

RAFAEL MACIEL MENA

**ANÁLISE DE VEÍCULOS ELÉTRICOS A BATERIA NO BRASIL:
UMA ABORDAGEM SWOT**

“Versão corrigida”

São Paulo

2020

RAFAEL MACIEL MENA

**ANÁLISE DE VEÍCULOS ELÉTRICOS A BATERIA NO BRASIL:
UMA ABORDAGEM SWOT**

Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo sendo parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Sistemas de Potência

Orientador: Milana Lima dos Santos

São Paulo

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 17 de Agosto de 2020

Assinatura do autor:



Assinatura do orientador:

Catálogo-na-publicação

MENA, RAFAEL

ANÁLISE DE VEÍCULOS ELÉTRICOS A BATERIA NO BRASIL: UMA ABORDAGEM SWOT / R. MENA – versão corr. – São Paulo, 2020. 113 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.VEÍCULOS 2.INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS 3.COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS 4.ENERGIA ELÉTRICA 5.MOTORES ELÉTRICOS I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, professora Milana Lima dos Santos, pela sua disponibilidade, paciência, ensinamentos e contribuições para o desenvolvimento desta dissertação. Meus sinceros agradecimentos por me conceder à oportunidade de realizar este trabalho.

A Angela Oliveira da Costa e Rachel Martins Henriques, respectivamente superintendente e consultora técnica da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) que trouxeram contribuições de grande valor técnico.

Ao professor Marco Antonio Saidel, por suas sugestões que guiaram o desenvolvimento da dissertação.

Ao Engenheiro e amigo André Nucci, pelo apoio que ofereceu e pelas valorosas discussões sobre veículos elétricos, principalmente nas últimas semanas antes da entrega deste trabalho.

Aos meus pais por terem me ensinado o valor da educação.

Aos meus sogros, por terem me apoiado no tempo que dediquei a este trabalho.

A minha esposa Tatiane Araújo Ferreira, pelo incentivo, amor, compreensão e encorajamento durante a elaboração desta dissertação. Essa trajetória não seria possível sem você ao meu lado.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para esta realização.

RESUMO

Esta dissertação tem por objetivo realizar uma análise dos fatores que afetam a expansão dos veículos elétricos a bateria (VEBs) do tipo automóvel no Brasil, contribuindo para a produção de conhecimento relevante aos diversos setores afetados pelas características da matriz de transporte veicular nacional.

É analisado o contexto histórico e evolução dos VEBs, apresentando os motivos que os levaram a perder espaço para os veículos movidos por motores de combustão interna no início do século XX. Posteriormente, as conjunturas relacionadas aos veículos convencionais que interagem com os VEBs são analisadas, assim como as características e circunstâncias específicas destes. Por fim, é realizada uma análise *SWOT* consolidando os dados obtidos.

Conclui-se que a massificação dos VEBs ao ponto de tornarem-se a tecnologia automotiva de destaque no mercado principal brasileiro, e não apenas em mercados restritos e de elite, depende da superação de diversos desafios complexos e tende a ser um processo lento. No Brasil, os veículos híbridos convergem como uma opção bastante adequada de eletrificação veicular, aliando as vantagens da motorização elétrica e motorização por combustão interna além de atender a vários interesses políticos e econômicos que moldam as características da matriz de transporte veicular nacional.

Palavras-chave: Veículos elétricos a bateria. Análise *SWOT*. Mobilidade.

ABSTRACT

This dissertation aims to analyze the factors that affect the expansion of battery electric vehicles (BEVs) car-type in Brazil, contributing to the production of relevant knowledge to the diverse sectors that are affected by the characteristics of the transportation sector.

The historical context and evolution of BEVs are analyzed, presenting the reasons that made them lose the battle against vehicles powered by internal combustion engines in the early 20th century. Then, the conjunctures related to conventional vehicles that interact with BEVs are analyzed and also the specific characteristics and circumstances of the BEVs. Ultimately, a SWOT analysis is performed consolidating the data obtained.

It is concluded that the massification of BEVs to the point of becoming the leading automotive technology in the main Brazilian market, and not only in restricted and elite markets, depends on overcoming several complex challenges and tends to be a slow process. In Brazil, hybrid vehicles converge as a very suitable vehicle electrification option, combining the advantages of electric motorization and internal combustion motorization in addition to serving the various political and economic interests that shape the characteristics of the national vehicle transport matrix.

Keywords: Battery Electric Vehicles; SWOT Analysis; Mobility.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|-------------|---|
| ABESPETRO | Associação Brasileira das Empresas de serviços de Petróleo |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| ANP | Agência Nacional do Petróleo |
| ANFAVEA | Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores |
| BNDES | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social |
| <i>CARB</i> | <i>California Air Resources Board</i> |
| CNI | Confederação Nacional da Indústria |
| <i>EPA</i> | <i>Environmental Protection Agency</i> |
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| EUA | Estados Unidos da América |
| FGV | Fundação Getúlio Vargas |
| GEE | Gases do Efeito Estufa |
| <i>IEA</i> | <i>International Energy Agency</i> |
| MCI | Motor de Combustão Interna |
| <i>NEDC</i> | <i>New European Driving Cycle</i> |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| SEP | Sistema Elétrico de Potência |
| <i>SWOT</i> | <i>Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats</i> |
| VEB | Veículo Elétrico a bateria |
| VH | Veículo Híbrido |
| VHP | Veículo Híbrido <i>Plug-in</i> |
| <i>ZEV</i> | <i>Zero-Emissions Vehicle</i> |
| <i>V2G</i> | <i>Vehicle-to-Grid</i> |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2. HISTÓRICO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS A BATERIA | 15 |
| 2.1 Dos primórdios aos dias atuais..... | 15 |
| 2.2 Histórico dos veículos elétricos no Brasil | 25 |
| 3. ANÁLISE DE VEÍCULOS CONVENCIONAIS E INTERAÇÕES COM VEÍCULOS ELÉTRICOS A BATERIA | 28 |
| 3.1 Definição | 28 |
| 3.2 Combustíveis e emissões | 29 |
| 3.3 Eficiência energética | 30 |
| 3.5 Aquecimento global | 33 |
| 3.6 O etanol brasileiro..... | 34 |
| 3.7 O biodiesel brasileiro..... | 36 |
| 3.8 O petróleo brasileiro | 37 |
| 3.9 Impactos do preço do petróleo..... | 39 |
| 3.10 O trancamento tecnológico do MCI..... | 40 |
| 4. ANÁLISE DE VEÍCULOS ELÉTRICOS A BATERIA..... | 42 |
| 4.1 Veículos Elétricos a Bateria (VEBs)..... | 42 |
| 4.2 Baterias para VEBs..... | 45 |
| 4.2.1 Convergência tecnológica de baterias e perspectivas de evolução..... | 53 |
| 4.2.2 Supercapacitores..... | 55 |
| 4.3 Autonomia de VEBs..... | 56 |
| 4.3.1 Efeitos do clima na autonomia..... | 58 |
| 4.4 Recarga de VEBs | 59 |
| 4.4.1 Recarga Condutiva | 59 |
| 4.4.2 Recarga indutiva..... | 61 |
| 4.4.3 Recarga via troca de bateria..... | 63 |
| 4.5 Infraestrutura para VEBs | 64 |
| 4.6 Custos associados a VEBs | 66 |
| 4.6.1 Custo de aquisição..... | 66 |

| | | |
|-------|---|-----------|
| 4.6.2 | Custo de manutenção | 67 |
| 4.6.3 | Custo por km percorrido | 68 |
| 4.7 | Segurança de VEBs | 69 |
| 4.8 | Interações de VEBs com o Sistema Elétrico de Potência (SEP) | 70 |
| 4.8.1 | <i>Smart Grids</i> e <i>V2G</i> | 73 |
| 4.8.2 | Custo da energia elétrica..... | 74 |
| 4.9 | Concorrência de VEBs com outras tecnologias automotivas baseadas em eletricidade..... | 75 |
| 4.9.1 | Veículos híbridos | 75 |
| 4.9.2 | Veículos a célula de combustível | 76 |
| 4.10 | Incentivos governamentais a VEBs | 76 |
| 4.11 | Forças empreendedoras e inovação por meio de VEBs..... | 78 |
| 4.12 | Questões ambientais associadas a VEBs..... | 80 |
| 5. | ANÁLISE SWOT DE VEÍCULOS ELÉTRICOS A BATERIA NO BRASIL | 82 |
| 5.1 | Análise de Forças..... | 83 |
| 5.2 | Análise de Fraquezas..... | 85 |
| 5.3 | Análise de oportunidades | 88 |
| 5.4 | Análise de ameaças | 91 |
| 6. | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 93 |
| 6.1 | Conclusões..... | 93 |
| 6.2 | Sugestão de trabalhos futuros | 95 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 97 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Pilha de Volta. | 15 |
| Figura 2 - Veículo elétrico “Jamais Contente”, recordista mundial de velocidade entre 1899 e 1902. | 17 |
| Figura 3 - Gurgel Itaipu..... | 25 |
| Figura 4 - Motor de combustão interna – Ciclo Otto - 4 tempos..... | 29 |
| Figura 5 - Consumo energético de veículo leve a gasolina. | 32 |
| Figura 6 - Ilustração conceitual de veículo elétrico a bateria e carregador..... | 43 |
| Figura 7 - Característica torque x velocidade de motores elétricos e MCI. | 44 |
| Figura 8 - Comparação dos atributos de diferentes tecnologias de baterias. | 46 |
| Figura 9 - Densidade de energia e potência de diferentes tipos de baterias. | 47 |
| Figura 10 - Taxa de auto descarga para baterias de íons de lítio em função do tempo e temperatura..... | 49 |
| Figura 11 - Redução do custo de baterias de íons de lítio. Preço em dólares americanos por kWh..... | 51 |
| Figura 12 - Indutor encapsulado em conector para recarga indutiva..... | 61 |
| Figura 13 - Recarga indutiva por meio de equipamento estático..... | 62 |
| Figura 14 - Recarga indutiva dinâmica. | 63 |
| Figura 15 - Topologia típica de um sistema elétrico de potência. | 71 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Principais eventos na história dos veículos elétricos. 1800-1990. | 22 |
| Tabela 2 - Evolução do estoque de VEBs em alguns países. De 2010 a 2019 – (Em mil unidades) | 24 |
| Tabela 3 - impacto de novas tecnologias no aumento da eficiência energética de motores a combustão interna | 33 |
| Tabela 4 - Evolução do percentual de teor de biodiesel presente no diesel fóssil no Brasil | 36 |
| Tabela 5 - Consumo de energia por fonte no Brasil..... | 37 |
| Tabela 6 - Densidade de energia de materiais. Em Wh/kg. | 47 |
| Tabela 7 - Autonomia de VEBs disponíveis no mercado Brasileiro em 2020..... | 57 |
| Tabela 8 - Preço de VEBs no Brasil em 2020. | 67 |
| Tabela 9 - Análise <i>SWOT</i> - Forças. | 84 |
| Tabela 10 - Análise <i>SWOT</i> - Fraquezas. | 86 |
| Tabela 11 - Análise <i>SWOT</i> - Oportunidades. | 89 |
| Tabela 12 - Análise <i>SWOT</i> - Ameaças. | 91 |

1. INTRODUÇÃO

Preocupações com o preço dos combustíveis, a eficiência energética e questões ambientais, assim como a busca por novos modelos de negócios, levam à procura por veículos mais limpos e eficientes. Neste contexto, o interesse por veículos movidos a energia elétrica acelera pelo mundo e já provoca mudanças na indústria automobilística, prometendo transformações na mobilidade urbana. Projeções considerando compromissos de adoção de veículos elétricos já anunciados pelas principais economias do planeta possibilitam prever uma frota global de 140 milhões de unidades até 2030 (IEA, 2020a).

Nos veículos puramente elétricos, também denominados Veículos Elétricos a Bateria (VEBs), movidos exclusivamente por motorização elétrica e alimentados exclusivamente por baterias que armazenam energia na forma de eletricidade, a recarga é realizada através de conexão com a rede elétrica e/ou recuperando energia das frenagens. Ao contrário dos veículos convencionais e híbridos, os VEBs não utilizam nenhum tipo de Motor de Combustão Interna (MCI) e se caracterizam, principalmente, pela alta eficiência energética, nula emissão direta de poluentes e baixos níveis de ruídos (FGV ENERGIA, 2017).

Vistos por muitos como um grande avanço tecnológico, os VEBs não são novidade. Eles dominavam o mercado mundial no início da história automotiva, principalmente por serem silenciosos, simples e confiáveis. No entanto, depois da invenção do motor a combustão interna e da melhora na acessibilidade e preço do petróleo, os VEBs perderam espaço por apresentarem as seguintes desvantagens: baixa autonomia, alto custo e dificuldades relacionadas com a recarga (NYBROE, 2015). Já no início de 1920, os mesmos praticamente desapareceram do mercado, com fabricantes cessando suas atividades ou passando a utilizar motores a combustão interna (COWAN e HULTÉN, 1996).

Entretanto, no início do século XXI, a consolidação da tecnologia de íons de lítio no armazenamento de energia elétrica possibilitou a concepção de veículos elétricos com

maior autonomia e potência, ocorrendo, desde então, um grande aumento no interesse de montadoras em oferecer modelos puramente elétricos (DOE, 2014).

Em 2019, a frota global de automóveis do tipo VEB superou 4,79 milhões de unidades, um aumento de 46% em relação ao ano anterior. China, Europa e Estados Unidos são os principais mercados, somando conjuntamente mais de 70% do estoque global. Com relação à venda de veículos novos, a Noruega é o país com maior participação de VEBs, tendo atingido, em 2019, 42,4% de *market-share*. No Brasil, entretanto, esse processo ocorre mais lentamente, e até o final de 2019, a frota brasileira de automóveis do tipo VEB contava com cerca de 940 veículos, o que demonstra a baixíssima penetração da tecnologia, apesar da expectativa de crescimento (IEA, 2020a).

Considerando que a baixa adoção de VEBs no Brasil contrasta com o forte crescimento na utilização da tecnologia visualizado em certas regiões do globo, e que o ritmo de entrada da eletromobilidade nos transportes e a predominância das novas rotas tecnológicas veiculares são incertezas críticas que impactam diversas cadeias energéticas, industriais e outras partes interessadas, este trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise dos fatores que afetam a expansão desta tecnologia no país. Pretende-se, assim, identificar e discutir os aspectos associados a VEBs, contribuindo com a produção de conhecimento relevante que auxilie tomadores de decisão a realizarem escolhas consistentes e racionais, no âmbito dos setores diversos que são impactados pelas características da matriz de transporte veicular nacional.

É importante ressaltar que o presente trabalho concentra as análises em veículos elétricos a bateria, aprofundando nas temáticas pertinentes a automóveis elétricos (carros), que em muitos aspectos, apresentam semelhanças aos veículos elétricos pesados e aos veículos elétricos de duas rodas (motocicletas).

Visando alcançar o objetivo proposto, foi realizado levantamento bibliográfico e pesquisa documental acerca da temática, os quais versam, principalmente, sobre: histórico dos veículos elétricos no Brasil e no mundo; análise comparativa entre veículos elétricos, híbridos e convencionais; conceituação acerca dos veículos elétricos a bateria, análise exploratória dos fatores que impactam a expansão da eletrificação na

frota brasileira e análise *SWOT* identificando as forças (*Strengths*), fraquezas (*Weaknesses*), oportunidades (*Opportunities*) e ameaças (*Threats*) relacionadas aos VEBs no Brasil. Foi realizada revisão bibliográfica, na qual se utilizou artigos científicos, matérias de revistas, relatórios nacionais e internacionais, periódicos, teses, dissertações, publicações de entidades e livros com o conteúdo específico demandado.

Os objetivos específicos podem ser assim enumerados:

- Contextualizar o histórico e evolução dos VEBs, apresentando os motivos que os fizeram perder espaço para os veículos movidos a motores de combustão interna no início de século XX.
- Analisar a atual penetração de VEBs no Brasil.
- Analisar os aspectos, características e conjunturas relacionadas a veículos movidos a MCI que impactam na expansão dos VEBs no Brasil.
- Analisar os aspectos, características e conjunturas diretamente relacionadas a VEBs e que impactem em sua expansão no Brasil.
- Realizar análise *SWOT* de VEBs no mercado nacional.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: no Capítulo 2 é discutida a evolução histórica dos automóveis elétricos e da indústria automobilística, e apresentam-se as razões que levaram o MCI ser a tecnologia dominante; no Capítulo 3 são realizadas análises de temáticas relacionadas aos automóveis convencionais e que, de alguma forma, se relacionam com os veículos elétricos a bateria; no Capítulo 4 são realizadas análises de temáticas relacionadas diretamente aos VEBs; no Capítulo 5 é realizada a análise *SWOT* de VEBs no Brasil; no Capítulo 6 são apresentadas as considerações finais e propostas para estudos futuros. Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas.

2. HISTÓRICO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS A BATERIA

2.1 Dos primórdios aos dias atuais

A história dos veículos elétricos relaciona-se com o desenvolvimento de métodos de armazenamento de energia elétrica combinados com a invenção de métodos de conversão de eletricidade em energia mecânica. Este método de propulsão veicular experimentou um breve período de ascendência no início do século XX, antes de ser superado pelo motor a combustão interna (WESTBROOK, 2001).

O primeiro experimento bem-sucedido de armazenamento de energia elétrica ocorreu na Itália, em 1800, tendo sido alcançado pelo físico Alessandro Volta. Foram montadas placas de cobre e zinco, separadas por papelão embebido em água salgada, e descobriu-se que uma corrente elétrica poderia ser obtida (BAIGRIE, 2007). Assim nascia a bateria primária, que viria a ser chamada de “Pilha de Volta” (Figura 1) pelos pesquisadores subsequentes.



Figura 1 - Pilha de Volta.

Fonte: <www.science.org.au>. Acesso em 20/09/2019.

Em 1821, Michael Faraday demonstrou que um fio, percorrido por uma corrente elétrica fornecida por meio de uma pilha de Volta, girava em torno de um ímã fixo caso uma das extremidades estivesse “solta” sobre o mercúrio armazenado num recipiente. Além disso, a direção de rotação seria invertida se a polaridade da corrente elétrica fosse

invertida. O princípio de funcionamento do motor elétrico havia sido demonstrado (CHATTERJEE, 2002).

Em 1835, um pequeno motor elétrico operacional foi demonstrado em Londres por Francis Watkins. Este motor funcionava com um ímã de barra montado em um eixo girando dentro de bobinas de fio estacionárias, nas quais a corrente elétrica era sucessivamente invertida por meio de contatos no eixo (WESTBROOK, 2001).

O desenvolvimento do motor elétrico naturalmente levou cientistas a pensarem na possibilidade de usar a pilha de Volta para acionar um motor acoplado às rodas de um veículo leve. Ainda em 1835, um veículo limitado foi construído pelo professor Stratingh, em Groningen, Holanda (CHAN, 2013).

Em 1859, Gaston Planté, um belga especialista em eletroquímica, colocou duas camadas de folha de chumbo separadas por tecido em um recipiente de ácido sulfúrico diluído e observou que uma corrente elétrica podia ser obtida desta célula, e que o sulfato de chumbo era formado na placa positiva. Se a corrente fosse, então, invertida por meio de uma pilha de Volta, o sulfato de chumbo iria se decompor e, após a desconexão da fonte de alimentação, outra corrente poderia ser extraída da célula, em um processo reversível. Estas baterias chumbo-ácidas foram as primeiras nas quais os processos de carga e descarga puderam ser repetidos diversas vezes.

Em 1869, o belga Zenobe Theophile Gramme foi capaz de construir o primeiro motor elétrico de corrente contínua. Este podia também gerar energia elétrica caso a energia mecânica fosse utilizada para girar o seu eixo. Com a disponibilidade de novas tecnologias, houve o nascimento da indústria de equipamentos elétricos, que permitiu o aperfeiçoamento das baterias e motores elétricos necessários para impulsionar um veículo. Em 1873, Robert Davidson, em Edimburgo, demonstrou o funcionamento de um veículo de quatro rodas, usando uma bateria primária de ferro/zinco. No entanto, foi em 1881, na França, que o engenheiro Gustave Trouvé criou o primeiro veículo elétrico alimentado por uma bateria recarregável chumbo-ácida. Tratava-se de um triciclo que utilizava dois motores *Siemens* modificados que acionavam uma grande roda propulsora através de duas correntes. Estes motores modificados desenvolviam cerca

de 0.1 hp e impulsionavam o veículo de 160 quilos a cerca de 12 km/h. Em 1885, Karl Benz demonstrou o primeiro veículo movido a um motor a combustão interna, um triciclo (WESTBROOK, 2001).

A partir de 1890, a indústria automobilística começou a desenvolver-se mais rapidamente. As principais nações europeias eram a referência principal, seguidas pelos Estados Unidos, com padrões gerais semelhantes. Na virada do século, o automóvel mais popular nos Estados Unidos era o *Locomobile*, movido a vapor. Naquela época, o mercado americano dividia-se, principalmente, entre os veículos elétricos e os veículos a vapor. Em 1899, foram vendidos 1.575 automóveis elétricos, 1.681 a vapor e 936 a gasolina. O veículo elétrico era, então, considerado tecnologicamente superior aos demais, pois os fabricantes tinham fácil acesso a componentes comercialmente disponíveis, visto que utilizavam motores, controladores, interruptores e baterias similares aos dos bondes elétricos, principal meio de transporte público das grandes cidades. O primeiro automóvel a ultrapassar a barreira dos 100km/h foi o veículo elétrico chamado de o “Jamais Contente” (Figura 2), em 1899 (COWAN e HULTÉN, 1996).



Figura 2 - Veículo elétrico “Jamais Contente”, recordista mundial de velocidade entre 1899 e 1902.

Fonte: <newatlas.com>. Acesso em 07/12/2018.

Por volta do ano de 1900, os consumidores podiam escolher entre veículos de transporte motorizados que se dividiam em: movidos a vapor, movidos a gasolina ou, ainda, elétricos. Naquele período, o mercado encontrava-se dividido e não havia indicação de qual tecnologia iria dominá-lo. Os veículos movidos a vapor, alimentados por querosene, eram mais rápidos e baratos, mas necessitavam de um longo tempo para o aquecimento antes da partida, além da necessidade frequente de paradas para reposição de água. Os motores a combustão interna eram mais sujos, possuíam um sistema de partida difícil de ser realizado (por meio de manivela) e eram moderadamente mais caros, mas podiam viajar longas distâncias sem a necessidade de parada. Já os veículos elétricos eram mais limpos e silenciosos, mas também, em contrapartida, eram os mais lentos e caros (ANDERSON e ANDERSON, 2004).

Em termos de estratégia comercial, cada indústria tinha a sua: os fabricantes de automóveis à gasolina visavam o consumo de massa, e tinham o preço como fator-chave; os fabricantes de automóveis a vapor concentravam-se em desenvolver produtos de alta performance, sem considerar aspectos como preço e formas de pagamento; e os fabricantes dos automóveis elétricos procuravam vender produtos caros a consumidores de alto poder aquisitivo (COWAN e HULTÉN, 1996).

O período de 1900 a 1912 foi o de maior expressividade dos veículos elétricos, embora os veículos movidos à gasolina também estivessem se desenvolvendo rapidamente nesse período. Em 1903, havia, em Londres, mais veículos elétricos do que movidos à gasolina (WESTBROOK, 2001).

As três tecnologias existentes apresentavam empecilhos técnicos iniciais. Contudo, enquanto os fabricantes de veículos à gasolina encontravam soluções rápidas, os fabricantes de veículos a vapor e veículos elétricos não eram tão eficazes em responder aos problemas que iam surgindo. Os veículos à gasolina eram muito ruidosos e consumiam água em excesso. Além disso, havia dificuldade de partida ocasionada pela manivela e velocidade máxima baixa. Aos poucos, novas invenções foram ajudando a reduzir os vazamentos de água e aumentar a velocidade máxima.

Em 1909, o recorde mundial de velocidade foi alcançado por um veículo à gasolina ao atingir 202,69 km/h. Em 1912, foi introduzida a partida elétrica. Os principais problemas dos carros a vapor relacionavam-se com o aquecimento, visto que precisavam ser aquecidos por vinte minutos antes da partida, e com o uso da água, já que imensas quantidades do líquido eram consumidas. O problema da necessidade de aquecimento foi resolvido após alguns anos, mas o consumo excessivo de água permaneceu até o desaparecimento da indústria de carros a vapor, em 1920. Os veículos elétricos apresentavam como principais desvantagens o seu desempenho em ladeiras íngremes, o alcance muito curto e a baixa velocidade máxima. Todos esses problemas relacionavam-se com a baixa capacidade de armazenamento das baterias (COWAN e HULTÉN, 1996).

Nos Estados Unidos, alguns fatores foram fundamentais para o declínio dos veículos elétricos e o fortalecimento cada vez maior do mercado de veículos movidos à gasolina. Um dos momentos mais importantes foi a descoberta de grandes reservas de petróleo no Texas, em 1901, que ocasionou o barateamento da gasolina e o aumento de sua disponibilidade. Com o tempo, uma grande infraestrutura de postos de abastecimento foi se consolidando, sem o acompanhamento da rede elétrica. Em 1912, foi introduzida a partida elétrica nos motores à gasolina, tornando a mesma confiável e de fácil realização. O americano Henry Ford decidiu produzir carros à gasolina acessíveis, por meio de produção em massa e do uso de peças intercambiáveis para agilizar a manutenção dos automóveis. Em 1912, os veículos elétricos estavam sendo vendidos na faixa de US \$ 1.750 a US \$ 3.000, enquanto um carro movido à gasolina construído pelos novos processos de produção era vendido por US \$ 650 (ANDERSON e ANDERSON, 2004).

Em 1920, os veículos movidos à gasolina já eram completamente dominantes. Para fins de comparação, em 1924, somente 381 veículos elétricos foram produzidos nos Estados Unidos, contra 3.185.490 veículos à gasolina. Postos de gasolina foram construídos e a indústria de refino de petróleo cresceu em tamanho e capacidade técnica. Surgiram oficinas especializadas em motores à gasolina. A criação de uma forte infraestrutura de concessionárias, postos de combustíveis e mecânicas tornou os

veículos movidos à gasolina líderes absolutos, praticamente eliminando o mercado das outras tecnologias (COWAN e HULTÉN, 1996).

