

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS

Ana Carolina Fabricio da Rocha Santos

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM
VEÍCULO ELÉTRICO VERSUS VEÍCULO A COMBUSTÃO**

Santana do Livramento, RS

2017

Ana Carolina Fabricio da Rocha Santos

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM VEÍCULO
ELÉTRICO VERSUS VEÍCULO A COMBUSTÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Roberto Losekann

Santana do Livramento, RS

2017

Ana Carolina Fabricio da Rocha Santos

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM VEÍCULO
ELÉTRICO VERSUS VEÍCULO A COMBUSTÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**.

Aprovado em 7 de outubro de 2017:

Claudio Roberto Losekann, Dr. (UFSM)
Presidente/Orientador

Cristiano José Scheuer, Dr. (UFSM)

Ademar Michels, Dr. (UFSM)

Santana do Livramento, RS

2017

RESUMO

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM VEÍCULO ELÉTRICO VERSUS VEÍCULO A COMBUSTÃO

AUTOR: ANA CAROLINA FABRICIO DA ROCHA SANTOS
ORIENTADOR: CLAUDIO ROBERTO LOSEKANN

Inicialmente, os veículos eram movidos a vapor, a eletricidade ou a gasolina. Em virtude do desenvolvimento da indústria do petróleo, os veículos movidos a gasolina acabaram por dominar o mercado. Quase um século após serem superados por modelos propulsionados por motores a combustão, os veículos elétricos reapareceram no cenário automotivo mundial. Atualmente, em função da consciência ambiental sobre os malefícios causados ao meio ambiente em consequência da queima do petróleo pelos veículos com motores de combustão interna, é crescente o interesse na utilização de veículos elétricos. Adiciona-se a isto a questão do uso desenfreado de um combustível fóssil, fonte não renovável de energia. Nesse sentido, há uma pressão para que os países adotem práticas mais sustentáveis e com menor impacto ao meio ambiente. Este trabalho analisa a viabilidade de uso de um carro elétrico no Brasil, as vantagens e desvantagens da substituição dos carros a combustão e os desafios ainda a serem enfrentados no país para a implementação dos VEs. Por fim, é realizada uma análise de viabilidade econômica que mostra a inviabilidade atual da substituição dos veículos convencionais por modelos elétricos como consequência do alto custo de aquisição dos VEs. Porém, acredita-se que com a popularização dos VEs, o aumento da demanda e a produção em massa acarretem em uma redução no custo do veículo, viabilizando sua disseminação.

Palavras-chaves: Veículo Elétrico. Veículo a Combustão. Consciência Ambiental. Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY ANALYSIS OF AN ELECTRIC VEHICLE VERSUS COMBUSTION VEHICLE

AUTHOR: ANA CAROLINA FABRICIO DA ROCHA SANTOS

ADVISOR: CLAUDIO ROBERTO LOSEKANN

Initially, the vehicles were driven by steam, electricity or fuel. Due to the development of the oil industry, gasoline-powered vehicles have dominated the market. Almost a century after being overcome by combustion engines models, the electric vehicles reappeared in the world automotive scene. Due to environmental awareness of the damage caused by oil burning on vehicles with internal combustion engines, the interest in the use of electric vehicles is growing. Add to this the question of unrestrained use of a fossil fuel, a non-renewable source of energy. In this sense, there is pressure for countries to adopt more sustainable practices with less impact on the environment. This work will analyze the feasibility of using an electric car in Brazil, the advantages and disadvantages of replacing cars with combustion engines and the challenges still to be faced in the country for the implementation of EVs. Finally, an economic feasibility analysis is carried out, which shows the current inviability of replacing conventional vehicles by electric models as a consequence of the high purchasing cost of EVs. However, it is believed that with the popularization of EVs, the increase in demand and mass production lead to a reduction in the cost of the vehicle, making possible the propagation of this technology.

Keywords: Electric Vehicle. Combustion Vehicle. Environmental Awareness. Economic Viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Otto: etapas de funcionamento.....	16
Figura 2 - Matriz Veicular Nacional.....	18
Figura 3 - Configuração de um carro elétrico.....	27
Figura 4 - Painéis solares carregando um carro elétrico na China.	28
Figura 5 - Veículo elétrico puro da BMW, modelo i3.	29
Figura 6 - O elétrico Renault Zoe.	30
Figura 7 - O elétrico Mitsubishi i-MiEV.....	31
Figura 8 - Carro elétrico sendo recarregado em um totem.	34
Figura 9 - O híbrido Toyota Prius.	37
Figura 10 - O híbrido Honda Insight.	37
Figura 11 - Novo Renault Zoe.....	45
Figura 12 - Novo Renault Zoe (traseira).	45
Figura 13 - Novo Renault Zoe sendo carregado.....	48
Figura 14 - O veículo a combustão, Renault Sandero.	51
Figura 15 - Renault Sandero (traseira).	52
Figura 16 - Dimensões do Renault Sandero.	53
Figura 17 - Selo de etiquetagem do INMETRO para o Renault Sandero.	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vendas internas de combustíveis em 2016.	18
Quadro 2 - Tempos de carregamento do Zoe de acordo com o tipo de terminal.	48
Quadro 3 - Planos de aluguel da bateria de acordo com a quilometragem rodada no ano.....	49
Quadro 4 - Despesas com cada tipo de veículo.	57
Quadro 5 - Diferença nos valores do dois veículos.	58
Quadro 6 - Quadro comparativo com as características dos dois veículos.	59

LISTA DE REDUÇÕES

ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	Agência Nacional do Petróleo
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNV	Gás Natural Veicular
HC	Hidrocarbonetos
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
MCI	Motor de Combustão Interna
OMC	Organização Mundial do Comércio
PIS	Programa de Integração Social
VE	Veículo Elétrico
VEH	Veículo Elétrico Híbrido

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
1.1.	JUSTIFICATIVA	11
1.2.	PROPOSTA E OBJETIVOS	12
1.2.1.	Objetivos Específicos	12
1.3.	ESTRUTURA	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1.	VEÍCULOS COM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA.....	14
2.1.1.	Combustíveis Tradicionais dos Veículos a Combustão	17
2.1.1.1.	<i>Diesel</i>	19
2.1.1.2.	<i>Gasolina</i>	20
2.1.1.3.	<i>Etanol</i>	21
2.1.2.	Vantagens e Desvantagens dos Veículos a Combustão	24
2.2.	VEÍCULOS ELÉTRICOS	25
2.2.1.	Veículos Elétricos a Bateria	32
2.2.1.1.	<i>Baterias</i>	34
2.2.2.	Veículos Elétricos Híbridos	36
2.2.3.	Vantagens e Desvantagens dos Veículos Elétricos	38
2.3.	CONTEXTO REGULATÓRIO ATUAL E ANÁLISE DAS INICIATIVAS E AÇÕES EM CURSO NO PAÍS	41
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1.	VEÍCULO ELÉTRICO: RENAULT ZOE.....	44
3.2.	VEÍCULO A GASOLINA: RENAULT SANDERO	50
4.	RESULTADOS	55
4.1.	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO VEÍCULO ELÉTRICO	55
4.2.	ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA	59
4.3.	SÍNTESE COMPARATIVA.....	60
5.	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1. INTRODUÇÃO

Inicialmente, os veículos eram movidos a vapor, a eletricidade ou a gasolina. Em virtude do desenvolvimento da indústria do petróleo, os veículos movidos a gasolina acabaram por dominar o mercado. “Quase um século após serem superados por modelos propulsionados por motores a combustão, os veículos elétricos reapareceram no cenário automotivo mundial”. (BNDES, 2017).

Atualmente, em função da consciência ambiental sobre os malefícios causados ao meio ambiente em consequência da queima do petróleo pelos veículos com motores de combustão interna, é crescente o interesse na utilização de veículos elétricos. Adiciona-se a isto a questão do uso desenfreado de um combustível fóssil, fonte não renovável de energia.

A pressão para que os países adotem práticas mais sustentáveis e com menor impacto ao meio ambiente e a agenda ambiental criada para alcançar este objetivo vêm impondo às indústrias em geral a necessidade de adoção de novas tecnologias alternativas às tradicionais. (MELLO, MARX E SOUZA, 2013).

De acordo com Freyssenet (2011), o mundo pode estar prestes a viver uma nova revolução do automóvel e dois processos parecem ter levado a essa revolução. O primeiro decorre da contradição entre uma exploração cada vez mais dispendiosa do petróleo, um recurso finito, e a crescente necessidade deste óleo dos países emergentes. Este fato contribui para o aumento do custo do petróleo e deve tornar competitivas as energias alternativas. O segundo resulta das novas potencialidades dos motores alternativos que requerem menos energia fóssil. Isto poderia levar à transformação, tanto do uso de carros, quanto das condições de mobilidade e da produção de veículos.

Uma das condições para que haja uma revolução é a existência de uma crise, e o sistema de transporte automobilístico a gasolina está em crise há vários anos. Os recursos de petróleo são cada vez mais difíceis de serem explorados e a sua qualidade está diminuindo. Mesmo considerando as fontes potenciais ainda não exploradas, o pico do petróleo está muito próximo. (FREYSSNET, 2011).

Ao mesmo tempo, há um aumento no custo de utilização dos carros, uma queda relativa na rentabilidade da indústria automobilística e uma queda do valor de uso do automóvel devido a congestionamentos, dificuldade de encontrar local para estacionar e alto custo de

estacionamentos privados, poluição, elevado custo com eventualidades, sinistros e impostos governamentais, juntamente com o aparecimento do carsharing¹ e carpooling².

Adicionalmente, inovações realizadas por outros setores industriais permitem, hoje, que muitos problemas relacionados ao uso de soluções alternativas no setor automobilístico sejam resolvidos. Alguns exemplos são o desenvolvimento de baterias mais eficientes e as fontes alternativas para geração de energia elétrica.

Neste cenário, uma das possibilidades para a segunda revolução automobilística pode ser a implementação do carro elétrico, apesar de suas incertezas e desvantagens. Quando o carro com motor de combustão interna foi a aposta no começo do século XX, ele não era a opção mais simples, e sim a tecnicamente mais complicada, duvidosa, cara, poluente e criticada. (BARDOU, 1982; MOM, 2004 apud FREISSENET, 2011).

Aparentemente, a razão para este paradoxo foi que, naquela época, o petróleo era a única energia facilmente armazenável, relativamente compacta, transportável e distribuível em todos os territórios por um preço aceitável (MBALLA, 1998 apud FREISSENET, 2011), enquanto para a energia elétrica não havia distribuição em todos os territórios. E isto foi o que realmente penalizou os carros elétricos naquela época, e não os obstáculos técnicos, também presentes nos veículos a combustão. Então, os esforços foram direcionados a solucionar os problemas, na época, dos veículos de combustão interna. Hoje, a infraestrutura de redes de distribuição de energia elétrica existe, e o panorama é outro para os carros elétricos.

Como resposta a este cenário competitivo, pressionados pelo governo e pela agenda ambiental internacional, empresas fabricantes de veículos automotores e fornecedoras de componentes têm direcionado esforços em Pesquisa e Desenvolvimento para a concepção e produção de veículos mais eficientes, menos poluentes e com menos impactos negativos ao meio ambiente. (MELLO, MARX E SOUZA, 2013).

No centro deste debate, coloca-se como uma necessidade a redução do uso dos combustíveis fósseis, responsáveis pela emissão de poluentes na atmosfera. No âmbito das

¹ Carsharing é um serviço de compartilhamento de carros que surgiu como uma solução para ter acesso a um carro, sem precisar adquiri-lo. Funciona com lógica similar ao aluguel de carros tradicional, porém se diferencia pela facilidade de utilização e flexibilidade para locações inferiores à uma diária (PEGCAR, 2017). O cliente faz um contrato de longo prazo com a empresa de carsharing, que lhe permite utilizar os carros da empresa sem intervenção de um agente da empresa, pois os veículos ficam espalhados por vários pontos na cidade. O usuário paga pelo uso e não precisa se preocupar com impostos, seguro, mecânico, depreciação, dentre outros.

² Carpooling ou “carona solidária” consiste em um grupo de pessoas que fazem o mesmo percurso todos os dias, de casa para o trabalho, ou para levar os filhos à escola, e o motorista do dia dá carona aos demais. O custo de combustível e demais gastos são divididos entre os envolvidos. Em geral, todos os participantes são proprietários de um automóvel e alternam seu uso, economizando assim em despesas de viagem e contribuindo para a redução do congestionamento e diminuindo a poluição do ar e a emissão de gases do efeito estufa.

possibilidades tecnológicas que a indústria automobilística pode optar, os veículos elétricos em suas diversas configurações tecnológicas – a bateria, híbridos e a células a combustível – caracterizam-se como uma opção para este cenário de novas demandas.

1.1. JUSTIFICATIVA

A indústria automobilística global está passando por um período de reestruturação, a qual deverá contemplar o uso de tecnologias alternativas às tradicionais a fim de aumentar a eficiência energética dos veículos e paralelamente reduzir as emissões de poluentes. Neste contexto, os veículos elétricos caracterizam-se como uma das alternativas possíveis frente a este cenário de novas demandas. (EDGAR BARASSA, 2015).

Esse panorama tem sido acompanhado pela implementação de um conjunto de políticas públicas e instrumentos de regulação, que vêm impondo padrões de emissão para os veículos comercializados e, ainda, por uma emergente classe de consumidores que optam por adquirir veículos com o apelo “amigável” ao meio ambiente. (FREYSSINET, 2011).

Em meio a esta iminente revolução no setor automobilístico e no princípio tecnológico empregado nos veículos de passeio, são contraditórias as opiniões sobre se o veículo elétrico aparece como uma boa opção para substituir os já tradicionais veículos com motor de combustão interna. Além da viabilidade técnica, que muito provavelmente será fortemente trabalhada e aperfeiçoada nos próximos anos, surgem dúvidas quanto a viabilidade econômica destes novos modelos movidos a eletricidade.

Enquanto já existe toda uma infraestrutura para a utilização e manutenção de veículos a combustão, para veículos elétricos esta base ainda deve ser construída e elaborada de modo a viabilizar o uso desta tecnologia. Como em toda inovação, faz parte um certo investimento e custo inicial de utilização mais elevado. Porém, deve-se realizar uma análise dessa nova tecnologia previamente à sua implementação, de seus impactos e benefícios à sociedade e meio ambiente e, obviamente, sua viabilidade econômica.

1.2. PROPOSTA E OBJETIVOS

Este trabalho de pesquisa busca analisar a viabilidade da substituição dos veículos com motor de combustão interna, movidos majoritariamente por derivados de petróleo, por veículos elétricos a bateria. Inicialmente, busca-se discutir a hipótese segundo a qual o segmento dos veículos elétricos aparece como uma opção promissora ao se pensar no futuro e nas novas demandas para a indústria automobilística global.

No que tange a viabilidade técnica, a abordagem se restringirá a uma análise de “aceitação-cliente”, tendo como base um uso urbano e as necessidades básicas diárias de um usuário comum – uso do automóvel para trajetos habituais, viagens a passeio – não sendo o objetivo deste trabalho uma comparação técnica de potência dos dois modelos de veículos em condições severas ou específicas, como o uso em alta velocidade ou a utilização do veículo de forma profissional (ex: táxi).

O objetivo principal deste trabalho é analisar se o veículo elétrico supre as necessidades de um usuário comum, de modo que o consumidor possa, de fato, considerar a substituição do seu modelo tradicional de motor de combustão por um modelo elétrico a bateria. Para isto, é imprescindível realizar, também, uma análise econômica da viabilidade dessa substituição, comparando as despesas de um veículo a gasolina com um veículo elétrico a bateria.

1.2.1. Objetivos Específicos

- Levantar as vantagens e desvantagens dos veículos a combustão e elétricos a bateria;
- Estudar o panorama atual de políticas públicas, incentivos e novas regulamentações para o setor automotivo;
- Realizar uma análise de “aceitação-cliente” e viabilidade econômica da aquisição e uso de veículos elétricos *versus* veículos a gasolina.

