre eles? Disponível em: < <https://autopapo.com.br/blog-do-boris/hibrido-plug-in-eletrico-diferenca/>>. Dezembro de 2018.
- [34] Célula a combustível fica barata o suficiente para veículos híbridos. Disponível em: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=celula-combustivel-barata-veiculos-hibridos&id=010170190521#.XZdSgChKhPY>. Março de 2014.
- [35] Primeiro avião elétrico da Noruega despenha-se durante voo de demonstração. Disponível em: < <http://exameinformatica.sapo.pt/noticias/mercados/2019-08-16-Primeiro-aviao-eletrico-da-Noruega-despenha-se-durante-voe-de-demonstracao> > . Agosto de 2019.
- [36] Airbus e SAS Scandinavian Airlines assinam acordo para realizar pesquisas sobre aeronaves híbridas e elétricas. Disponível em: <<http://www.defesanet.com.br/aviacao/noticia/33032/Airbus-e-SAS-Scandinavian-Airlines-assinam-acordo-para-realizar-pesquisas-sobre-aeronaves-hibridas-e-eletricas/>>. Maio de 2019.
- [37] Brasil tem 8% das reservas de lítio do mundo. Disponível em: < <https://www.noticiasdeminerao.com/outros/news/1141642/brasil-tem-das-reservas-1%C3%ADtio-mundo>> Maio de 2019.
- [38] Brasil pode fabricar baterias de carros elétricos? Veja os obstáculos. Disponível em: < <https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2018/06/04/brasil-pode-fabricar-baterias-de-carros-eletricos-veja-os-obstaculos.htm> > Junho de 2018.
- [39] Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) e Observatório do Clima, 2016.
- [40] GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico (UFRJ) 2014. Disponível em: < <http://www.gesel.ie.ufrj.br/index.php/Publications> >
- [41] Finep – Financiadora de Inovação e Tecnologia. Disponível em: < <http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/programas-inova/inova-energia> > Acessado em junho de 2019.
- [42] O que é Desenvolvimento Sustentável – WWF. Disponível em: < https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/ > Acessado em setembro de 2019.

- [43] Carros Elétricos: Viabilidade econômica e ambiental de inserção competitiva no mercado brasileiro – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Disponível em: < https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1579/6/MONOGRAFIA_CarrosEl%c3%a9tricosViabilidade.pdf >
- [44] SANTOS, A. C. F. d. R. Análise da viabilidade técnica e econômica de um veículo elétrico versus veículo a combustão. Universidade Federal de Santa Maria, 2017.
- [45] Financiamento de aquisição, comercialização e produção de máquinas e equipamentos, FINAME. Disponível em: < <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home> > Acessado em agosto de 2019.
- [46] MELO, E. Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. estudos avançados, SciELO Brasil, v. 27, n. 77, p. 125–142, 2013.
- [47] Global Wind Atlas, Energydata.info. Disponível em: < <https://globalwindatlas.info/> > Acessado em agosto de 2019.
- [48] Energia Eólica – *Wikipedia*. Disponível em: < https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_e%C3%B3lica > Acessado em outubro de 2019.
- [49] Turbina Eólica *in-vento* Agrícola. 2018. Disponível em: < <https://zminvento.wordpress.com/2014/06/13/turbina-eolica-in-vento-agricola/> > Acessado em outubro de 2019.
- [50] Energia solar – *Wikipedia*. Disponível em: < https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_solar > Acessado em outubro de 2019.
- [51] ATLAS brasileiro de energia solar. 2018. Disponível em: < http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf >
- [52] Veículos elétricos e seus impactos no sistema elétrico brasileiro. Venturus. Fevereiro, 2015. Disponível em: < <https://medium.com/venturus/ve%C3%ADculos-el%C3%A9tricos-e-seus-impactos-no-sistema-el%C3%A9trico-brasileiro-59248aa864be> > Fevereiro de 2019.
- [53] Carro elétrico no Brasil: do zero aos bilhões em 10 anos. *Época Negócios*. Setembro de 2019. Disponível em: < <https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/09/carro-eletrico-no-brasil-do-zero-aos-bilhoes-em-10-anos.html> >
- [55] “O quanto o carro elétrico é realmente ecológico?” – Ser melhor. Conquiste sua estrela. Disponível em: < <http://www.sermelhor.com.br/ecologia/o-quanto-o-carro-eletrico-e-realmente-ecologico.html> > Acessado em novembro de 2019.
- [54] Efeito Estufa: Transporte responde por 25% das emissões globais. Disponível em: < <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-12/efeito-estufa-transporte-responde-por-25-das-emissoes-globais> > Dezembro de 2018.
- [56] Fabricação de carros elétricos polui mais que a de carros convencionais, afirma estudo europeu. *Diário do Transporte*. Disponível em: < <https://diariodotransporte.com.br/2018/11/22/fabricacao-de-carros-eletricos-polui-mais->

que-a-de-carros-convencionais-afirma-estudo-europeu/> Acessado em novembro de 2019.