Entre as décadas de 1920 a 1960, os veículos elétricos praticamente desapareceram. Quase todos os fabricantes cessaram suas atividades ou passaram a utilizar motores à combustão interna movidos à gasolina. Alguns poucos veículos elétricos eram produzidos sob encomenda ou diante de situações específicas, como a ocorrida no Japão, entre 1937 e 1954, quando a escassez de gasolina durante a guerra elevou a participação dos veículos elétricos para 3% da frota japonesa (WESTBROOK, 2001).

O interesse pelos veículos elétricos é retomado a partir da década de 1960, quando debates sobre problemas ambientais nas grandes cidades começaram a emergir. Nesta época, o chumbo era utilizado como aditivo na gasolina e não existiam filtros de partículas ou catalisadores para conter as emissões. Os motores à combustão eram tratados como vilões e os veículos elétricos como a possível solução. Assim, após um longo tempo sem visibilidade, os automóveis elétricos estavam novamente em cena, por meio de protótipos e programas de pesquisa (ANDERSON e ANDERSON, 2004).

Conforme Baran e Legey (2010), acredita-se que o ressurgimento do carro elétrico é atribuído, em grande parte, ao incentivo estratégico dado pelo governo norte-americano aos fabricantes de veículos híbridos e elétricos. Diz-se estratégico por motivos de segurança energética e insere-se em um contexto bastante promissor, com o fortalecimento do discurso da economia sustentável, baseada em fontes de energia renováveis.

Na década de 1970, a crise do petróleo fez com que o mundo questionasse a viabilidade futura do sistema de transporte majoritariamente movido a derivados do petróleo, cuja origem provém, em grande parte, de regiões politicamente instáveis do Oriente Médio. Nesse período, a França lançou um ambicioso projeto envolvendo empresas apoiadas por fundos estatais, o qual objetivava construir um mercado para veículos elétricos no país. Foram avaliadas as necessidades dos consumidores em potencial, bem como suas exigências de desempenho, deixando rapidamente claro que

era impossível produzir o veículo desejado com a então tecnologia de baterias existente (COWAN e HULTÉN, 1996).

Em 1976, o Senado dos Estados Unidos autorizou o lançamento de um programa federal para o desenvolvimento dos veículos elétricos e híbridos. O orçamento de 160 milhões de dólares deveria ser usado para baterias e veículos. O objetivo era fabricar 2.500 carros elétricos e híbridos no primeiro ano e aumentar a produção para 5.000 unidades no ano seguinte e 50.000 veículos posteriormente. O programa nunca cumpriu suas metas ambiciosas, sendo interrompido por razões orçamentárias em 1983 (NICOLON, 1984).

O Japão iniciou um programa de desenvolvimento de veículos elétricos em 1965. De 1971 a 1976, 19 milhões de dólares foram gastos em um grande projeto nacional. Durante este período, duas gerações de veículos elétricos foram desenvolvidas e cerca de 300 tipos de veículos diferentes foram fabricados. Em 1976, o governo visava a produção de 200.000 veículos elétricos – número este não alcançado (NICOLON, 1984).

Até a década de 1980, muitos projetos de pesquisa semelhantes foram realizados em outros países. No entanto, nenhum deles culminou na produção em massa de veículos elétricos. Acreditava-se que as baterias poderiam ser melhoradas rapidamente, mas isso não aconteceu, e os veículos elétricos e híbridos permaneceram não competitivos (COWAN e HULTÉN, 1996). A **tabela 1** apresentada a seguir resume os principais eventos ocorridos até 1990.

Tabela 1 - Principais eventos na história dos veículos elétricos. 1800-1990.

| Ano | Evento Histórico |
|---------------|---|
| 1800 | Alessandro Volta inventa a primeira célula de bateria primária. |
| 1821 | Faraday demonstra os princípios dos motores elétricos. |
| 1834 | O primeiro veículo elétrico movido à bateria primária é demonstrado por Davenport. |
| 1859 | São inventadas as células de baterias secundárias chumbo-ácidas por Planté. |
| 1869 | Primeiro motor elétrico com mais de 1 hp é construído por Gramme. |
| 1881 | Primeiro veículo movido à bateria secundária é montado por Trouvé. |
| 1885 | O primeiro veículo movido a motor de combustão interna é demonstrado por Benz. |
| 1887- 1898 | Veículos elétricos são aperfeiçoados na Europa e nos Estados Unidos. |
| 1899 | Recorde mundial de velocidade é estabelecido por um veículo elétrico. |
| 1900 | Veículos movidos a vapor, à gasolina e elétricos disputam um mercado dividido igualmente entre as três tecnologias. |
| 1900- 1912 | Período de maior expressividade dos veículos elétricos, mas os automóveis movidos a gasolina começam a dominar o mercado. |
| 1921- 1960 | Veículos à gasolina dominam completamente o mercado, enquanto os veículos elétricos desaparecem. |
| 1960- 1990 | Veículos elétricos ressurgem em números muito reduzidos. |

Fonte: Westbrook (2001). Modificado pelo autor.

Em 1990, o governo da Califórnia aprovou a primeira legislação para promover o desenvolvimento de veículos elétricos. Criada pela *CARB (California Air Resources Board)*, órgão responsável por monitorar a qualidade do ar no estado da Califórnia, a legislação atraiu o interesse de outros dez estados dos Estados Unidos, que decidiram aplicar o mesmo regulamento. As regras obrigavam as montadoras a vender um determinado número de veículos *ZEV (Zero Emission Vehicle)*, alimentados apenas por bateria, ou estariam sujeitas a severas penalidades monetárias. Foram definidas as seguintes cotas de venda de veículos com emissão zero: 2% em 1998, 5% em 2001 e 10% em 2003 (COWAN e HULTÉN, 1996).

Em 1996, a *General Motors* lança nos Estados Unidos o “EV1”, com a intenção de se adequar às futuras exigências do *CARB*. Trata-se do primeiro veículo moderno puramente elétrico produzido em série por uma grande empresa automobilística. Embora tenha agradado aos consumidores, a GM interrompeu a produção em 1999 (pouco mais de 1.000 unidades foram produzidas), alegando impossibilidade de obter rentabilidade com o modelo (CAMARGO JR. et al, 2011).

A indústria automobilística entrou na justiça contra o *CARB* alegando que os carros elétricos tinham alto custo de produção - custando de duas a três vezes mais que os movidos à gasolina - e não eram rentáveis o suficiente para se manterem no mercado. Ao longo dos anos, o *CARB* foi obrigado a abrandar seus rígidos regulamentos, incluindo veículos híbridos, combustíveis alternativos e outras concessões, para que se tornasse possível o cumprimento de suas exigências. As adequações demonstraram que a demanda dos consumidores e novas tecnologias não poderiam ser criadas apenas por vontade política (ANDERSON e ANDERSON, 2004).

Em 2004, a *Tesla Motors* começou a desenvolver o modelo *Roadster*, entregue aos clientes em 2008. Utilizando baterias de íons de lítio, ele atingiu alcance superior a 320 km por carga, algo que nenhum outro veículo elétrico de produção em série havia realizado até o momento. Com um visual esportivo, o *Roadster* alterou o estereótipo dos carros elétricos e estimulou um interesse genuíno das grandes montadoras no mercado (BERDICHEVSKY; KELT; STRAUBEL; TOOMRE, 2006).

O anúncio da Tesla e o sucesso subsequente estimulou diversas montadoras de grande porte a acelerarem os trabalhos em seus próprios veículos elétricos. Em 2009, a montadora lançou o modelo S, que, apesar do alto preço e acabamento luxuoso, tornou-se um grande sucesso de vendas (DAPENA e SHERMAN, 2019). Desde então, diversas montadoras realizaram o lançamento de novos veículos elétricos.

Em 2010, a montadora *Nissan* lança o modelo *Leaf*, que, em alguns anos, se tornaria o veículo puramente elétrico mais vendido no mundo. Já em 2013, grande parte das principais montadoras do mundo haviam lançado algum modelo de veículo puramente elétrico no mercado (GERTZ e GRENIER, 2019).

Até o ano de 2014, os Estados Unidos possuíam a maior parte do estoque global de automóveis puramente elétricos. Em 2015, a China tomou a liderança, representando quase um terço do total mundial. Já em 2019, foram registrados 2,1 milhões de novos VEBs em todo o mundo. A Noruega foi o país com a maior proporção, os quais representaram 42,4% do todas as vendas de automóveis no país. Na China a proporção esteve em torno de 3,9%. Apesar do percentual pouco expressivo, em 2019 a China foi o maior mercado mundial, representando cerca de 55% de todos os automóveis VEBs vendidos no mundo, e mais que o triplo da quantidade vendida no Estados Unidos (IEA, 2020a). A **tabela 2** abaixo demonstra a evolução do estoque de alguns países.

Tabela 2 - Evolução do estoque de VEBs em alguns países. De 2010 a 2019 – (Em mil unidades)

| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|----------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|----------|---------|
| Brasil | 0 | 0 | 0 | 0,06 | 0,12 | 0,25 | 0,32 | 0,40 | 0,94 |
| China | 6,32 | 15,96 | 30,57 | 79,48 | 226,19 | 483,19 | 951,19 | 1,746,99 | 2581,19 |
| França | 2,93 | 8,60 | 17,38 | 27,94 | 45,21 | 66,97 | 92,95 | 124,01 | 166,81 |
| Noruega | 2,63 | 6,81 | 15,01 | 33,10 | 58,88 | 83,10 | 116,13 | 162,27 | 222,62 |
| EUA | 13,52 | 28,17 | 75,86 | 139,28 | 210,33 | 297,06 | 401,55 | 640,37 | 882,28 |

Fonte: (IEA, 2020a). Modificado pelo autor.

Desde 2017, diversos países europeus anunciam que possuem planos de banir veículos movidos a combustíveis fósseis. Segundo Farand (2017), a França e o Reino Unido anunciaram planos de proibir as vendas de veículos movidos a diesel e à gasolina até 2040, como compromisso firmado no Acordo de Paris sobre o clima. Anúncios similares foram realizados por outros países. A Alemanha e a Índia informaram suas metas de impedir as vendas até 2030, bem como Holanda e Noruega, em 2025.

Ainda que ambiciosos, a grande maioria dos anúncios realizados são por meio de planos ou intenções, não tendo vínculos com decretos ou legislações efetivas contemplando estes prazos. A exceção é a França, que em dezembro de 2019 transformou em lei banir veículos a combustão interna até 2040 (IEA, 2020a).

2.2 Histórico dos veículos elétricos no Brasil

A indústria automotiva nacional teve início tardio se comparado com outras nações desenvolvidas que já desenvolviam automóveis há pelo menos 50 anos quando as primeiras fábricas e montadoras se estabeleceram no Brasil (CANGUE et al, 2004). Até a década de 1990, as montadoras brasileiras possuíam atividade de engenharia limitada na realização de ajustes para atender as particularidades do clima, padrão de rodovias e legislação do país, o que foi denominado tropicalização (CASOTTI; GOLDENSTEIN, 2008).

No Brasil, o movimento em favor do carro elétrico surgiu em meados da década de 70 com a crise de petróleo, quando houve um aumento do interesse por energias alternativas que pudessem ser aplicadas ao setor de transportes (NOCE, 2009).

Em 1973 foi desenvolvido o primeiro veículo elétrico nacional, o Gurgel Itaipu, ilustrado na Figura 3, projetado pelo engenheiro brasileiro João Augusto Conrado do Amaral Gurgel e apresentado no Salão do Automóvel de São Paulo em 1974. O Gurgel Itaipu era um minicarro destinado ao uso urbano, com capacidade para duas pessoas. As baterias chumbo-ácidas eram recarregadas em tomadas elétricas residenciais, pesavam mais de 300 kg e capazes de fornecer cerca de 60 km de autonomia ao veículo (CORTEZZI, 2017).



Figura 3 - Gurgel Itaipu.

Fonte: Disponível em: < <http://www.gurgel800.com.br/publicacoes/quatorrodas/564/> > Acesso em 17/06/2019.

Apesar de obter a venda de algumas unidades para empresas, sem a obtenção do devido suporte financeiro o modelo não obteve sequência. Todavia, o ideal do carro elétrico ainda permaneceu e em 1981, saíria o Itaipu E-400, como o primeiro carro elétrico comercializável da América Latina (ALMEIDA, 2016).

O desenvolvimento dos Itaipus colocaram a Gurgel na vanguarda da tecnologia. A visibilidade adquirida pela Gurgel com o E-400 trouxe para João Gurgel a expectativa de um rápido crescimento, mas o baixo desempenho associado a baixa autonomia limitavam a utilização do modelo. Os esforços em produzir veículos elétricos com melhor desempenho e maior autonomia duraram até o final da década de 80 quando a superação da crise do petróleo e o sucesso do programa governamental “Proálcool” favoreciam os motores a combustão interna, que estavam mais eficientes com o advento da injeção eletrônica (NOCE, 2009).

Já em 2006, a Itaipu Binacional em conjunto com a KWO, Kraftwerke Oberhasi AG desenvolveram protótipos de VEBs. No primeiro ano foram produzidas mais de 80 unidades a partir do modelo Palio Weekend, com autonomia de 100 quilômetros, velocidade máxima de 110 km/h e tempo de recarga de 8 horas utilizando baterias de sódio, níquel e cádmio (BINACIONAL, 2015).

O programa da Itaipu se estendeu ao decorrer dos anos, e em 2018 foi inaugurado o Centro de Inovação em Mobilidade Elétrica Sustentável da Itaipu, em Foz do Iguaçu (PR). O Centro tem a pesquisa e inovação como foco, com ênfase na área de armazenamento de energia com o desenvolvimento de baterias com tecnologia nacional (BINACIONAL, 2018).

Outra iniciativa brasileira é o caminhão elétrico e-Delivery, da Volkswagen-MAN em parceria com a Eletra e WEG. O veículo tem capacidade de até 11 toneladas, autonomia de 200 km e pode subir rampas de até 30°. A primeira unidade foi entregue em novembro de 2018 a Ambev, que pretende receber 1.600 unidades do modelo até 2023 (ABVE, 2018).

Em 2019 a frota nacional de automóveis puramente elétricos era cerca de 940 unidades, número ainda insignificante tendo em vista os mais de 42 milhões de veículos leves em circulação no país (IEA, 2020a) e (SINDIPEÇAS, 2019).

É importante destacar que o Brasil conta com a presença de diversas montadoras multinacionais de capital estrangeiro, mas não há montadora de veículos elétricos, e nem mesmo convencionais, genuinamente brasileira e de projeção internacional. Este cenário contrasta com o de diversos países onde a eletrificação veicular tem maior projeção (BNDES, 2019) e (IEA, 2020a).

3. ANÁLISE DE VEÍCULOS CONVENCIONAIS E INTERAÇÕES COM VEÍCULOS ELÉTRICOS A BATERIA

Este capítulo descreve os automóveis convencionais movidos a motor de combustão interna, suas características e conjunturas que de algum modo os relacione a veículos elétricos a bateria.

3.1 Definição

Os veículos convencionais movidos a motor de combustão interna (MCI) convertem a energia química do combustível em energia mecânica. Primeiramente, a energia química é convertida em energia térmica pela combustão dentro do motor. Essa energia térmica aumenta a temperatura e pressão dos gases, expandindo-os contra mecanismos e articulações mecânicas, gerando um movimento rotativo, que é a saída do motor (PULKRABEK, 1997).

O primeiro motor a combustão interna foi concebido na década de 1860 e J. J. E. Lenoir (1822-1900) foi o primeiro a desenvolver uma versão comercial desta tecnologia. Alguns anos mais tarde, Nicolaus A. Otto (1832-1891) e Eugen Langen (1833-1895) aprimoraram o MCI, introduzindo um ciclo de quatro tempos (Figura 4), ao invés de apenas dois, melhorando a eficiência energética e reduzindo o peso total. Estavam assim criados os conceitos fundamentais de motores de combustão interna que conhecemos hoje. Nos anos seguintes e até os dias atuais, inúmeros aprimoramentos foram realizados, mas este conceito fundamental se manteve desde então (HEYWOOD, 1988).

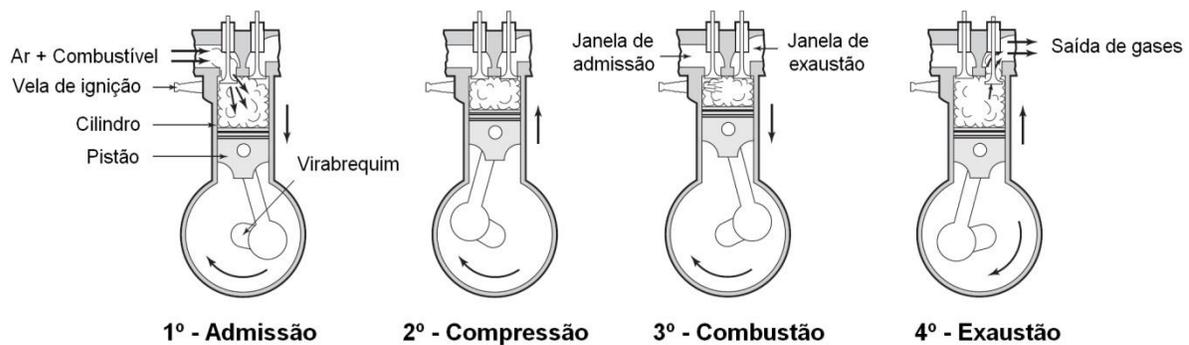


Figura 4 - Motor de combustão interna – Ciclo Otto - 4 tempos.

Fonte: (FERGUSON e KIRKPATRICK, 2016). Modificado pelo autor.

Os veículos convencionais se beneficiam de ampla e consolidada infraestrutura moldada para sua presença. Há grande disponibilidade de postos de combustíveis, concessionárias, oficinas de reparo, autopeças, entre outros serviços especializados que tornam bastante conveniente possuir um veículo deste tipo. Estes se beneficiam também da economia de escala, visto que são produzidos em grandes quantidades através de processos produtivos altamente especializados, permitindo a redução do custo final ao consumidor (MDIC, 2018).

3.2 Combustíveis e emissões

Os combustíveis utilizados em MCIs apresentam como característica comum a alta densidade de energia e potência, que possibilita a concepção de veículos para os mais diversos fins, desde pequenas motocicletas até grandes veículos para transporte de carga. Permitem ainda o deslocamento em grandes distâncias sem a necessidade de reabastecimento, visto que podem ser facilmente armazenados. Além disto, ocupam espaço reduzido do veículo, sem causar aumento significativo do peso final e permitem um rápido processo de reabastecimento, visto que são apenas inseridos no interior tanque de combustível (FRANCIS e PETERS, 1980).

Globalmente, a maior parcela dos combustíveis utilizados no setor de transporte possui origem fóssil, com destaque para a gasolina e o diesel que são derivados de petróleo (WALLINGTON et al, 2006). No Brasil, os biocombustíveis possuem participação

expressiva com a utilização do etanol e biodiesel. Grande parte da frota nacional utiliza a tecnologia *flex-fuel*, que possibilita a utilização de etanol ou gasolina, ou uma mistura dos dois em qualquer proporção (ALMEIDA et al, 2017). Além disto, a legislação Brasileira obriga a adição de percentuais fixos de etanol anidro a toda gasolina automotiva vendida no país e de biodiesel a todo óleo diesel comercializado. Há também a utilização de Gás Natural Veicular (GNV), que apesar de ser um combustível de origem fóssil, apresenta uma queima com menores emissões (PACHECO E CASTRO, 2004)

No processo de combustão interna, são geradas diversas emissões como subproduto da queima do combustível. Essas emissões poluem o meio ambiente, contribuem para o aquecimento global, chuva ácida, poluição atmosférica, odores, problemas respiratórios entre outros problemas de saúde (PULKRABEK, 1997).

Danos são causados no entorno das áreas onde são utilizados veículos convencionais; por exemplo, os ruídos gerados pelos motores dos veículos e a fuligem expelida dos escapamentos que se acomodam nas ruas, fachadas e até mesmo no interior de imóveis. Gases de efeito estufa (GEE) são expelidos para a atmosfera contribuindo para o aquecimento global. O principal poluente nessa categoria é o dióxido de carbono (CO₂), que serve também como unidade de equivalência para os demais GEE (CARVALHO, 2011).

3.3 Eficiência energética

De acordo com o departamento de eficiência energética dos EUA (FUEL ECONOMY, 2018a), nos veículos convencionais a gasolina, apenas de 12-30% da energia do combustível é realmente utilizada para movê-los. O restante são perdas ou energia utilizada em sistemas acessórios. Nos veículos movidos à gasolina, mais de 60% da energia do combustível é perdida no motor de combustão interna na forma de energia térmica. Perdas menores também ocorrem devido ao atrito entre partes móveis, combustão ineficiente e perdas aerodinâmicas no processo de bombeamento do ar ao motor. Tecnologias como o comando variável de válvulas, turbo compressores, sistemas de injeção avançados e sistemas de desativação de cilindros podem ser

utilizadas para reduzir perdas. Outra alternativa é a utilização de sistemas diesel, que são cerca de 33% mais eficientes que os sistemas a gasolina.

No sistema de transmissão, cerca de 6% da energia é perdida, principalmente devido ao atrito em engrenagens e rolamentos. Tecnologias como a transmissão manual automatizada, dupla embreagem, conversor de torque com sistema de bloqueio e transmissões continuamente variáveis podem reduzir perdas. Os sistemas de bombeamento de água, bombeamento de combustível, módulos de controle, sistemas multimídia, sistemas de iluminação, aquecedores de assento e volantes, limpadores de para-brisas e entre outros, também necessitam de energia do motor para funcionamento. Desta forma, apenas 12-30% da energia do combustível é convertida para as rodas, sendo por fim dissipada na forma de resistência a rolagem, resistência aerodinâmica e perdas na frenagem (FUEL ECONOMY, 2019b).

A seguir, na figura 5, são resumidas as perdas em veículos convencionais a gasolina.

Consumo energético veículo leve a gasolina

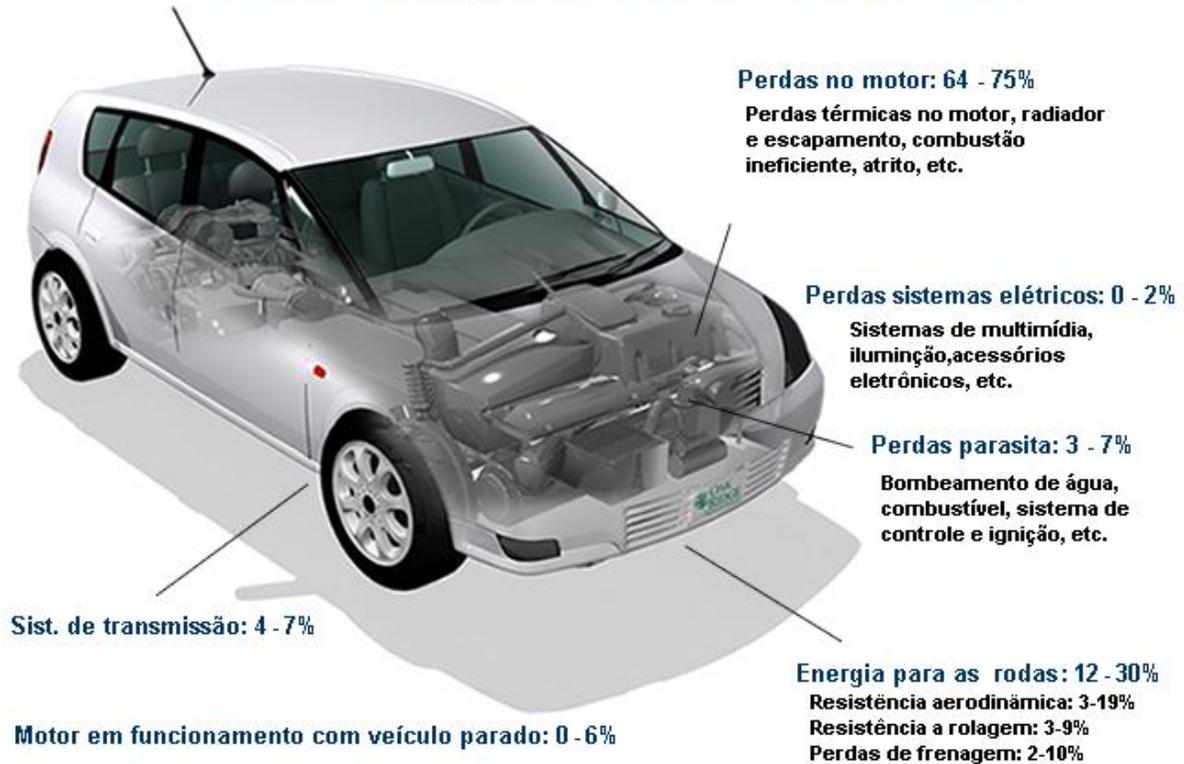


Figura 5 - Consumo energético de veículo leve a gasolina.

Disponível em <<https://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml>>. Acesso em 28/12/2018. Modificado pelo autor.

Apesar da atual baixa eficiência energética, o potencial para aumento com novas tecnologias é muito grande. Embora a maioria já esteja disponível comercialmente, o emprego destas leva a maiores custos de fabricação. Parte deste aumento é compensado pela economia de combustível. A **tabela 3** a seguir demonstra o impacto de novas tecnologias na eficiência de veículos convencionais.

Tabela 3 - impacto de novas tecnologias no aumento da eficiência energética de motores a combustão interna

| Tecnologias aplicáveis ao MCI | Aumento na eficiência (%) |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| Comando variável de válvulas | 1 – 9 |
| Sistema de desativação de cilindros | 7 - 7,5 |
| Turbo compressores | 2 - 7,5 |
| Sistema Start-Stop | 0,5 – 8 |
| Sistema de injeção avançados | 3 – 15 |
| Redução de atritos no motor | 2 – 6 |
| Sistema para compressão variável | 10 |

| Tecnologias aplicáveis a transmissão | Aumento na eficiência (%) |
|--|----------------------------------|
| Cambio CVT (Continuously Variable Transmissions) | 3 – 8 |
| Cambio AMT (Automated Manual Transmission) | 7 – 9 |

Fonte: (KOBAYASHI, PLOTKIN, e RIBEIRO, 2009).

3.5 Aquecimento global

Em novembro de 2015, quase duzentos países aprovaram o chamado Acordo de Paris, um marco internacional que busca reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera em quantidade suficiente para manter o aquecimento global abaixo de 2º C, além de redobrar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5º C (BNDES, 2017b).