1.3. ESTRUTURA

Este trabalho será composto de cinco capítulos. O presente capítulo é a introdução ao assunto a ser explorado. Ele aborda a crescente consciência ambiental acerca da poluição causada pelos veículos de combustão interna e do consumo de combustíveis fósseis, recurso

energético não renovável. O cenário atual de mudanças no setor automotivo impulsionadas pelo panorama ambiental é analisado, bem como as razões que levaram a essa revolução. Será apresentada a proposta para este trabalho e os objetivos a serem alcançados.

O segundo capítulo irá analisar as principais características dos veículos a combustão e veículos elétricos, principalmente no que diz respeito à percepção cliente. Serão expostas as vantagens e desvantagens de cada modelo e, por fim, o contexto atual de regulações impostas pelo governo que norteiam a indústria automobilística no sentido da eficiência energética.

O terceiro capítulo parte para um comparativo de desempenho entre dois modelos de veículos, um elétrico e outro a combustão, atendo-se às características percebidas pelo cliente no dia a dia de uso do carro. Adicionalmente, neste capítulo é feito um comparativo de custos (aquisição e manutenção) dos dois modelos a fim de analisar a viabilidade de substituição dos veículos a combustão por veículos elétricos

O quarto capítulo apresenta os resultados da análise e aborda os fatores que influenciaram o resultado encontrado. Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões obtidas com esse estudo e faz proposições para que os veículos elétricos possam alavancar no país, conquistar os clientes e ocupar mais rápido uma maior fatia do mercado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Quase um século após os modelos de veículos propulsionados por motores a combustão terem dominado o mercado, deixando para trás os demais tipos de propulsão, os veículos elétricos reapareceram no cenário automotivo mundial. “Esse movimento deverá ser responsável pela substituição parcial dos motores a combustão interna por motores elétricos como fonte de força motriz veicular em parcela significativa da frota nas próximas décadas”. (BNDES, 2017).

No longo prazo, é possível que a totalidade dos veículos encontrados no mercado seja elétrico – puro ou ao menos híbrido. Os lançamentos e anúncios de desenvolvimentos realizados recentemente indicam a proximidade dessa realidade. Com um cenário ainda incerto no Brasil devido à falta de incentivos do governo e infraestrutura, é difícil fazer previsões no curto prazo. Porém, o mercado internacional está se movendo nessa direção e, mesmo que tardiamente, o país terá de caminhar também no sentido de produzir veículos mais eficientes e sustentáveis.

Este capítulo abordará os dois tipos de veículos concorrentes, os veículos com motor de combustão interna (MCI) e os veículos elétricos (VE), tratando de suas características, vantagens e desvantagens. Na sequência, será feita uma exposição das iniciativas e ações em curso no país frente aos veículos elétricos.

2.1. VEÍCULOS COM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Em 1886, o engenheiro mecânico alemão Nikolaus August Otto (1832 – 1891) inventou o primeiro Motor a Combustão Interna (MCI) do tipo quatro tempos, cujos princípios de funcionamento aplicam-se aos motores utilizados até os dias atuais. Karl Friedrich Michael Benz foi o inventor do primeiro automóvel movido por um motor de combustão interna.

Outras contribuições e aperfeiçoamentos técnicos foram desempenhados por Gottlieb Daimler, pelo engenheiro mecânico francês Alphonse Beau de Rochas (1815 – 1893), pelo empresário francês Armand Peugeot (1849 – 1915), pelo engenheiro industrial francês Louis Renault (1877 – 1944), entre outros. Porém, o aperfeiçoamento sistemático do motor a combustão interna ocorreu nos Estados Unidos no início do século XX. (MOWERY; ROSENBERG, 2005).

O motor a combustão interna é uma máquina baseada nos princípios da termodinâmica, a partir da compressão e expansão de fluidos gasosos para gerar força e movimento rotativo. (TILLMANN, 2013). Esta máquina transforma energia proveniente de uma reação química em energia mecânica. O processo de conversão se dá através de ciclos termodinâmicos que envolvem admissão, compressão, expansão (combustão) e escape. Este é o motor utilizado na grande maioria dos veículos atuais movidos a combustível.

São considerados motores de combustão interna aqueles que utilizam os próprios gases de combustão como fluido de trabalho, ou seja, são estes gases que realizam os processos de compressão, aumento de temperatura (queima), expansão e finalmente exaustão. Motores de combustão interna também são popularmente chamados de motores a explosão. Esta denominação, apesar de frequente, não é tecnicamente correta, pois o que ocorre no interior das câmaras de combustão não é uma explosão de gases.

No funcionamento desses motores, o que impulsiona os pistões é o aumento da pressão interna da câmara, decorrente da combustão (queima controlada com frente de chama). Explosão é uma detonação dos gases (queima descontrolada sem frente de chama definida), que deve ser evitada nos motores de combustão interna a fim de proporcionar maior durabilidade dos mesmos e menores taxas de emissões de poluentes atmosféricos.

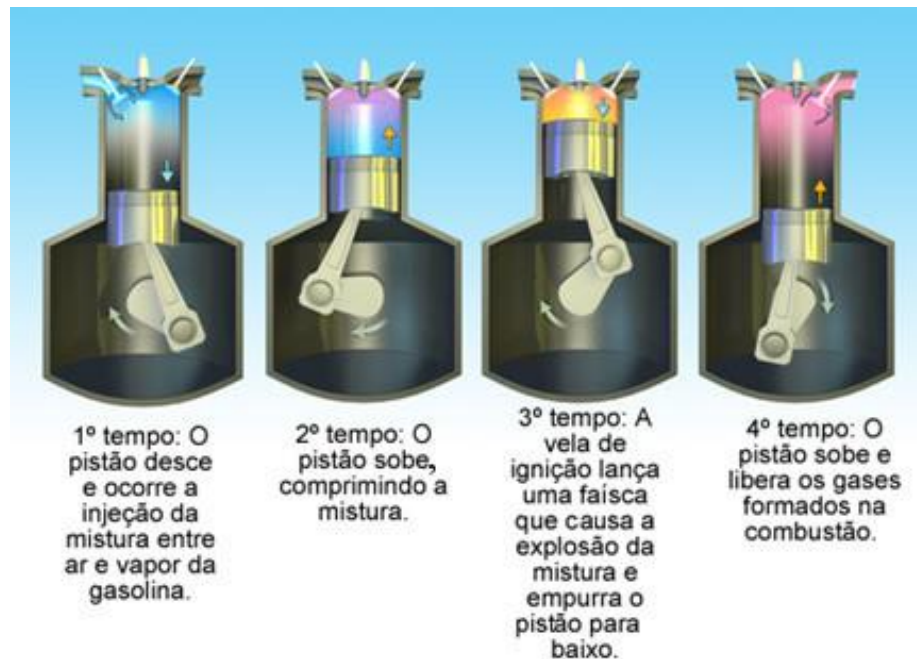
Existem diferentes tipos de ciclos termodinâmicos para os motores de combustão interna, como os principais ciclos Otto e Diesel. Cada um com suas características, porém compartilhando a mesma forma básica de operação – queimam um combustível para transformar energia química em mecânica e assim mover o automóvel. Por se basearem na queima de um combustível, ambos liberam poluentes na atmosfera e a grande maioria dos modelos se utiliza de uma fonte não renovável de energia.

Para esses dois principais tipos de motores, distinguem-se os que funcionam segundo a aspiração da mistura ar-combustível – Ciclo Otto – e posteriormente promovem a combustão pela queima da mistura através de uma faísca, e os motores que aspiram apenas o ar e, logo após a compressão, é pulverizado o combustível que em seguida promove a queima devido ao elevado calor e pressão gerados pela compressão do ar de admissão – Ciclo Diesel.

Os motores de ciclo Otto são motores de combustão interna com ignição por centelha, utilizando como combustíveis gasolina, gás ou álcool. O combustível mais utilizado hoje no mundo inteiro é a gasolina. (MUNDO EDUCAÇÃO, 2017). O convencional motor a gasolina é um motor de combustão interna com ciclo quatro tempos no qual uma mistura ar + combustível é admitida num cilindro e comprimida pelo pistão ou êmbolo, após inflamada por

uma centelha elétrica provocada pela vela de ignição. (TILLMANN, 2013). Este funcionamento pode ser visto ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Ciclo Otto: etapas de funcionamento.



Fonte: Mundo Educação (2017).

Neste processo, a energia química da reação química de combustão (3º tempo) é transformada em energia mecânica, que, por sua vez, faz as rodas do carro movimentarem-se. A energia para gerar a faísca e fazer o combustível queimar vem da bateria do automóvel. O motor de ciclo Otto é o tipo mais comumente utilizado em veículos de passeio e motocicletas.

Os motores de ciclo Diesel são motores de combustão interna com ignição por compressão, utilizando como combustíveis diesel, biodiesel e suas misturas. O motor Diesel é um motor de combustão interna no qual o ar admitido no cilindro é comprimido pelo pistão ou êmbolo, atingindo, devido à compressão, uma temperatura de 500 a 700°C. Uma vez injetado ou atomizado o combustível, a mistura inflama-se espontaneamente, graças ao calor resultante da compressão do ar. (TILLMANN, 2013).

As máquinas que impulsionam veículos pesados como caminhões, trens e navios, usualmente são baseadas no ciclo ideal de Diesel, o que não se refere ao combustível utilizado, e sim, ao ciclo termodinâmico em que operam.

Existem ainda os veículos *flex fuel*, que se utilizam de um motor de combustão interna do tipo ciclo Otto, e tem a capacidade de funcionar com mais de um tipo de combustível, misturados no mesmo tanque. O veículo com motor flexível mais comum é o que permite a utilização de gasolina e álcool. Nestes motores, o veículo detecta a mistura de combustível e ajusta a injeção de acordo com a mistura. Atualmente, esse motor é encontrado apenas em automóveis e veículos comerciais leves. Além da flexibilidade na escolha de combustível, o objetivo principal do desenvolvimento das motos flex é reduzir as emissões de CO₂.

2.1.1. Combustíveis Tradicionais dos Veículos a Combustão

Tradicionalmente, a frota de veículos brasileira utiliza três combustíveis: óleo diesel, gasolina e álcool. No Brasil, por regulamentação, os motores de ciclo Diesel não podem equipar veículos de passeio e, assim, os automóveis são exclusivamente abastecidos por gasolina, álcool e, nos últimos anos, também por gás natural. O óleo diesel é fornecido para os caminhões e ônibus e, há alguns anos, também para os veículos do tipo comercial leve (camionetas e furgões).

De acordo com a Avaliação do Mercado de Combustíveis de 2017 da ANP (2017), as vendas internas de combustíveis no ano de 2016 no Brasil ficaram em 54.279 mil m³ de diesel, 43.019 mil m³ de gasolina C (31.404 mil m³ de gasolina A + 11.615 mil m³ de álcool anidro) e 14.586 mil m³ de etanol hidratado (totalizando 26.201 mil m³ de etanol). Estes dados, bem como o aumento ou redução no consumo de outros combustíveis pode ser visto na Quadro 1.

O Quadro 1 mostra o avanço nas vendas de gasolina C, GLP (gás liquefeito de petróleo) e gás natural veicular (GNV) num contexto de desaceleração do mercado para todos os demais combustíveis. Verifica-se, também, uma redução relativa da participação dos biocombustíveis em relação aos derivados de petróleo na matriz energética nacional, dada pela retração nas vendas de etanol total e de biodiesel.

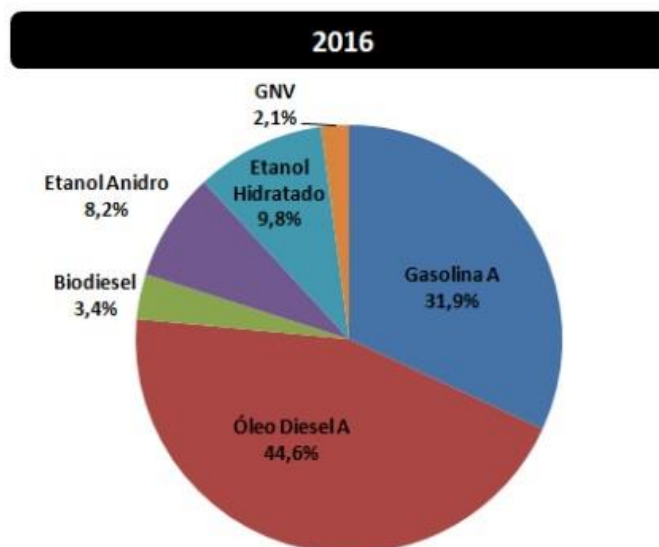
A matriz veicular nacional pode ser vista na Figura 3, com o óleo diesel ocupando o primeiro lugar em volume consumido, seguido da gasolina e etanol.

Quadro 1 - Vendas internas de combustíveis em 2016.

Combustível	mil m ³						Variação (%)
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2016/2015
Diesel	54.264	55.900	58.571	60.032	57.211	54.279	-5,1%
Diesel A	49.683	53.138	55.643	56.621	53.206	50.479	-5,1%
Biodiesel	2.580	2.762	2.929	3.410	4.005	3.799	-5,1%
Gasolina C	35.491	39.698	41.428	44.364	41.137	43.019	4,6%
Gasolina A	27.100	31.758	31.679	33.273	30.204	31.404	4,0%
Etanol Anidro	8.391	7.940	9.686	11.091	10.934	11.615	6,2%
Etanol Hidratado	10.899	9.850	11.755	12.994	17.863	14.586	-18,3%
GLP	12.868	12.926	13.276	13.410	13.249	13.398	1,1%
Óleo Combustível	3.672	3.934	4.990	6.195	4.932	3.333	-32,4%
QAV	6.955	7.292	7.225	7.470	7.355	6.765	-8,0%
GAV	70	76	77	76	64	57	-10,2%
TOTAL	124.219	129.677	137.323	144.541	141.811	135.436	-4,5%

Fonte: Adaptado de ANP (2017).

Figura 2 - Matriz Veicular Nacional.



Fonte: ANP (2017).

O gráfico da Figura 2 evidencia um avanço relativo dos biocombustíveis em detrimento dos combustíveis fósseis, em termos de participação dos combustíveis na matriz veicular, embora, em termos volumétricos, a venda de biocombustíveis tenha se reduzido ao longo de 2016.

A seguir, será falado um pouco sobre cada um dos principais combustíveis utilizados no Brasil nos motores de combustão interna: gasolina, etanol e diesel.

2.1.1.1. Diesel

O óleo diesel é um composto formado principalmente por hidrocarbonetos e, em baixas concentrações, por enxofre, nitrogênio e oxigênio. Derivado do petróleo, o diesel é altamente tóxico e inflamável. É utilizado em motores que possuem combustão interna como caminhões, ônibus, picapes e utilitários. No Brasil, o combustível possui alta concentração de enxofre, o que é bastante prejudicial para a saúde da população. Sua versão limpa (S-10) tem menor concentração de enxofre e é menos poluente. Ainda assim, sua utilização em automóveis de passeio é proibida pelo governo desde 1976. (DUNLOP, 2017).

O óleo diesel pode ser classificado de acordo com sua aplicação, nos seguintes tipos: metropolitano, com um máximo de 0,05% de enxofre; e interior, com um máximo de 0,2% de enxofre. (DE SOUZA, 2017). O óleo diesel metropolitano é utilizado nas regiões com as maiores frotas em circulação (capitais), que requerem maior controle das emissões. Possui menor índice de enxofre para minimizar os poluentes resultantes da combustão. Nas demais regiões do país é utilizado o óleo diesel interior, com uma porcentagem maior de enxofre.

O diesel é o combustível mais usado no Brasil. O atual modelo energético brasileiro é baseado principalmente no transporte de cargas por via rodoviária, em veículos com motores diesel, em detrimento do transporte ferroviário, fluvial ou cabotagem. Isso faz com que o óleo diesel tenha considerável importância como energético no país.

Os motores a diesel de hoje são mais robustos, potentes, duráveis e confiáveis do que os motores a gasolina, e também usam o combustível de forma mais eficiente, de acordo com o Escritório de Eficiência Energética e Energias Renováveis dos Estados Unidos. (OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY, 2003). Por ter uma cadeia de hidrocarbonetos maior, o diesel possui um maior poder calorífero (gera mais calor quando queimado). Isso faz com que os veículos que utilizam o combustível sejam mais econômicos,

consumindo menos combustível por quilômetro rodado. Portanto, motores a diesel são mais eficientes que motores a gasolina.