[57] Agência Europeia do Ambiente. Disponível em: < <https://www.eea.europa.eu/pt/sinais-da-aea/sinais-2018> > Acessado em novembro de 2019.

[58] Ecosfera 21. Disponível em: < <https://ecosfera21.wordpress.com/2015/06/24/transporte-rodoviario-de-carga-emissoes-co2e-eficiencia/>> Acessado em novembro de 2019.

[59] DOE, E. Annual Energy Review. 2009. Disponível em: < www.eia.doe.gov/emeu/aer/contents.html > Outubro de 2019.

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

[61] Carros Elétricos. Como eles funcionam? Disponível em: < <https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/como-funciona-carro-eletrico/?ID=2000> > Acessado em novembro de 2019.

[62] Controle do motor de indução para veículos elétricos mediante o uso de duplo conversor. Oscar Antonio Solano Rueda. Rio de Janeiro, Agosto de 2014. Disponível em: < <http://pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2014080801.pdf> >

[63] EHSANI, M.; GAO, Y.; GAY, S.; EMADI. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. CRC PRESS ed. 2005.

[64] CHAN, C. C.; BOUSCAYROL, A.; CHEN, K. Electric, Hybrid, and Fuel-Cell Vehicles: Architectures and Modeling. IEEE Transactions on Vehicular Technology, v. 59, n. 2, p. 589–598, 2010.

[65] ZERAOULIA, M.; BENBOUZID, M. E. H.; DIALLO, D. Electric motor drive selection issues for HEV propulsion systems: A comparative study. IEEE Transactions on Vehicular Technology, v. 55, n. 6, p. 1756–1764, 2006.

[66] ARPA-E awards \$31.6 million to rare- Earth substitute projects. Disponível em: < <http://ceramics.org/ceramicstechnology/2011/10/05/arpa-e-awards-316-million-to-rare-earth-substitute-projects/>> Acessado em novembro de 2019.

[67] Projeto e análise do funcionamento de carros elétricos. Universidade do Minho. 2012. Disponível em: < https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/22557/1/Tese_VF_a52762_Pdf.pdf > Acessado em novembro de 2019.

[68] Todos os tipos de motores (MEC149). Instituto NCB. Disponível em: < <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/9435-todos-os-tipos-de-motores-mec149> > Acessado em novembro de 2019.

[69] Motor elétrico da Tesla utiliza ímãs de neodímio de terras raras. MagTek, Soluções Magnéticas. Disponível em: < <https://www.magtek.com.br/blog/motor-eletrico-da-tesla-utiliza-imas-de-neodimio-de-terras-raras/> > Acessado em novembro de 2019.

[70] Como carregar um carro elétrico? Auto Esporte. Data: 26/09/2019. Disponível em: < <https://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2019/09/como-carregar-um-carro-eletrico.html> > Setembro de 2019.

[71] Carro elétrico no Brasil: do zero aos bilhões em 10 anos. Época Negócios. Data: 26/09/2019. Disponível em: < <https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/09/carro-eletrico-no-brasil-do-zero-aos-bilhoes-em-10-anos.html> > Setembro de 2019.

[72] Horário de pico. Disponível em: < <https://www.cpfl.com.br/energias-sustentaveis/eficiencia-energetica/uso-consciente/Paginas/horario-de-pico.aspx> > Acessado em novembro de 2019.

[73] Empresa de Pesquisa Energética (EPE). DEMANDA DE ENERGIA DOS VEÍCULOS LEVES: 2018-2030. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-331/topico-421/Demanda_Veiculos_Leves_2018-2030.pdf >

[74] “O rota 2030 não resolve o problema dos carros elétricos no Brasil.” Auto Esporte. Julho de 2019. Disponível em: < <https://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2018/07/o-rota-2030-nao-resolve-o-problema-dos-carros-eletricos-no-brasil.html> >

[75] Servidores do Distrito Federal usarão carros elétricos compartilhados. Agência Brasil. Outubro de 2019. Disponível em: < <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-10/servidores-distrito-federal-usarao-carros-eletricos-compartilhados> >

[76] Global CO2 emissions by sector, 2017. Disponível em: < <https://www.iea.org/statistics/co2emissions/> >

[77] Dois dias andando de carro emitem tanto CO2 quanto um mês de metrô. Disponível em: < <https://www.akatu.org.br/noticia/dois-dias-andando-de-carro-emitem-tanto-co2-quanto-um-mes-de-metro/> >

[78] Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. BNDES.

[79] Douglas Amaral 2013-2018. Disponível em: < <https://recantododragao.com.br/2014/12/03/funcionamento-motor-de-combustao-interna/> >

[80] Component parts of internal combustion engines. Disponível em: < <https://recantododragao.com.br/2014/12/03/funcionamento-motor-de-combustao-interna/> >

[81] Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Disponível em: < http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngMecanica_NoceT_1.pdf >

[82] Anfavea. Estatísticas. 2019. Disponível em: < <http://www.anfavea.com.br/estatisticas.html> >