No acordo, houve comprometimento do Brasil em reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, com uma contribuição indicativa subsequente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. Para isso, no que tange aos veículos convencionais, o país se comprometeu a aumentar a participação de biocombustíveis na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030, aumentando a oferta de etanol, inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração), e aumentar a parcela de biodiesel na mistura do diesel. No que tange aos veículos elétricos, não houve nenhum compromisso firmado (MMA, 2016).

3.6 O etanol brasileiro

Diante de um cenário mundial em que as políticas públicas pressionam pela redução das emissões de CO₂, o etanol de cana produzido no Brasil representa uma solução de rápida implantação por sua elevada compatibilidade com o atual padrão veicular e a infraestrutura de distribuição e abastecimento energético (BNDES, 2017b).

Estudo realizado pela Embrapa Agrobiologia e premiado pela revista *Science*, comprovou que o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar é capaz de reduzir em até 73% as emissões de CO₂ na atmosfera – se usado em substituição à gasolina. O estudo considerou todas as emissões de gases durante os processos para obtenção dos produtos finais (etanol e gasolina). Se a colheita for totalmente mecanizada – sem recorrer a queimadas – a vantagem do etanol é ainda maior: 86% em relação à gasolina e 78% em relação ao diesel, comprovando cientificamente a vantagem do etanol em substituição à gasolina (MARQUES, 2009).

O Brasil ainda lidera a criação da Plataforma para o Biofuturo, iniciativa de vinte países voltada para acelerar o desenvolvimento dos biocombustíveis avançados e o progresso da bioeconomia. Ratificando as intenções do acordo de Paris, os biocombustíveis avançados são tratados como alternativa aos veículos elétricos, atuando efetivamente na redução das emissões de gases do efeito estufa (BNDES, 2017b). Ressalte-se que a Lei nº 9.478/1997 estabelece como um dos objetivos da política energética nacional incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional. Nesse contexto, a Lei nº 13.576/2017 instituiu a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) como parte integrante da política energética nacional, almejando contribuir para o atendimento aos compromissos do Brasil no âmbito do Acordo de Paris e adequação da eficiência energética e redução de emissões de gases causadores do efeito estufa por meio dos biocombustíveis.

No ano de 2017, o Brasil foi o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma fatia de 39% do mercado mundial. Na produção de etanol o país ocupou a posição de segundo maior produtor com um total de 27%.

A produção brasileira de cana-de-açúcar na safra (2016/17) foi de mais de 657 milhões de toneladas, em uma área plantada de aproximadamente 9 milhões de hectares, o que representa algo em torno de 12% da área agrícola em uso no Brasil.

Diversos setores são beneficiados como insumos agrícolas (fertilizantes, defensivos, máquinas e equipamentos) e insumos para as agroindústrias (usinas). Diferente de outros setores, como o de petróleo, nos quais a renda se concentra em poucas cidades (tanto pela extração quanto pelo refino), no setor sucroenergético a produção agrícola e as unidades industriais estão espalhadas pelo interior do país, levando renda e desenvolvimento para estas regiões, em centenas de municípios (BNDES, 2017a).

O setor tem forte impacto como um gerador de riquezas para a nação, sendo que em 2013/14 gerou um PIB de US\$ 43,4 bilhões, o que equivaleu a aproximadamente 2% do PIB do Brasil (CNI, 2017).

De acordo com NOGUEIRA et al, (2014), uma participação significativa de VEBs na frota nacional teria o potencial de prejudicar o setor sucroalcooleiro visto que uma parte da demanda energética dos veículos leves seria atendida por eletricidade, havendo assim redução equivalente na demanda por combustíveis líquidos, inclusive etanol.

Existe o receio de que a entrada de veículos eletrificados possa contribuir duplamente para redução da participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira, pois uma queda na produção de cana ocasionaria não só redução na produção de etanol, mas também uma queda na geração de eletricidade por meio do bagaço de cana (BRAJTERMAN, 2016).

3.7 O biodiesel brasileiro

O biodiesel é um combustível renovável destinado principalmente à aplicação em motores de ignição por compressão interna em ciclo diesel (RAMOS et al, 2017)

Em 2004 o biodiesel entrou em pauta no Brasil com o governo federal lançando o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). O objetivo inicial foi introduzir o biodiesel na matriz energética brasileira com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional. Neste mesmo ano, misturas de biodiesel ao diesel fóssil foram realizadas em caráter experimental e, entre 2005 e 2007, no teor de 2%, a comercialização passou a ser voluntária. A obrigatoriedade veio no artigo 2º da Lei nº 11.097/2005, que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira. Em janeiro de 2008, entrou em vigor a mistura legalmente obrigatória de 2%, em todo o território nacional (ANP, 2020).

Com o amadurecimento do mercado brasileiro, esse percentual foi sucessivamente ampliado, conforme pode ser observado na **tabela 4**:

Tabela 4 - Evolução do percentual de teor de biodiesel presente no diesel fóssil no Brasil

| Data | Percentual de biodiesel |
|-------------|--------------------------------|
| 2003 | Facultativo |
| Jan/2008 | 2 % |
| Jul/2008 | 3 % |
| Jul/2009 | 4 % |
| Jan/2010 | 5 % |
| Ago/2014 | 6 % |
| Nov/2014 | 7 % |
| Mar/2018 | 10 % |
| Set/2019 | 11 % |
| Mar/2020 | 12 % |

Fonte: (ANP, 2020).

Em 2018, o Brasil foi o segundo maior produtor mundial de biodiesel, com a produção de 5,4 bilhões de litros do combustível. A expectativa é que nos próximos anos atinja a primeira posição, visto que a proposta do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) é expandir gradualmente o percentual obrigatório de biodiesel para 15% até

2023, atendendo estrategicamente aos compromissos de redução de emissões assumidos no acordo de Paris (EPE, 2019b).

3.8 O petróleo brasileiro

Dados demonstram que o setor de petróleo e gás é de extrema importância para o Brasil, gerando milhares de empregos e injetando bilhões de reais na economia. Em 2017 representou aproximadamente 13% do PIB brasileiro (ANP, 2018). De acordo com a Agência Internacional de Energia, em 2017 o Brasil foi o 10º produtor mundial de petróleo e o maior produtor da América Latina, superando Venezuela e México (IEA, 2020b).

Os números são significativos; entretanto, a indústria do petróleo é pequena se avaliado o que ainda pode representar ao País. Menos de 5% das áreas sedimentares estão concedidas e grande parte da porção marítima nunca teve poços perfurados (ANP, 2018).

O Setor de Petróleo e Gás supre a demanda energética nacional em proporções substancialmente grandes quando comparadas aos demais energéticos. De acordo com o balanço energético nacional publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019a), os derivados de petróleo representam 39,3% do total de energia consumida no país, seguido pela energia elétrica com 18% e derivados da cana de açúcar representando 17,1% (**Tabela 5**). Desta forma, este setor se coloca em uma posição privilegiada na agenda política e econômica do Brasil, sobretudo no que diz respeito a políticas de segurança energética e manutenção e/ou incremento da produção como importante fonte de recursos econômicos e geopolíticos.

Tabela 5 - Consumo de energia por fonte no Brasil.

| | Derivados de petróleo | Eletricidade | Derivados de Cana | Gás Natural | Outras Fontes |
|---|------------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|
| Consumo de energia por fonte (%) | 39,3% | 18% | 17,1% | 7,7% | 17,9% |

Fonte: (EPE, 2019a)

Apesar de o Brasil possuir forte participação de fontes renováveis na matriz, o petróleo se coloca como principal energético do país e este fato não deve se alterar no curto e

médio prazos, sobretudo em um contexto de grandes reservas de óleo de boa qualidade na região do pré-sal (BICALHO e TAVARES, 2014).

Em uma década, a exploração do pré-sal atingiu níveis de produção que o conjunto das bacias petrolíferas brasileiras demorou mais de meio século para alcançar. Desde o início das operações, em 2008, a participação do pré-sal no conjunto da produção nacional cresceu vertiginosamente, a ponto que em dezembro de 2017 já era responsável por mais da metade do volume de petróleo extraído no Brasil (PESSOA e PIQUET, 2017). Os primeiros indícios da existência de petróleo nessa formação ocorreram em 2003, a partir de estudos sísmicos encomendados pela Petrobras e parceiros consorciados. As primeiras perfurações iniciaram em 2003 e em novembro de 2007 era anunciada a descoberta de reservas recuperáveis supergigantes de petróleo. Nos anos seguintes ocorreram diversas novas descobertas tornando o pré-sal um dos melhores campos exploratórios do mundo, representando uma das maiores descobertas offshore na última década (MORAIS J. M. 2013). Do ponto de vista da economia brasileira, os resultados são igualmente positivos. De fato, o Brasil tornou-se destaque na indústria mundial de petróleo, na última década, sendo responsável por seis das dez maiores descobertas anunciadas no período entre 2008 e 2016 (PESSANHA, 2017).

O Brasil vem ainda realizando grandes esforços, mobilizando recursos políticos e de capital para o pleno aproveitamento de suas reservas. É reconhecida assim a oportunidade de, mais que garantir a autossuficiência, permitir ao país tornar-se um exportador relevante de petróleo no mercado internacional. Tal mudança estrutural terá implicações importantes no sistema econômico brasileiro no que tange o perfil da balança comercial e da indústria, na arrecadação fiscal, no emprego e avanço tecnológico (BICALHO e TAVARES, 2014).

Neste contexto, nota-se a importância das reservas de petróleo brasileiras. Eventuais cenários que reduzam o consumo desta *commodity*, como, por exemplo, a maior participação de VEBs na frota nacional, acabam se opondo aos interesses políticos e econômicos envolvidos.

3.9 Impactos do preço do petróleo

De acordo com Ribeiro et al (2018), os mecanismos de oferta e demanda são muito relevantes na formação do preço do petróleo, entretanto, em se tratando de tal riqueza, interesses estratégicos agem também na formação do preço desta *commodity*, inter-relacionando economia, geopolítica e relações internacionais. O petróleo representa, para além de questões de energia, força e poder político e econômico no cenário internacional.

De acordo com Mielnik (2012), os preços do petróleo têm efeito sobre o conjunto geral da atividade econômica e orientam investimentos no desenvolvimento de alternativas ao petróleo, viabilizando ou não a oferta de fontes energéticas que possam substituí-lo. O preço do petróleo acaba também por impactar no interesse por veículos elétricos, visto que quanto menor é o preço de combustíveis utilizados em veículos movidos a MCI, menor tende a ser a atratividade de tecnologias alternativas como os veículos elétricos (HUSSEINPOUR et al, 2015).

Uma menor procura por combustíveis derivados de petróleo tende ainda a ocasionar redução no preço desta *commodity* que, por sua vez, deve reduzir o custo de combustíveis líquidos e melhorar o custo por km percorrido dos veículos que possuem MCIs. As quedas históricas ocorridas nas cotações do petróleo em abril de 2020 devido a pandemia da Covid-19 são um exemplo de como a queda na demanda é capaz de reduzir significativamente o preço do petróleo (IEA, 2020b).

Com o exposto acima, é possível inferir que o preço do petróleo é bastante sensível a oferta e demanda e também a questões estratégicas, podendo ocorrer alterações no preço dos combustíveis derivados de petróleo que impactem na atratividade de VEBs quando comparados a veículos convencionais no quesito custo por km percorrido.

3.10 O trancamento tecnológico do MCI

A adoção inicial de uma tecnologia pode causar um efeito “bola-de-neve” que resulta na dominação desta em detrimento de outras demais. Isto ocorre quando o desenvolvimento tecnológico posterior é dependente do anterior, fenômeno denominado dependência do caminho (COWAN e HULTÉN, 1996). Quanto mais se investe em um padrão tecnológico, mais difícil se torna a mudança para um padrão alternativo, pois esta transição tende a ser cada vez mais dispendiosa à medida que a tecnologia escolhida é desenvolvida (PESSALI e FERNANDES, 2006).

Assim, uma tecnologia pode dominar por um longo período inibindo o desenvolvimento e a introdução de tecnologias alternativas, mesmo que estas sejam superiores em diversos aspectos. Isso ocorre porque o desenvolvimento tecnológico é um processo demorado de investigação, que envolve muitas vezes grandes investimentos e grandes incertezas. Nesta situação, não há motivação para troca de tecnologia visto que já foi investido capital e tempo no desenvolvimento da tecnologia dominante. Os fabricantes se beneficiam das economias de escala e dos investimentos realizados em pesquisa e desenvolvimento e os usuários do aprendizado já obtido. Este fenômeno é denominado trancamento tecnológico (SMITH, 2010).

Em contraste com argumentos puramente econômicos, nos quais mercados perfeitos e agentes otimizadores plenamente informados selecionam a tecnologia ideal, podem ocorrer situações em que opções inferiores são selecionadas em detrimento de opções superiores. Trancamentos tecnológicos em torno de opções inferiores podem ocorrer através de um processo dependente do caminho, no qual o momento, a estratégia e as circunstâncias históricas, tanto quanto a otimização, determinam a tecnologia vencedora que irá exibir retornos crescentes de desenvolvimento e comercialização, acelerando melhorias em relação a variantes concorrentes (ARTHUR, 1989) e (UNRUH, 2000).

Uma vez que ocorra um trancamento tecnológico, haverá dificuldade em ocorrer um “destrancamento”, mesmo que surjam alternativas superiores ao padrão já estabelecido. Contudo, o trancamento tecnológico não é uma condição permanente,

mas sim um estado persistente devido à existência de barreiras mercadológicas e políticas que dificultam a adoção de tecnologias alternativas (UNRUH, 2000).

Neste sentido, o trancamento tecnológico do MCI se torna uma evidente barreira à penetração de VEBs. Os veículos convencionais são parte de um sistema fortemente interconectado gerido por uma série de instituições públicas e privadas. São formados por diversos sistemas que podem ser quebrados em subsistemas menores e as interações entre os agentes que fazem parte dos diversos níveis são de tal grandeza que é difícil desfazê-las, ainda que surjam no mercado alternativas tecnologicamente superiores (BARAN, 2012).

No entanto, mudanças na indústria automobilística estão ocorrendo em favor dos veículos elétricos, representando um potencial para destrancamento tecnológico do MCI.

4. ANÁLISE DE VEÍCULOS ELÉTRICOS A BATERIA

4.1 Veículos Elétricos a Bateria (VEBs)

Os Veículos Elétricos a Bateria (VEBs) são aqueles movidos exclusivamente por motorização elétrica e alimentados exclusivamente por baterias que armazenam energia na forma de eletricidade, sendo assim considerados veículos puramente elétricos. O recarregamento das baterias é realizado por meio de cabo conectado à rede de distribuição de energia elétrica, o que lhes confere a característica *plug-in*, dado que a eletricidade é fornecida por uma fonte externa – através de um plugue conectado a uma tomada. São também recarregados, em parte, recuperando energia mecânica das frenagens, por meio do sistema de frenagem regenerativa (ERJAVEC, 2013).

Conforme demonstrado na figura 6, a estrutura dos VEBs é formada por três sistemas principais: o sistema de propulsão, o sistema de energia e o sistema auxiliar. O sistema de propulsão do motor elétrico é composto pelo sistema de controle do veículo, pelo conversor eletrônico de potência, pelo motor elétrico em si e pela transmissão quando aplicável. O sistema de energia é formado pelas baterias, pelo sistema de gerenciamento das baterias e pela unidade de carga. Por fim, o sistema auxiliar é composto pelo sistema de aquecimento/refrigeração, pelas bombas eletrônicas e por outros equipamentos eletrônicos auxiliares (POLLET et al, 2012) e (EHSANI et al, 2018).

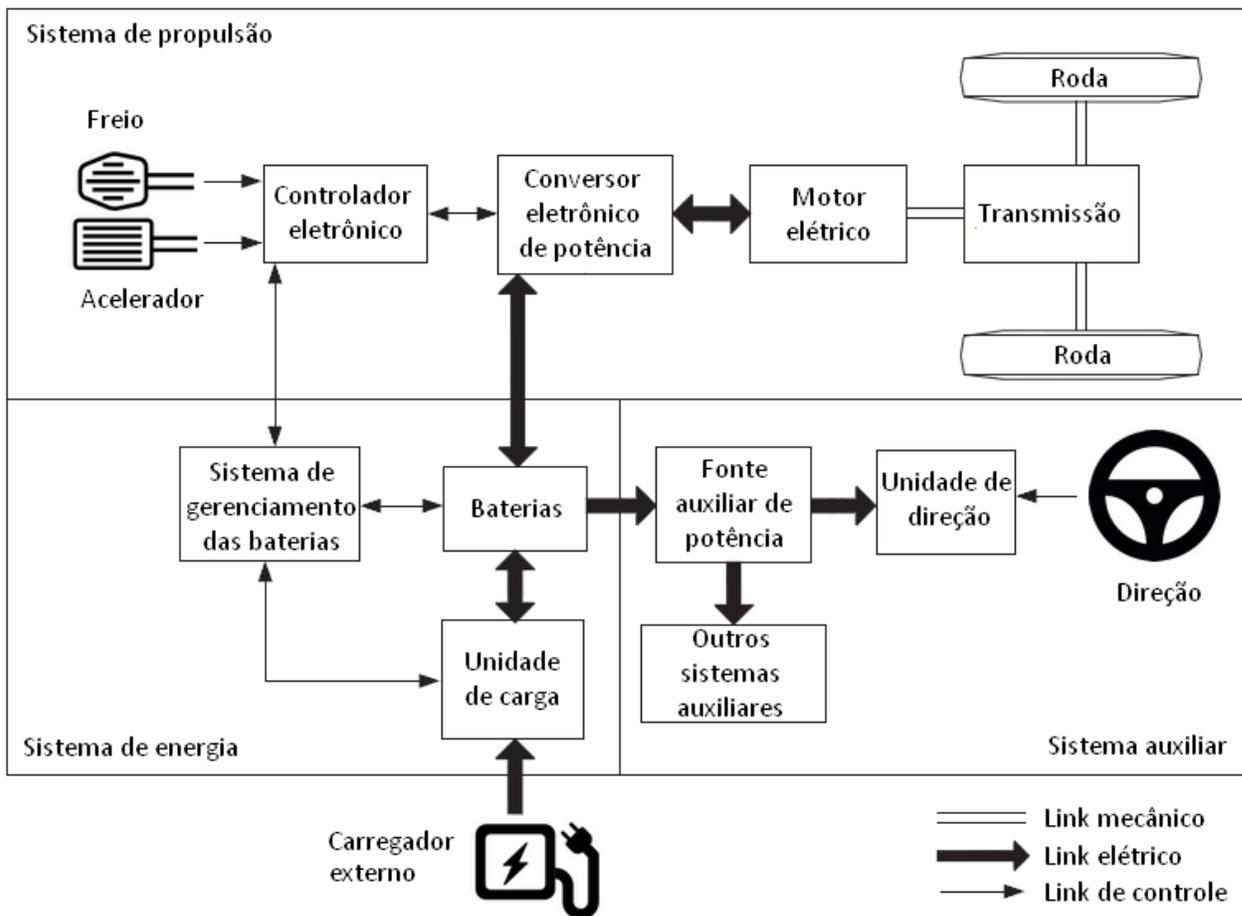


Figura 6 - Ilustração conceitual de veículo elétrico a bateria e carregador.

Fonte: (EHSANI et al, 2018). Modificado pelo autor.

Os VEBs ainda possuem reduzida complexidade do mecanismo de funcionamento, o qual dispensa uma série de equipamentos associados aos MCIs, tais como a caixa de câmbio, o motor de arranque, o sistema de exaustão, o sistema de arrefecimento, dentre outros (BORBA, 2012).

O princípio de operação do VEB é razoavelmente simples. Os pedais de aceleração e freio fornecem sinais para o sistema de controle, que por sua vez fornece sinais de controle ao conversor eletrônico de potência, que funciona de modo a regular o fluxo de energia entre o motor elétrico e a bateria. O motor elétrico também pode operar como um gerador, convertendo a energia mecânica da frenagem em energia elétrica para alimentar a bateria. A unidade de gestão de energia, em conjunto com o sistema de

controle, opera para assegurar a recuperação da energia na frenagem regenerativa. (POLLET et al, 2012).

Os VEBs possuem diversas vantagens quando comparados aos veículos movidos a MCI. A motorização elétrica proporciona maior eficiência energética, operação reversível motor/gerador possibilitando a recuperação de energia das frenagens, funcionamento mais silencioso e a não emissão direta de poluentes (EHSANI et al, 2018). O alto torque de baixa rotação com respostas rápidas e controle preciso é outra vantagem. Nos motores elétricos, a velocidade é por essência continuamente variável, não necessitando caixa de câmbio (Figura 7). O tamanho reduzido permite ainda a alocação diretamente nas rodas (ZHANG et al, 2017).

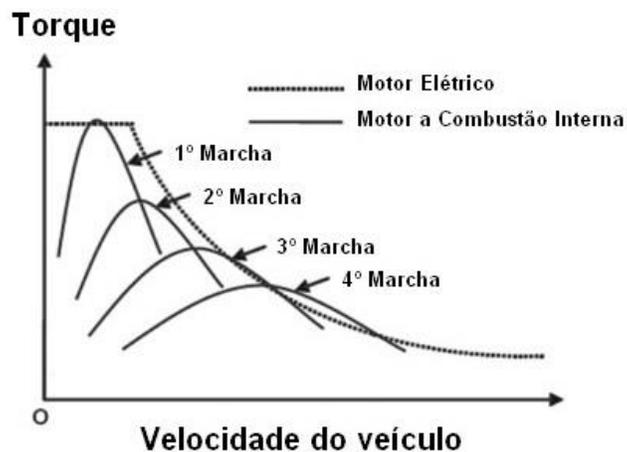


Figura 7 - Característica torque x velocidade de motores elétricos e MCI.

Fonte: (ZHANG et al, 2017)

4.2 Baterias para VEBs

Nos VEBs, a bateria é um dos principais componentes, sendo o dispositivo responsável pelo armazenamento de energia. Desempenha papel significativo nas características gerais do veículo, principalmente nos atributos de alcance, desempenho e custo. A tecnologia predominante é a eletroquímica, com diferentes características obtidas de diferentes composições, sendo as mais comuns: chumbo-ácidas, níquel-cádmio, hidreto de níquel-metal, íon de lítio, etc (ZHANG et al, 2017)

Em comparação com outras fontes de energia (por exemplo, hidrogênio ou gasolina), as baterias possuem densidade de energia significativamente menor. No entanto, esta desvantagem é compensada em certa medida pela maior eficiência do sistema elétrico em comparação com os motores de combustão interna (WOODHEAD, 2015).

Atualmente, as baterias de íons de lítio são as mais utilizadas em VEBs, principalmente devido às características de tensão disponível, boa densidade de energia e potência, longa vida útil e baixa auto descarga. Por um longo tempo, as baterias de chumbo-ácidas foram amplamente utilizadas devido ao desempenho estável e baixo custo de produção. Entretanto, suas desvantagens de baixa densidade de energia, longo tempo de carregamento, vida curta e contaminação de chumbo limitam sua utilização. As baterias de níquel-cádmio têm a vantagem da grande taxa de descarga, no entanto, o problema do efeito memória e a contaminação por metais pesados ainda não foram superados. As baterias de hidreto de níquel-metal têm sido amplamente aplicadas em carros híbridos devido à grande taxa de descarga, além de serem ecologicamente corretas. No entanto, sua voltagem por célula é baixa e são inadequadas para conexão em paralelo, restringindo a aplicabilidade. Já as baterias de polímeros de lítio, possuem grande densidade de energia, mas baixa densidade de potência e menor vida útil. Conforme evidenciado na figura 8, embora as baterias de íons de lítio tenham em diversas características desempenho superior a outras tecnologias, ainda há desafios a serem superados, principalmente em custo, segurança e reciclagem (JIANG e ZHANG, 2015).

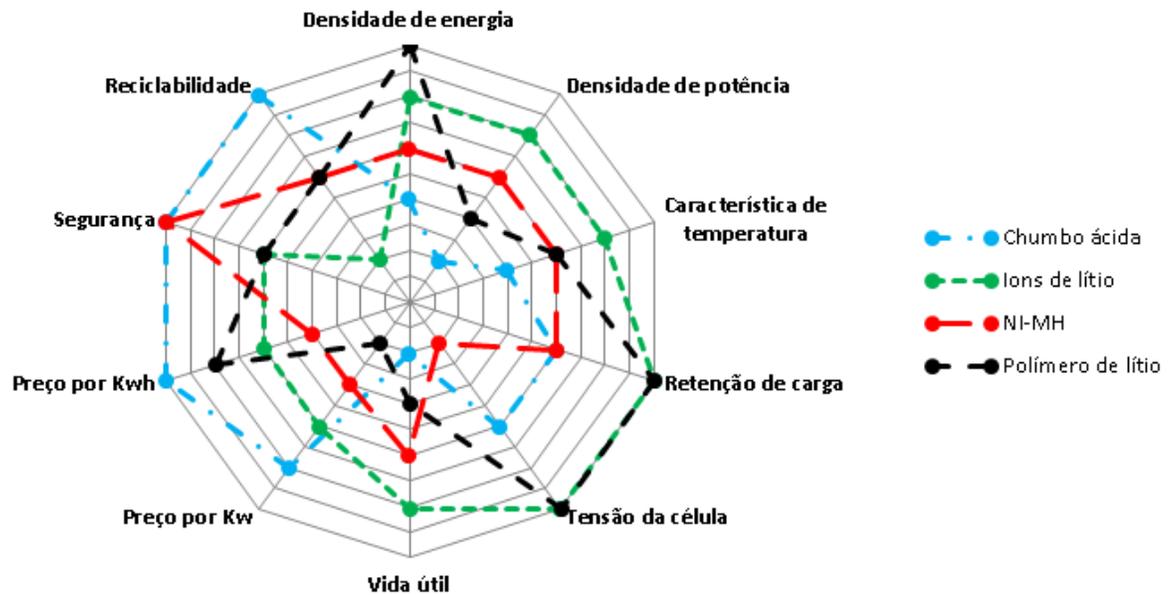


Figura 8 - Comparação dos atributos de diferentes tecnologias de baterias.

Fonte: Elaboração própria a partir de (ZHANG et al, 2017).