Por outro lado, é o combustível que mais polui e o que mais tem colaborado para as emissões pelos escapamentos de dióxido de carbono (CO₂), o principal gás de efeito estufa. (BALAZINA, 2011). Em seu processo de combustão, os motores a diesel emitem gases e materiais particulados que prejudicam a qualidade do ar. Apesar de ser um combustível mais econômico, a combustão do diesel emite compostos que causam danos ao meio ambiente e são cancerígenos. (ECYCLE, 2017).

Ainda segundo eCycle (2017), nos motores a diesel as misturas de ar + combustível são menos homogêneas do que na gasolina, além do diesel ser um combustível menos volátil. Dessa forma, para assegurar uma combustão completa, deve existir excesso de ar na câmara de combustão. Na falta desse excesso, há emissão de fuligem, monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) por conta da combustão incompleta, e esse motor chega a poluir sete vezes mais o meio ambiente do que a gasolina.

2.1.1.2. Gasolina

A gasolina é um combustível constituído basicamente por hidrocarbonetos, podendo conter compostos de enxofre e de nitrogênio. Esses hidrocarbonetos são, em geral, mais "leves" do que aqueles que compõem o óleo diesel, pois são formados por moléculas de menor cadeia carbônica.

Segundo a ANP (Agência Nacional do Petróleo, 2017), a gasolina é o segundo combustível mais consumido no Brasil, vindo logo atrás do óleo diesel. Sua composição final depende da origem do petróleo e dos processos de produção. As gasolinas comercializadas no país são a gasolina A, sem etanol, vendida pelos produtores e importadores de gasolina; e gasolina C, com adição de etanol anidro combustível pelos distribuidores, vendida aos postos revendedores e em seguida ao consumidor final.

No posto revendedor, o consumidor pode escolher entre a gasolina comum, a aditivada e a gasolina Premium. A gasolina comum, chamada oficialmente de tipo C, é derivada do petróleo e possui enxofre em sua composição. Assim, é a mais poluente. É a mais encontrada em postos de combustíveis e tem entre 25% e 27% de etanol anidro em sua composição (valor estipulado por regulamentação).

A gasolina aditivada é a gasolina do tipo C com agentes detergentes que impedem o acúmulo de detritos no motor, mas não influencia na potência do carro. Já a gasolina Premium, a mais cara de todas, possui a maior octanagem³ do mercado e produz uma queima mais eficiente. Isso prolonga a vida de alguns componentes do motor e polui menos, possuindo 25% de etanol em sua composição. É, em geral, destinada a veículos de alto desempenho, permitindo que sejam submetidas a maiores taxas de compressão no motor.

Tendo cadeias longas de hidrocarbonetos em suas composições, a gasolina e o diesel lançam na atmosfera outros compostos, como o benzeno (C₆H₆), altamente cancerígeno, além de dióxido de enxofre (SO₂), que provoca graves danos pulmonares e é também responsável pelas chuvas ácidas. Por possuir cadeias maiores de hidrocarbonetos, o diesel é o combustível veicular mais poluente, seguido da gasolina. (NOVA CANA, 2017).

A ANP, em consonância com os órgãos ambientais, atende à mais recente fase do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores para veículos leves. Como exemplo da evolução trazida pelo programa, pode ser citado o teor de enxofre na gasolina, cujo valor máximo foi reduzido nos últimos 18 anos em, aproximadamente 96,7%, para a gasolina C. Atualmente, este limite é de 50 mg/kg. (ANP, 2017).

2.1.1.3. *Etanol*

Apesar de estar presente em diversos produtos do cotidiano, o etanol é mais utilizado, atualmente, como combustível. Etanol é o nome técnico do álcool etílico combustível, que pode ser produzido a partir das moléculas de açúcar presentes em vegetais como milho, mandioca, trigo, beterraba e cana-de-açúcar. Trata-se de uma fonte de energia natural, limpa, renovável, sustentável e mais democrática do que os combustíveis fósseis.

Em sua aplicação como combustível, o etanol está presente de forma pura ou misturado à gasolina. O etanol comum vendido nos postos é o álcool etílico hidratado. Em sua composição está presente entre 95,1% e 96% de etanol e o restante corresponde à água. Ele também é usado

³ Octanagem ou índice de octano é o índice de resistência à detonação de combustíveis usados em motores no ciclo de Otto. Com uma maior octanagem é possível que os motores operem com maiores taxas de compressão e a potência está diretamente ligada à taxa de compressão. Porém, o combustível com mais octanagem somente terá efeito prático nos carros com alta taxa de compressão e potentes. Nos carros com menor potência o resultado do uso de gasolina com maior octanagem pode ser imperceptível para o motorista. (REVISTA PETRUS, 2017).

para produzir alimentos, bebidas, produtos de limpeza, cosméticos, vacinas, etc. É apenas o processo de beneficiamento que tem influência na utilização do etanol. (BIOBLOG, 2017).

O etanol anidro é o utilizado para misturar com a gasolina. No Brasil, a proporção obrigatória é de até 27,5%. A estratégia torna a gasolina mais barata, além de minimizar a emissão de poluentes na atmosfera. O etanol anidro possui graduação alcoólica próxima a 100%. A palavra “anidro” vem do grego e quer dizer "sem água". Além do etanol anidro ser usado misturado à gasolina, ele também é útil para fins industriais, integrando os componentes de solventes, tintas e aerossóis. (BIOBLOG, 2017).

Por ser obtido de vegetais, o etanol é considerado um combustível renovável. É também um combustível sustentável, pois grande parte do gás carbônico lançado na atmosfera em sua produção é absorvido pelo próprio vegetal durante a fotossíntese. Segundo dados da IEA (International Energy Agency), a utilização de etanol produzido através da cana-de-açúcar reduz em média 89% a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (NO_2), se comparado com a gasolina. Isto torna o etanol um dos combustíveis mais viáveis ecologicamente.

O etanol de outras fontes também contribui para a diminuição do problema, porém em menor escala, sendo 46% a redução do etanol produzido por beterraba e 31% no etanol de grãos. (NOVA CANA, 2017). Além dos gases do efeito estufa, gasolina e diesel também lançam ao ar quantidades maiores de substâncias nocivas à saúde humana, como óxidos nitrosos (NO e N_2O), que formam o ozônio (O_3) e monóxidos de carbono (CO).

O ozônio formado pelos óxidos nitrosos, por exemplo, causa desconforto respiratório, irritação nos olhos e envelhecimento precoce, enquanto o CO diminui a oxigenação no sangue podendo causar vertigens e tonturas. O álcool também lança essas substâncias, porém em quantidades menores, visto que sua combustão no motor do automóvel é muito maior.

Entretanto, as características do etanol por si só não garantem que ele polua menos que os outros combustíveis. A tecnologia empregada no veículo é um fator importantíssimo para a diminuição do nível de substâncias nocivas lançadas à atmosfera. Desse modo, carros novos movidos a gasolina geralmente são menos nocivos que carros velhos movidos a álcool. Além disso, carros com motor flex (que aceitam gasolina e etanol), costumam ser melhor adaptados à queima do combustível fóssil, fazendo com que a poluição seja praticamente a mesma e, em alguns casos, até menor da gasolina em relação ao álcool. (NOVA CANA, 2017).

A cana de açúcar é a fonte mais simples e produtiva para a produção de etanol. Isso dá ao Brasil uma vantagem, visto que este é o principal produto utilizado para extração de etanol no país. O Brasil tornou-se referência mundial em produção sustentável e eficiente do produto.

Porém, é o segundo país que mais produz etanol, sendo o maior os EUA. Eles, no entanto, fabricam etanol com milho, uma matéria-prima menos eficiente.

De acordo com o site Nova Cana (2017), a produtividade média de geração de etanol por hectare de cana é de 7500 litros, enquanto a mesma área de milho, principal matéria prima do álcool produzido por fermentação nos Estados Unidos, produz 3 mil litros do combustível.

O Brasil possui características agrícolas que tornam extremamente viável a cultura do produto. Mesmo sendo o maior produtor mundial de etanol da cana-de-açúcar, e segundo maior de álcool, perdendo para os Estados Unidos, as terras cultiváveis no Brasil destinadas ao produto representam apenas 1% de toda área agricultável. Com o dobro dessa área, o país poderia abastecer toda a sua frota de veículos leves com o etanol. Além disso, o país já possui uma experiência de mais de 30 anos na produção do álcool (desde o Proálcool⁴, em meados da década de 70), enquanto a maioria dos países têm pensado na utilização do combustível bem recentemente. Isso faz a nação ter a melhor tecnologia de produção do combustível, que tem na cana-de-açúcar a melhor matéria prima entre todos os vegetais. (NOVA CANA, 2017).

Adicionalmente, uma outra vantagem do etanol é em relação à potência do motor. Quando abastecido com álcool, um carro flex possui o valor de potência um pouco maior do que se comparado com gasolina. Isso acontece porque o etanol suporta bem a compressão – essa taxa é uma relação entre o volume do cilindro e a câmara de combustão, que indica o espaço que a mistura ar-combustível pode ocupar quando o pistão está embaixo e quando está em cima. Quanto maior a taxa de compressão, maior o rendimento térmico do motor. (JOVEM PAN, 2017).

A taxa de compressão dos carros a gasolina é de uma faixa de 9:1 (nove vezes o volume original), enquanto o modelo a etanol tem 12:1. Em média, carros a álcool são 2% mais potentes que os a gasolina, porém dependendo do modelo essa diferença pode ser nula ou chegar a quase 9%. “Se analisarmos o motor 1.4 do Chevrolet Prisma, por exemplo, veremos que gera 89 cv com gasolina e 97 cv com etanol”. (JOVEM PAN, 2017). Apesar de gerar benefício na hora de rodar, o etanol é consumido, em média, 30% mais rapidamente do que a gasolina.

Em relação ao rendimento em quilometragem, o etanol rende, em média, 70% do que rende a gasolina. Logo, um carro flex que ande 10 quilômetros por litro de gasolina, andará 7 quilômetros com álcool. Dessa forma, a escolha entre etanol e gasolina dependerá do preço, sendo mais econômico utilizar o etanol quando ele for 30% mais barato que a gasolina. Caso o rendimento seja o mesmo, o biocombustível leva vantagem por possuir melhor potência e

⁴ O Proálcool ou Programa Nacional do Álcool foi um programa de substituição em larga escala dos combustíveis veiculares derivados de petróleo por álcool combustível, financiado pelo governo brasileiro a partir de 1975 devido à crise do petróleo em 1973. O programa teve fim em 1990. (BIODIESEL BR, 2017).

octanagem. Só é preciso ter maior cuidado quanto ao etanol em regiões e épocas muito frias, pois ele perde sua capacidade de combustão abaixo dos 13°C.

Um debate que surge quando se fala na massificação da utilização do álcool como combustível nos automóveis, em substituição à gasolina, é a competição entre a plantação de alimentos para alimentação e para utilização como combustível, quando existem no mundo tantas pessoas passando fome. Essa é uma questão que pode ser evidenciada nos próximos anos, se a ideia de substituir a gasolina pelo álcool for levantada como uma aposta para a redução do consumo de combustíveis fósseis e da emissão de gases poluentes.

2.1.2. Vantagens e Desvantagens dos Veículos a Combustão

O processo de combustão utilizado para converter a energia dos combustíveis derivados do petróleo em movimento nos veículos rodoviários atuais cria altos índices de poluição, suficientes para prejudicar o meio ambiente e perigosos para a saúde humana, particularmente em áreas densamente povoadas. Estes poluentes incluem monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio (NO_x), materiais particulados, compostos orgânicos voláteis e dióxido de enxofre.

A combustão de combustíveis derivados do petróleo também libera gases de efeito estufa (GEE), principalmente CO₂, mas também óxido nítrico, carbono negro⁵ e metano, os quais se acredita que contribuem para a mudança climática. Além disso, outro ponto crítico para os motores de combustão interna é que a grande maioria deles se utiliza de combustíveis fósseis, fonte não renovável

Além disso, motores a combustão possuem um rendimento bastante baixo. Para motores ciclo Otto, o rendimento real situa-se entre 22 a 30%, enquanto para os motores Diesel situa-se na faixa dos 30 a 38%, de acordo com o Instituto de Física da UFRGS (2017). Esse baixo rendimento ocorre devido às perdas térmicas, além das perdas mecânicas ocasionadas pelo atrito entre as diversas peças móveis.

Se considerarmos ainda as perdas da extração do combustível – análise do “poço à roda” (well-to-wheel) –, esse rendimento fica ainda menor. Ao se transformar o petróleo em diesel, por exemplo, e utilizá-lo como combustível, somente 15% da energia do processo será convertida em movimento. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

⁵ O carbono negro é uma forma impura de carbono produzida pela combustão incompleta de combustíveis fósseis, madeira ou de biomassa. É considerado o segundo poluente de maior impacto para as mudanças climáticas (PENSAMENTO VERDE, 2014).

Atualmente, a indústria mecânica está em constante aprimoramento e melhoria da qualidade e eficiência dos motores que produz, visando mudanças importantes nos projetos e na operação dos motores de combustão, principalmente em função da necessidade de controle das emissões e otimização do consumo de combustível.

Nesse sentido, muitas pesquisas estão voltadas para desenvolvimento de novas formas de energia, retomando e aperfeiçoando os estudos com novos combustíveis, principalmente os biocombustíveis provenientes da biomassa como o etanol, o biodiesel, bem como focando em pesquisas sobre veículos elétricos.

Por outro lado, quando comparados com os veículos elétricos, os carros MCI possuem vantagens importantes. Veículos a combustão possuem grande autonomia que fica em torno de 650 a 800 km. Além disso, para reabastecer são necessários menos de 5 minutos e já existe uma grande infraestrutura disponível de postos de combustível distribuídos por todo o país.

Com relação aos custos, veículos convencionais possuem um custo de aquisição consideravelmente inferior ao preço dos veículos elétricos – com o valor que se compra um elétrico compacto popular, é possível adquirir um veículo a gasolina de um segmento superior. A taxa de depreciação dos veículos convencionais também é inferior, pois já se domina a tecnologia. No caso do veículo elétrico, ainda não se sabe o que pode acontecer com ele após 3 ou 5 anos de uso, então a aquisição desses veículos usados, já sem garantia, gera um certo receio.

Adicionalmente, veículos MCI conseguem alcançar velocidades superiores àquelas proporcionadas por veículos elétricos. Apesar de a velocidade máxima permitida no Brasil ser de 110 km/h, a incapacidade dos veículos elétricos de atingir velocidades tão altas quanto àquelas dos carros convencionais pode frustrar alguns motoristas.

2.2. VEÍCULOS ELÉTRICOS

Veículos elétricos não são uma nova opção na indústria automotiva. Muitas tentativas no passado falharam no desenvolvimento dos veículos elétricos como uma alternativa competitiva aos veículos com motor de combustão interna (MCI). A análise tradicional enfatiza a concorrência tecnológica como explicação chave para tal dinâmica: as baterias são muito caras e sua autonomia não é competitiva quando comparada aos MCI. (BEAUME & MIDLER, 2009).

Define-se veículo elétrico como veículos automotores que utilizam pelo menos um motor elétrico para acionamento das rodas. Eles se caracterizam pela alta eficiência energética e baixo ou nulo nível de emissões de poluentes e de ruídos. Os veículos elétricos são classificados pela fonte da energia elétrica que alimenta o motor elétrico e pelo arranjo dos componentes do sistema de tração elétrica. (ABVE, 2017). Os principais tipos são: veículo elétrico a bateria, veículo elétrico híbrido e veículo elétrico de célula a combustível.

Este trabalho terá como objeto de estudo o modelo de veículo elétrico a bateria. Em função da maior utilização, nos dias de hoje, de veículos híbridos do que os veículos puramente elétricos a bateria, em função da sua maior autonomia, os veículos híbridos serão brevemente abordados.

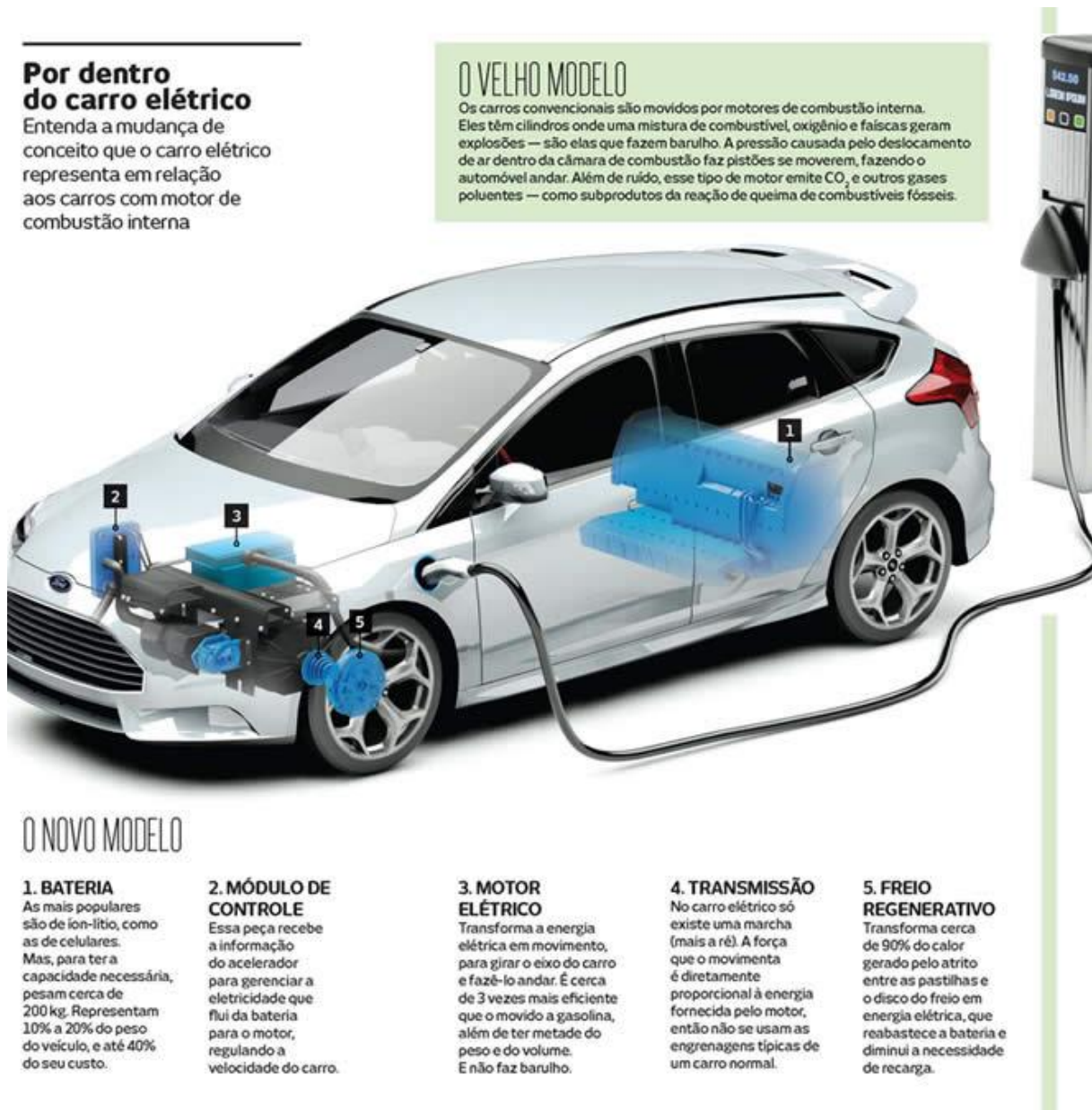
O motor elétrico automotivo funciona de maneira muito diferente dos tradicionais a combustão. Diferentemente do veículo comum, o veículo elétrico não necessita do sistema de marchas, sendo assim, o câmbio serve apenas com as funções “acelerar” e “dar ré”. Além disso, o carro não tem partida, basta apenas colocar a chave na posição “ligado”. O funcionamento deste tipo de veículo é feito através de um regulador que passa a quantidade correta de energia das baterias ao motor.

A Figura 3 ilustra a configuração dos carros elétricos com algumas informações sobre seu funcionamento que serão abordadas no decorrer deste trabalho.

A configuração mecânica proposta pelos veículos elétricos difere substancialmente dos veículos movidos por um motor a combustão interna. Os veículos elétricos diminuem a pressão sobre a demanda por combustíveis fósseis, já que utilizam a eletricidade para gerar movimento, e reduzem a emissão dos gases de efeito estufa pelos automóveis, pois não há queima de combustíveis no processo (exceto no caso dos veículos híbridos, como será visto mais adiante).

Atualmente, em virtude da crescente consciência ambiental sobre os danos causados ao meio ambiente como consequência da queima de combustíveis fósseis pelos veículos MCI, vem aumentando a cada dia a quantidade de veículos elétricos em circulação. A energia elétrica, utilizada para movimentar os carros elétricos, pode ser obtida sem prejudicar o meio ambiente.

Figura 3 - Configuração de um carro elétrico.



Fonte: Indústria Hoje (2014).

Energia hidrelétrica, energia solar e energia eólica são exemplos de obtenção de energia a baixo custo – embora possam apresentar um investimento inicial elevado, após feita a instalação, possuem baixíssimo custo para a geração da energia quando comparadas ao dispendioso e moroso processo de extração e refino dos derivados de petróleo. Hoje em dia, as energias eólica e solar podem ser obtidas pelo próprio usuário do veículo elétrico em sua residência. A Figura 4 mostra um modelo de cobertura para carros feita de painéis solares.

Instalação compacta e que pode captar a energia e repassá-la imediatamente ao veículo, sem necessidade de armazenamento.

Figura 4 - Painéis solares carregando um carro elétrico na China.



Fonte: Calixto (2017).

Há quem diga que o verdadeiro carro flex é o elétrico, pois a sua fonte de energia – a eletricidade – pode ser obtida de diversas fontes. A expectativa é de que novas formas de obtenção de energia elétrica sejam difundidas nos próximos anos. Neste sentido, os carros elétricos são verdadeiramente independentes quando se fala de energia para alimentar o seu motor.

Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), 750 mil veículos elétricos foram vendidos no mundo em 2016. Com isso, a frota de elétricos nas ruas chega a 2 milhões de veículos. Os principais mercados desse tipo de veículo são China, Estados Unidos, Japão, Noruega e Holanda. O número pode parecer grande, mas ainda é pouco. A estimativa da frota de veículos no mundo passa de 1 bilhão. (CALIXTO, 2017).

Os carros elétricos licenciados no Brasil em 2016 correspondem a 0,18% do total de veículos, conforme a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE). Foram 3.818 veículos elétricos contra 2 milhões de veículos novos no total, segundo a Associação Nacional dos

Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). Ainda de acordo com a Anfavea, foram emplacados desde 2006 apenas 2,5 mil carros verdes dentro de uma frota total que gira hoje em torno dos 50 milhões de automóveis. (MARTINS, 2017).

O país ainda não produz veículos elétricos e cerca de 80% dos que são importados e comercializados em território nacional utilizam tecnologia híbrida, ou seja, contam com a combinação de motor a combustão com baterias elétricas. Dos seis modelos importados, apenas um não é híbrido – o carro de marca alemã BMW i3 (Figura 5), com aparência de popular e preço de carro de luxo, a partir de R\$ 160 mil.

Figura 5 - Veículo elétrico puro da BMW, modelo i3.



Fonte: Car and Driver (2017).

Existe um consenso de que o segmento só avançará se houver políticas públicas de estímulo, como isenção de impostos e incentivos aos potenciais compradores. Embora o país tenha algumas iniciativas pontuais, como a Resolução da Câmara de Comércio Exterior (Camex), que isentou do imposto de importação os carros elétricos – taxa que, até então adicionava 35% ao valor total do carro – o incentivo ainda é quase nulo. Há ainda uma ausência quase completa de estímulo por parte do governo à pesquisa e desenvolvimento, à produção e à comercialização dos veículos elétricos no país.

Com essa Resolução da Camex, o modelo BMW i3 que chegava ao país por quase R\$ 220 mil, sai hoje por volta dos R\$ 160 mil em sua versão de entrada. Elétricos puros, como o

Renault Zoe (13 mil euros) (Figura 6) ou Mitsubishi i-MiEV (20 mil euros) (Figura 7) tem, no Brasil, preços também nesta faixa. Nota-se, portanto, que o incentivo é pouco: pode-se comprar cinco carros zero populares com o valor de um desses. (MARTINS, 2017).

Figura 6 - O elétrico Renault Zoe.



Fonte: ZEEV (2017).

Por outro lado, carros híbridos ainda têm imposto de importação de até 7%, dependendo do grau de eficiência energética. Adicionalmente, pela legislação atual estão incididos ainda PIS/COFINS (13%), ICMS (de 12% a 18%, a depender do Estado), e o IPI, cujo percentual máximo pode chegar a 55%. Hoje, a maior parte dos carros verdes parte de 25% de acréscimo por IPI. Isso faz com que a tributação que incide sobre os carros elétricos possa ultrapassar os 120%. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Em outros países, foram criadas políticas de estímulo efetivas, como linhas de financiamento exclusivas para aquisição de carros elétricos com juros diferenciados, isenção de taxas de estacionamento e pedágios, ou ainda permissão para trafegarem em áreas restritas para veículos coletivos. (CLUBE DO CARRO ELÉTRICO, 2017).

Figura 7 - O elétrico Mitsubishi i-MiEV.



Fonte: Mitsubishi Motors (2017).

Em Oslo, na Noruega, os proprietários de veículos verdes podem trafegar em faixas exclusivas de ônibus como benefício e ganham toda a estrutura de recarga instalada em casa por conta. Até 2015, 50 mil veículos elétricos circulavam na Noruega – 20 vezes mais que o Brasil. Por lá, os carros verdes já representam 25% dos emplacamentos de carros zero-quilômetro, um recorde mundial. (MARTINS, 2017). O resultado mostra como medidas de incentivo implantadas em países onde o carro elétrico cresceu, dão frutos, se bem adaptadas.

As políticas públicas são essenciais para que tecnologias que são de ruptura e que encontram resistências iniciais possam ser fortalecidas e apoiadas. O caso dos veículos elétricos é um exemplo. Eles estão disputando mercado com os veículos a combustão interna, que são majoritariamente dominantes. (CLUBE DO CARRO ELÉTRICO, 2017).

Sem incentivos, é difícil para as montadoras mensurar uma participação relevante dos carros elétricos no mercado brasileiro. Essa incerteza nas vendas acaba por desestimular as pesquisas e desenvolvimento de veículos elétricos, projetos que ficam no aguardo de estímulos governamentais para que sejam um bom investimento, tanto por parte das montadoras, como dos consumidores. Segundo Martins (2017), “o movimento do governo para isenção de impostos existe, mas ainda não é suficiente, nem está clara para os próximos anos”. Como

resultado, os projetos demoram para sair do papel e serem implementados pela indústria, que fica no aguardo de uma movimentação do poder público.

“Os carros brasileiros tradicionalmente sofrem com a carga de impostos, mas os tributos incididos em carros verdes são especialmente agravantes. Essa é a briga de montadoras desde a chegada da tecnologia em 2006” afirma, ainda, Martins (2017). Um menor preço poderia dar mais escala ao novo mercado. Com preços mais competitivos, mais motoristas adeririam aos verdes e entenderiam seu apelo e seus benefícios.

Além disso, com a expansão da tecnologia e aumento das vendas, a capacidade de investimento por parte das montadoras aumentaria, reduzindo custos de produção. Toda essa cadeia baratearia o carro e poderia abrir margem para discutir nova tributação no futuro, no caso de uma isenção de parte dos tributos no início dessa fase. Desse modo, é importante que durante essa fase de transição inicial, o governo proponha auxílios para a compra de veículos elétricos a fim de torná-los acessíveis aos primeiros consumidores e, então, quebrar o ciclo vicioso de alto custo e baixa demanda.

Passado um certo limiar de vendas anuais, a produção em escala pode baixar o preço das baterias rapidamente e, conseqüentemente, o preço dos carros. A queda seria ampliada pelo menor custo de produção e de montagem do próprio veículo elétrico. O veículo totalmente elétrico requer menos material e componentes e é mais fácil e rápido produzir e manter. (FREYSSINET, 2012).

Entre os desafios para a implantação do veículo elétrico no país destaca-se, primordialmente, o custo, além da questão da sua autonomia. Também precisariam ser analisados os impactos ambientais e financeiros do descarte ou reciclagem da bateria dos carros elétricos.

2.2.1. Veículos Elétricos a Bateria

O veículo elétrico a bateria é acionado por um ou mais motores elétricos cuja energia é suprida por uma ou mais baterias. Essas baterias devem ser periodicamente recarregadas a partir da rede elétrica ou de outra fonte de energia elétrica externa ao veículo. Algumas configurações

incluem extensor de autonomia⁶ que possibilita estender as autonomias desses veículos. Podem possuir, também, frenagem regenerativa, que é acionada quando o freio é pressionado para reduzir a velocidade, transformando a energia cinética do veículo em energia elétrica que é armazenada na bateria.

Esses veículos diferenciam-se dos veículos usuais pelo fato de utilizarem um sistema de propulsão elétrica e não a solução comum de motor de combustão interna. O motor elétrico usa energia química armazenada em baterias recarregáveis, que depois é convertida em energia elétrica para alimentar um motor que fará a sua conversão em energia mecânica, permitindo que o veículo se mova. (VERDES SOBRE RODAS, 2017).

Atualmente, o abastecimento dos veículos elétricos é uma das maiores dificuldades tecnológicas. Existem diferentes modelos de abastecimento de veículos elétricos. A recarga pode ser feita em casa, realizada durante o período noturno, onde uma recarga total é efetuada em aproximadamente 6 ou 8 horas. São necessários equipamentos especiais para a ligação entre a rede elétrica doméstica e a bateria do carro, pois a ligação direta em uma tomada residencial não reúne as condições de segurança adequadas. Um carro elétrico sendo carregado em um totem de carregamento pode ser visto na Figura 8.

A recarga pode ser feita também na rede pública, em parques de estacionamento público, estacionamentos de centros comerciais, etc. Conforme o modelo de veículo, este pode possuir a forma de carregamento normal, que leva de 6 a 8 horas, e o rápido, de 20 a 30 minutos. A recarga rápida pode ser feita por meio de um banco de baterias, com sistema de gestão de energia para absorver suavemente a energia da rede elétrica. No momento da recarga (em um posto de combustível, por exemplo), a energia armazenada pode ser transferida rapidamente para a bateria do carro. (DE CASTRO, 2013).

Outra possibilidade é um sistema de troca rápida de bateria, onde a bateria descarregada é substituída por uma carregada. Essa troca poderia ser feita em postos de combustíveis e demoraria poucos minutos.

⁶ Veículo elétrico com extensor de autonomia funciona como um veículo elétrico a bateria. Quando a bateria está por descarregar, um pequeno motor a combustão é acionado para gerar energia para recarregar a bateria. Então, o extensor de autonomia nada mais é do que um motor a combustão interna instalado a bordo para complementar a autonomia do carro. (VERDES SOBRE RODAS, 2017).

Figura 8 - Carro elétrico sendo recarregado em um totem.



Fonte: Império das Baterias (2017).

2.2.1.1. Baterias

A bateria é o componente central do veículo elétrico, uma vez que possui a função de armazenar a energia necessária para o deslocamento. “A bateria, que representa cerca de 40% do custo do veículo, é hoje um dos principais gargalos do carro elétrico no mundo todo”. (DE CASTRO, 2013). O alto custo das baterias é considerado uma das principais barreiras à popularização dos veículos elétricos e este custo permanecerá elevado até que as baterias sejam produzidas em massa.

Sua autonomia restrita, quando comparado com os motores de combustão, também são ainda um obstáculo à popularização dos veículos elétricos. A autonomia média de um veículo elétrico situa-se entre 100 e 200km, variando conforme a marca e o modelo do veículo e de acordo com o perfil de utilização – o estilo de condução, o perfil de percurso e a utilização ou não da climatização. (EDP, 2017).