Em geral, as características desejadas para baterias aplicadas em veículos elétricos são:

I. Alta densidade de energia e potência

A densidade de energia é definida como a medida de energia armazenada por unidade de volume. Reflete não apenas na autonomia do veículo, mas também na possibilidade de reduzir dimensões e peso da estrutura (LINK, O'CONNOR e SCOTT, 2015). Devido à maior densidade de energia nas baterias de íons de lítio, melhorias substanciais no alcance máximo de veículos elétricos foram possíveis, possibilitando o recente aumento do interesse comercial em veículos elétricos (PISTOIA e LIAW, 2018).

Já a densidade de potência é definida como a medida da potência total disponível por unidades de volume. Reflete nas acelerações permitidas ao veículo e também no tempo de carregamento da bateria (LINK, O'CONNOR e SCOTT, 2015).

Na figura 9, as tecnologias de armazenamento de energia elétrica são confrontadas nos quesitos de densidade de energia e potência.

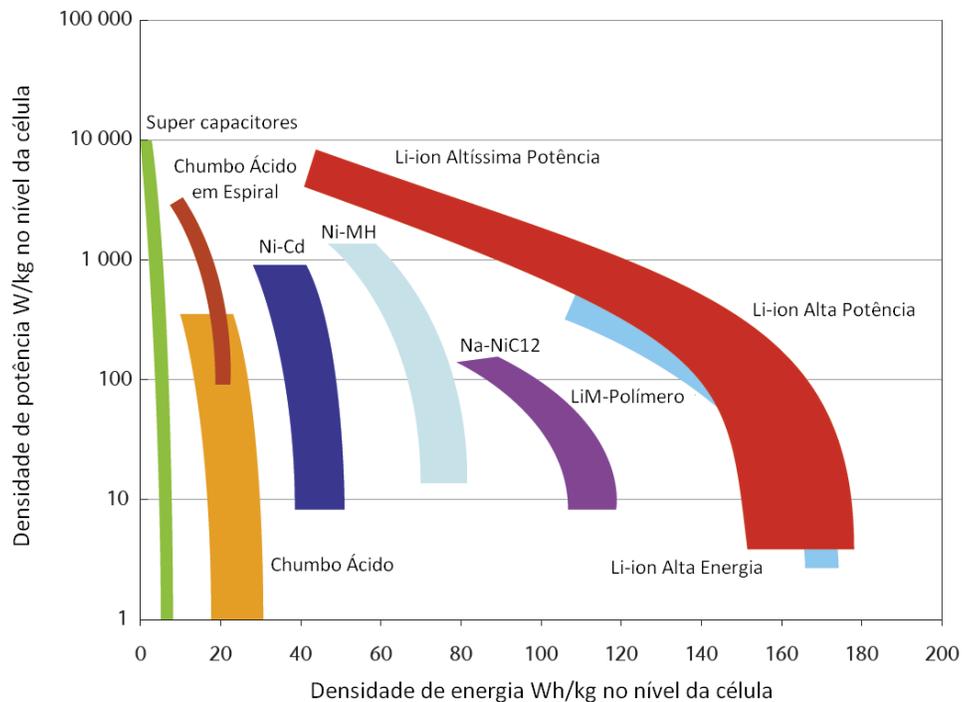


Figura 9 - Densidade de energia e potência de diferentes tipos de baterias.

Fonte: (IEA, 2009).

Quando comparadas com combustíveis líquidos utilizados em MCI, as tecnologias atuais de armazenamento de energia elétrica possuem baixa densidade de energia, conforme demonstrado na tabela 6. Mesmo que a maior eficiência dos motores elétricos compense parcialmente a menor densidade de energia das baterias, esta característica ainda torna complexo viabilizar autonomias similares a de veículos convencionais em VEBs.

Tabela 6 - Densidade de energia de materiais. Em Wh/kg.

| | Densidade de energia |
|----------------------------------|----------------------|
| Gasolina tipo A | 13200 |
| Baterias chumbo Ácidas | 15 – 30 |
| Baterias de íons de lítio | 40 – 180 |

Fonte: (IEA, 2009) e (FERGUSON e KIRKPATRICK, 2016)

II. Boas características de temperatura

É desejável que baterias possam operar sobre uma ampla faixa de temperaturas mantendo as características de desempenho, vida útil e segurança (LENG, F; TAN, C; PECHT, 2015).

No caso das baterias de íons de lítio, a faixa ideal de temperatura operacional é entre 15°C e 35 °C. A operação fora desta faixa leva a uma maior degradação da bateria e, no caso de operação além dos limites de -20°C a 60°C, há redução na densidade de energia e potência disponível, e a possibilidade de ocorrência de danos irreversíveis. As altas temperaturas podem ainda comprometer a segurança, podendo levar a incêndios e explosões (SHUAI et al, 2018).

III. Boa retenção de carga

A auto descarga é um fenômeno de atenuação natural da energia química armazenada em uma bateria, mesmo quando em circuito aberto. A taxa de auto descarga é expressa como a redução percentual da capacidade em um determinado tempo.

Nas baterias de íons de lítio, altas temperaturas aumentam as atividades químicas e conseqüentemente a taxa de auto descarga. Em temperaturas excessivamente altas, ocorre desequilíbrio químico e reações irreversíveis que danificam a bateria. Já em baixas temperaturas e ambiente de baixa umidade, a taxa de auto descarga é pequena. No entanto, temperaturas muito baixas reduzem muito o desempenho geral (JIANG e ZHANG, 2015). Na figura 10 é possível visualizar a taxa de auto descarga variando com a temperatura em baterias de íons de lítio.

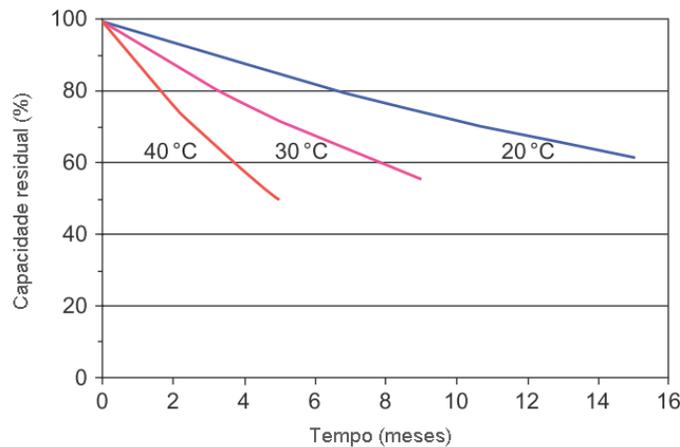


Figura 10 - Taxa de auto descarga para baterias de íons de lítio em função do tempo e temperatura.

Fonte: (WOODHEAD, 2015).

IV. Alta tensão por célula

A tensão de uma bateria, entre outros fatores, é dependente da reação eletroquímica que ocorre na mesma, variando de acordo com os eletrodos e eletrólitos utilizados em sua construção (BHATT et al, 2016).

É desejável que a tecnologia permita boas tensões, capazes de drenar maiores correntes em circuitos de maior impedância.

As baterias de íons de lítio possuem a vantagem de disponibilizar, comparativamente com outras tecnologias, uma tensão por célula mais alta, possibilitando menor quantidade de células para alcançar as tensões exigidas por motores elétricos utilizados em VEBs (LINDEN e REDDY, 2001)

V. Longa vida útil

É desejável que baterias tenham longa vida útil, mantendo a capacidade de carga mesmo após diversos processos cíclicos de carga e descarga.

Nas baterias de íons de lítio, os processos de carregamento e descarregamento não são completamente reversíveis. Em menor escala, as características de desempenho são afetadas devido a reações químicas secundárias que reduzem a densidade de

energia e potência das baterias. Os efeitos desta degradação química secundária são tão menores:

- quanto menor é o tempo que a bateria permanece plenamente carregada durante seu tempo de vida;
- quanto menor é o tempo que a bateria é exposta a altas temperaturas;

Em maior escala, há uma degradação cíclica devido ao estresse dos processos de carga e descarga, que são proporcionais à profundidade da descarga e ao intervalo de tempo entre ciclos. Assim, a descarga profunda deve ser evitada e os ciclos de carga e descarga devem ser reduzidos ao mínimo possível para manter a degradação cíclica no menor patamar possível. Além disso, os processos de carregamento a baixas temperaturas levam a um aumento dos efeitos de degradação. Resumindo, os efeitos da degradação cíclica podem ser reduzidos evitando:

- Muitos ciclos de carga e descarga,
- Descarga profunda e
- Carregamento a baixas temperaturas.

Em geral, diversas baterias de menor capacidade são interconectadas para fornecer um armazenamento de energia suficiente. Um sistema eletrônico para gerenciamento das baterias é necessário para garantir a operação livre de distorções, executando automaticamente funções para evitar as condições de degradação, como o carregamento excessivo, descargas profundas e o carregamento a baixas temperaturas. No entanto, o sistema eletrônico não pode atuar sobre alguns parâmetros como: tempo que a bateria permanece plenamente carregada, tempo que a bateria é exposta a altas temperaturas ou ainda na quantidade de ciclos de carga e descarga (PISTOIA e LIAW, 2018).

VI. Baixo custo

O custo das baterias possui grande impacto no preço final de VEBs. Nos últimos anos, o custo por kWh das baterias de íons de lítio vem diminuindo significativamente, mas a redução precisa ser maior para que o preço dos veículos elétricos sejam competitivos com os movidos a motores de combustão interna. Em 2010, as baterias custavam cerca de US \$ 1.160 por quilowatt-hora (kWh) e em 2018 o preço médio já havia caído para US\$ 176, conforme a figura 11 a seguir.



Figura 11 - Redução do custo de baterias de íons de lítio. Preço em dólares americanos por kWh.

Disponível em < <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>>. Acesso em 01/04/2019. Modificado pelo autor.

Já com relação à disponibilidade de matérias primas, as reservas mundiais de lítio são muito grandes e crescentes devido a constantes descobertas de novas reservas. Atualmente estão concentradas principalmente na América do Sul (Argentina e Chile), que possuem mais de 70% das reservas conhecidas em 2018 (BP, 2019). O cenário do lítio é bastante atrativo como matéria prima para baterias, representando um fornecimento seguro por mais de 100 anos (WOODHEAD, 2015). Entretanto, no que

tange as reservas brasileiras, o mineral possui pouco destaque, contabilizando cerca de 0,6% das reservas mundiais (BP, 2019).

VII. Excelente nível de segurança

A condição de segurança para baterias é a não geração de tensões excessivas, gases tóxicos, calor excessivo ou incêndios. Mesmo quando danificadas, devem manter condições de segurança para as pessoas e para o meio ambiente (THALER e WATZENIG, 2014)

Nas baterias de íons de lítio, uma das principais desvantagens é o maior risco quando comparada a outras tecnologias, principalmente devido à maior densidade de energia e ao uso de soluções eletrolíticas inflamáveis. Atualmente há um grande foco no desenvolvimento de baterias de íons de lítio mais seguras, entre elas, o desenvolvimento de eletrolíticos sólidos e não inflamáveis.

Condições de sobrecarga, descarga excessiva e curto-circuito interno podem elevar muito a temperatura. Caso temperaturas críticas sejam atingidas, reações exotérmicas em cadeia podem ser desencadeadas. Essa degradação catastrófica e autossustentada é chamada de *runaway* térmico, alcançando temperaturas de até 900°C e liberação de quantidade significativa de gases tóxicos (THALER e WATZENIG, 2014).

As baterias níquel metálicas também estão em grande desenvolvimento. São mais seguras, pois utilizam soluções eletrolíticas a base de água, mas possuem desempenho geral muito inferior ao das baterias a íons de lítio (WOODHEAD, 2015)

VIII. Reciclagem

A capacidade de reciclagem da bateria é uma importante característica que reduz os impactos no meio ambiente e pode evitar o esgotamento de matérias primas. Na composição das baterias de íon de lítio, estão presentes metais pesados e eletrólitos tóxicos que podem representar perigo aos ecossistemas e à saúde humana. O descarte em aterros sanitários pode levar a contaminação do lençol freático. Se incineradas como resíduos sólidos, gases tóxicos são liberados na atmosfera (ZHENG X. et al, 2018).

Embora a composição seja diferente dependendo do fabricante, as baterias possuem potencial para serem recicladas, normalmente contendo 5% –20% de cobalto, 5% –10% de níquel, 5% –7% de lítio, 5% –10% de outros metais (cobre, alumínio, ferro, etc.), 10 –15% de compostos orgânicos e cerca de 5 –10% de plástico (ORDONEZ et al, 2016).

Embora, em todo o mundo, estejam sendo realizadas muitas pesquisas a respeito de reciclagem de baterias de íons de lítio, a tecnologia mais comumente utilizada na reciclagem industrial é o processo pirometalúrgico. Usando esse processo, o níquel, o cobalto e o cobre podem ser recuperados, enquanto o lítio e o alumínio são perdidos na escória. No entanto, o alto consumo de energia, alto investimento e poluição remanescente dificulta sua ampla aplicação. Há ainda os processos hidrometalúrgicos, que apresentam baixo consumo de energia e a capacidade de reciclar o lítio e o alumínio. No entanto, a desvantagem é o longo tempo demandado no processo (ZHENG X. et al, 2018).

Ainda que o grande crescimento na produção de baterias indique um grande potencial para reciclagem, o interesse econômico nesta atividade deve permanecer fraco a menos que o preço do lítio aumente de maneira significativa. A utilização de material reciclado na fabricação de novas baterias ainda não é relevante e a introdução de legislações específicas e incentivos governamentais são possíveis recursos a serem utilizados para pressionar o aumento da participação de material reciclado (PISTOIA e LIAW, 2018)

4.2.1 Convergência tecnológica de baterias e perspectivas de evolução

Convergência tecnológica é a integração sinérgica de tecnologias disponíveis em áreas diversas que possibilita a criação de novos conhecimentos e a produção de bens e serviços que não seriam possíveis a cada área isoladamente, permitindo uma expansão mais rápida, precisa e ampla de novas tecnologias. Com a crescente complexidade das tecnologias e a rapidez das mudanças, a integração de conhecimentos, instrumentos e áreas possibilita a exploração de novos horizontes, antes impensáveis (CGEE, 2008).

Neste contexto, as indústrias de automóveis, motocicletas, patinetes, bicicletas, *laptops*, telefones celulares e aparelhos eletrônicos portáteis em geral têm na bateria um componente em comum. A disseminação de aparelhos eletrônicos estimulou o desenvolvimento tecnológico de baterias mais eficientes, permitindo ganhos de escala e reduzindo o custo de produção. Apesar das baterias utilizadas em VEBs não serem exatamente as mesmas de aparelhos eletrônicos, ambas exercem funções análogas e baseiam-se nos mesmos princípios físicos, fatos que estimulam a produção de modelos genéricos e a padronização de componentes (BARAN, 2012). Um bom exemplo de sinergia é encontrado nos primeiros veículos elétricos da fabricante Tesla que utilizaram células de íons de lítio do modelo 18650, frequentemente encontradas em *laptops* (KIERZKOWSKI, 2009). Como resultado geral, melhorias e inovações favorecem todas as indústrias que convergem para as baterias, incluindo de VEBs (BARAN, 2012).

Este cenário de convergência tecnológica reflete em intensa atividade de pesquisa com intuito de possibilitar melhorias nas tecnologias de armazenamento de energia elétrica.

As tecnologias relacionadas a baterias de estado sólido estão em bastante evidência e devem estar presentes em novas gerações de baterias utilizadas em veículos elétricos (KURZWEIL e GARCHE, 2017). Estas utilizam eletrólitos em estado sólido ao invés dos eletrólitos líquidos encontrados em baterias convencionais. São mais seguras devido ao menor risco de incêndio e representam grande potencial para o desenvolvimento de baterias com alta densidade de energia e potência, alta estabilidade química e térmica, além de vida útil prolongada (WOODHEAD, 2015). No final de 2019, pesquisadores da Universidade de Deakin na Austrália informaram ter concebido baterias de estado sólido por meio de novas técnicas de interação entre polímeros e sais de lítio, possibilitando até dobrar a densidade de energia de baterias atuais. Informaram ainda que o processo utiliza polímeros já existentes, podendo levar a produtos comerciais com facilidade (DEAKIN, 2019).

Entretanto, as baterias mais promissoras para uma disrupção no segmento de armazenamento de energia elétrica são as tecnologias lítio-enxofre e lítio-ar. Ambas são alvo de intensa pesquisa no ambiente acadêmico e em laboratórios industriais (CHRISTENSEN et al, 2012) e (GERSSEN-GONDELACH e FAAIJ, 2012)

As baterias Li-S (Lítio-Enxofre), quando comparadas com baterias de íons de lítio, possuem peso reduzido, maior capacidade teórica de energia e custo favorável devido a utilização do enxofre como matéria prima. (WOODHEAD, 2015).

Em 2018, a Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (Codemge) fechou um acordo com a companhia inglesa Oxis Energy para constituir, na região metropolitana de Belo Horizonte, a primeira fábrica em escala industrial de células de bateria de lítio-enxofre (Li-S) do mundo. A tecnologia, segundo a Oxis, tem desempenho e segurança superiores aos das baterias de lítio-íon, a principal solução que abastece o mercado de veículos elétricos (ZAPAROLLI, 2019).

Já a tecnologia lítio-ar, em princípio, possui altíssima densidade de energia, aproximando-se da gasolina, o que desperta grande interesse neste sistema de armazenamento. No entanto, apesar dos esforços de pesquisa dedicados, a tecnologia funciona apenas em escala laboratorial, sendo limitada por uma baixa vida útil (apenas alguns ciclos de carga-descarga) e baixa densidade de potência (JUNG et al, 2012) e (JULIÃO, 2019).

4.2.2 Supercapacitores

Supercapacitores, ou ultracapacitores, são equipamentos capazes de armazenar energia elétrica na forma de campo elétrico sobre uma superfície de placas paralelas, não havendo reações químicas no processo de carregamento e descarregamento (MI e MASRUR, 2018).

Quando comparados às baterias, possuem alta densidade de potência e baixa densidade de energia, o que significa alta taxa de transferência de energia nos processos de carga e descarga e uma baixa capacidade total de armazenamento. A vida útil dos supercapacitores é também muito superior ao de baterias, suportando centenas de milhares de ciclos de descarga profunda (BARAN, 2012). Possuem ainda ótimo desempenho sobre baixas temperaturas e baixo impacto ao meio ambiente (MI e MASRUR, 2018).

Nos veículos elétricos, os supercapacitores são utilizados como um modo de aumentar o desempenho e prolongar a vida útil de baterias. Por serem dispositivos de alta potência, com tempo de carga/descarga profunda de apenas alguns segundos e que não se degradam significativamente com o tempo, estes acabam por contribuir com o prolongamento da vida útil da bateria ao protegê-la de sobrecargas de potência que ocorrem nos momentos de aceleração do veículo e recuperação de energia das frenagens (WOODHEAD, 2015).

O desenvolvimento de supercapacitores para aplicação em VEBs ocorre desde os anos 1990, com maior parte das pesquisas focadas em capacitores de camada dupla utilizando carbono microporoso. Atualmente a pesquisa e desenvolvimento tem se concentrado em pseudocapacitores e capacitores híbridos, que, em linhas gerais mesclam características de capacitores e de baterias, no intuito de aumentar a densidade de energia do dispositivo (BURKE, 2017) e (BAGOTSKY et al, 2015). Embora a possibilidade de utilizar supercapacitores como fonte primária de energia em VEBs ainda esteja longe de se tornar realidade, melhorias devem ocorrer no sentido de ampliar os benefícios da utilização conjunta com baterias na função de dispositivo intermediário de transferência de energia (HUSAIN, 2005).

4.3 Autonomia de VEBs

O receio de que o veículo não tenha autonomia suficiente para chegar ao destino e deixe os ocupantes em condição insegura é descrito como um dos maiores limitadores quanto a não adoção de VEBs em larga escala nos tempos atuais (MI e MASRUR, 2018) e (COFFMAN et al, 2016).

Embora o recente avanço na tecnologia das baterias de íons de lítio já permitir automóveis do tipo VEB com autonomia comparável à de automóveis movidos a motores de combustão interna, uma maior autonomia ainda impacta fortemente no custo final do veículo, levando a maioria dos fabricantes a produzirem veículos de menor alcance, mas a preços mais competitivos.

Ainda que seja possível aumentar a autonomia apenas ampliando a quantidade de baterias, esta abordagem simplória possui como desvantagem o aumento do peso do

veículo e a redução do espaço interno, tornando necessário modificações no projeto do veículo (THOMAS, 2012).

Para manter a segurança, o maior peso das baterias exige reforço nas estruturas do veículo, principalmente nos sistemas de freios e suspensão. Com os reforços estruturais e maior peso total do veículo, o desempenho é comprometido, necessitando a aplicação de motores elétricos mais potentes. Por fim, para manter a autonomia com o maior peso, maior estrutura e maior potência, torna-se necessária a adição de mais baterias, levando a uma relação não linear entre a capacidade da bateria e a autonomia do veículo (MALEN e REDDY, 2007).

Esta condição acaba por inviabilizar maiores autonomies a certos tipos de VEBs, principalmente quando é necessário manter o veículo leve, pequeno e ágil.

A tabela 7 a seguir demonstra a autonomia dos 5 principais VEBs disponíveis no mercado brasileiro em 2020. Estes possuem autonomia média de 367,8 km no padrão *NEDC* (*New European Drive Cycle*).

Tabela 7 - Autonomia de VEBs disponíveis no mercado Brasileiro em 2020.

| Veículo elétrico | Autonomia (<i>NEDC</i>) |
|-------------------------|--------------------------------|
| 2020 JAC IEV40 | 300 km |
| 2020 Renault ZOE | 400 km |
| 2020 Chevrolet Bolt | 520 km |
| 2020 Nissan Leaf | 389 km |
| 2020- BMW i3 | 335 km |

Fonte: elaboração própria a partir de dados dos fabricantes.

É importante destacar que o padrão *NEDC*, utilizado por diversos fabricantes, é bastante criticado por não representar a autonomia do veículo em condições reais de direção (PISTOIA, 2010). Os testes de autonomia são realizados com muitos períodos em velocidade constante e baixas acelerações, obtendo assim resultados bastante otimistas com relação à realidade (MOCK et al, 2012). Em novembro de 2018 a mídia especializada Motor1 reuniu os 5 modelos elétricos mais vendidos na Itália e conferiu a

autonomia real. Foi considerado um circuito de condução urbano (45%), extra-urbano (45%) e rodovia (10%). Os resultados indicaram a autonomia média real foi cerca de 30% inferior a autonomia *NEDC* informada pelos fabricantes (MOTOR1, 2018).

4.3.1 Efeitos do clima na autonomia

No clima tropical, o sistema de ar condicionado impacta significativamente a autonomia do veículo elétrico. A configuração mais utilizada é um compressor acoplado a um motor elétrico secundário, que drena energia da bateria reduzindo a autonomia do veículo em até 30% (ERJAVEC, 2013).

Já o clima frio oferece dois grandes desafios para os VEBs: o ar frio limita o desempenho das baterias atuais e o uso do aquecedor tem grande impacto no seu alcance.

Nas baterias de íons de lítio, predominantemente utilizadas nos veículos elétricos atuais, as baixas temperaturas prejudicam muito a densidade de potência. Isto significa diminuição da energia que pode ser fornecida nas acelerações e maior tempo para recarregar as baterias. Para compensar, algumas montadoras utilizam um aquecedor elétrico para aquecer a bateria. Como o aquecedor é alimentado pela própria bateria, ele utiliza energia que em outras situações iria para a propulsão do veículo. Outra abordagem é a utilização do calor gerado pelo motor elétrico para aquecer a bateria, sendo mais eficiente já que utiliza o calor residual em vez de eletricidade. Entretanto, é um processo mais demorado, pois o motor elétrico não produz muito calor e como resultado, pode levar alguns minutos até que a bateria esteja quente o suficiente para fornecer aceleração total ao veículo (BULLIS, 2013).

Uma bateria fria também limita a frenagem regenerativa, que utiliza o momentum do carro para recarregar a bateria e ajudar a aumentar seu alcance. A frenagem regenerativa impõe grandes quantidades de energia para a bateria, e isso pode danificar a mesma quando a temperaturas está muito baixa (VIDAL et al, 2019).

Entretanto, o que mais reduz o alcance em épocas de frio é o uso do aquecedor. Os motores a gasolina são ineficientes, e produzem grandes quantidades de calor que é

usado para aquecer o interior do veículo. Mas os motores elétricos não produzem muito calor, pois são muito eficientes, necessitando utilizar aquecedores elétricos drenando energia da bateria (BULLIS, 2013).

4.4 Recarga de VEBs

Pesquisas realizadas por Graham-Rowe et al (2011) demonstram que o tempo demandado para carregamento de veículos é uma característica de grande importância que acaba por limitar uma maior adoção de VEBs. Para muitos proprietários, a longa espera é vista como um tempo perdido que compromete a liberdade de movimentação (COFFMAN et al, 2016).

Por outro lado, a facilidade de recarregar o veículo em casa, no trabalho, ou em qualquer local que disponha de eletricidade é um fator positivo para a adoção de VEBs, levando maior comodidade e conforto aos proprietários, que se livram da obrigação de realizar visitas periódicas a postos de combustíveis para o abastecimento do veículo (CEC, 1999).

De modo geral, os VEBs podem ser recarregados de forma condutiva ou indutiva. Na recarga condutiva, a transferência de energia elétrica ocorre por meio de contato físico a condutor, e na recarga indutiva por meio de indução eletromagnética (BORBA, 2012)

4.4.1 Recarga Condutiva

De acordo com a norma IEC 61851-1 (2017), a recarga condutiva pode ser realizada em 4 diferentes modos:

I. Modo 1

O veículo é carregado em corrente alternada utilizando tomadas comuns de uso geral. Podem ocorrer tensões monofásicas de até 250 V e trifásicas de até 480 V. A corrente máxima é de 16 A e a potência máxima é de 3,7kW. Não há comunicação entre o veículo e o ponto de recarga. Proteções devem ser aplicadas na instalação elétrica que fornece energia ao veículo: dispositivo para proteção de sobrecorrente, aterramento

apropriado e dispositivo para detecção de correntes de fuga com interrupção do circuito.