Existem vários tipos de baterias de utilização possível em um veículo elétrico. As baterias destinadas a tração de VEs têm características diferentes das tradicionais. Elas são dispostas em células, módulos (conjunto de células) ou em packs, isto é, mais de um módulo. (CALSTART, 2010). Porém, não há um padrão definitivo. Modelos de veículos elétricos já em comercialização utilizam baterias distintas umas das outras.

Há quatro tipos de baterias que disputam o estabelecimento de um padrão para a indústria de veículos elétricos: a bateria de chumbo ácido (PbA), a de íon-lítio; a de níquel (NiMH) e as de sódio, também conhecidas como ZEBRA, Zero Emission Battery Research Activity. Esta última é totalmente reciclável e tende a ser mais barata do que as baterias a base de lítio. (CASTRO; FERREIRA, 2013).

As baterias mais utilizadas em veículos elétricos são as de lítio, em função do grande conhecimento dessa tecnologia devido ao seu uso em outros segmentos. As baterias de íons de lítio estão em smartphones, notebooks, carros, etc. O lítio é o mais leve de todos os metais usados em baterias, tem o maior potencial eletroquímico e fornece a maior densidade de energia por peso. Baterias recarregáveis que usam anodos de metal de lítio são capazes de fornecer tanto alta tensão quanto excelente capacidade, resultando em uma extraordinária densidade de energia alta.

Por outro lado, existem projetos em andamento para a utilização de baterias de sódio. A bateria de sódio é composta por matérias-primas abundantes na natureza, como o cloreto de sódio (sal de cozinha), ferro, cobre e níquel, além de ser totalmente reciclável. Além de equipar os veículos elétricos, essa bateria pode ser usada em sistemas de armazenamento de energia gerada por fontes renováveis, como a solar e a eólica, que são intermitentes, para ser consumida posteriormente. (DE CASTRO, 2013).

“Três vezes mais leve do que a de chumbo, utilizada em veículos convencionais, a bateria de sódio é também mais adequada do que as de lítio para países de clima tropical. A partir de 40°C, a cada incremento de 10 graus, a vida útil da bateria de lítio se reduz à metade”, ainda segundo De Castro (2013).

A bateria é o componente menos durável do VE e os diferentes tipos possuem durabilidades diversas, variando conforme a tecnologia usada, a forma de utilização e as condições de armazenamento. Os fatores que afetam a durabilidade das baterias são as temperaturas extremas, os excessos de recarga e as descargas completas das baterias.

Alguns fabricantes estimam a vida útil de uma bateria em 150.000 km e uma durabilidade de 5 anos. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014). Já outros, afirmam que a atual tecnologia de baterias apresenta um tempo de vida de 10 anos ou mais do que 1500 ciclos, o que vier primeiro. Por ciclos entende-se um ciclo completo de carga e descarga. Descargas parciais não são contabilizadas como um ciclo completo. (EDP, 2017).

Desse modo, considerando o clima do Brasil e as condições climáticas extremas que as baterias podem enfrentar, a bateria de sódio tem características que se tornam mais vantajosas para o contexto brasileiro. Além disso, a bateria de sódio é mais segura. Outro ponto forte a ser

considerado é a vida útil. As baterias de lítio têm uma limitação no ciclo de vida. (MOON, 2015).

2.2.2. Veículos Elétricos Híbridos

Muitos acreditam que os veículos elétricos híbridos (VEH) são simplesmente uma fase temporária de transição entre a tradicional tecnologia de motores baseados na gasolina e diesel e os emergentes veículos totalmente elétricos. (ASHLEY, 2002; HEKKERT e VANDENHOED, 2004; apud CHANARON e TESKE, 2007). Os veículos híbridos seriam uma solução intermediária sendo veículos de baixa emissão e alta quilometragem (autonomia).

Essa categoria de veículos ocupa uma posição intermediária entre o veículo puramente elétrico e o veículo movido a combustão interna. São chamados de híbridos por combinarem um motor de combustão interna com um gerador, uma bateria e um ou mais motores elétricos. A ideia é reduzir o gasto de energia associado a ineficiência dos processos mecânicos se comparados aos sistemas eletrônicos.

A ideia básica dos veículos elétricos híbridos é se utilizar do motor de combustão somente em intervalos operacionais de alta eficiência. Se a performance de pico dos motores não for totalmente necessária para a propulsão, essa performance é transformada em energia elétrica e armazenada na bateria. Essa energia é usada, então, para alimentar o motor elétrico do carro.

Essa abordagem foi empregada pela Toyota, no modelo Prius (Figura 9), e pela Honda, no modelo Insight (Figura 10), que foram inovadores neste mercado, combinando motores de combustão pequenos e altamente eficientes com baterias que complementam a potência do motor quando necessário (aceleração, subidas, velocidade de condução na autoestrada) e recuperando energia nas frenagens. Esta abordagem visa aumentar a eficiência do combustível. No entanto, o maior peso de VEHs, quando comparado com os modelos somente a gasolina, reduz esse potencial. (CHANARON e TESKE, 2007).

Figura 9 - O híbrido Toyota Prius.



Fonte: Toyota (2017).

Figura 10 - O híbrido Honda Insight.



Fonte: Motor Trend (2017).

Os carros híbridos apresentam vantagens em relação aos carros de combustão interna. (CASTRO e FERREIRA, 2013 apud JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014). Uma delas é a economia de combustível proveniente do uso dos dois motores – elétrico e MCI. Ao mesmo tempo, o veículo híbrido produz baixos níveis de gases tóxicos, quando comparado com um veículo MCI. Além disso, um sistema híbrido pode desligar automaticamente o motor em caso de parada, enquanto no veículo convencional o motor a combustão continua funcionando.

Ainda, o veículo híbrido utiliza tecnologias de recarga da bateria, como frenagem regenerativa, em que captura a energia liberada nas frenagens e a utiliza para carregar as baterias do carro. Isso significa que não precisa ser carregado a partir de tomada elétrica. Pelo fato de jamais serem submetidas à descargas profundas, as baterias tem longa duração (cerca de 5 anos) e grande confiabilidade. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Apesar dos benefícios de rodar mais de 800 quilômetros por tanque, a briga é com seu valor de mercado, que leva um carro híbrido para longe dos patamares competitivos no mercado brasileiro. Os mais de 20 modelos desses veículos vendidos no país não saem por menos de R\$ 120 mil, sendo que poderiam custar menos que a metade do preço se aplicada uma política de impostos competitiva. (MARTINS, 2017).

Não há produção de veículos leves híbridos no país e o custo de importação é alto. “Os custos associados à importação desses modelos influenciam a estratégia de lançamento dos modelos híbridos pelas montadoras no Brasil o que resulta na baixa difusão desses veículos no país”. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Além disso, a tecnologia híbrida ainda emite poluentes e a combinação de um motor elétrico e mecânico é complexo e custoso.

2.2.3. Vantagens e Desvantagens dos Veículos Elétricos

Existem inúmeras vantagens na utilização em massa dos veículos elétricos. A primeira é a sustentabilidade, pois estes veículos apresentam baixa emissão de poluentes no seu funcionamento – veículo híbrido –, e alguns modelos ainda possuem emissão zero – veículo elétrico puro –, uma vez que a conversão de energia elétrica em mecânica não produz qualquer tipo de emissão.

No entanto, dependendo da forma como foi produzida a eletricidade, esta poderá apresentar emissões poluentes. Logo, a emissão ou não de poluentes depende da fonte de energia elétrica utilizada para abastecer o veículo. Neste sentido, deverá sempre ser associada uma parcela das emissões globais dependendo da fonte de produção elétrica. Os veículos elétricos podem ser a melhor ou a pior solução, em termos de emissões de CO₂. (FREYSSINET, 2012).

O consumo energético dos veículos elétricos varia entre 0,1 e 0,3 kWh/km, enquanto um veículo de combustão interna é da ordem de 0,9 kWh/km. Considerando-se as perdas da extração do combustível à roda (well-to-wheel), observa-se que ao se

transformar o petróleo em diesel e utilizá-lo como combustível em um veículo de combustão interna, somente 15% da energia do processo será convertida em movimento, isto é, perde-se 85% da energia. No entanto, se a mesma quantidade de petróleo for utilizada em uma usina termelétrica para produção de energia a ser utilizada em um VE, o rendimento do processo alcançará 40%. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Considerando esses dados, pode-se afirmar que o uso do petróleo para gerar energia elétrica a ser utilizada nos veículos elétricos é aproximadamente 2,5 vezes mais eficiente energeticamente que o uso do petróleo em veículos MCI. De acordo com Jussani, Masiero e Ibusuki (2014), o rendimento na conversão em energia mecânica é da ordem de 90% da energia elétrica no veículo elétrico, e no motor de combustão interna a conversão é da ordem de 25% da energia da gasolina. Com isso, conclui-se que os veículos convencionais são bem menos eficientes que um veículo elétrico.

Uma outra vantagem é que os veículos elétricos são silenciosos, o que contribui para a qualidade de vida em geral. Isso é conseguido pela ausência de várias peças móveis no motor, do ruído da combustão, e também pela ausência do sistema de escape, uma das principais fontes de ruído num automóvel. (PORTAL ENERGIA, 2015).

Os motores elétricos também possuem uma durabilidade igual ou superior à de um motor de combustão, uma vez que tem menos desgaste, menos necessidade de manutenção e lubrificação. Assim, espera-se que o motor tenha maior durabilidade. O componente que é menos durável é a bateria. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014). Possuem, ainda, menores custos de manutenção, pois o motor elétrico é mais simples e tem muito menos peças móveis quando comparado com um motor MCI.

No que diz respeito ao custo de utilização, com o crescente aumento do preço da gasolina, a energia elétrica despendida para movimentar veículos elétricos possui um valor consideravelmente inferior ao dos combustíveis. Fazendo uma análise rápida, com o custo da energia elétrica de R\$0,64 KWh e da gasolina no valor de R\$3,89 o litro, valores para a cidade de Curitiba/PR (setembro de 2017); para um percurso de 100km, considerando que o VE consome 0,2 kWh/km e o carro MCI faça 9km/l, temos um custo final de R\$12,80 para 100km rodados com o veículo elétrico, versus R\$43,22 para o veículo a gasolina. Com isso, podemos afirmar que o custo de utilização do carro elétrico (desconsiderados demais gastos como manutenção) fica em aproximadamente 30% do custo de uso do veículo a gasolina.

Ademais, “no carro elétrico a energia que freia o carro pode ser convertida em energia elétrica e carregar a bateria através da frenagem regenerativa, que pode recuperar até 30% da energia inercial e potencial do veículo”. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Adicionalmente, o carro elétrico não consome energia quando fica parado no trânsito, ao contrário do carro convencional, cujo motor fica ligado.

No que se refere ao desempenho de uso o carro elétrico ainda tem um plus: possui elevado torque de partida. Já o carro convencional, que tem sistema de embreagem e câmbio, dissipa até 20% da energia do motor. Nos veículos elétricos, o torque máximo está disponível desde o arranque, característica típica dos motores elétricos, não sendo necessário atingir um determinado nível de giros do motor, como acontece nos motores de combustão. (BMW, 2017).

Como desvantagens no que se refere especificamente ao mercado brasileiro, ainda existem empecilhos para que os veículos elétricos sejam vendidos em escala. Uma das principais necessidades do mercado é uma infraestrutura de recarga: ainda existem poucos pontos de recarga disponíveis. Um segundo ponto que deve ser mencionado é a falta de incentivos federais e altas taxas tributárias. “Alguns estados e municípios já estão concedendo incentivos fiscais, mas ainda falta um grande pacote de incentivos federais para os veículos elétricos e híbridos”. (ABVE, 2017).

Além disso, um dos principais gargalos do carro elétrico no mundo todo hoje é o custo da bateria, que responde por aproximadamente de 40% a 50% do custo total do VE. (PESQUISA FAPESP, 2012 apud JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014). Outra grande desvantagem é o seu peso. Embora tenha havido avanços tecnológicos, para que as baterias proporcionem uma autonomia interessante, ainda pesam bastante – algo em torno de 450kg. (PORTAL ENERGIA, 2015).

Além do seu custo e peso, a bateria também traz o inconveniente da sua autonomia reduzida, quando comparado com um veículo a combustão. Sua autonomia poderá variar entre 100km e 200km em média, dependendo do tipo de veículo. Por outro lado, apesar dessa autonomia ser muito criticada, as baterias atuais oferecem uma autonomia suficiente para a grande maioria dos deslocamentos realizados tanto pelas empresas de serviços quanto pelos particulares, em muitos países.

Sua vida útil também é reduzida, fazendo com que deva ser trocada algumas vezes durante a vida do veículo. Porém, o maior impeditivo atual para a popularização dos veículos elétricos ainda é seu custo de aquisição, que sem incentivos governamentais fica muito superior ao valor de outros carros.

2.3. CONTEXTO REGULATÓRIO ATUAL E ANÁLISE DAS INICIATIVAS E AÇÕES EM CURSO NO PAÍS

Em 2013 o governo brasileiro criou o programa Inovar Auto sob a responsabilidade dos ministérios do Desenvolvimento e da Fazenda. O programa visa o incentivo à inovação tecnológica e adensamento da cadeia produtiva de veículos automotores. (INOVAR AUTO, 2017). Tem como objetivo a criação de condições para o aumento de competitividade no setor automotivo, produzir veículos mais econômicos e seguros, investir em engenharia, pesquisa e desenvolvimento. Foi criado pela Lei nº 12.715/2012 e possui validade para o período de 2013 a 2017.

O Programa “visa gerar um ambiente competitivo por meio de condições mais abrangentes e ao incentivo direto na cadeia produtiva de veículos automotores. Desta forma, buscam-se melhoras significativas nos automóveis aqui produzidos”. (FORTES, 2016, p.49). Ainda segundo Fortes (2016), o programa teve sua base planejada sobre o CONPET – Programa Nacional da Racionalização do uso dos derivados do petróleo e gás natural – criado em 1991 pelo Governo Federal que, com apoio da Petrobras, estimulou a busca mais eficiente no uso de energia em diversos setores nacionais.

De acordo com as regras estabelecidas pelo Inovar Auto (2017), para habilitação ao programa, as empresas que produzem ou comercializam veículos no país devem se comprometer com metas específicas, como: investimentos mínimos em P&D (inovação), aumento do volume de gastos em engenharia, produção de veículos mais econômicos e aumento da segurança dos veículos produzidos. Além disso, as empresas devem possuir planos de eficiência energética e participar do programa de etiquetagem do INMETRO.

Como benefício, podem contar com um crédito presumido de IPI, a ser concedido segundo regras estabelecidas pelo programa. Assim, o programa prevê incentivos fiscais na fabricação de carros híbridos ou movidos a eletricidade.

Dentro deste contexto, um dos requisitos para que as montadoras possam se beneficiar do programa é a melhoria obrigatória mínima de 12% em eficiência energética até 2017. Isso representa uma redução de consumo desses veículos com uma meta de 17,26km/l (gasolina) e 11,96km/l (etanol). Isso equivale a uma eficiência média de 1,82MJ/Km até 2017, significando uma redução real de aproximadamente 12% no consumo em relação aos veículos produzidos no ano de 2015 (2,07 MJ/km). (Brasil, 2016; MDIC, 2015; apud FORTES, 2016).

Para se obter um desconto adicional, entre 1% e 2%, a montadora precisa reduzir o consumo médio entre 15,5% (1,75 MJ/km) e 18,8% (1,68 MJ/km) respectivamente.

(PASCOAL et al, 2014; apud JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014). As montadoras já podem reduzir em até dois pontos percentuais o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), dependendo do investimento em inovação e desenvolvimento de engenharia no país. Caso a meta não seja atingida, multas serão aplicadas.

Se isso ocorrer, todo crédito de IPI ganho durante o período de cadastramento no programa deverá ser devolvido ao erário. Destaca-se que essas multas variam em até 10% sobre o valor do crédito presumido concedido do IPI para cada veículo vendido. Como medida punitiva, este será multiplicado por um fator de agravamento relativo ao consumo do veículo em função da meta a ser atingida em 2017. (AUTOMOTIVE BUSSINESS, 2014).

No que tange aos veículos elétricos e híbridos, infelizmente, foram apenas figurantes até então no programa Inovar Auto. Acabaram sendo deixados de lado devido à alta carga tributária para carros elétricos, alto preço das baterias e falta de infraestrutura de eletropostos. (ABVE, 2016). O Brasil está se distanciando da tendência dos principais polos produtivos e mercados automotivos internacionais, que estão focando mais nos veículos elétricos.

As montadoras que se habilitaram ao Inovar-Auto, em sua maioria, vão conseguir reduzir o consumo energético compulsório de seus produtos [...] por meio de introdução de novas tecnologias como *downsizing* de motores, turboalimentadores, redução de coeficientes aerodinâmicos, injeção direta, *start-stop*, *cylinder desativation*, redução de peso, pneus verdes, entre tantas outras. (ABVE, 2016).

Com o fim do Inovar Auto para este ano (2017), um novo programa está sendo elaborado pelo governo para substituí-lo. Como resultado, o Inovar Auto acabou sendo polêmico e mal falado. “O nome Inovar-Auto 2 foi descartado depois que a OMC condenou o programa original brasileiro, classificando-o como uma forma de protecionismo e colocando uma mancha de nível mundial na iniciativa”. (NOVA CANA, 2017). “A política atual vem sendo muito criticada por ser "excessivamente protecionista", impedindo a entrada de veículos importados no país”. (REUTERS, 2017).

Segundo a EBC (2017), a condenação pela OMC (Organização Mundial do Comércio) abrange dois pontos do Inovar-Auto. Um deles diz respeito à discriminação de produtos importados por meio da oneração do IPI. O outro está relacionado à adoção de uma estrutura de conteúdo local (estabelecimento de valor percentual mínimo de componentes brasileiros para cada equipamento ou sistema da indústria de automóveis). Apesar da condenação do Inovar-Auto, representantes do governo ressaltaram que o programa foi positivo, no sentido de impulsionar a produção brasileira no setor automobilístico

A nova versão do programa foi batizada de Rota 2030, com metas para os próximos 13 anos. A ideia do novo programa é beneficiar o setor de etanol e o desenvolvimento dos veículos elétricos no país. A redução do IPI com base nas cilindradas do motor, conforme incentiva o atual Inovar-Auto, deve dar lugar para uma base considerando o nível de eficiência dos veículos. Desse modo, o imposto passaria a ser mais leve nos carros que consomem e poluem menos. (NOVA CANA, 2017).

O governo também pretende instaurar um sistema de pontuação dos quesitos de segurança de cada modelo, seguindo os moldes do programa de etiquetagem veicular realizado atualmente, no qual as montadoras são obrigadas a informar ao consumidor os números de consumo de combustível e emissões de poluentes. (QUATRO RODAS, 2017).

A configuração do programa Rota 2030 ainda está em discussão e, por enquanto, não existem informações oficiais. Porém, caso se confirme essa nova forma de tributação, em que o benefício deixaria de ser com base nas cilindradas do motor, passando a ser com base no nível de eficiência dos veículos – menor consumo e menos poluição – essa mudança cria uma grande oportunidade para os veículos elétricos e híbridos. Ainda assim, é notável que o Brasil ainda está muito atrás dos demais países quanto ao segmento dos veículos elétricos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise de viabilidade econômica e de “aceitação-cliente” da substituição de um veículo convencional, MCI, por um modelo elétrico. Quando se fala em “aceitação-cliente”, o sentido é analisar se as características do veículo elétrico suprem as necessidades de um cliente comum, considerando um uso urbano, de modo que o consumidor considere viável a substituição do seu veículo por um elétrico.

Conforme visto nas seções anteriores, um dos maiores gargalos dos veículos elétricos é sua autonomia e tempo despendido para recarregar a bateria. Essas e outras configurações desses veículos serão analisadas e ponderadas para análise de viabilidade. Apesar da crescente consciência ambiental e tendência mundial em buscar soluções mais sustentáveis em mobilidade, para que o consumidor aceite essa mudança, e talvez pague até mais caro por este produto, é preciso que haja uma aceitação do veículo e suas características.

No que diz respeito à análise econômica, é sabido que os veículos elétricos possuem, hoje, um investimento de aquisição consideravelmente superior aos veículos convencionais. Por outro lado, seu custo de uso é dito ser bastante inferior quando consideradas despesas com energia para propulsão do veículo e gastos com manutenção. Isto será analisado nessa seção e os valores obtidos confrontados com os de um veículo com motor a combustão.

3.1. VEÍCULO ELÉTRICO: RENAULT ZOE

Para realizar essa análise, o veículo elétrico escolhido foi o Renault Zoe (Figuras 11 e 12). O Zoe é um veículo 100% elétrico, a bateria, compacto, de cinco portas, com lugar para cinco passageiros (o motorista mais quatro pessoas) e design moderno. O Zoe é anunciado como um veículo concebido para ser acessível ao maior número possível de usuários e ideal para uma utilização quotidiana. (ZEEV, 2017). Por ser um veículo 100% elétrico, o Zoe não emite ruídos e é zero emissões no seu funcionamento.

Figura 11 - Novo Renault Zoe.



Fonte: Renault Retail Group (2017).

Figura 12 - Novo Renault Zoe (traseira).



Fonte: Auto Evolution (2016).

O Zoe encontra-se disponível em quatro versões, Life, Zen, Intense e Edition. A versão Life é a mais básica e com menor custo, partindo de 23.700 € de acordo com o site da Renault França (2017). Esta é a versão que será considerada para este trabalho. Na França, o governo concede um incentivo de 6000 € pela compra do carro elétrico, fazendo com que seu valor caia

para 17.700 €. O Renault Zoe é um veículo importado, pois não é produzido ainda no Brasil. Não foi possível escolher um modelo de veículo elétrico brasileiro para esta análise, pois esse tipo de veículo ainda não é fabricado no país devido à falta de incentivos governamentais para a disseminação dessa tecnologia que está em ascensão.

Essa versão possui uma potência de 77cv (57 kW), condução tipo caixa automática (com as posições “acelerar” e “ré”) e um regime de potência de 2600 a 9000 rpm. Seu motor entrega, em uma fração de segundo, um torque máximo de 210 Nm. A aceleração de 0 a 50 km/h – bastante frequente no uso urbano – é de 4,7 segundos, e a aceleração de 0 a 100 é de 15,5s. É uma aceleração fluida e sem golpes, graças à ausência de ruído motor e de vibrações. O nível de ruído no interior da cabine em uma velocidade entre 40 e 75 km/h é de 60 a 65 dB – duas a três vezes menos que em um veículo térmico de potência equivalente.

A velocidade máxima atingida é de 135 km/h, velocidade mais do que suficiente para o uso urbano e até mesmo para viagens, considerando que a velocidade máxima permitida nas estradas brasileiras é de 110 km/h. Seu consumo fica na faixa de 133 Wh/km e é um veículo zero emissões de CO₂ no seu funcionamento.

O Zoe possui um peso total de 1480 kg, sendo 305 kg da sua bateria. Suas dimensões são 4084 mm de comprimento, 1730 mm de largura, 2588 mm entre eixos e 1562 mm de altura. Seu coeficiente aerodinâmico é 0,75. O volume do porta malas é de 338 l, que com os bancos traseiros rebatidos chega a 1225 l.

A principal razão para a escolha do elétrico Zoe para essa análise é que seu novo modelo (segunda geração) possui uma nova bateria e autonomia de 400 km no NEDC⁷ (New European Driving Cycle) ou 300 km em condições reais, quase o dobro da autonomia da maioria dos carros 100% elétricos. Além disso, o novo Zoe é o primeiro veículo elétrico de baixo custo disponibilizado no mercado capaz de atingir essa distância. (TECMUNDO, 2016). A autonomia real difere da autonomia de homologação de acordo com as variáveis relacionadas ao uso real do veículo: estilo de condução, tipo de percurso, velocidade e condições climáticas. No entanto, como toda bateria, no inverno sua autonomia real fica reduzida para algo em torno de 200 km.

⁷ NEDC é o Novo Ciclo de Condução Europeu, norma europeia de medição de emissões e do consumo. É um método normalizado de medição do consumo baseado em testes de ensaio indicados para todos os tipos de veículos na Europa, sejam eles térmicos, elétricos ou híbridos. Esta norma constitui, portanto, um critério objetivo para medir as diferenças de desempenho entre os modelos dos diversos fabricantes. O teste é efetuado em duas etapas. O veículo é colocado num banco de ensaio e é realizado o mesmo ciclo urbano (ciclo ECE-15) três vezes, sendo, posteriormente, realizado um ciclo extra urbano. A média destes quatro ciclos indicará a autonomia média teórica (RENAULT, 2017). O ciclo de condução europeu é realizado nos principais veículos do mundo, tendo em vista que as principais marcas migram da Europa, com a finalidade de regularizar o consumo e padronizar as emissões (INFO MOTOR, 2011).

De acordo com informações da Renault (2016), atualmente o Zoe é o veículo elétrico que vai mais longe com somente uma recarga. Essa maior autonomia permite uma grande variedade de usos, e não mais somente percursos urbanos curtos, conferindo uma maior liberdade ao condutor – ponto positivo para os consumidores que ainda hesitam em escolher um veículo elétrico por sua baixa autonomia. Ser um VE elétrico de baixo custo e alta autonomia dentro do segmento fazem dele uma boa escolha para comparação com um veículo MCI popular.

O Renault Zoe é o veículo elétrico mais vendido na Europa. (RENAULT, 2016). A primeira geração do Zoe (versão anterior à analisada neste trabalho) já havia se tornado o veículo elétrico mais popular na Europa, aparecendo nos rankings de carros com preço mais acessível disponíveis hoje. O Zoe é um automóvel do tipo compacto, possui um custo baixo quando comparado à concorrência e bom nível de equipamentos. A sua autonomia é um fator chave para o seu sucesso. (ELECTRIC MOTORS CLUB, 2017).

Além disso, o Zoe recupera rapidamente seus quilômetros de autonomia graças ao seu carregador inteligente Cameléon, patenteado pela Renault, que se adapta aos diferentes terminais, extraindo o máximo da alimentação. A título de exemplo, de 40 a 30 minutos em média são suficientes para que o Zoe disponha de uma autonomia suplementar de 80 km na grande maioria dos pontos de recarga públicos disponíveis na Europa, sendo recarregado em um terminal de carregamento acelerado de 22 kW (32 A) ou em um terminal de carregamento rápido de 43 kW (64 A). (RENAULT, 2016).

O carregador Cameléon confere ao Zoe um ritmo de carga de 2 a 6 vezes mais rápido que outros veículos elétricos na grande maioria dos pontos de recarga públicos. Como o carregador Cameléon se encontra integrado ao capô do veículo, é suficiente que o usuário conecte o Zoe ao terminal de recarga, através do seu soquete localizado na dianteira do veículo (Figura 13).

Essa maior autonomia do Zoe provém essencialmente da sua nova bateria co-desenvolvida pela Renault e LG Chem. Sua configuração conta com 192 células divididas em 12 módulos e incorpora uma energia de 41 kWh úteis, possuindo uma alta densidade energética – maior capacidade de estocagem de energia – conservando o mesmo volume e peso de 305 kg. A bateria do novo Zoe possui a maior densidade energética do mercado. (RENAULT, 2016).

Figura 13 - Novo Renault Zoe sendo carregado.



Fonte: Auto Evolution (2016).

Quanto as formas de carregamento, o Zoe pode ser recarregado em casa, em uma tomada doméstica ou em um wallbox – equipamento disponível para instalação domiciliar que aumenta a velocidade de recarga. Pode ainda ser recarregado em terminais públicos. Os tempos de recarga da bateria variam bastante em função da fonte de alimentação utilizada, se residencial, especial ou carga rápida. Esses tempos de recarga podem ser vistos no Quadro 2. O tempo dado é para uma carga de 0 a 100%, exceto para o terminal de 43 kW, em que o tempo é dado para uma recarga de 0 a 80%.

Quadro 2 - Tempos de carregamento do Zoe de acordo com o tipo de terminal.

Carregador	Tempo de carga
Tomada doméstica (10 A)	25h
Tomada segura Green-Up	16h
Terminal monofásico de 3,7 kW (16 A)	15h
Terminal monofásico de 7,4 kW (32 A)	7h25
Terminal trifásico de 11 kW (16 A)	4h30
Terminal trifásico de 22 kW (32 A)	2h40
Terminal trifásico de 43 kW (63 A)	1h40

A grande capacidade energética da bateria é diretamente convertida em autonomia para o veículo. A bateria do Zoe possui uma das melhores relações entre os quilômetros de autonomia e a energia embarcada na bateria. Essa eficiência provém de uma integração entre as propriedades da bateria e as características do veículo. O Zoe se favorece, também, da frenagem regenerativa, que maximiza sua autonomia.

A performance térmica do controle da bateria foi melhorada para garantir seu funcionamento ótimo mesmo enfrentando temperaturas exteriores bastante baixas. Isto é alcançado através de um sistema de circulação de ar que mantém a bateria a um nível de temperatura entre 15 e 28 graus, em todas as circunstâncias. Além disso, o Zoe se beneficia de um motor de alta eficiência energética e com uma gestão eletrônica otimizada da bateria. Isto limita o consumo elétrico do veículo, mantendo sua potência. (RENAULT, 2016).

Porém, a Renault possui uma proposta diferente para a bateria do Zoe. Considerando o alto custo desse componente e a sua vida útil relativamente curta, quando comparada a vida do veículo, a Renault não vende a bateria do Zoe na Europa. A bateria que vem com o carro é apenas alugada para amortizar seu preço. Isso reduz consideravelmente o valor de compra do veículo, já que grande parte do custo dos veículos elétricos é em função da bateria.

A parte negativa é que há um valor fixo mensal que parte de 69 euros, porém ela tem garantia vitalícia. Esse valor é calculado de acordo com a quilometragem anual rodada pelo usuário – os valores atuais encontram-se no Quadro 3. Com esse plano, se a bateria tiver sua eficiência reduzida a 75% da capacidade inicial, a Renault substitui a bateria sem custos adicionais para o cliente. Nesse valor mensal está incluso também uma assistência 24 h para caso o motorista fique sem energia.

Quadro 3 - Planos de aluguel da bateria de acordo com a quilometragem rodada no ano.

Quilometragem/ano	Aluguel mensal
7.500	69 €
10.000	79 €
12.500	89 €
15.000	99 €
17.500	109 €
20.000	119 €

No final do contrato, os quilômetros adicionais rodados que extrapolaram o plano serão cobrados. Se o usuário dirigir menos que o plano que contratou, será reembolsado por km não consumido acima de 7500 km/ano. Com esse contrato de locação, o ciclo de vida completo das baterias e o controle de seu impacto ambiental são assegurados pela Renault, desde a fabricação até a reciclagem. Ao final da vida da bateria, seus componentes são reutilizados ou reciclados de acordo com os padrões ambientais.

No que diz respeito à segurança, o Zoe possui freios ABS e airbags dianteiros – condutor e passageiro (obrigatório por lei no Brasil) e conta ainda com airbags dianteiros laterais (cabeça e tórax), totalizando 6 airbags. Possui direção elétrica, ar condicionado, vidros elétricos apenas dianteiros, rádio mp3 com bluetooth e vem com cabos de carregamento de 6,5 m para uso residencial, em terminais públicos – totens de recarga – ou wallbox. A predisposição para o alarme é opcional – carro projetado para o mercado europeu.

Em se tratando de equipamentos, o Zoe possui um sistema de pré-condicionamento que garante que o habitáculo esteja a uma boa temperatura para o momento em que o motorista entrar no veículo. Possui, ainda, um aplicativo que permite ao condutor localizar os pontos de carga públicos dos principais países da Europa, sua disponibilidade e potência em tempo real. Desse modo, o condutor pode refazer sua rota de modo a encontrar um totem de recarga disponível ou mais potente.