II. Modo 2

O carregamento é também realizado em corrente alternada em tensões monofásicas de até 250 V e trifásicas de até 480 V. Já a corrente máxima é de 32 A e a potência máxima de 22 kW. Neste modo é incorporado um dispositivo de proteção e controle no cabo de carregamento do veículo, o qual monitora a conexão elétrica, verifica o aterramento e seleciona a taxa na qual é realizada o carregamento.

III. Modo 3

Neste modo o veículo é carregado por meio de um equipamento dedicado de maior potência, que realiza funções estendidas de controle e proteção. É estabelecido comunicação entre o veículo e o carregador. O carregamento pode ser realizado em corrente alternada trifásica de até 63 A / 480 V ou em corrente alternada monofásica de até 70 A / 250 V. A potência máxima é de 44 kW.

IV. Modo 4

Este modo compreende o carregamento de alta potência em corrente contínua e se aplicam requisitos de segurança mais elevados. É utilizado equipamento dedicado e cabo fixo para o carregamento, conectado somente no lado veículo. Há um transformador AC/DC no carregador e a bitola dos condutores têm dimensionamento superior, permitindo maior transferência de energia ao veículo. Pode ainda ser utilizado sistema de refrigeração no intuito de atingir potências maiores.

Para fins de exemplificação, o veículo BOLT 2019 fabricado pela Chevrolet, ganha uma autonomia de 10km por hora de carga utilizando o carregador básico “modo 2” (fornecido junto com o veículo) através de uma tomada residencial/comum de 220VAC/10A. Utilizando o carregador semirrápido “modo 3” (Não fornecido junto com o veículo) de 240VAC / 32A, que pode ser instalado em residências e prédios, a taxa de carregamento é em torno de 40km por hora de carga. Já utilizando carregadores super-rápidos “modo 4”, encontrados em estações públicas de carregamento, há um aumento

na autonomia em torno de 145km com 30 minutos de carga, ou 80% de recarga total da bateria do veículo em uma hora de carga (Considerando autonomia total de 383 km do padrão *EPA*) (Chevrolet, 2020).

Já o modelo ZOE da fabricante Renault, realizando um carregamento modo 2 através de uma tomada padrão, monofásica - 7,4kW, carrega de 0% a 100% em aproximadamente de 8 horas e 30 minutos. Utilizando um carregador modo 3, equipamento dedicado *WallBox* - trifásico - 22kW, o carregamento completo ocorre em cerca de 3 horas. (RENAULT, 2020)

4.4.2 Recarga indutiva

A recarga indutiva possibilita a transferência de energia elétrica ao veículo por indução eletromagnética utilizando o princípio aplicado em transformadores de potência, tendo o primário conectado na rede elétrica e o secundário conectado ao veículo. A recarga indutiva proporciona segurança ao usuário visto que há transferência de energia na forma não condutiva, praticamente eliminando o risco de choque elétrico ao usuário do veículo (PISTÓIA, 2010).

A recarga indutiva pode ser realizada por meio da utilização de um conector no qual é encapsulado um indutor, conforme demonstrado na figura X. Este conector é então levado ao carro por meio de um cabo e encaixado ao veículo alinhando-se com o indutor secundário presente no automóvel (ERJAVEC, 2013).

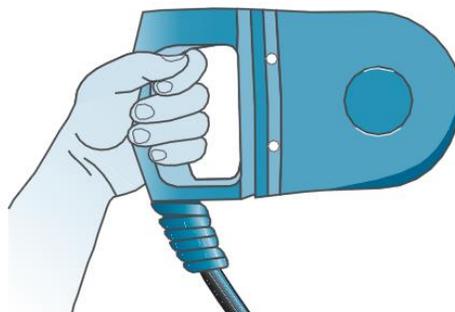


Figura 12 - Indutor encapsulado em conector para recarga indutiva.

Fonte: (ERJAVEC, 2013).

A recarga sem cabos é também possível. Pode ser realizada posicionando o indutor do veículo de modo que possa interagir com o indutor da rede sem a utilização de cabos, tornando automática a conexão do veículo a interface de carregamento e trazendo mais segurança devido à remoção dos riscos elétricos de manuseio de conectores e eliminação dos riscos mecânicos ao movimentar cabos (PISTOIA, 2010). Este modo é também mais conveniente e prático, visto que não necessita envolvimento do motorista no processo de carregamento do veículo. A recarga pode ser realizada por meio de equipamento estático, com veículo parado ou ainda por processos dinâmicos, no qual o veículo é recarregado durante a condução. Os processos dinâmicos podem contribuir para aumentar a autonomia de VEBs permitindo superar deficiências encontradas nas baterias atuais (BEETON e MEYER, 2015).

De modo geral, o carregamento sem cabos, além de contribuir para uma melhor percepção dos benefícios dos veículos elétricos, visto a maior comodidade disponibilizada aos usuários, é também uma solução mais adequada às tecnologias de direção autônoma, visto que o processo de recarga pode ser realizado sem qualquer interferência humana (BEETON e MEYER, 2015).



Figura 13 - Recarga indutiva por meio de equipamento estático.

Fonte: (MACHURA e LI, 2019).

De acordo com MACHURA e LI, (2019), a viabilidade da recarga indutiva do tipo dinâmica depende ainda de muitos fatores incertos. Emergem questões relacionadas ao alinhamento e distância entre indutores, transferência de potência em alta

velocidade, carregamento de múltiplos veículos na mesma estrutura, durabilidade dos equipamentos em situação real, alto custo da infraestrutura necessária, entre outros. Apesar de ser uma tecnologia promissora, a recarga indutiva dinâmica ainda não atingiu maturidade tecnológica suficiente para ser comercializada em massa. No caso da recarga indutiva estática, temos uma tecnologia mais madura e já disponível no mercado por meio de fabricantes especializados.

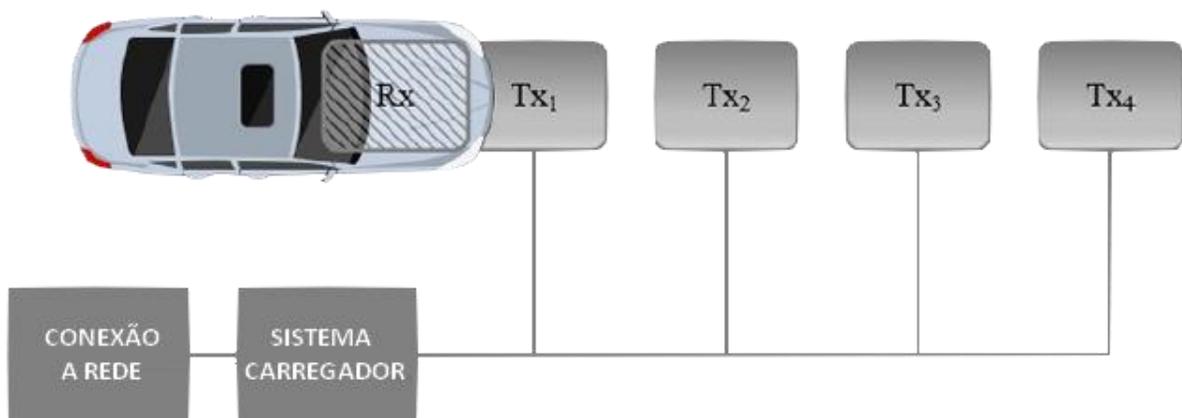


Figura 14 - Recarga indutiva dinâmica.

Fonte: (MACHURA e LI, 2019).

4.4.3 Recarga via troca de bateria

Um modo de recarregamento de veículos elétricos é a substituição mecânica de baterias descarregadas por baterias totalmente carregadas. É uma opção que contorna o tempo demandado na recarga, aumentando a disponibilidade do veículo e possibilitando a operação 24 horas (LARMINIE e LOWRY, 2012).

Entretanto, há obstáculos a serem superados. O custo para implantar uma estação de troca de baterias é bastante alto, envolvendo a aquisição de sistemas robóticos e disponibilidade de um prévio estoque de baterias para realização das trocas. As instalações para o armazenamento de baterias precisam ser adequadas e ocupam

espaços muito maiores que pontos de recarga comum. Além disto, a falta de padronização de dimensões físicas e parâmetros elétricos entre os fabricantes implicam em dificuldades adicionais para disponibilizar uma variedade de modelos para troca (CHAN e CHAU, 2001).

Em 2007, a empresa americana *Better Place* inaugurou serviço de troca de baterias, criando postos específicos para o procedimento que ocorria em poucos minutos. Porém, a flexibilidade limitada a um único modelo de VEB e o alto custo operacional levaram a empresa a decretar falência em 2013 (ZANETI, 2018).

4.5 Infraestrutura para VEBs

Embora o carregamento de veículos elétricos possa ser realizado em casa, a falta de infraestrutura pública e abrangente de carregamento é uma forte barreira para a ampla adoção dos VEBs (HUSSEINPOUR et al, 2015).

Empresários hesitam em investir em pontos de recarga sem uma garantia da demanda deste serviço e, ao mesmo tempo, consumidores hesitam em adquirir veículos elétricos sem a garantia de que terão pontos para efetuar a recarga (HUSSEINPOUR et al, 2015). Uma relação de interdependência entre a inserção dos VEBs no mercado e a infraestrutura de recarga é assim criada. Ao mesmo tempo em que a infraestrutura não se faz necessária, pois ainda não há tantos veículos elétricos nas ruas, estes só poderão se inserir no mercado caso a infraestrutura já esteja desenvolvida (GNANN; PLOTZ; WIETSCHHEL, 2015).

Em junho de 2018 a Agência Nacional de Energia elétrica (ANEEL, 2018) publicou a resolução normativa 819, que estabelece os procedimentos e as condições para a realização de atividades de recarga de veículos elétricos. O documento define regras para os empreendimentos interessados em prestar esse tipo de serviço, sejam eles distribuidoras, postos de combustíveis ou shopping centers, por exemplo, que podem cobrar livremente pela recarga, não sendo confundida com o serviço de distribuição de energia elétrica. O documento visa reduzir incertezas regulatórias para os empreendedores interessados, para as distribuidoras e para os consumidores de energia elétrica.

Legislações e normas devem ser criadas para que as estações de recarga estejam disponíveis em novas edificações, assim como as existentes sejam adaptadas. Na França, por exemplo, é obrigatório, para novas edificações, disponibilizar vagas de estacionamento com infraestrutura para instalação de ponto de recarga (IEA, 2020a).

Um desafio, no caso da recarga residencial, é a necessidade de as residências contarem com estacionamentos privativos e, uma vez que os possuam, estes estacionamentos precisam de tomadas disponíveis. Este problema se intensifica em prédios e condomínios previamente construídos sem a previsão de instalação de pontos de recarga (TRAUT et al, 2013). Além disto, principalmente em grandes cidades, grande parte dos imóveis nem mesmo possuem garagem, como no caso da cidade de São Paulo onde em 2018, onde 39% novos imóveis vendidos eram sem vaga para estacionamento de veículo (SECOVI, 2019).

No Brasil, algumas ações tímidas vêm sendo tomadas por empresas privadas:

- Diversas construtoras já disponibilizam pontos de recarga em novos imóveis, principalmente de alto padrão, entre elas a Tecnisa, SKR e Plaenge (TECNISA, 2011), (SKR, 2018) e (PLAENGE, 2019).
- A Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) lidera o projeto Emotive, que possui o objetivo de disseminar a cultura de mobilidade elétrica no país e conta com 7 eletropostos na região metropolitana de Campinas (CPFL, 2018).
- Uma parceria, entre a Companhia Paranaense de Energia (Copel) e a usina hidrelétrica de Itaipu Binacional, foi responsável pela inauguração de 12 eletropostos gratuitos de recarga rápida no final de 2018. Estes interligam o porto de Paranaguá às cataratas do Iguaçu através da BR-277 numa distância de 730 quilômetros. Em 12 meses de atividade da via, foram contabilizadas 330 recargas, sendo 230 realizadas em Curitiba. O maior consumidor foi um ônibus municipal (AEN, 2019).
- A empresa de energia portuguesa EDP, no final de 2019 firmou parceria com as marcas Audi, Volkswagen e Porsche para instalação de 30 novas estações de recarga ultrarrápida em todo o estado de São Paulo. As empresas ABB, Electric

Mobility Brasil e Siemens serão as fornecedoras das soluções de carregamento. O empreendimento irá se conectar a outros 34 pontos de carregamento que interligam São Paulo, Rio de Janeiro, Vitória, Curitiba e Florianópolis, formando um corredor de abastecimento de automóveis elétricos com mais de 2.500 quilômetros de extensão (EDP, 2019).

Além da infraestrutura de recarga, é importante salientar também a necessidade de aprimoramento na infraestrutura de manutenção do veículo, visto que, para a satisfação de consumidores, se faz necessário a disponibilização de oficinas de reparo, autopeças e outras especificidades vinculadas ao universo dos VEBs (DOMBROWSKI e ENGEL, 2014).

4.6 Custos associados a VEBs

4.6.1 Custo de aquisição

Um obstáculo significativo para uma maior disseminação de VEBs é o alto custo de aquisição quando comparados a modelos movidos a motores de combustão interna. (FONTAÍNHAS; CUNHA; FERREIRA, 2016). Uma parcela significativa do preço total de um veículo é atribuída as baterias e a redução deste custo se torna essencial para a maior penetração de mercado (FGV ENERGIA, 2017).

Pesquisas indicam que o alto preço de veículos elétricos é a característica que mais reduz o interesse de potenciais compradores. O preço mais alto de VEBs é frequentemente objeto de comparação com o dos veículos movidos MCI, levando a insatisfação quando o preço maior não se reflete em um veículo superior (COFFMAN et al, 2016).

A tabela abaixo demonstra o preço dos 5 principais VEBs disponíveis no mercado Brasileiro em 2020.

Tabela 8 - Preço de VEBs no Brasil em 2020.

| Veículo elétrico | Capacidade Bateria | Preço 2020 |
|---------------------|--------------------|----------------|
| 2020 JAC IEV40 | 40 kWh | R\$ 179.900,00 |
| 2020 Renault ZOE | 41 kWh | R\$ 149.990,00 |
| 2020 Chevrolet Bolt | 60 kWh | R\$ 209.990,00 |
| 2020 Nissan Leaf | 40 kWh | R\$ 195.000,00 |
| 2020 BMW i3 | 33 kWh | R\$ 237.950,00 |

Fonte: elaboração própria a partir de dados dos fabricantes.

Para efeito de comparação, o modelo ONIX da Chevrolet, movido a motor de combustão interna no mesmo período custava R\$ 49.590,00 (preço de venda, em concessionária, do veículo novo - modelo JOY).

No Brasil, o mercado de VEBS ainda é muito restrito, atendendo principalmente consumidores das classes A e B, visto que os preços praticados não competem com aqueles do mercado de veículos populares. Além disto, os VEBs não possuem diversas características *premium* encontradas em veículos movidos a motores de combustão interna, quando comparados modelos inseridos na mesma faixa de preço. O motivo principal ainda é o custo superior de fabricação associado aos custos de logística e importação.

4.6.2 Custo de manutenção

Devido a reações químicas irreversíveis que ocorrem nas baterias de íons de lítio, há perdas significativas na densidade de energia e potência com o passar do tempo, impactando principalmente a autonomia e a performance do veículo, além de maior tempo para recarregamento (CASALS; GARCÍA; CANAL, 2018). Para utilização em VEBs, as baterias são consideradas inadequadas quando atingem entre 80-70% de sua capacidade original e, nestas condições, muitos fabricantes sugerem a substituição, evitando risco de mal funcionamento de dispositivos e impactos na segurança dos passageiros (WHEN-CHEN et al, 2012)

No Brasil, a fabricante Renault oferece garantia de 5 anos ou 100.000 km (o que ocorrer primeiro) para o módulo de baterias do veículo ZOE 2020, que deverá manter

no mínimo 70% da sua capacidade de carga neste período (RENAULT, 2020). Já a fabricante Nissan garante que o módulo de baterias do veículo LEAF 2020 irá manter no mínimo 75% de capacidade de carga pelo período de 8 anos ou 160.000 km (o que ocorrer primeiro) (NISSAN, 2020).

No caso da necessidade de substituição do módulo de baterias fora do período de garantia, o preço acaba também por desestimular uma maior adoção de veículos elétricos. No caso do modelo I3 da fabricante BMW, a substituição do módulo completo fora do período de garantia de 8 anos é realizada ao custo de R\$ 160.000,00 pela BMW no Brasil (REIS, 2018). Valor este, muito próximo ao do veículo novo, sugerindo um possível sucateamento no caso da necessidade de substituição fora do período de garantia.

Entretanto, desconsiderando o custo com as baterias, o custo de manutenção de veículos elétricos tende a ser inferior ao de veículos convencionais. Estes possuem poucas partes móveis e uma quantidade muito inferior de componentes totais, além de poucos fluidos, visto a não existência de óleo de motor, fluido de transmissão e água de refrigeração, o que elimina também as diversas mangueiras de borracha encontradas em veículos convencionais (DELOITTE, 2018).

4.6.3 Custo por km percorrido

No panorama internacional geralmente é observada vantagem econômica no custo por km percorrido ao utilizar veículos movidos a energia elétrica.

Nos Estados Unidos, de acordo com dados do Departamento de Eficiência Energética e Energias Renováveis dos EUA (EE&RE, 2019), em novembro de 2019 o custo médio com energia elétrica para percorrer uma respectiva distância utilizando um VEB era pouco menos da metade do custo ao utilizar um veículo semelhante movido à gasolina.

Na China, em 2018 o custo por km variou de acordo com a região e o tipo de recarga utilizada. Em Shanghai, quando o carregamento é realizado em infraestrutura pública, o VEB é 41% mais econômico que um veículo convencional movido à gasolina. Caso seja utilizada recarga residencial, a vantagem cresce bastante, e o custo com eletricidade se

torna seis vezes menor que o custo com gasolina para percorrer uma mesma distância (QIAO e LEE, 2019).

No Brasil, de acordo com estudo realizado por VEDANA (2019), onde se comparou o custo por km percorrido de VEBs e veículos convencionais, foi observado clara vantagem ao veículo que utiliza a eletricidade como fonte primária de energia. A avaliação considerou o preço médio das energias no ano de 2018 para todo o Brasil que foi de R\$ 4,40/litro para a gasolina, R\$ 2,89/litro para o etanol e R\$ 0,55 para o kWh. Para obtenção da eficiência média de veículos movidos a MCI, foi compilada a eficiência energética medida em quilômetros por litro, obtida de avaliação do Inmetro com 78% da frota nacional vendida em 2018, levando a uma eficiência média de 9,05 km por litro para o etanol e de 13,12 km/l para a gasolina. Para o VEB, a eficiência em quilowatts-hora por quilômetro foi obtida com base na avaliação da *EPA*, considerando 85% dos veículos desta categoria vendidos nos Estados Unidos em 2018, levando a uma eficiência média de 5,5 km por kWh. O resultado é que o brasileiro pagou, em média, 33 centavos para rodar um quilômetro com gasolina, 32 centavos para rodar a mesma distância com etanol e, se utilizasse energia elétrica, teria pago apenas 10 centavos para rodar a mesma distância.

4.7 Segurança de VEBs

Com uma plataforma motriz totalmente diferente de veículos convencionais, os veículos elétricos introduzem novos riscos a serem mitigados.

Diferentes níveis de tensões são encontrados no veículo, que deve proteger contra contato direto ou indireto nas partes energizadas, evitando assim descargas elétricas. Na bateria se encontra a parte mais crítica, pois, além do risco elétrico, há também risco químico com a liberação de agentes corrosivos, gases tóxicos e fogo, podendo levar a explosão. O processo de carregamento representa um momento crítico: as reações químicas são intensificadas e o veículo está conectado à rede elétrica. Há ainda o risco mecânico visto que as baterias são grandes e pesadas, modificando a estabilidade do veículo e intensificando eventuais impactos em caso de acidentes (O'MALLEY, 2015).

A não emissão de ruídos representa também um risco adicional. Os veículos elétricos são completamente silenciosos, dificultando sua identificação por pedestres. Há risco na aproximação do veículo em movimento e também na iniciação silenciosa de movimento quando parado (KJOSEVSKY et al, 2017).

Desde 2013, a fabricante de carros elétricos Tesla, que utiliza baterias de íons de lítio, tem enfrentado vários incêndios em seus veículos. Um acidente na Áustria em 2017 mobilizou 35 bombeiros para controlar as chamas em um Tesla Model S. As equipes de combate ao fogo foram forçadas a usar o kit de respiração especial enquanto enfrentavam o incêndio, devido aos gases tóxicos liberados pela bateria de íons de lítio em chamas. Em maio de 2018 um Tesla Model S atingiu um muro de concreto e imediatamente se incendiou. O acidente ocasionou a morte de 2 adolescentes. Até então, treze casos de veículos em chamas já haviam sido registrados, mas sem vítimas fatais (REUTERS, 2018). Já em 2019, outro Tesla Model S, perdeu o controle e acertou uma árvore. As baterias imediatamente se incendiaram preenchendo o interior do veículo com fumaça, que em combinação a uma falha no dispositivo de abertura das portas sufocou o condutor dentro do veículo (BLOOMBERG, 2019).

4.8 Interações de VEBs com o Sistema Elétrico de Potência (SEP)

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) compreende os sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (NERI, 2015).

Na geração é realizada a conversão de alguma forma de energia (hidráulica, térmica, eólica, solar etc.) em energia elétrica, que é posteriormente transportada até os centros de consumo através dos sistemas de transmissão. Por fim, os sistemas de distribuição levam energia elétrica aos consumidores finais (SIMON, 2013).

As condições adversas as quais o SEP é exposto podem levar a situações de má operação ou falha, sendo necessário que o sistema se adapte às condições de variabilidade e perturbações, mantendo operação satisfatória dentro dos limites de tensão e frequência. Perturbações podem levar até mesmo a desligamentos, principalmente quando os sistemas estão altamente carregados e ocorrem múltiplas contingências em curto período de tempo (NERI, 2015).

No dimensionamento do SEP, deve ser considerado a antecipação da demanda e disponibilidade de sobrecapacidade, tanto na geração quanto na transmissão e distribuição, visto às características da curva de demanda elétrica que possui períodos de pico (PINTO et al, 2007).

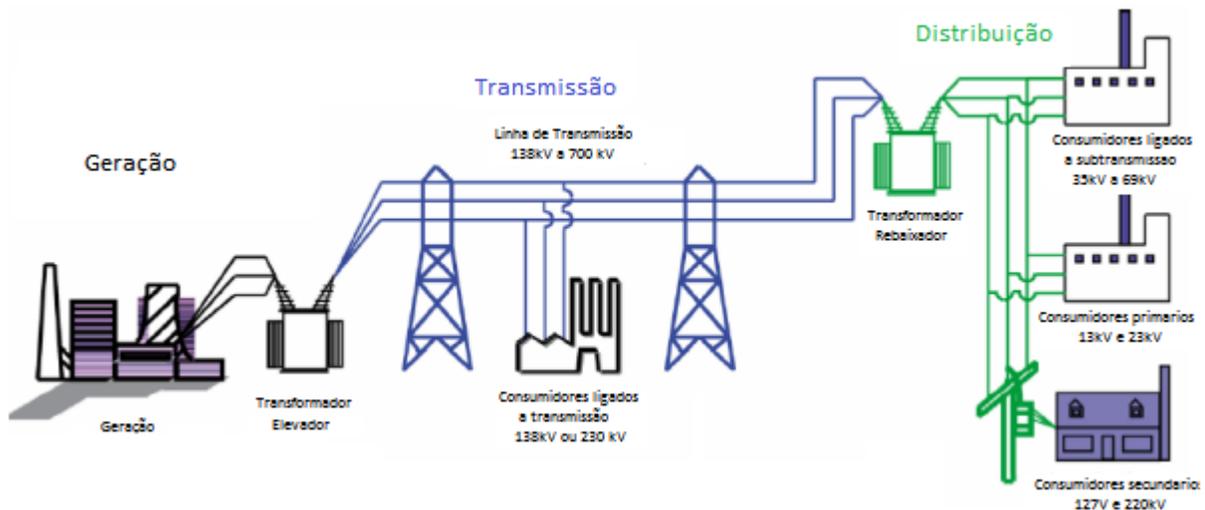


Figura 15 - Topologia típica de um sistema elétrico de potência.

Fonte: (LEÃO, 2010)

A adoção de VEBs irá gerar impactos no SEP, sendo fundamental que se garanta que a capacidade de geração, transmissão e distribuição sejam suficientes para atender toda a demanda de pico, de maneira a garantir a confiabilidade do sistema e a segurança do suprimento de energia (MESSIAS, 2013). Dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2020a) sugerem que a demanda total de eletricidade por veículos elétricos deve ser pequena em relação à carga total no curto prazo, mas seu impacto sobre a carga de pico, provocado pelas recargas, poderá ser representativo. De acordo com SIMON (2013), à medida que os veículos elétricos atinjam uma maior disseminação na frota nacional, será necessária que o SEP se adapte a esta nova carga, que possui características relacionadas ao tipo predominante das recargas realizadas e ao padrão temporal no qual ocorrem, podendo levar a sobrecarga no sistema, principalmente nos horários de pico.

No caso de recargas lentas que utilizam tomadas residenciais de uso geral, o impacto sobre o SEP tende a ser menor, visto a potência reduzida e ao padrão temporal noturno que evita sobrecarga em horários de pico do sistema, sendo ideal para proprietários que podem esperar várias horas pelo recarregamento do veículo (GARCÍA-VILLALOBOS et al, 2014) e (ARIOLI, 2016).

Já as recargas rápidas requerem potência maior que a suportada pelas tomadas residenciais padrão, mas ainda podem ser viabilizadas em residências, bem como em áreas comerciais, necessitando algumas adaptações na rede de distribuição de eletricidade, como mudanças em cabos, disjuntores e aterramento (GARCÍA-VILLALOBOS et al, 2014) e (BORBA, 2012).

No caso de recargas ultrarrápidas, é necessária a utilização de carregadores externos de maior porte com sistemas de arrefecimento das eletrônicos integrados. As recargas ultrarrápidas são adequadas a situações em que se torna necessário estender a autonomia de VEBs em curto período de tempo (GARCÍA-VILLALOBOS et al, 2014). Este tipo de equipamento está normalmente acima da capacidade de transformadores residenciais e de alguns transformadores de áreas comerciais. A instalação deste tipo de ponto recarga tipicamente requer reforços na rede de elétrica da região (BORBA, 2012). Cabe ainda ressaltar que recargas ultrarrápidas implicam em perdas adicionais em função da energia dispendida para arrefecer os circuitos integrados do carregador e também as baterias do veículo (POLLET et al, 2012).