Os recursos de conectividade do Zoe conectam o veículo ao smartphone do seu usuário, especialmente para auxiliá-lo a gerir a recarga de seu veículo à distância. Assim, o condutor pode aproveitar os momentos de recarga do veículo dispondo de informações em tempo real, como o nível de carga, autonomia restante estimada e tempo restante para uma carga completa. O usuário recebe alertas com notificações de início e fim da recarga. Da mesma forma, pode acionar o sistema de pré-condicionamento do veículo pelo mesmo aplicativo.

3.2. VEÍCULO A GASOLINA: RENAULT SANDERO

Tendo sido escolhido o elétrico Zoe, da Renault, para esta análise, optou-se por escolher um veículo com motor de combustão interna da mesma montadora. Como a visão estratégica de uma empresa pode influenciar na forma como ela estipula os preços de seus carros, escolher dois veículos de uma mesma montadora minimiza a divergência que poderia existir se fossem escolhidos carros de empresas diferentes, com estratégias diferentes.

Sendo assim, o veículo com motor de combustão escolhido é o Renault Sandero versão Authentique (Figuras 14 e 15). Este é o veículo popular da Renault presente no Brasil. O modelo é do tipo compacto. Da mesma forma que foi feito para o Zoe, o modelo do Sandero a ser analisado será também o de entrada (menor custo). O veículo possui cinco portas e capacidade para 5 pessoas (motorista e mais quatro passageiros). O preço inicial do Renault Sandero Authentique é R\$43.350,00.

Figura 14 - O veículo a combustão, Renault Sandero.



Fonte: Renault (2017).

O modelo Authentique utiliza um motor de combustão interna quatro tempos, bicomustível (flex) que pode ser abastecido com gasolina e/ou etanol. O motor é o 1.0 S Ce (Smart Control Efficiency), de 3 cilindros e 12 válvulas. Segundo a Renault (2017), o motor S Ce é um dos mais econômicos do país, com um ganho significativo em performance e uma redução de até 19% no consumo de combustível. Seu tanque de combustível comporta 50 l.

Possui uma performance de 82cv com etanol e 79cv com gasolina. Apresenta um torque máximo de 10,5 kgfm (3500 rpm) com etanol e 10,2 kgfm (3500 rpm) com gasolina e uma cilindrada de 999 cm³. Atinge uma velocidade máxima de 163 km/h com etanol e 160 km/h com gasolina. Possui uma aceleração de 0 a 100 km/h de 13 segundos com álcool e 13,1 segundos com gasolina.

Figura 15 - Renault Sandero (traseira).



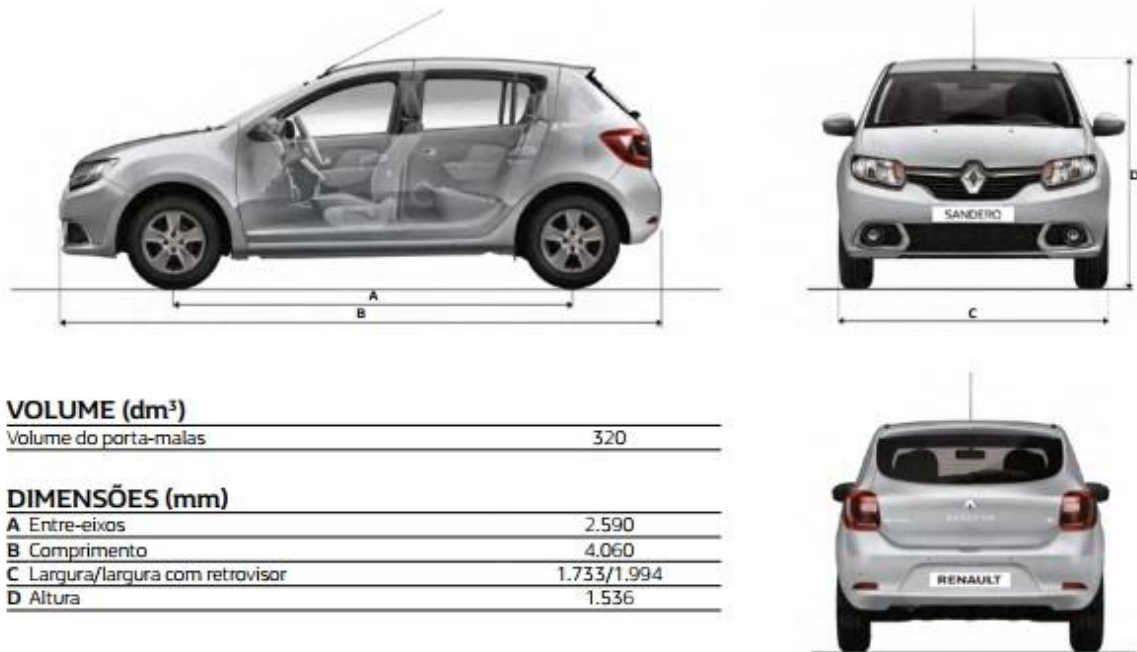
Fonte: Renault (2017).

O carro vem equipado com direção eletro-hidráulica e câmbio manual com 5 velocidades, mais marcha ré. Conta com a tecnologia ESM (Energy Smart Management), que controla a carga da bateria, proporciona maior eficiência no consumo e menor emissão de gases poluentes. O veículo pesa 1011 kg e possui as dimensões de 4060 mm de comprimento, 1733 mm de largura, 2590 mm entre eixos e 1536 mm de altura, conforme mostrado na Figura 16. O Sandero possui o maior porta malas da categoria (RENAULT, 2017), com 320 litros de capacidade.

No quesito segurança, o Sandero conta com airbags dianteiros (condutor e passageiro) e freios ABS – requisitos regulamentares. Possui ar condicionado, travas elétricas, vidros elétricos apenas dianteiros e alarme volumétrico⁸. Possui um coeficiente aerodinâmico de 0,341. A versão de entrada não possui multimídia nem rádio, apenas o kit para a instalação do rádio pelo proprietário.

⁸ O alarme volumétrico utiliza um sensor que emite ondas sonoras dentro da cabine do carro para monitorar as movimentações por lá. Quando o veículo está totalmente fechado o perfil da onda sonora circulante é o padrão, bem definido e conhecido pelo módulo eletrônico que controla o sistema de alarme. Se uma ou mais janelas forem violadas, o perfil da onda sonora é alterado, o que indica ao módulo eletrônico a violação do veículo e a necessidade de se disparar o alarme sonoro. (iCARROS, 2015).

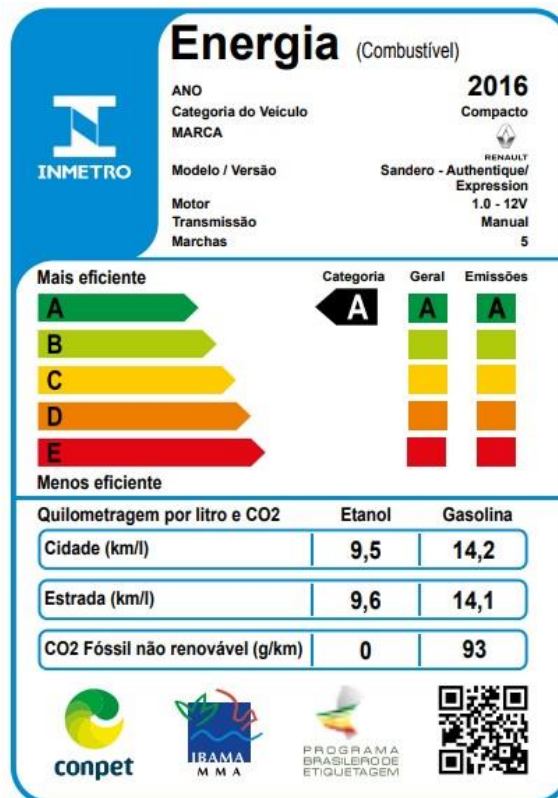
Figura 16 - Dimensões do Renault Sandero.



Fonte: Renault (2017).

Já no que diz respeito à eficiência, o Renault Sandero está classificado na categoria A, segundo selo de etiquetagem do INMETRO – categoria mais eficiente. O carro faz 9,5 km/l com etanol e 14,2 km/l com gasolina na cidade, e 9,6 km/l com etanol e 14,1 km/l na estrada. A emissão de CO₂ proveniente de combustível fóssil não renovável é de 93 g/km. Essas informações podem ser vistas na Figura 17.

Figura 17 - Selo de etiquetagem do INMETRO para o Renault Sandero.



Fonte: Renault (2017).

4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO VEÍCULO ELÉTRICO

Uma análise comparativa dos dois veículos escolhidos será realizada no sentido de verificar a viabilidade econômica da substituição de um veículo convencional por um elétrico. Esse estudo irá considerar um usuário residente na cidade de Curitiba, estado do Paraná, que utiliza o carro para deslocamentos cotidianos.

Um estudo elaborado pela Cetesb (Agência Ambiental Paulista) constatou que os carros rodam uma média de 41 km todos os dias na capital paulista, ou 15 mil km por ano. (DESTAK JORNAL, 2014). Essa será a média de quilometragem utilizada nesta análise – 15.000 km/ano, ~1.250 km/mês.

Considerando os valores dos veículos de R\$43.350,00 para o Renault Sandero e 23.700,00€ para o Renault Zoe, e utilizando a cotação do Euro de 1€ = R\$3,71, temos para o Zoe o custo de R\$87.927,00, aproximadamente o dobro do preço do Sandero. Este valor do carro elétrico seria o valor de conversão da moeda, a partir do custo do carro na Europa. Porém, ainda incide uma cadeia de impostos cobrados pelo governo brasileiro em cima desse valor.

Os impostos incidentes são o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), PIS (Programa de Integração Social), COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social) e ICMS (imposto sobre circulação de mercadorias e prestação de serviços). Graças à última Resolução da Câmara de Comércio Exterior (Camex), os veículos elétricos foram isentos do pagamento do Imposto de Importação – IPI, que antes adicionava 35% ao valor total do carro. É um valor considerável, porém um incentivo ainda ínfimo aos VEs.

Como a ideia deste trabalho não é considerar a importação do veículo elétrico, e sim fazer uma projeção de gastos comparando os dois modelos, o valor utilizado será o da conversão do veículo de euros para reais. Com o aumento da demanda de veículos elétricos, diversas montadoras que já produzem VEs em suas fábricas em outros países certamente teriam interesse em produzir e comercializar seus modelos no Brasil também.

Analisando os valores praticados na cidade de Curitiba no mês de setembro de 2017, encontra-se: R\$3,86 o litro da gasolina comum, R\$2,79 o litro do etanol comum. Considerando as informações dadas pela bibliografia, o uso de álcool em um carro flex só é vantajoso quando este está pelo menos 30% inferior ao valor da gasolina. Com os valores mencionados obtemos

que o etanol está 72,3% do valor da gasolina. Logo, não é vantagem utilizar etanol, e sim, gasolina. Por esta razão, a análise prosseguirá com gasolina a R\$3,86 o litro.

Já para o valor da energia elétrica, foi feito uma média dos últimos 12 meses (agosto/2016 a julho/2017) dos valores praticados pela companhia de energia Copel, da cidade de Curitiba, pois o custo do kWh varia mensalmente. Considerando inclusos os impostos, o valor médio do kWh ficou em R\$0,69.

Para calcular o gasto mensal com energia (combustível ou eletricidade) consumidos pelos veículos, utilizando o deslocamento estipulado de 1.250 km mensais e o rendimento do Sandero de 14,2 km/l com gasolina na cidade, temos um total de 88 litros consumidos em um mês. Calculando o custo em reais desse volume consumido de combustível, com o litro da gasolina a R\$3,86, obtemos um gasto de R\$339,68 mensais. Já para o elétrico Zoe, que possui um consumo de 0,133 kWh/km, para um deslocamento de 1.250 km e o valor da energia em R\$0,69 kWh, o gasto com energia mensal fica em R\$114,71 – aproximadamente 34% do valor gasto com combustível para o Sandero.

Com relação aos custos de manutenção, as opiniões variam com relação a quanto por cento o veículo elétrico seria mais econômico que o convencional. Porém, as opiniões convergem quanto à essa economia (LEBEAU et al, 2013). Veículos elétricos possuem muito menos partes móveis, enfrentam menos stress de temperatura, não precisam de troca de óleo, filtro, correias, cabos etc. Além disso, devido à possibilidade de recuperar energia durante a frenagem, as pastilhas de freio dos VEs durarão mais.

Roper (2017), estima que um veículo elétrico teria um custo de manutenção em torno 75% inferior ao MCI. Little (2016) em sua comparação entre VE e MCI, encontrou, para carros compactos, um custo para VE 60% inferior ao custo do veículo convencional. De acordo com um estudo realizado no Institut für Automobilwirtschaft - IFA (Instituto de Engenharia Automotiva), os custos de manutenção e reparação de veículos elétricos serão em torno de 35% inferior ao custo de um veículo de combustão interna comparável. (CARS 21, 2012). Outros estudos são ainda mais prudentes e trabalham com uma redução de 20% nos custos de manutenção para VEs. (WINDISCH, 2011 apud LEBEAU et al, 2013).

Essa variação considerável na estimativa do custo da manutenção dos veículos elétricos se dá em função da sua tecnologia emergente e ainda com poucos anos de uso. Enquanto veículos a combustão estão no mercado há várias décadas, os veículos elétricos a bateria estão disponíveis há poucos anos. Adotando uma análise um pouco mais conservadora, este trabalho irá considerar a posição do IFA, trabalhando com a ideia de que os veículos elétricos possuem

um custo de manutenção 35% inferior aos MCIs, e partirá do custo dado para o veículo convencional.

A empresa de consultoria Jato Dynamics fez simulações para estimar os gastos com diferentes tipos de veículos a combustível (LEWGOY, 2016). Essa simulação foi feita para um modelo de carro popular do tipo compacto e os valores apresentados serão utilizados para estimar os gastos com o Renault Sandero, veículo analisado neste trabalho. Nessa análise o custo de manutenção mensal, excluindo o gasto com troca de pneus é de R\$78,33 (R\$939,96/ano) para o veículo MCI.

A manutenção foi calculada com base na média de trocas de peças a cada três anos ou 45 mil quilômetros rodados. Inclui trocas de peças como limpadores, pastilhas e discos de freio, que não estão previstas no manual do veículo e não são incluídas nas revisões das concessionárias. (LEWGOY, 2016). Considerando que o VE tem um custo 35% inferior, isso resulta em uma manutenção mensal de R\$50,91 (R\$610,92/ano).

Outro custo que deve ser considerado na análise do elétrico Zoe é seu custo mensal com o aluguel da bateria. De acordo com a quilometragem anual estipulada em 15.000 km, ele se enquadra na taxa de 99 € mensais. Isso equivale a R\$367,29 mensais. É um custo bastante elevado para o usuário brasileiro, porém, caso a bateria fosse vendida junto com o carro, o preço do veículo iria quase dobrar, pois a bateria é cerca de 50% do valor do veículo. Além disso, quando ela estragasse, o valor para sua substituição seria altíssimo.

Somando todas as despesas com os dois veículos e estimando a economia na utilização do veículo elétrico em um ano, chega-se aos resultados mostrados no Quadro 4.

Quadro 4 - Despesas com cada tipo de veículo.

	Energia	Manutenção	Aluguel bateria
Sandero	R\$4.076,16	R\$939,96	-
Zoe	R\$1.376,52	R\$610,92	R\$367,29
Economia/ano	R\$2.699,64	R\$329,04	-R\$367,29
Economia total/ano	R\$2.661,39		

A economia total obtida em um ano seria de R\$2.661,39. Considerando que a diferença no custo dos dois veículos é de R\$44.577,00, levaria vários anos para que o retorno financeiro

compensasse o investimento. De modo a estimar esse tempo, será utilizado o método do *Payback* (PB) ou método do tempo de retorno do investimento.

Payback significa “retorno”. É um indicador usado para calcular o período de retorno de investimento em um projeto – é o tempo de retorno desde o investimento inicial até aquele momento em que os rendimentos acumulados tornam-se iguais ao valor desse investimento. Considerando os dados do Quadro 5:

Quadro 5 - Diferença nos valores do dois veículos.