No caso de ampla penetração de VEBs, impactos relevantes podem ser previstos no SEP. Alguns dos problemas incluem: perda de tensão, aumento nas perdas de potência, sobrecarga de transformadores e linhas de transmissão e distribuição, aumento de harmônicos, correntes de fuga e degradação na qualidade da energia (GARCÍA-VILLALOBOS et al, 2014).

Visto os impactos de VEBs no SEP, situações em que há perspectivas de alta penetração requerem um planejamento da integração destes veículos ao sistema. Sistemas inteligentes podem ser aplicados para otimizar os padrões de recargas e momento em que irá ocorrer, de modo a não sobrecarregar o sistema elétrico e

possibilitar que veículos funcionem como sistemas distribuídos de armazenagem e até geração de eletricidade (BRAJTERMAN, 2016).

4.8.1 *Smart Grids e V2G*

De acordo com dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2011), os *smart grids* são redes elétricas inteligentes que utilizam avançadas tecnologias para monitorar e atuar na geração, transmissão, armazenamento e consumo de eletricidade, de forma a gerenciar a oferta e a demanda por energia da forma mais eficiente possível, minimizando custos e impactos ambientais e maximizando a confiabilidade e a estabilidade do sistema.

No que tange aos VEBs, os *smart grids* possibilitam as recargas inteligentes, de modo a não sobrecarregar o sistema, principalmente nos horários de pico. Além disto, permitem que os veículos elétricos funcionem como sistemas distribuídos de armazenamento de eletricidade, mecanismo conhecido como *vehicle-to-grid (V2G)*, onde a bateria do veículo armazena eletricidade em momentos de excesso de oferta, e supre esta eletricidade estocada para o sistema em momentos de pico de demanda (BRAJTERMAN, 2016). A disseminação da tecnologia V2G permitiria um melhor gerenciamento de recursos energéticos, e seria também uma forma de proprietários de VEBs gerarem receitas com a venda de energia armazenada nas baterias ou ainda de reduzirem o consumo de energia, o que consistiria em um fator mitigador dos custos associados à utilização deste tipo de veículo (BARAN, 2012).

O sistema V2G é bastante adequado para a prestação de serviços de regulação, reserva girante e atendimento a demanda de pico. Estas propriedades tornam o V2G especialmente interessante para acomodar uma entrada representativa de fontes renováveis intermitentes e estocásticas, como é o caso da energia eólica e solar que dependem da disponibilidade de vento e da incidência solar. Neste sentido, a operação conjunta dos veículos elétricos e fontes renováveis de energia pode ser vantajosa para o sistema elétrico, pois as baterias dos veículos podem operar como um *buffer*, absorvendo excessos de energia elétrica em momentos alta produção e baixa demanda

ou fornecendo eletricidade em momentos de baixa produção e alta demanda (BORBA, 2012) e (BRAJTERMAN, 2016).

Entretanto, para a implementação do V2G, há a necessidade de modificações tecnológicas tanto na concepção dos veículos como na estrutura de fornecimento de energia elétrica. De acordo com UDDIN (2018), as baterias utilizadas em veículos elétricos possuem vida útil impactada pelos ciclos de carga e descarga presentes na tecnologia V2G, tornando a abordagem simplista desta tecnologia um modelo economicamente inviável. É esperado que, em futuro próximo ocorra redução nos custos e melhoras nas tecnologias de armazenamento de energia, possibilitando cenários mais atraentes para a utilização do V2G (CALVILLO et al, 2016).

Cabe lembrar também que a geração de energia elétrica no Brasil ocorre preponderantemente por meio de hidrelétricas, possibilitando a estocagem e a regulação da produção, por meio do represamento da água. Essa característica minimiza consideravelmente os impactos positivos do V2G, ainda que não o anule (VONBUN, 2015).

4.8.2 Custo da energia elétrica

Conforme estudo realizado por VEDANA (2019), comparando o custo por km percorrido de VEBs e veículos convencionais, foi observado clara vantagem ao veículo que utiliza a eletricidade como fonte primária de energia. Entretanto, os custos atuais com energia elétrica tendem a se modificar em caso de maior adoção de VEBs.

Não se pode desprezar o fato de não existir uma infraestrutura de recarga adequada aos veículos elétricos; o estabelecimento desta certamente envolverá custos adicionais, que provavelmente serão refletidos nas tarifas de eletricidade (BORBA, 2012).

Cabe ainda mencionar, que dada uma maior carga no sistema elétrico deve pressionar uma maior oferta geradora, e de acordo com a teoria microeconômica da oferta e demanda, deve haver em aumento de preço no mercado (KIRSCHEN, 2003).

4.9 Concorrência de VEBs com outras tecnologias automotivas baseadas em eletricidade

4.9.1 Veículos híbridos

Os Veículos Híbridos (VHs) são a combinação de veículo elétrico com veículo convencional. A fonte primária de energia é o combustível utilizado no motor de combustão interna. O motor elétrico aumenta a eficiência do sistema e reduz o consumo de combustível, recuperando energia cinética durante a frenagem regenerativa e otimizando a operação do MCI durante a condução, ajustando o torque e a velocidade do motor. Nos híbridos o MCI é ainda desligado quando o veículo fica parado por muito tempo (ERJAVEC, 2013).

A maior eficiência energética dos híbridos é em maior parte devida a combinação entre o MCI e o motor elétrico. O motor de combustão interna é ineficiente em baixa rotação, e relativamente mais eficiente em alta rotação. No meio urbano, os automóveis convencionais raramente trabalham em alta rotação, levando a uma baixa eficiência média. Já o motor elétrico, produz torque máximo na partida, e sua curva de eficiência permanece quase constante até atingir alta rotação (BARAN, 2012).

Há ainda uma variante dos veículos híbridos que são os Veículos Híbridos *Plug-in* (VHPs), que podem ser recarregados quando conectados à rede de distribuição de energia elétrica. Normalmente são equipados com baterias de maior capacidade, permitindo a direção em modo apenas elétrico (sem a utilização do MCI) por distâncias muito superiores às permitidas a um híbrido comum (ERJAVEC, 2013).

Os híbridos representam alternativa capaz de somar os benefícios dos VEBs aos benefícios dos veículos movidos a MCI. Possuem maior eficiência energética e emissões reduzidas quando comparados aos veículos convencionais e maior alcance, menor tempo de abastecimento e baterias de tamanho reduzido, o que resulta em menor custo, menor peso e mais espaço disponível no veículo quando comparados a VEBs. No entanto, os híbridos também possuem certas desvantagens, incluindo custo de aquisição mais alto que o de veículos convencionais, maiores preocupações com

segurança devido à presença de baterias e confiabilidade reduzida devido ao complexo sistema motriz que possui grande quantidade de componentes (MASRUR, 2018).

Os híbridos parecem ser capazes de satisfazer consumidores mais exigentes, superando barreiras tecnológicas que afetam negativamente a aceitação de VEBs (VONBUN, 2015). No Brasil, representam ainda um forte elo entre eletrificação veicular, interesses em biocombustíveis e interesses da indústria do petróleo.

4.9.2 Veículos a célula de combustível

Os Veículos Elétricos a Célula de Combustível (VECC), combinam hidrogênio e oxigênio para produzir a eletricidade que irá alimentar o motor. A conversão do gás de hidrogênio em eletricidade produz apenas água e calor (ERJAVEC, 2013). Como as células de combustível geram eletricidade em vez de armazená-la, não é necessário a utilização de baterias, removendo assim grande parte das limitações encontradas em VEBs. Possuem ainda alta eficiência energética e emissões nulas de GEE quando alimentados com hidrogênio puro (EHSANI et al, 2018). Entretanto, esta tecnologia ainda está fase de aperfeiçoamento, sendo necessário superar grandes desafios antes de se tornar uma opção viável aos consumidores, como a redução acentuada no custo, disponibilidade de fontes de hidrogênio e de postos de abastecimento (ERJAVEC, 2013).

4.10 Incentivos governamentais a VEBs

Para aumentar a adoção de VEBs, incentivos governamentais são essenciais. Além de não possuírem economias de escala, enfrentam os elevados custos das baterias, desconfiança dos consumidores e carência de infraestrutura adequada (COUTINHO; DE CASTRO; FERREIRA, 2010).

Cinco ações governamentais de incentivo à difusão de veículos elétricos são normalmente encontradas no panorama internacional: bônus aos compradores de veículos elétricos, descontos em tributos, adoção de restrições à utilização de veículos convencionais, auxílio à pesquisa e implantação de infraestrutura de recarga (DE CASTRO; FERREIRA, 2010).

Tendo em vista que o preço de um veículo elétrico ainda o inviabiliza comercialmente em comparação com as alternativas do motor a combustão, vários países têm subsidiado parte do custo de aquisição, fornecendo um bônus ao comprador ou aplicando descontos em tributos.

No Brasil, esforços no sentido de reduzir os impostos incidentes estão gradualmente sendo realizados. Em 2015, o governo aprovou resolução (CAMEX, 2015) que zerou o imposto de importação para veículos puramente elétricos com autonomia maior que 80 km. No caso dos híbridos a alíquota foi reduzida de 35% para uma faixa de 0% a 7%, dependendo do tamanho e da eficiência energética. O regime automotivo rota 2030, criado em julho de 2018 através da medida provisória 843/18 (BRASIL, 2018), criou incentivos a veículos híbridos e elétricos reduzindo o Imposto sobre Produto Industrializado (IPI). No caso dos veículos puramente elétricos a alíquota foi reduzida de 25% para uma faixa de 7% a 20%, em que pagarão menor percentual os veículos que tiverem menor peso e maior eficiência energética, havendo significativa redução de alíquotas.

Outra motivação para a adoção de veículos elétricos, embora contestada quando a geração de energia elétrica não é realizada a partir de fontes limpas, é a redução das emissões de poluentes. Em função disso, vários países têm adotado medidas regulatórias nesse sentido, que, em geral, são cumpridas por meio de melhorias nos motores a combustão e em outros sistemas veiculares. O veículo elétrico acaba configurando uma forma de atender previamente a um possível endurecimento da legislação, pois não há emissão direta de poluentes. Desde 2016 o Brasil é signatário do acordo de Paris, comprometendo-se a reduzir emissões de gases de efeito estufa a partir de 2020. O compromisso ocorre no sentido de manter o aumento da temperatura média global em torno de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de envidar esforços para limitar o aumento a 1,5°C (MMA, 2019). No entanto os esforços do Brasil para atingir as metas não incluem ações para fomentar o aumento da frota de veículos elétricos.

O auxílio à pesquisa, tanto pública quanto privada, também tem sido fornecido por governos para estimular o desenvolvimento de veículos elétricos. No Brasil, o principal

provedor deste instrumento é o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) (DE CASTRO; FERREIRA, 2010), no entanto, a ciência nacional não acompanha o ritmo encontrado no exterior.

Para fins de exemplificação, em 2020 não havia nenhuma empresa brasileira de expressão na fabricação e desenvolvimento de veículos elétricos, sendo os principais modelos comercialmente disponíveis importados do exterior.

Por fim, os governos têm papel central no estímulo à implantação de infraestrutura de recarga para os veículos elétricos. No Brasil, estas iniciativas estão ainda em estágio embrionário. Em 2018 o BNDES aprovou apoio de R\$ 6,7 milhões, não reembolsáveis, para projetos de pesquisa e desenvolvimento de modelos de estações de recarga que possam ser distribuídas pelos centros urbanos e rodovias. O objetivo é criar condições para ampliar o uso de veículos elétricos no país. (BNDES, 2018)

4.11 Forças empreendedoras e inovação por meio de VEBs

Segundo Schumpeter (1934), o empreendedorismo é uma ferramenta essencial na sociedade por onde se utiliza a agregação de valor e a identificação de oportunidades de negócios para satisfazer uma demanda potencial e assim possibilitar maiores lucros. A “inovação”, atividade fundamental do empreendedorismo, é gerada quando o empresário inovador percebe que pode produzir um produto ou serviço por meio de novos arranjos produtivos e, portanto, obter lucros acima da média dos mercados. Agindo de forma a aproveitar a oportunidade de negócio, cria-se o novo, o que induz à alteração na natureza da demanda e preferências dos consumidores. Essa reestruturação na demanda modifica a estrutura econômica, destruindo o antigo e criando elementos novos. Nessa perspectiva, ao desenvolver, por exemplo, um novo e melhor aparelho, o empreendedor estimula o uso desse novo dispositivo em detrimento do antigo, substituindo-o paulatinamente.

Christensen (1997) estabelece a diferença entre inovação incremental e inovação disruptiva. A inovação incremental causa impacto no mercado, mas não altera radicalmente as condições de uso. Geralmente é um processo que se baseia no aperfeiçoamento de tecnologias dominantes já existentes nos mercados principais. Por

outro lado, a inovação disruptiva é um processo no qual produtos ou serviços que inicialmente possuem menor qualidade e só podem ser aplicados em pequenos mercados marginais acabando por se consolidar, tornando-se a solução dominante, substituindo concorrentes tradicionais previamente estabelecidos. As características das inovações disruptivas, pelo menos em seus estágios iniciais, podem incluir: baixa margem bruta, mercados-alvo pequenos e produtos e serviços mais simples, pouco atraentes quando utilizadas métricas de desempenho tradicionais. Como esses mercados inferiores oferecem lucros mais baixos, eles não são atraentes para empresas no topo do segmento, criando espaço para o surgimento de novos concorrentes disruptivos nesta parte inferior do mercado.

Conforme uma inovação disruptiva evolui, há uma atração de clientes do mercado principal, pois se torna mais conveniente utilizar o novo produto. Essa transição, no entanto, não é simples e direta. Quando uma tecnologia disruptiva surge, as empresas líderes no setor normalmente não a ignoram completamente em sua trajetória rumo a melhores produtos com maiores lucros para seus melhores clientes. Em vez disso, elas tentam adotar a tecnologia disruptiva, mas fazem isso por meio de uma estratégia incremental — elas criam um híbrido. A solução híbrida combina a tecnologia antiga com a nova, em uma tentativa de criar uma alternativa que seja a “melhor dos dois mundos” de forma que as empresas líderes atuais possam vender produtos melhores no mercado principal. Esta solução híbrida pode se preservar no mercado por um longo tempo (CHRISTENSEN; HORN e STAKER, 2013).

Ainda de acordo com Christensen (1997), os veículos elétricos possuem algumas características de inovação disruptiva: ainda não podem ser utilizados em mercados principais; oferecem uma série de atributos não disponíveis aos automóveis que controlam a atenção na rede de valor dos veículos movidos a MCI; a tecnologia está avançando a uma taxa mais rápida do que a trajetória de mercado necessita; Entretanto, somente serão uma inovação disruptiva caso estejam numa trajetória de melhoria capaz de torná-los competitivos no mercado principal.

Neste sentido, forças empreendedoras motivadas principalmente pela criação de inovações capazes de gerar novos negócios e maiores lucros atuam em favor dos veículos elétricos. A consolidação desta tecnologia ao ponto de disrupção representa um potencial de grande ganho financeiro podendo levar a substituição da atual tecnologia dominante associada a veículos convencionais por veículos elétricos.

4.12 Questões ambientais associadas a VEBs

Segundo a *IEA* (2019), o setor de transportes é um dos grandes responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para as mudanças climáticas e respondendo por 24% das emissões globais no setor de energia em 2017.

Dentre as alternativas para descarbonização do setor, os VEBs possuem papel de destaque visto a alta eficiência energética e capacidade para redução de emissões quando a geração de energia elétrica é realizada por meio de fontes limpas. Estes veículos não emitem GEEs diretamente, mas podem ocorrer emissões indiretas quando a geração de energia elétrica depende fontes sujas (BORBA, 2012).

De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019a), a matriz energética brasileira é uma das mais limpas do mundo, e em 2018 mais de 45% da energia consumida no país foi gerada a partir de fontes renováveis. Para efeito de comparação, no mesmo período a média mundial esteve em torno 18%. No caso da matriz elétrica brasileira a proporção de renováveis atingiu 83,3% e somente a geração hidráulica representou quase 65% de toda energia elétrica produzida no país.

Neste sentido, o Brasil tem grande potencial de redução de gases do efeito estufa com a utilização de VEBs, visto a matriz elétrica com forte presença de energias limpas, principalmente de origem hidráulica.

Outro benefício da utilização de VEBs é a não emissão de gases e fuligem pelo escapamento, além da ausência de ruídos do motor. Desta forma, o aumento da participação de VEBs em substituição a veículos movidos a MCI pode gerar redução da emissão de poluentes locais, contribuindo para a melhora da qualidade do ar e redução da poluição sonora em centros urbanos. Logo, a utilização de VEBs pode trazer

impactos positivos para a saúde pública e qualidade de vida, principalmente em grandes cidades. Entretanto, é importante avaliar as circunstâncias das cidades em questão, pois, quando a geração elétrica ocorre perto dos centros urbanos, por meio de fontes sujas concentradas em combustíveis fósseis, pode haver piora na qualidade do ar local (EPE, 2018).

5. ANÁLISE SWOT DE VEÍCULOS ELÉTRICOS A BATERIA NO BRASIL

Neste capítulo será utilizada como ferramenta a denominada análise *SWOT*, cuja estrutura é composta de quatro dimensões, quais sejam: *Strengths* (Forças), *Weaknesses* (Fraquezas), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (Ameaças).

A análise *SWOT* é um modelo clássico e muito utilizado em diversos estudos sobre vantagens competitivas. É utilizada para monitorar o ambiente interno e externo, promovendo um olhar ampliado em determinados cenários (KOTLER e KELLER, 2016). Com característica interdisciplinar, a análise *SWOT* pode ser adequada para aplicação em diferentes áreas, não apenas à administração, como inicialmente desenvolvida, mas a qualquer área onde seja conveniente análise estratégica (DUTRA, 2014).

O ambiente interno é composto por variáveis controláveis, associadas a forças e fraquezas. As **forças** promovem vantagens competitivas sobre os concorrentes. São características ou qualidades, que influenciam positivamente o desempenho e devem ser amplamente exploradas. As **fraquezas** criam uma situação de desvantagem em relação aos concorrentes. São condições desfavoráveis que devem ser observadas, melhoradas ou eliminadas para não dificultar a competitividade (DAVID e DAVID, 2017) e (SPARENBERGER e ZAMBERLAN, 2008).

Já ambiente externo é composto por variáveis incontroláveis, associadas a oportunidades e ameaças. Representam tendências ou eventos que podem vir a ter impactos no futuro. As **oportunidades** podem contribuir para o sucesso. São aspectos positivos que podem criar condições favoráveis. Já as **ameaças** podem prejudicar o desempenho. São aspectos mais negativos, que trazem insegurança (DAVID e DAVID, 2017) e (MARTINS, 2007).

É preciso levar em consideração que as variáveis levantadas caracterizam a conjuntura no momento da avaliação e importante destacar que a literatura é unânime em apontar o subjetivismo como o maior aspecto positivo e também negativo de qualquer análise *SWOT*. A construção da análise com suas quatro dimensões depende

fundamentalmente da capacidade do especialista em identificar informações e tendências fortes, com ampla aceitação, que aqui foram elaboradas a partir de extensa revisão bibliográfica e de resultados de análises de seções anteriormente apresentadas neste texto.

Essa abordagem será aplicada aos VEBs, atentando-se aos pontos fracos a serem atacados, ou tidos sob controle; aos pontos fortes a serem incentivados e explorados; bem como à identificação e ao monitoramento das oportunidades e das ameaças, sob diferentes ângulos, de forma a identificar em que medida os VEBs podem ser considerado um atrativo frente às demais alternativas em mobilidade veicular no Brasil.

5.1 Análise de Forças

Quando comparado a tecnologias que utilizam motor de combustão interna, o custo por km percorrido de VEBs é bastante atrativo considerando as tarifas de energia elétrica no Brasil, apresentando um custo cerca de três vezes inferior. Devido à menor complexidade motriz, estes ainda não utilizam diversos equipamentos, óleos e fluidos encontrados em outras tecnologias automotivas, havendo menor quantidade de partes, peças para manutenção.

O processo de recarga é bastante simples, não requisitando visitas periódicas a postos de abastecimento, podendo ser realizado em casa, no trabalho ou qualquer outro local que disponha de uma fonte de energia elétrica, havendo a ainda a cômoda opção de recarga sem a utilização de cabos ou fios.

O funcionamento é silencioso e não há emissão direta de poluentes, contribuindo para a redução da poluição atmosférica em caráter local, eliminando a fuligem e material particulado que é resultado da combustão de derivados de petróleo, representando assim uma alternativa para melhora na qualidade de vida em centros urbanos. Podem ainda ser utilizados na redução de gases do efeito estufa, principalmente no cenário nacional, onde a matriz elétrica é preponderantemente de origem renovável e com alta participação da fonte hidráulica, reconhecidamente mais limpa e com menores emissões que a queima de combustíveis fósseis.

O resumo das forças é demonstrado na tabela 9.

Tabela 9 - Análise SWOT - Forças.

| FORÇAS | | |
|---------------|--|--|
| 1 | - Baixo custo por km percorrido | Considerando os preços de energia elétrica no Brasil, o custo por km percorrido é atrativo quando comparado a tecnologias que utilizam motor de combustão interna. |
| 2 | - Manutenção reduzida | A baixa complexidade do mecanismo de funcionamento dispensa uma série de equipamentos, óleos e fluidos associados a motores de combustão interna, possibilita menor quantidade de partes, peças e fluidos para manutenção. |
| 3 | - Comodidade na recarga | O veículo pode ser recarregado em qualquer local que disponha de eletricidade (Em casa, no trabalho, shopping centers, etc), existindo ainda a opção de recarga sem cabos e fios. |
| 4 | - Funcionamento silencioso | Contribuindo para redução da poluição sonora, principalmente em grandes cidades. |
| 5 | - Não emissão de poluentes diretos | Contribuindo para redução da poluição atmosférica, principalmente em grandes cidades. |
| 6 | - Redução nas emissões de gases do efeito estufa | A utilização de VEBs tem é uma alternativa para redução de gases do efeito estufa no Brasil, visto que a matriz energética conta com forte presença de energia limpas e renováveis. |

5.2 Análise de Fraquezas

Grande parte das fraquezas encontradas em VEBs estão, de alguma forma, ligadas às limitações das baterias atuais. Embora, desde o início dos anos 2000, tenham ocorrido diversos avanços nas tecnologias de armazenamento de energia elétrica, possibilitando o aumento do interesse por VEBs, há ainda muitas dificuldades presentes. O custo atual das baterias por kWh ainda é alto, tornando os VEBs opção muito mais cara que veículos convencionais. O tempo de recarga, apesar de depender da potência aplicada, é em geral muito superior ao tempo demandado para abastecer um veículo movido a MCI, levando a uma inferior taxa de disponibilidade aos VEBs. Nos processos cíclicos de carga e descarga ocorrem reações químicas irreversíveis que impactam a longevidade das baterias, principalmente quando utilizadas recargas rápidas de alta potência, gerando um alto custo para substituição ao final da vida útil. Em menor escala, à instabilidade das células e o grande espaço total ocupado, aumentam o risco de incêndios em VEBs, principalmente em caso de avarias mecânicas em colisões.

A baixa autonomia é outro problema ainda presente em muitos VEBs, devido principalmente ao alto custo das baterias e a dificuldade estrutural em manter o veículo leve e pequeno com a adição do peso e volume extra das baterias.

O clima também impõe desafios às baterias atuais. No intenso frio o veículo perde desempenho devido à redução na capacidade química das baterias e a autonomia é prejudicada devido a utilização de aquecedor na climatização interna do veículo. Já no intenso calor o veículo perde autonomia com o uso do ar condicionado.

Somando-se aos problemas de autonomia, no Brasil há pouca infraestrutura pública de recarga, principalmente do tipo rápida, limitando a aplicabilidade da maioria dos VEBs a trechos curtos dentro de perímetros urbanos. No caso da recarga residencial, há necessidade de estacionamentos privativos e, uma vez que possuam, precisam de tomadas disponíveis. O problema se intensifica nas grandes cidades, com muitos prédios e condomínios previamente construídos sem a previsão de instalação de pontos de recarga ou ainda sem vaga de garagem.

Não há infraestrutura de serviços especializados em VEBs, como oficinas e autopeças. Também não há montadora de projeção fabricando no Brasil, o que soma custos de logística e importação aos veículos e peças de reposição.

Pesa ainda sobre os VEBs questões relacionadas aos interesses políticos e econômicos nacionais. Os biocombustíveis representam a força do agronegócio e as políticas de redução de emissões pactuadas internacionalmente focam no aumento da participação destes combustíveis renováveis na frota nacional. Há ainda uma indústria do petróleo altamente desenvolvida, com grandes reservas e empresa de controle estatal em grande destaque no setor. E por outro lado, não há montadora de expressão genuinamente nacional na vanguarda do desenvolvimento de VEBs. Na geopolítica do lítio, as reservas brasileiras do mineral colocam o país em desvantagem, visto as pequenas reservas existentes.

Por fim, o trancamento tecnológico do motor de combustão interna é uma forte barreira a penetração dos VEBs. Os veículos convencionais são parte de um sistema fortemente interconectado, formado por uma série de subsistemas em diversos níveis e magnitudes. Um eventual rompimento deste sistema tende a ser bastante custoso e demorado.

O resumo das fraquezas é demonstrado na tabela 10.

Tabela 10 - Análise SWOT - Fraquezas.

| FRAQUEZAS | | |
|------------------|--|--|
| 1 | - Alto custo para aquisição do veículo | Os preços de VEBs não são competitivos quando comparados com veículos movidos a MCI. |
| 2 | - Longo tempo para recarga da bateria | Em geral o tempo de recarga é muito superior ao tempo demandado para abastecer um veículo movido a MCI, levando a uma taxa de disponibilidade inferior. Recargas mais rápidas tendem a reduzir a vida útil da bateria. |
| 3 | - Alto custo de manutenção com as baterias | As baterias possuem reduzida vida útil devido à degradação química presente na tecnologia. |
| 4 | - Baixa autonomia | Veículos com maior competitividade no custo final utilizam baterias de menor capacidade. Além disto, as características de volume e peso das baterias inviabilizam veículos leves e pequenos com maiores autonomias. |

| | | |
|-----------|--|---|
| 5 | - Risco de incêndio | Risco de incêndios, com liberação de gases tóxicos em caso de colisão do veículo. |
| 6 | - Clima de frio intenso | O veículo perde desempenho devido a piora na performance das baterias e a autonomia é prejudicada com a utilização de aquecedor para climatização interna do veículo. |
| 7 | - Clima de calor intenso | O veículo tem a autonomia prejudicada com a utilização de ar condicionado para climatização interna do veículo. |
| 8 | - Falta de infraestrutura pública de recarga | A falta de infraestrutura pública de recarga, principalmente do tipo rápida, limita aplicabilidade da maioria dos VEBs à trechos curtos dentro de perímetros urbanos. |
| 9 | - Falta de infraestrutura privativa de recarga | Há dificuldade na recarga residencial devido à necessidade de residências com estacionamento privativo e instalação elétrica disponível, o que inviabiliza o carregamento de VEBs em diversos tipos de imóveis. |
| 10 | - Falta de infraestrutura especializada | Menor atratividade de VEBs devido à falta de serviços especializados nesta tecnologia, como oficinas e autopeças. |
| 11 | - Relevância dos biocombustíveis | Os biocombustíveis representam fortemente interesses econômicos e políticos no Brasil, visto à importância do agronegócio para o país. |
| 12 | - Relevância da indústria petroleira | A indústria do petróleo representa fortemente os interesses econômicos e políticos no Brasil. Há grandes reservas de petróleo e empresa de controle estatal em destaque no setor. |
| 13 | - Ausência de montadora de projeção fabricando VEBs no Brasil. | Adicionando custos de logística e importação aos veículos e peças de reposição. |
| 14 | - Ausência de montadora genuinamente nacional | Não há montadora genuinamente brasileira na vanguarda do desenvolvimento de VEBs. |
| 15 | - Baixas reservas de lítio | O Brasil possui poucas reservas de mineral, levando a uma posição desfavorável na geopolítica do lítio. |
| 16 | - Trancamento tecnológico do Motor de combustão interna | Os veículos convencionais são parte de um sistema fortemente interconectado, formado por uma série de subsistemas em diversos níveis e magnitudes, o que dificulta a introdução de tecnologias alternativas. |

5.3 Análise de oportunidades

As oportunidades capazes de favorecer a adoção de VEBs são fortemente estimuladas por forças empreendedoras motivadas pela criação de inovações capazes de gerar novos negócios e maiores lucros. A consolidação das tecnologias associadas aos VEBs representa potencial de ganho financeiro e podem levar à substituição da atual tecnologia dominante associada a motores de combustão interna.

Neste sentido, há grande interesse em ações capazes de superar os problemas relacionados às tecnologias de armazenamento de energia atuais. Pesquisas em andamento buscam o aprimoramento das características de densidade de energia e potência, de modo a viabilizar veículos mais leves, com maior autonomia e menor tempo de recarga, assim como o aumento na vida útil e segurança das baterias. Com relação ao custo, as baterias vêm apresentando redução significativa no preço por kWh e, mesmo com um aumento da demanda, há uma redução em torno de 18% ao ano desde 2010. Este cenário é favorecido pela convergência tecnológica em torno de baterias, que é o foco de muitos outros segmentos além dos veículos elétricos.

Há outras soluções em potencial que ainda podem ser aprimoradas: o serviço de troca de baterias descarregadas por baterias carregadas pode ser aperfeiçoado solucionando o problema do longo tempo demandado na recarga, assim como a tecnologia de recarga em movimento sem a utilização de cabos, que é bastante conveniente ao proprietário do veículo.

Com a tecnologia V2G, os veículos elétricos podem vir a ser utilizados como sistemas distribuídos de armazenamento e geração de eletricidade, permitindo um melhor gerenciamento de recursos energéticos e a geração de receita aos proprietários de VEBs com a venda de energia armazenada nas baterias, principalmente nos horários de pico de carga no sistema elétrico.

Apesar de ainda insignificante, a infraestrutura pública de recarga rápida vem crescendo gradativamente, sendo viabilizada principalmente por meio de ações de empresas do setor elétrico em parceria com montadoras, e há perspectivas de criação

de eletropostos nas principais cidades e rodovias brasileiras, formando corredores elétricos que permitam a circulação de VEBs por trajetos em maior distância.

Eventuais aumentos no preço do petróleo, seja por motivo de oferta e demanda ou ainda interesses estratégicos, tendem a influenciar positivamente na adoção de VEBs, visto o maior custo por km percorrido com a utilização de veículos movidos a MCI.

Por fim, o endurecimento da legislação ambiental pode tornar os VEBs ótima alternativa para redução de poluição atmosférica em caráter local, e a redução de gases do efeito estufa em caráter global, principalmente no contexto nacional que a matriz energética conta com forte presença de energia limpas.

O resumo das oportunidades é demonstrado na tabela 11.

Tabela 11 - Análise SWOT - Oportunidades.

| OPORTUNIDADES | | |
|----------------------|--|---|
| 1 | - Geração de novos negócios | Forças empreendedoras motivadas pela criação de inovações capazes de gerar novos negócios e maiores lucros atuam em favor de VEBs. |
| 2 | - Perspectivas de redução no custo de baterias | O custo por kWh de baterias aplicadas em VEBs vem diminuindo significativamente. Entre 2010 e 2018 houve uma redução média de 85% no preço de baterias de íons de lítio. |
| 3 | - Perspectivas de melhora na densidade de energia de baterias | Há pesquisas em desenvolvimento com objetivo de melhorar a densidade de energia de baterias, possibilitando a redução no tamanho e aumento na capacidade de armazenamento de energia. |
| 4 | - Perspectivas de melhora na densidade de potência de baterias | Há pesquisas em desenvolvimento com objetivo de melhorar a densidade de potência de baterias, permitindo a concepção de baterias menos susceptíveis a perda de performance no clima frio. |
| 5 | - Perspectivas de aumento na vida útil de baterias | Há pesquisas em desenvolvimento com objetivo de aumentar a vida útil de baterias, reduzindo a degradação química. |
| 6 | - Perspectivas de melhora na segurança de baterias | Há pesquisas em desenvolvimento com objetivo de aumentar a segurança de baterias, reduzindo o risco de incêndios. |

| | | |
|----|--|---|
| 7 | - Perspectivas de aumento da infraestrutura pública de recarga rápida | Há planos divulgados para criação de eletropostos nas principais cidades e rodovias brasileiras, formando corredores elétricos. |
| 8 | - Desenvolvimento de serviços de troca de baterias | O aprimoramento de serviços de troca de baterias descarregadas por baterias carregadas pode eventualmente solucionar o problema do longo tempo demandado para recarga das baterias. |
| 9 | - Desenvolvimento da tecnologia de recarga em movimento (sem cabos) | O aprimoramento da tecnologia de recarga em movimento sem utilização de cabos pode eventualmente solucionar o problema do longo tempo demandado para recarga das baterias e ainda representar uma maior comodidade aos proprietários de veículos. |
| 10 | - Aumento do preço dos combustíveis utilizados em MCI | O preço do petróleo é dependente da oferta e demanda e também de fatores estratégicos. Um eventual aumento no preço desta commodity tende a influenciar positivamente na adoção de VEBs. |
| 11 | - Consolidação da tecnologia V2G | Com a consolidação da tecnologia V2G, os VEBs podem vir a ser utilizados como sistemas distribuídos de armazenamento e geração de eletricidade, permitindo um melhor gerenciamento de recursos energéticos e a geração de receita aos proprietários de VEBs com a venda de energia armazenada nas baterias. |
| 12 | - Endurecimento de legislação ambiental promovendo a melhora da qualidade do ar | Os VEBs são ótima alternativa para redução da poluição atmosférica e melhora da qualidade do ar no âmbito local, sendo uma opção bastante adequada no caso do endurecimento de leis ambientais. |
| 13 | - Endurecimento de legislação ambiental promovendo a redução de gases do efeito estufa | Os VEBs são ótima alternativa para redução na emissão de gases do efeito estufa no caso de endurecimento de leis ambientais, principalmente no Brasil que possui matriz elétrica com forte presença de energia limpas. |

5.4 Análise de ameaças

Há perspectivas de aperfeiçoamentos nas tecnologias dos MCIs que podem levar a motores mais eficientes e menos poluentes, tornando menos significativo o caráter ambientalmente correto associado à VEBs. Estes ainda possuem baterias compostas por metais pesados e eletrólitos tóxicos, representando perigo aos ecossistemas e à saúde humana quando o descarte é incorreto.

Os veículos híbridos, que aliam as qualidades e defeitos dos veículos elétricos e convencionais, podem vir também a ser a preferência de muitos consumidores.

De acordo com a lei da oferta e da demanda, uma menor procura de combustíveis derivados de petróleo deve levar a uma redução no preço desta *commodity* que, por sua vez, causaria uma redução no custo de combustíveis líquidos e melhora no custo por km percorrido dos veículos que possuem MCIs. Em contrapartida, uma maior demanda por energia elétrica devido aos VEBs tende a causar um aumento na tarifa de energia com base na mesma lei da oferta e da procura, visto a necessidade de maior oferta geradora, além de eventuais custos de adequação do sistema elétrico de potência. Ou seja, neste contexto, uma eventual redução no custo dos combustíveis líquidos utilizados em MCI e aumento no custo da energia elétrica, funcionaria como mecanismo limitador à adoção de VEBs.

Por fim, o aperfeiçoamento das tecnologias das células de combustível pode criar veículos sem as limitações das baterias encontradas em VEBs, visto que a tecnologia gera eletricidade ao invés de armazenar. Entretanto a tecnologia precisa de grande evolução antes de se tornar uma opção viável aos consumidores.

O resumo das ameaças é demonstrado na tabela 12.

Tabela 12 - Análise SWOT - Ameaças.

| AMEAÇAS | | |
|----------------|---|---|
| 1 | - Possível preferência dos consumidores por veículos híbridos | Os veículos híbridos, que aliam as qualidades e defeitos dos veículos elétricos e veículos movidos a MCI, pode ser a preferência de muitos consumidores, dificultando a adoção de VEBs. |

| | | |
|----------|--|---|
| 2 | - Possível redução do preço dos combustíveis utilizados em MCI | O preço do petróleo é relacionado a muitos fatores, entre eles a lei da oferta e demanda. Eventuais quedas no consumo de petróleo tendem a reduzir o custo desta commodity, influenciando negativamente a adoção de VEBs. |
| 3 | - Possível aumento do preço da tarifa de energia elétrica | Uma maior demanda por energia elétrica devido a veículos elétricos tende a causar um aumento na tarifa de energia com base na lei da oferta e demanda, visto a necessidade de maior oferta geradora. Além disto, eventuais custos de adequação do sistema elétrico de potência devem também ser repassados ao consumidor. |
| 4 | - Possível melhoria na tecnologia dos motores de combustão interna | Aumento da eficiência e redução das emissões dos motores de combustão interna. |
| 5 | - Aperfeiçoamento das tecnologias de célula de combustível | O aperfeiçoamento da tecnologia de célula de combustível pode eventualmente tornar a tecnologia mais atrativa que VEBs. |
| 6 | - Impactos ambientais do descarte incorreto de baterias | Nas baterias estão presentes metais pesados e eletrólitos tóxicos que podem representar perigo aos ecossistemas e à saúde humana no caso de descarte incorreto. |

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

Este estudo objetivou avaliar os fatores que afetam a expansão dos VEBs no Brasil, culminando na realização de análise *SWOT*, detalhando as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças presentes. Com relação aos aspectos tecnológicos analisados, a validade não se restringe apenas ao cenário nacional, mas sim ao universo dos VEBs como um todo.

Os fatores da análise *SWOT* podem ser adequadamente avaliados sob o ponto de vista do proprietário do veículo (em favor de custos, comodidade e segurança) e sob um ponto de vista estratégico.

Analisando os custos, a menor complexidade do sistema motriz de VEBs possibilita menor quantidade de partes e peças para manutenção e o custo por km percorrido é bastante atrativo. Entretanto, estas forças dificilmente prevalecem quando considerado o elevado valor de aquisição do veículo e o alto custo de substituição das baterias ao final da vida útil. No que tange ao futuro, as oportunidades associadas ao custo situam-se nas grandes perspectivas de redução do custo por kwh e na melhora da longevidade das baterias, permitindo redução no valor de aquisição do veículo e menores gastos com manutenção, possibilitando assim VEBs como uma solução atrativa do ponto de vista financeiro. Porém, este cenário é ameaçado por eventual redução no valor do petróleo e aumento na tarifa de energia elétrica, como resultado de uma menor procura por combustíveis fósseis e maior consumo de eletricidade. Este mecanismo, baseado na lei da oferta e da demanda, pode atuar como uma forma de limitar ou ao menos atrasar a adoção em massa de VEBs.

Analisando a comodidade e o conforto, as forças dos VEBs residem no funcionamento silencioso e na desnecessidade de visitas periódicas a postos de abastecimento, visto que a recarga pode ser realizada sem fio em qualquer local que disponha de energia elétrica. Desconsiderando o aspecto financeiro, é possível ainda encontrar VEBs com boa autonomia e altíssima performance. Entretanto, estas forças são ofuscadas por fraquezas como: o longo tempo de recarga das baterias e infraestrutura pública de

recarga em alta potência praticamente inexistente no Brasil. Além disso, o uso de aquecedor ou ar-condicionado reduz consideravelmente o alcance do veículo. Avaliando as oportunidades, há perspectivas de desenvolvimento de baterias com maior vida útil e maior densidade de energia e potência, possibilitando veículos mais seguros, com maior autonomia e menor tempo de recarga. Serviços de troca de baterias descarregadas por baterias carregadas devem ser desenvolvidos. Há planos de criação de pontos de recarga nas principais rodovias brasileiras, e o eventual aprimoramento da recarga sem fio em movimento pode elevar bastante o nível de comodidade e conforto.

Analisando os aspectos de segurança, há risco de incêndio nas baterias, principalmente no caso de colisões ou carregamentos ultrarrápidos, embora exista perspectiva de desenvolvimento de baterias não inflamáveis com eletrólitos em estado sólido.

Já sob um ponto de vista estratégico, percebe-se um conflito com interesses político-econômicos nacionais, apesar dos benefícios ambientais. Uma grande força dos VEBs é a não emissão local de poluentes, contribuindo para a redução da poluição atmosférica nas grandes cidades. No contexto nacional, caracterizado por uma matriz elétrica com forte presença de energias limpas e renováveis, estes veículos podem ser utilizados na redução das emissões de gases do efeito estufa, ganhando espaço em um cenário de endurecimento da legislação ambiental. Entretanto, deve se levar em consideração que interesses políticos e econômicos no Brasil são fortemente representados pelo agronegócio e pela indústria petroleira, favorecendo os biocombustíveis e combustíveis derivados de petróleo, mantendo assim a atratividade de tecnologias associadas aos MCIs. Além disto, o Brasil tem ainda posição de desvantagem na geopolítica do lítio e não há montadora genuinamente nacional na vanguarda do desenvolvimento de VEBs.

Sob uma ótica abrangente, percebe-se que o trancamento tecnológico do motor de combustão interna é uma forte barreira à penetração de VEBs, mesmo que estes se tornem uma solução superior, ao transporem diversas fraquezas. Um eventual destrancamento está sendo liderado por forças empreendedoras apoiadas em

inovações capazes de gerar novos negócios e maiores lucros ao substituir a tecnologia dominante.

A massificação dos VEBs ao ponto de tornarem-se a tecnologia automotiva de destaque no mercado principal brasileiro, e não apenas em mercados restritos e de elite, depende da superação de diversas deficiências tecnológicas, redução de custos gerais, estabelecimento de infraestruturas de recarga, rompimento de estruturas mercadológicas previamente estabelecidas em favor do MCI e adequação de interesses estratégicos nacionais. Apesar dos VEBs possuírem características de inovações disruptivas, o processo de substituição da tecnologia dominante associada a motores de combustão interna por veículos elétricos a bateria tende a ser lento. Cabe ressaltar ainda que eventuais transições devem considerar o processo de sucateamento e reposição de frota. É importante frisar que no Brasil não há vanguardismo tecnológico no desenvolvimento de VEBs e a eletrificação veicular vem ocorrendo através da absorção de tecnologias já consolidadas e dominadas no exterior. Deve se ainda levar em consideração a forte convergência dos veículos híbridos como uma opção bastante adequada ao cenário nacional, aliando as vantagens da motorização elétrica e motorização por combustão interna, além de atender aos interesses nacionais em biocombustíveis e combustíveis derivados de petróleo.

6.2 Sugestão de trabalhos futuros

Seguindo a linha de pesquisa desenvolvida neste trabalho, outros tópicos podem ser explorados com a finalidade de aumentar a disponibilidade de informações e abrangência das análises. A seguir, lista-se uma série de tópicos que não puderam ser abordados nesta dissertação, porém foram considerados de interesse para futuros trabalhos.

- Análise das particularidades e conjunturas específicas de veículos elétricos do tipo pesado, como os caminhões e ônibus movidos a bateria, que não fizeram parte do escopo deste trabalho.

- Análise das particularidades e conjunturas específicas de veículos elétricos de duas e três rodas, como as motocicletas e triciclos movidos a bateria, que não fizeram parte do escopo deste trabalho.
- Aprofundamento nas temáticas relacionadas a veículos híbridos, com realização de análise de competitividade *SWOT* desta tecnologia veicular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABVE, Associação Brasileira do Veículo Elétrico. **Caminhão elétrico da Volks-MAN é vitória da tecnologia nacional.** ABVE, 2018. Disponível em < <http://www.abve.org.br/caminhao-eletrico-da-volks-man-e-vitoria-da-tecnologia-nacional/>> Acesso em 16 de março de 2019.

AEN. **Eletrovia Copel completa um ano com mais de 300 recargas.** 2019. Disponível em < <http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=101623>> Acesso em 10 de dezembro de 2019.

ALMEIDA, Michel Willian Zimmermann de. **Carro não se constrói, compra-se: O empreendedor brasileiro na indústria automobilística entre os anos 70 e 90.** 2016. 240 f. Tese (Doutorado em História) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. 2016.

ALMEIDA V. Pacheco de; LONGUI G. Manera; SANTOS L. Ramos dos. **Etanol: 40 anos de evolução do mercado de combustíveis e automóveis no Brasil.** In: Revista teoria e evidência econômica. Rio Grande do Sul, Ano 23, n. 49, p. 462-484, jul./dez. 2017.

ANDERSON, Curtis D; ANDERSON, Judy. **ELECTRIC AND HYBRID CARS: A History.** 1ª ed. Jefferson: MCFARLAND & CO INC, 2004.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil – 3 edição.** Brasília. 2017.

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Carta da Anfavea 380.** São Paulo. 2018.

ANP. **Biodiesel.** 2020. Disponível em < <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel> > Acesso em 01 de junho de 2020.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2017.** Rio de Janeiro. 2017.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Oportunidades no Setor de Petróleo e Gás no Brasil.** Rio de Janeiro. 2018.

ARIOLI, T. Vitor. **Análise de impactos técnicos provocados pela penetração massiva de veículos elétricos em redes de distribuição de energia elétrica.** 2016. 174 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – FEEC/UNICAMP. 2016.

ARTHUR, W. Brian. **Competing technologies, increasing returns and lock-in by historic events.** In: The economic Journal, V. 99, n. 394, p. 116-131, mar 1989.

BAGOTSKY, S. Vladimir; SKUNDIN M. Aleksander; e VOLFKOVICH M. Yuriy. **Electrochemical power sources.** 1ª ed. Nova Jersey: Willey.2015.

BARAN, Renato; LEGEY, Luiz Fernando. **Veículos elétricos: história recorrente.** In: XIII Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro, Anais do XIII Congresso Brasileiro de Energia, v. 2, p. 457-470, nov. 2010.

BARAN, Renato. **A introdução de veículos elétricos no Brasil: Avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade.** 2012. 139 f Tese (Doutorado em planejamento energético) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

BAIGRIE Brian S. **Electricity and Magnetism: A Historical Perspective.** 1ª ed. Connecticut: Greenwood Publishing Group, 2007.

BERDICHEVSKY Gene et al. **The Tesla Roadster Battery System.** In: Tesla Motors, Inc. Califórnia, p. 1-5, abr. 2007.

BEETON, David; e MEYER Gereon. **Electric Vehicle Business Models.** 1ª ed. Germany: Springer. 2015.

BHATT, Anand; WITHERS, Ray; FORSYTH, Maria; WANG, Guoxiu. **How a battery works.** 25 de fevereiro de 2016. Disponível em <<https://www.science.org.au/curious/technology-future/batteries>> Acesso em 10 de dezembro de 2019.

BICALHO Ronaldo; TAVARES Felipe Botelho. **Impactos do Setor de Petróleo na Economia Brasileira: Grandes Números do Setor de Petróleo e Gás.** In: Discussion Paper IBP. Rio de Janeiro, v.3, p.1-34, out. 2014.

BINACIONAL, Itaipu. **Veículos Elétricos.** Itaipu Binacional, 2015. Disponível em <<https://www.itaipu.gov.br/tecnologia/veiculos-eletricos>> Acesso em 16 de março de 2019.

BINACIONAL, Itaipu. **Itaipu inaugura novo centro de montagem de veículos elétricos nesta terça feira (16)**. Itaipu Binacional, 2018. Disponível em < <https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/itaipu-inaugura-novo-centro-de-montagem-de-veiculos-eletricos-nesta-terca-f> > Acesso em 16 de março de 2019.

BLOOMBERG. Tesla's Futuristic Door Handles Blamed for Death in fiery wreck. 2019. Disponível em < <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-10-23/tesla-s-futuristic-door-handles-blamed-for-death-in-fiery-wreck> > Acesso em 10 de janeiro de 2020.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Visão 2035: Industria automotiva**. Rio de Janeiro. 2019.

BNDES. Banco Nacional do desenvolvimento Econômico e Social. **BNDES aprova R\$ 6,7 milhões para estações de recarga de veículos elétricos**. 2018. Disponível em < <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-aprova-r-6-7-milhoes-para-estacoes-de-recarga-de-veiculos-eletricos> > Acesso em 25 de dezembro de 2018.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **PANORAMAS SETORIAIS 2030. Desafios e oportunidades para o Brasil**. Rio de Janeiro. 2017a.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Biocombustíveis - BNDES Setorial 45, p. 285-340** . Rio de Janeiro. 2017b.

BORBA, Bruno Soares Moreira Cesar. **Modelagem integrada da introdução de veículos leves conectáveis à rede elétrica no sistema energético Brasileiro**. 2012. 166 f. Tese (Doutorado em planejamento energético) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

BP. British Petroleum. **BP Statistical Review of World Energy**. Reino Unido. 2019

BRAJTERMAN, Olivia. **Introdução de veículos elétricos e impactos sobre o setor energético Brasileiro**. 2016. 154 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Planejamento Energético - COPPE - UFRJ. 2016.

BRASIL. ANEEL. **Resolução normativa nº 819 de 19 de junho de 2018**. Estabelece os procedimentos e as condições para a realização de atividades de recarga de veículos elétricos. Brasília, 2018.

BRASIL. **Medida provisória nº 843, de 2018**. Estabelece requisitos obrigatórios para a comercialização de veículos no Brasil, institui o Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística e dispõe sobre o regime tributário de autopeças não produzidas.

BRASIL. MMA – Ministério do Meio Ambiente. Intended Nationally Determined Contribution - INDC. Para consecução do objetivo da convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima. Brasília, 2016.

BULLIS K. **Electric Vehicles Out in the Cold**. MIT Technology Review. Massachusetts, 13 de dezembro de 2013. Disponível em <<https://www.technologyreview.com/s/522496/electric-vehicles-out-in-the-cold/>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2019

BURKE, Andrew. **Batteries and Ultracapacitors for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles**. In: Proceedings of IEEE, V. 95, p. 806-820, abri 2017.

CALVILLO, F. Christian; CZECHOWSKI Karolina; SODER, Lennart; SANCHEZ-MIRALLES, Alvaro; VILLAR, José. **Vehicle-to-grid profitability considering EV battery degradation**. In: 2016 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. p. 310-314. Fev. 2016.

CANGÜE, Feliciano José Ricardo; GODEFROID, Leonardo B.; SILVA, Eduardo. **Análise atual do setor automobilístico nacional**. Revista Científica Symposium. v. 2, n. 1, (2004). Lavras: Instituto Adventista de Ensino de Minas Gerais, 2004.

CAMEX. **Resolução nº 97**, de 26 de outubro de 2015. Altera a Lista Brasileira de Exceções à Tarifa Externa Comum do MERCOSUL. Disponível em <www.camex.gov.br>. Acesso em: 11 de março de 2019.

CAMARGO JR. Alceu S. et al. **Electric Vehicles: struggles in creating a Market**. In: Annual Conference of The Portland International Center for Management of Engineering and Technology. Portland, p.1-13, jan. 2011.

CARVALHO, C. H. Ribeiro. **Emissões relativas de poluentes do transporte urbano**. boletim regional, urbano e ambiental, Ipea. Brasília, nº 5, Jan. 2011.

CASALS, Lluc Canals; GARCÍA, B. Amante; CANAL Camille. **Second life batteries lifespan: Rest of useful life and environmental analysis**. In: Elsevier. Journal of environmental Management. Espanha, v.232 p.354-363, nov. 2018.

CASOTTI, Bruna Pretti; GOLDENSTEIN, Marcelo. **Panorama do setor automotivo: as mudanças estruturais da indústria e as perspectivas para o Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 28, p. 147-187, set. 2008

CEC. California Energy Commission. **ABCs of AFVs A Guide to Alternative Fuel Vehicles**. Califórnia. 1999.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Convergência Tecnológica**. Brasília. 2008.

Chae et al. **3.3kW on board charger for electric vehicle**. In: 8th International Conference on Power Electronics. Coréia do Sul, p.2717-2719, jul. 2011.

CHAN C. C. **THE RISE & FALL OF ELECTRIC VEHICLES IN 1828–1930: LESSONS LEARNED**. In: Proceedings of the IEEE. Hong Kong, v.101, nº1, p. 207, jan. 2013.

CHAN, C. C.; e CHAU K. T. **Modern Electric Vehicle Technology**. 1ª ed. Reino Unido: Oxford University Press. 2001.

CHATTERJEE Sabyasachi. **Michael Faraday - Discovery of Electromagnetic Induction**. In: RESONANCE. Índia, p. 35-45, mar. 2002.

CHEVROLET. 2020. Disponível em < <https://www.chevrolet.com.br/carros/bolt-ev> > Acesso em 25 de abril de 2020.

CHRISTENSEN, M. Clayton. **The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail**. Boston: Harvard Business School Press, 1997.

CHRISTENSEN, J; ALBERTUS, P; SANCHEZ-CARRERA, R.S; LOHMANN, T; KOZINSKY, B; LIEDTKE, R; AHMED, J., KOJICA, A. **A critical review of Li/air batteries**. In: Journal of Electrochemical Society. V. 159 (2), R1–R30, Jan 2012.

CHRISTENSEN, J; HORN M; STAKER H. **Uma introdução à teoria dos híbridos**. Clayton Christensen Institute. 2013.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. **O Setor Sucroenergético em 2030. Dimensões, Investimentos e uma Agenda Estratégica**. Brasília. 2017.

COUTINHO, Luciano G.; DE CASTRO, Bernardo Hauch R.; FERREIRA, Tiago T. **VEÍCULO ELÉTRICO, POLÍTICAS PÚBLICAS E O BNDES: OPORTUNIDADES E DESAFIOS**. In: XXII Fórum Nacional de Altos estudos – INAE. Rio de Janeiro. p.30-49, mai. 2010.

COWAN, Robin; HULTÉN, Staffan. **Escaping Lock-in: the Case of the Electric Vehicle**. Technology Forecasting and Social Change. Nova Iorque, v.53, p. 61-79, 1996.

COFFMAN, Makena; BERNSTEIN, Paul; WEE, Sherilyn. **Electric vehicles revisited: a review of factors that affect adoption.** In: Journal Transport Reviews V. 37, p. 79-93. Jun. 2016.

CORTEZZI, Fernanda Cristina Martins. **O veículo elétrico e o impacto na curva de carga de consumidores: Estudo de caso do FIAT 500e.** 2017. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. CEFET-MG. 2017

CPFL. **O Projeto Emotive.** 2018. Disponível em <
<https://www.cpfl.com.br/sites/mobilidade-eletrica/emotive/Paginas/default.aspx#projeto>>
Acesso em 10 de dezembro de 2019.

CURRY Claire. **Lithium-ion Battery Costs and Market.** Blomberg New Energy Finance – BNEF. Nova York, 20 de junho de 2017. Disponível em <
<https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF-Lithium-ion-battery-costs-and-market.pdf>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2019.

DAPENA V. Peter; SHERMAN, Ivory. **Electric cars have been around since before the US Civil War.** CNN Business, Nova Iorque, 18 de julho de 2019. Disponível em <
<https://edition.cnn.com/interactive/2019/07/business/electric-car-timeline/index.html>>
Acesso em 10 de dezembro de 2019.

DAVID, R. Fred; e DAVID, R. Forest. **Strategic management – Acompetitive advantage approach, concepts and Cases.** 16ª ed. Londres: Pearson. 2017.

DE CASTRO, Bernardo Hauch R.; FERREIRA, Tiago T. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades.** In: BNDES Setorial 32. Rio de Janeiro. p.267-310. set. 2010.

DEAKIN. **Breakthrough paves path for a future free of batteries catching fire.** Deakin University, Austrália, 27 de novembro de 2019. Disponível em <
<https://www.deakin.edu.au/about-deakin/media-releases/articles/breakthrough-paves-path-for-a-future-free-of-batteries-catching-fire> > Acesso em 10 de dezembro de 2019.

DELOITTE. Insights. **Making the future of mobility Chemicals and specialty materials in electric, autonomous, and shared vehicles.** Nova Iorque. 2018.

DOE. **The History of the Electric Car.** Disponível em
<https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>. Acesso em 20 de julho de 2018.

DOMBROWSKI Uwe; e ENGEL, Christian. **Impact of Electric Mobility on the after Sales Service in the Automotive Industry**. In: Procedia CIRP. V. 16, p. 152-157. Jan. 2014.

DUTRA, V. Daniele. **A análise SWOT no Brand DNA Process: Um Estudo da ferramenta para aplicação em trabalhos de branding**. 2014. 243 f. Dissertação (Mestrado em design e expressão gráfica) – UFSC. 2014.

EDP. **EDP e BMW Group Brasil inauguram maior corredor elétrico da América Latina**. 2019. Disponível em < <https://www.edp.com.br/noticias/edp-anuncia-a-primeira-rede-de-recarga-ultrarrapida-de-veiculos-eletricos-do-brasil> > Acesso em 10 de dezembro de 2019.

EE&RE. Departamento de eficiência energética e energias renováveis dos EUA. **Saving on Fuel and Vehicle Costs**. Novembro 2019. Disponível em < <https://www.energy.gov/eere/electricvehicles/saving-fuel-and-vehicle-costs> >. Acesso em 10 de dezembro de 2019.

EHSANI, M. et al. **Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles**. 3ª ed. Flórida: CRC PRESS – Taylor and Francis Group, 2018.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Eletromobilidade e Biocombustíveis**. Brasília. 2018a.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2019**. Brasília. 2019a.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da conjuntura dos biocombustíveis**. Brasília. 2019b.

ERJAVEC, Jack. **HYBRID, ELECTRIC & FUEL-CELL VEHICLES**. 2ª ed. Nova Iorque: Delmar Cengage Learning, 2013.

EYWOOD, John B. **Internal combustion engines fundamentals**. 1ª ed. Nova Iorque: McGraw-Hill.1988.

FARAND, Chloe. **France will ban all petrol and diesel vehicles by 2040**. Independent. Londres, 06, Jul., 2017. Disponível em < <https://www.independent.co.uk/environment/france-petrol-diesel-ban-vehicles-cars-2040-a7826831.html> >. Acesso em 11 de janeiro de 2019.

FRANCIS, Wilfrid; PETERS, Martin C. **Fuels and fuel Technology**. 2ª ed. Reino Unido: Pergamon Press, 1980.

FERGUSON, Colin R; KIRKPATRICK, Allan T. **Internal Combustion Engines. Applied Thermosciences**. 3ª ed. Reino Unido: Wiley, 2016.

FGV ENERGIA. **Caderno carros elétricos**. Rio de Janeiro. 2017.

FONTAINHAS, José; CUNHA, Jorge; FERREIRA Paula. **Is investing in an electric car worthwhile from a consumers' perspective?**. In: Elsevier Energy. Portugal, v.115-2 p.1459-1477, nov. 2016.

FUEL ECONOMY. Departamento de eficiência energética e energias renováveis dos EUA. **Consumo energético de veículo leve a gasolina**. 2018a. Disponível em <https://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml>. Acesso em 28 de dezembro de 2018.

FUEL ECONOMY. Departamento de eficiência energética e energias renováveis dos EUA. **All Electric Vehicles**. 2018b. Disponível em <<https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>>. Acesso em 28 de dezembro de 2018.

GARCÍA-VILLALOBOS, J; ZAMORA, I; SAN MARTIN, J.I; ASENSIO F.J; APRERRIBAY V. **Plug-in electric vehicles in electric distribution networks: A review of smart charging approaches**. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews. V. 38, p. 717-731. Abr. 2014.

GERSSSEN-GONDELACH, S.J; FAAIJ, A.P.C. **Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term**. In: Journal of Power Sources V. 212, p. 111-129. Jan. 2012.

GERTZ Marisa; GRENIER, Melinda. **171 Years Before Tesla: The Evolution of Electric Vehicles**. Bloomberg Hyperdrive, Nova Iorque, 5 de janeiro de 2019. Disponível em <<https://www.bloomberg.com/news/photo-essays/2019-01-05/171-years-before-tesla-the-evolution-of-electric-vehicles>> Acesso em 10 de dezembro de 2019.

GNANN, Till; PLOTZ, Patrick; WIETSCHHEL Martin. **How to address the chicken-egg problem of electric vehicles? Introducing an interaction market diffusion model for EVs and charging infrastructure**. In: Conference: ecee Summer Study. França, v.4-239-15. p.873-884, Jun. 2015.

HOYER, Karl George. **The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars**. In: Utilities Policy ScienceDirect. Oslo, v.16, p.63-71, out. 2007.

HUSAIN, Iqbal. **ELECTRIC and HYBRID VEHICLES Design Fundamentals**. 1ª ed. Nova Iorque: CRC Press. 2005.

HUSSEINPOUR, Shima; CHEN Hongyi; e TANG, Hua. **Barriers to the Wide Adoption of Electric Vehicles: A Literature Review Based Discussion**. In: Proceedings of PICMET '15: Management of the Technology Age, p. 2329-2336, ago 2015.

IEA. International Energy Agency. **Global EV outlook 2020**. França. 2020a.

IEA. International Energy Agency. **Short-Term Energy Outlook**. EUA. 2020b.

IEA. International Energy Agency. **Technology Roadmap - Electric and plug-in hybrid electric vehicles**. França. 2009.

IEA. International Energy Agency. **Technology Roadmap – Smart Grids**. França. 2011.

IEA. International Energy Agency. **IEA Atlas of energy**. França. 2020. Disponível em <<http://energyatlas.iea.org/>>. Acesso em 6 de junho de 2020.

IEC. International Electrotechnical Commission. **IEC 61851-1 Ed. 3.0 b:2017 - Electric Vehicle Conductive Charging System - Part 1: General Requirements**. Genebra. 2017.

JIANG Jiuchun; ZHANG Caiping. **Fundamentals and Applications of Lithium-ion Batteries in Electric Drive Vehicles**. 1ª ed. Singapura: John Wiley & Sons, 2015.

JULIÃO, André. **Baterias de lítio-ar poderão armazenar energia para carros, casas e indústria**. Agência Fapesp. São Paulo, 14 de fevereiro de 2019. Disponível em <<http://agencia.fapesp.br/baterias-de-litio-ar-poderao-armazenar-energia-para-carros-casas-e-industria/29802/>>. Acesso em 10 de dezembro de 2019.

JUNG, Hun-Gi; HASSOUN, Jusef; PARK Jin-Bun; SUN Yang-Kook; e SCROSATI Bruno. **An improved high-performance lithium–air battery**. In: Nature chemistry V. 4, p. 579-585. Jun. 2012.

KIERZKOWSKI, Henryk. **A New New Global Auto Industry?**. Trade and Industry in Asia Pacific: History, Trends and Prospects. Camberra. Nov. 2009.

KIRSCHEN, D.S. **Demand-side view of electricity markets**. In: IEEE Transactions on Power Systems. V. 18, p. 520-527. Mai. 2003.

KJOSEVSKI, Stevan; KOSTIKJ, Aleksandar; KOCHOV, Atanas. **Risk and safety issues related to use of electric and hybrid vehicles.** In: Scientific proceedings XIV international congress “Machine technology materials”, V.2, p. 169–172, dez 2017.

KOBAYASHI, Shigeki; PLOTKIN, Steven; RIBEIRO, Suzana Kahn. **Energy efficiency technologies for road vehicles.** In: Energy Efficiency. Ispra v.2, p. 125-137, mai. 2009.

KOTLER Philip; KELLER Kevin L. **Marketing Management.** 15ª ed. Inglaterra: Pearson, 2016.

KURZWEIL, P; e GARCHE, Jurgen. **Lead-Acid Batteries for Future Automobiles.** In: GARCHE, Jurgen; KARDEN Eckhard; MOSELEY T. Patrick; e RAND A. J. David. Lead-Acid Batteries for Future Automobiles. Nova Iorque: Elsevier, 2017. p. 49-77.

LAMBERT Fred. **GM lists the price of the Chevy Bolt EV's battery pack at \$15,734.29 – \$262/kWh.** Electrek. Nova Iorque, 12 de junho de 2017. Disponível em < <https://electrek.co/2017/06/12/gm-bolt-ev-battery-pack-price-cost/>>. Acesso em 11 de janeiro de 2019.

LARMINIE, James; e LOWRY John. **Electric Vehicle Technology Explained.** 2ª ed. Reino Unido: Wiley. 2012.

LENG, F; TAN, C; PECHT, M. **Effect of Temperature on the Aging rate of Li Ion Battery Operating above Room Temperature.** Nature Scientific Reports. n nº 2967. Ago. 2015.

LEÃO, R. P. S. **GTD: geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Texto para uso didático.** Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará. 2010.

LIEBREICH, Michael; MCCRONE, Angus. **Electric vehicles – It's not just about the car.** 2016. Disponível em < <https://about.bnef.com/blog/liebreich-mccrone-electric-vehicles-not-just-car/> > Acesso em 16 de março de 2019.

LINDEN, David; REDDY, B. Thomas. **Handbook of batteries.** 3ª ed. Nova Iorque: McGraw-Hill. 2001.

LINK Albert N; O'CONNOR Alan C; SCOTT Troy J. **Battery technology for electric vehicles. Public science and private innovation.** 1ª ed. Nova York: Routledge, 2015.

MACHURA, Philip; LI, e Quan. **A critical review on wireless charging for electric vehicles**. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews. V. 104, p. 209-234. Abr. 2019.

MALEN, E. Donald; e REDDY kundun. **Preliminary Vehicle Mass Estimation Using Empirical Subsystem Influence Coefficients**. A-SP - Preliminary Vehicle Mass Estimation. Michigan. Mai. 2007.

MARQUES Fabrício. **Balanco sustentável. Estudo da Embrapa atualiza as vantagens do etanol no combate aos gases causadores do efeito estufa**. Revista Pesquisa Fapesp, São Paulo, Edição 159, mai. 2009.

MARTINS, Marcos A. P. **Gestão Educacional - Planejamento estratégico e marketing**. 1. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2007.

MDIC. **Setor Automotivo**. 2018. Disponível em <
<http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/setor-automotivo>> Acesso em 25 de Abril de 2019.

MESSIAS, J. G. Valença. **Carro Elétrico: Impactos de sua introdução para o Setor Elétrico Brasileiro**. 2013. 54 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Economia) – Instituto de economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2013

MI, Chris; MASRUR, M. Abul. **Hybrid electric vehicles – principles and applications witch practical perspectives**. 2ª ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2018.

MIELNIK, Otávio. **O MERCADO DO PETRÓLEO: Oferta, Refino e Preço**. FVG Projetos. Rio de Janeiro, nº 15, Jan. 2012.

Miller et al. **The GM “Voltec” 4ET50 Multi-Mode Electric Transaxle**. In: SAE International Journal of Engines. Pensilvania, v.120-3 p.1102-1114, jan. 2011.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris**. Disponível em <
<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>> Acesso em 25 de abril de 2019.

MORGAN STANLEY. **Batteries may power future of auto industry**. Disponível em <
<https://www.morganstanley.com/ideas/electric-cars-sales-growth>> Acesso em 16 de março de 2019.

MOCK Peter; GERMAN John; BANDIVADEKAR Anup; RIEMERSMA Iddo. **Discrepancies between typeapproval and “real-world” fuelconsumption and CO2**

values. In: The International Council of clean transportation. Berlin. 2012-2. P.1-12. Fev. 2012.

MORAIS José M. **Petróleo em Aguas Profundas. Uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore.** 1ª ed. Brasília: IPEA, 2013.

NERI, T. Fernandes. **Proteção de perda de sincronismo – Aplicação e avaliação no sistema interligado nacional brasileiro.** 2015. 189 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de pós-graduação e pesquisa de engenharia (COPPE) da universidade federal do Rio de Janeiro. 2015

NEW ATLAS. Disponível em <<https://newatlas.com/le-jamais-contente-first-land-speed-record/23094/#p173595>>. Acesso em 07 de dezembro de 2018.

NICOLON, Alexandre. **Le véhicule électrique. Mythe ou réalité?**, Éditions de la maison des sciences del'homme. Paris. 1984.

NISSAN. 2020. Disponível em <<https://www.nissan.com.br>> Acesso em 25 de abril de 2020.

NOCE, Toshizaemon. **Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento.** 2009. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Pontifica Universidade Católica de Minas Gerais. 2009

NOGUEIRA, L.P.P; LUCENA, A. F. P; RATTHMANN, R; ROCHEDO, P. R. R; SZKLO, A; SCHAEFFER, R. **“Will thermal power plants with CCS play a role in Brazil’s future electric power generation?”.** In: International Journal of Greenhouse Gas Control, V. 24, p. 115-123, fev 2014.

NYBROE, Carlos Eduardo Centurion. **Estudo Prospectivo da inserção de veículos elétricos no Paraguai e na Bolívia à luz de uma avaliação econômica - financeira.** 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia. Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

O’MALLEY, Sean; PAINE Michael. **Crashworthiness testing of electric and hybrid vehicles.** Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) e Australasian New Car Assessment Program (ANCAP), 15-0318. 2015.

ORDONEZ, J; GAGO E. J; GIRARD A. **Processes and technologies for the recycling and recovery of spent lithium-ion batteries.** Renew Sustain Energy Rev. 60, p. 195-205. Jul. 2016

PACHECO, Carlos; CASTRO, N. José de. **O GNV - Gás Natural Veicular: Principais Características Técnicas e Perspectivas de Expansão no Brasil**. Boletim do Gás Natural, Instituto de Economia/UFRJ. Rio de Janeiro, nº 1, Nov. 2004.

PESSALI, H. F; FERNÁNDES, R. G. **Inovação e Teoria da Firma**. In: PELAEZ, V., SZMRECSÁNYI, T. Economia da Inovação Tecnológica. Editora Hucitec, 2006.

PESSANHA, Roberto Moraes. **A relação transescalar e multidimensional “petróleo-porto” como produtora de novas territorialidades**. 2017. 560 f. Tese (Doutorado em Políticas Públicas e Formação Humana) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

PESSOA João Monteiro; PIQUET Rosélia. **Os Impactos do Pré-sal na indústria Nacional de Petróleo: Perspectivas Declinantes da Bacia de Campos**. In: XVI SEMINÁRIO DE INTEGRAÇÃO – DO GLOBAL AO LOCAL: O PODER DAS ESCALAS SOBRE O TERRITÓRIO, Rio de Janeiro, p. 1-19, out. 2017.

PINTO Junior; QUEIROZ, Hélder; DE ALMEIDA, Edmar Fagundes. **Economia da Energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

PISTOIA Gianfranco; LIAW Boryann. **Behaviour of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles. Battery Health, Performance, Safety, and Cost**. 1ª ed. Suíça: Springer, 2018.

PLAENGE. 2019. Disponível em < <https://www.plaenge.com.br/Dreams/> > Acesso em 10 de dezembro de 2019.

POLLET, B. G; STAFELL I; e SHANG, J.L. **“Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects.”** In: Electrochimica Acta, V. 84, p. 235-249, abr 2012.

PULKRABEK, Willard W. **Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine**. 1ª ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997.

QIAO, Qinyu; LEE, Henry. **The Role of Electric Vehicles in Decarbonizing China’s Transportation Sector**. Berlfer Center – HARVARD Kennedy School. Mar. 2019

RAMOS, Luiz; KOTHE, Vinícius; OLIVEIRA, Maria; WYPYCH, Aline; NAKAGAKI, Shirley; KRIEGER, Nádia; WYPYCH, Fernando; CORDEIRO, Claudiney. **Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis**. In: Revista virtual de química, V.9, p. 317–369, out 2017.

RAPPEL, Eduardo. **A Exploração econômica do Pré-sal e os impactos sobre a indústria brasileira de petróleo.** In: PIQUET, Rosélia (Org.). Mar de riqueza, terras de contrastes: o petróleo no Brasil. Rio de Janeiro: Mauad X / FAPERJ, 2011. p. 49-77.

REIS Alessandro. **Saiba agora: quanto custam baterias de carros elétricos? E quem recicla?.** UOL, São Paulo, 12 de novembro de 2018. Disponível em < <https://carros.uol.com.br/noticias/redacao/2018/09/12/saiba-agora-quanto-custam-baterias-de-carros-eletricos-e-quem-recicla.htm> > Acesso em 16 de março de 2019.

RENAULT. 2020. Disponível em < www.renault.com.br > Acesso em 25 de abril de 2020.

REUTERS. **FACTBOX-Tesla car fire incidents since 2013.** Disponível em < <https://af.reuters.com/article/commodities07News/idAFL3N1SH5Z3>>. Acesso em 11 de janeiro de 2019.

RIBEIRO, G. Cássia; NETO A. B. Henrique; e SENE, S. Túlio. **The oscillation of oil price: an analysis of the period between 2010-2015.** In: EI – Estudos internacionais, V. 6, n.1, p. 87-106, abr 2018.

Schumpeter, J. **The Theory of Economic Development.** 1ª ed. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1934.

SCIENCE MUSEUM. Disponível em < <http://collection.sciencemuseum.org.uk>>. Acesso em 05 de dezembro de 2018.

SECOVI. Sindicato da Habitação de São Paulo. **Anuário do mercado imobiliário 2018.** São Paulo. 2019.

SHUAI Ma; MODI Jiang; PENG Tao; CHENGYI Song; JIANBO Wu; JUN Wang; TAO Deng; WEN Shang. **Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review.** In: Progress in Natural Science: Materials International. V. 28, p. 653-666. Dez. 2018.

SILVA, João Paulo Niggli. **Avaliação de impactos da inserção dos veículos elétricos nos sistemas de distribuição das concessionárias EDP Bandeirante e EDP ESCELSA.** 2014. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. 2014

SINDIPEÇAS. **Relatório da frota circulante.** Edição 2019. Disponível em < https://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2019/RelatorioFrotaCirculante_Mai_o_2019.pdf> Acesso em 10 de dezembro de 2019.

SIMON, C. Emanuel. **Avaliação de impactos de veículos elétricos em sistemas de distribuição**. 2013. 154 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Planejamento Energético - COPPE - UFRJ. 2013.

SKR. 2018. Disponível em < <https://skr.com.br/skr-news/post/novos-predios-ganham-pontos-para-recarga-de-carros-eletricos> > Acesso em 10 de dezembro de 2019.

SMITH, B. Cristina. **Análise da difusão de novas tecnologias em prol da eficiência energética na frota de novos veículos leves no Brasil**. 2010. 278 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Planejamento Energético - COPPE - UFRJ. 2010.

SPARENBERGER, Ariosto; ZAMBERLAN Luciano. **Marketing estratégico**. 1ª ed. Rio Grande do Sul: Editora Unijuí. 2008.

TAKAISHI Tatsuo et al. **Approach to High Efficiency Diesel and Gas Engines**. In: Mitsubishi Heavy Industries Technical Review. Japão, v.45, nº1, p. 21-24, mar. 2008.

TECNISA. 2011. Disponível em < <https://www.tecnisa.com.br/blog/institucional/tecnisa-lanca-empreendimentos-para-carros-eletricos/> > Acesso em 10 de dezembro de 2019.

THALER Alexander; WATZENIG Daniel. **Automotive Battery technology**. 1ª ed. Austria: Springer, 2014.

THOMAS, C. E. Sandy. **How green are electric vehicles?**. In: international journal of hydrogen energy, V. 37, p. 6053-6062, set 2012.

TRAUT, J. Elizabeth; CHERNG, T. W. Charlie; HENDRICKSON, Chris; MICHALEK, J. Jeremy. **US residential charging potential for electric vehicles**. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment. V. 25, p. 139-145. Dez. 2013.

UDDIN, K; DUBARRY, M; GLICK, M.B. **The viability of vehicle-to-grid operations from a battery technology and policy perspective**. In: Energy Policy. V. 113, p. 342-347. Fev. 2018.

UNRUH, C. Gregory. **Understanding carbon lock-in**. In: Energy Policy, v. 28, p. 817-830, out 2000.

VASCONCELOS, Yuri. **A ascensão dos elétricos**. Revista Pesquisa Fapesp. São Paulo, v. 258, p. 18-27, Ago. 2017.

VIDAL, Carlos; RAN GU, Oliver; KOLLMEYER Phillip; EMADI, Ali. **xEV Li-Ion Battery Low-Temperature Effects - Review**. In: IEEE Transactions on vehicular technology. V. 68, No. 5, p. 4560-4572. Mai. 2019.

VEDANA, Júlio César. **Etanol e gasolina ganharão um novo concorrente no mercado, a energia elétrica**. 02 de Abril de 2019. Disponível em <<https://www.novacana.com/n/combate/carro-eletrico/etanol-gasolina-novo-concorrente-mercado-energia-eletrica-020419>> Acesso em 10 de dezembro de 2019.

VONBUN, Christian. **Impactos ambientais e econômicos dos veículos elétricos e híbridos plug-in: Uma revisão da literatura**. IPEA. Brasília, nº 2123, Ago. 2015.

WALLINGTON T. J; KAISER E. W; FARREL J. T. **Automotive fuels and internal combustion engines: a chemical perspective**. In: Journals - Royal society of chemistry. EUA, v.35, p.335-347, Jan. 2006.

WESTBROOK, Michael H. **The Electric Car: Development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars**. 1ª ed. Londres: The Institution of Engineering and Technology, 2001.

WHEN-CHEN Lih et al. **Second Use of Retired Lithium-ion Battery Packs from Electric Vehicles: Technological Challenges, Cost Analysis and Optimal Business Model**. In: 2012 International Symposium on Computer, Consumer and Control. Taiwan, p.381-384, jun. 2012.

WOODHEAD PUBLISHING SERIES IN ENERGY. **Advances in battery technologies for electric vehicles**. Nº 80. Cambridge: Elsevier, 2015.

ZANETI, A. L. Letícia. **Diagnóstico dos produtos e serviços complementares para a adoção dos carros elétricos e híbridos no Brasil**. 2018. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. 2018.

ZAPAROLLI, Domingos. **Foco nas baterias de lítio**. Pesquisa Fapesp: Mobilidade Elétrica. São Paulo, Nov. 2019. Disponível em <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2019/11/05/foco-nas-baterias-de-litio/>>. Acesso em 10 de dezembro de 2019.

ZHANG Qianqian; LI Cunjin; WU Yuqing. **Analysis of Research and Development Trend of the Battery Technology in Electric Vehicle with the Perspective of Patent**. In: 8th International Conference on Applied Energy. Pequim, v.105, p.4274-4280, out. 2016.

ZHANG, Ronghui; LI, Kening; YU, Fan; HE, Zhaocheng; YU, Zhi. **Novel electronic braking system design for EVs based on constrained nonlinear hierarchical control.** In: International Journal of Automotive Technology, V.18, No. 4, p. 707–718, dez 2017.

ZHENG Xiaohong et al. **A Mini-Review on Metal Recycling from Spent Lithium Ion Batteries.** In: Engineering ScienceDirect. Pequim, v.4 p.361-370, mar. 2018.