Veículo elétrico Renault Zoe	R\$87.927,00
Veículo convencional Renault Sandero	R\$43.350,00
Gasto adicional na compra do elétrico	R\$44.577,00

$$\textit{Payback} = \frac{\textit{Investimento inicial}}{\textit{Resultado do fluxo de caixa}}$$

$$\textit{Payback} = \frac{\text{R\$44.577,00}}{\text{R\$2.661,39/ano}}$$

$$\textit{Payback} = 16,75 \textit{ anos}$$

O resultado encontrado de 16,75 anos mostra que esse seria o tempo necessário para que a economia proporcionada pelo veículo elétrico pagasse o investimento a mais que o consumidor teria ao optar pelo elétrico. O método do *Payback* simples é uma análise superficial de viabilidade do investimento, pois não considera o valor do dinheiro no tempo e os fluxos de caixa depois do período de *Payback*. Porém, como o retorno anual encontrado foi baixo, já era de se esperar que o tempo de retorno do investimento fosse longo (mesmo que considerado o valor do dinheiro no tempo) e que o investimento não seria interessante, por isso optou-se pelo uso do PB simples.

4.2. ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA

Para avaliar se a substituição de um veículo convencional por um veículo elétrico seria aceita do ponto de vista do cliente, as principais características de ambos os veículos foram colocadas lado a lado em quadro comparativo a fim de facilitar sua análise (Quadro 6).

Analisando os dados do Quadro 5, observa-se que os dois veículos escolhidos são bastante similares, além de pertencerem ao mesmo segmento, possuem medidas muito próximas, ambos comportam 5 passageiros e possuem quase a mesma potência. Com relação as configurações, as maiores discrepâncias encontradas são o torque máximo, de 210 Nm para o elétrico e 100 Nm para o modelo a gasolina, e a autonomia, de 300 km para o Zoe e 710 km para o Sandero, graças ao seu tanque de combustível de 50 l e seu consumo de 14,2 km/l.

Quadro 6 - Quadro comparativo com as características dos dois veículos.

	Veículo Elétrico Renault Zoe	Veículo a Combustão Renault Sandero ⁹
Segmento	Compacto	Compacto
Capacidade	5 pessoas	5 pessoas
Valor	R\$87.927,00	R\$43.350,00
Motorização	Motor elétrico a bateria	Motor de combustão interna 4 tempos, 1.0, 3 cilindros, 12V
Combustível	-	Gasolina ou etanol
Potência	57 kW (77 cv)	58 kW (79 cv)
Torque máximo	210 Nm	100 Nm
Aceleração de 0 a 100 km/h	15,5 s	13,1 s
Velocidade máxima	135 km/h	160 km/h
Consumo	133 Wh/km	14,2 km/l
Autonomia	300 km ¹⁰	710 km
Valor do km rodado (somente energia)	R\$0,09	R\$0,27

⁹ Valores dados para o Renault Sandero quando abastecido com gasolina.

¹⁰ Autonomia reduzida à 200 km no inverno.

	Veículo Elétrico Renault Zoe	Veículo a Combustão Renault Sandero ⁹
Valor do km rodado (energia + manutenção – sem o aluguel da bateria)	R\$0,13	R\$0,33
Emissões de CO₂	0	93 g/km
Peso total	1480 kg	1011 kg
Comprimento	4084 mm	4060 mm
Entre eixos	2588 mm	2590 mm
Largura	1730 mm	1733 mm
Altura	1562 mm	1536 mm
Volume do porta malas	338 l	320 l

Abordando a emissão de poluentes dos dois veículos e se utilizando do selo de etiquetagem do INMETRO para o Renault Sandero, que informa uma emissão de CO₂ de 93 g/km, em um ano, com 15.000 km rodados, o Sandero terá liberado na atmosfera 1.395 kg de CO₂. Já o Zoe é um veículo zero emissões de poluentes. Se sua energia for proveniente de uma usina hidroelétrica, fonte de eletricidade mais comum no Brasil, sua emissão total será igual a zero.

4.3. SÍNTESE COMPARATIVA

Com a análise realizada para os dois tipos de veículos, o veículo a combustão Renault Sandero e o elétrico Zoe, algumas características de ambos os veículos puderam ser elucidadas e comparadas. No que diz respeito à autonomia do elétrico Zoe, que alcança os 300 km, pode-se dizer que um dos gargalos dos veículos elétricos está sendo solucionado.

Considerando a média de quilômetros rodados pelo usuário de 41 km/dia, com a autonomia disponível é possível que o usuário recarregue seu veículo apenas uma vez na semana, garantindo seu uso de segunda à sexta-feira. Isto já faz do Zoe um veículo apto a concorrer com os demais para o uso cotidiano. Todavia, no inverno sua autonomia é reduzida em aproximadamente 100 km, e isso pode exigir carregamentos mais frequentes. Além disso,

para viagens longas, mesmo a autonomia de 300 km é um obstáculo. Ainda que o Brasil já tivesse uma infraestrutura adequada aos VEs, certamente muitos usuários consideram um forte inconveniente o fato de terem que interromper sua viagem para recarregar a bateria.

Com relação à velocidade alcançada, o elétrico pode ser aprovado. Com uma velocidade máxima de 135 km/h, contra 168 km/h do veículo convencional, o Zoe ultrapassa a velocidade máxima permitida no Brasil, com folga. Ademais, é consideravelmente silencioso quando comparado ao seu concorrente. De modo geral, as configurações do elétrico Zoe se mostraram compatíveis ao uso urbano cotidiano.

Já a análise de viabilidade econômica não mostrou um resultado positivo para o veículo elétrico. Com o custo de aquisição do veículo sendo o dobro do seu concorrente a combustão, o alto valor a ser pago pelo aluguel da bateria e o custo do kWh no Brasil, a substituição dos veículos convencionais por elétricos se torna inviável. Isto que ainda foram desconsiderados os impostos incidentes no veículo, que iriam aumentar mais o seu valor inicial.

Com uma economia de apenas R\$2.661,39 ao ano, seriam necessários quase 17 anos para que o investimento inicial superior do veículo elétrico se pagasse, conforme observado no cálculo do *Payback*. Considerando que, geralmente, o consumidor que paga um valor mais alto na aquisição de um carro possui uma maior renda e não costuma ficar muitos anos com o mesmo modelo, um retorno demorado do investimento é inviável.

Desse modo, mesmo que o veículo elétrico fosse isento de todos os impostos, ainda seriam necessários outros incentivos para tornar sua aquisição vantajosa. Por outro lado, apesar do valor mais alto de aquisição do elétrico Zoe, deve ser considerado nesse custo todos os equipamentos e tecnologias mais modernas empregadas no veículo, que muitas vezes não são encontradas em um carro popular compacto convencional.

A favor dos elétricos, fica sua característica de serem muito mais sustentáveis. Enquanto os veículos a combustão lançam na atmosfera diversos poluentes que comprometem o meio ambiente e prejudicam a saúde da população, os elétricos podem ser zero emissões, se abastecidos de energia limpa – hidroelétricas, energia solar ou eólica, por exemplo.

5. CONCLUSÃO

O veículo elétrico aparece como a melhor solução de mobilidade para responder às questões atuais do aquecimento global, da qualidade do ar e da dependência que existe dos combustíveis fósseis. A adoção de veículos elétricos teria muitos efeitos positivos em diferentes escalas. Nas cidades, ela reduziria a poluição, a presença de materiais particulados e fuligem e melhoraria a qualidade do ar e saúde das pessoas. O país, se tornaria independente de petróleo, e o planeta se beneficiaria com a redução de emissões de CO₂ e demais componentes prejudiciais à camada de ozônio, aquecimento global e chuvas ácidas.

A tomada de decisões dos consumidores cada vez mais é guiada visando uma economia de combustível e isto ocorre devido ao crescente preço dos derivados de petróleo. Consequentemente, se o preço de compra dos veículos elétricos pudesse ser compensado pela economia em combustível, o investimento seria vantajoso financeiramente. E então, com o aumento da demanda, o custo dos veículos finalmente cairia em função da larga escala de produção.

Além disso, como pode ser visto neste trabalho, o custo de uso dos veículos elétricos é inferior ao dos veículos convencionais. Ainda é difícil estimar os custos de manutenção, considerando que a tecnologia é nova e não foi massivamente utilizada. Porém, de acordo com a bibliografia, esse valor também é inferior ao necessário para manter veículos MCI. Ademais, a grande maioria das montadoras oferece uma garantia estendida para veículos elétricos, tanto como forma de incentivar a compra de um produto ainda “desconhecido” como a fim de evitar possíveis constrangimentos devido à nova tecnologia – que é nova para os consumidores, mas também para os fabricantes.

Ainda assim, o custo do veículo elétrico é muito superior aos veículos convencionais, e com o custo da energia elétrica no Brasil, hoje, o investimento não se mostrou viável. Para que essa cadeia de altos preços e baixa demanda seja quebrada, o pontapé inicial precisa vir do estado, através da concessão de incentivos reais para os primeiros consumidores de veículos elétricos no país. Adotar estratégias já utilizadas com sucesso por outros países é uma forma de alavancar o mercado dos carros elétricos.

Por outro lado, o consumidor precisa enxergar o veículo elétrico com um produto que conta com uma nova tecnologia, mais moderna da que ele possuía, e toda nova tecnologia vem com um custo mais elevado. O VE possui um valor agregado devido à sua tecnologia mais

moderna, ao seu funcionamento silencioso e sustentável, ao seu incremento em torque quando comparado aos veículos convencionais. A posse de um VE é algo que traz consigo uma imagem de responsabilidade social e ambiental ao proprietário. O valor total da compra precisa ser diluído em benefícios que um elétrico traz para o meio ambiente, para a sociedade e para a saúde da população.

No que tange à autonomia dos veículos elétricos, esta deve ser trabalhada para angariar maiores valores. Ou, no mínimo, o tempo de recarga da bateria deve ser melhorado. Caso contrário, os elétricos a bateria estarão fadados a serem limitados ao uso urbano cotidiano. Considerando a extensão do território brasileiro, é comum à população viajar longas distâncias de carro, e uma longa pausa em uma viagem para recarga da bateria se torna um inconveniente.

Todavia, antes de se trabalhar com incentivos governamentais para redução do custo dos elétricos e melhorias na performance da bateria e recarga, é necessário um estudo a fim de viabilizar a infraestrutura necessária à utilização dos veículos elétricos no país. O elemento mais importante já existe: a rede elétrica disponível em grande parte do território nacional. A partir disto, é indispensável a instalação de pontos de recarga espalhados em postos de combustível, centros comerciais e rodovias, possibilitando ao usuário uma maior liberdade ao utilizar seu veículo, sem medo de ficar sem bateria ou se ver obrigado a voltar para casa para recarregar.

Outro desafio a ser enfrentado é a inexistência de serviços técnicos disponíveis para atender o consumidor caso este se depare com algum problema no seu veículo. É preciso que sejam oferecidos treinamentos e capacitação aos profissionais que trabalham na área para que possam atender às demandas que surgirão com os veículos elétricos no que diz respeito à manutenção.

A medida que o assunto dos veículos elétricos for amadurecendo no Brasil, algumas outras análises precisam ser feitas. Uma delas trata do impacto na rede elétrica que será causado pelo aumento da frota de elétricos, todos sendo recarregados na rede e possivelmente a sua maioria em horário noturno. Um segundo ponto é a necessidade de um estudo aprofundado acerca das baterias, seu descarte e reciclagem. Certamente, surgirão inúmeros outros pontos que deverão ser estudados frente a essa iminente revolução no setor da mobilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABVE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. **O que é um veículo elétrico?** Disponível em: <<http://www.abve.org.br/perguntas>>. Acesso em: ago. 2017.

ABVE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. **Híbridos e elétricos querem deixar o status de figurantes em eficiência energética.** Disponível em: <<http://www.abve.org.br/noticias/hibridos-e-eletricos-querem-deixar-o-status-de-figurantes-em-eficiencia-energetica>>. Acesso em: set. 2017.

ABVE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. **Notícia.** 2016. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/noticias/hibridos-e-eletricos-querem-deixar-o-status-de-figurantes-em-eficiencia-energetica>>. Acesso em: set. 2017.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Gasolina.** Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-derivados/155-combustiveis/1855-gasolina>>. Acesso em: jul. 2017.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Panorama do Abastecimento de Combustíveis 2017.** Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/publicacoes/livros_e_revistas/Panorama_do_Abastecimento2017.pdf>. Acesso em: set. 2017.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Seminário de Avaliação do Mercado de Combustíveis 2017 (Ano-base 2016).** Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/Palestras/apresentacao_do_seminario_2017-v_final_16-02-17.pdf>. Acesso em: set. 2017.

AUTO EVOLUTION. **2017 Renault Zoe Available With 41 kWh Battery, 400 Km NEDC Range.** 2016. Disponível em: <<https://www.autoevolution.com/news/2017-renault-zoe-available-with-41-kwh-battery-400-km-nedc-range-111646.html>>. Acesso em: set. 2017.

AUTOMOTIVE BUSSINESS. **Governo cria multas pesadas para descumprimento de eficiência energética.** Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/16709/governo-cria-multas-pesadaspara-descumprimento-de-eficiencia-energetica>>. Acesso em: set. 2017.

BALAZINA, Afra. Diesel, combustível que mais polui, já responde por 53% das emissões de CO₂. 2011. **Estadão.** Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/geral,diesel-combustivel-que-mais-polui-ja-responde-por-53-das-emissoes-de-co2-imp-,678106>>. Acesso em: set. 2017.

BEAUME, Romain; MIDLER, Christophe. From technology competition to reinventing individual ecomobility: new design strategies for electric vehicles. **International Journal of Automotive Technology and Management**, 2009, vol. 9, issue 2, 174-190.

BIOBLOG. **Diferenças entre etanol hidratado e etanol anidro**. Disponível em: <<https://www.bioblog.com.br/diferencas-entre-etanol-hidratado-e-etanol-anidro/>>. Acesso em: jul. 2017.

BIODIESEL BR. **PróAlcool - Programa Brasileiro de Álcool**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool/programa-etanol.htm>>. Acesso em: set. 2017.

BMW. **BMW i3**. Disponível em: <<https://www.bmw.com.br/pt/all-models/bmw-i3/2013/drive.html>>. Acesso em: set. 2017.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1764/1/BS%2032%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20aspectos%20b%C3%A1sicos%2c%20perspectivas_P.pdf>. Acesso em: set. 2017.

CALIXTO, Bruno. Carro elétrico: estamos vendo o início do fim do carro a gasolina? **Época**. Disponível em: <<http://epoca.globo.com/ciencia-e-meio-ambiente/blog-do-planeta/noticia/2017/07/carro-eletrico-estamos-vendo-o-inicio-do-fim-do-carro-gasolina.html>>. Acesso em: set. 2017.

CALSTART. **Energy storage compendium: batteries for electric and hybrid heavy duty vehicles**. Pasadena, CA: Calstart, mar. 2010. Disponível em: <http://www.calstart.org/Libraries/Publications/Energy_Storage_Compendium_2010.sflb.ashx>. Acesso em: set. 2017.

CARS 21. **EV maintenance and repair costs: 35 % cheaper than for ICEs**. 2012. Disponível em: <<http://www.cars21.com/news/view/5046>>. Acesso em: set. 2017.

CAR AND DRIVER. **BMW i3**. Disponível em: <<http://www.caranddriver.com/bmw/i3>>. Acesso em: set. 2017.

CASTRO, B. H. R; FERREIRA, T. T. **Veículos elétricos: Aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. BNDES Setorial 32, p. 267-310. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1764/1/BS%2032%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20aspectos%20b%C3%A1sicos%2c%20perspectivas_P.pdf>. Acesso em: set. 2017.

CHANARON, J-J; TESKE, J. **Hybrid vehicles: a temporary step**. Int. J. Automotive Technology and Management, Vol. 7, No. 4, 2007. p. 268–288.

CLUBE DO CARRO ELÉTRICO. **Matéria veiculada pela Agência Brasil apresenta o projeto do Gol Elétrico**. Disponível em: <<http://clubedocarroeletrico.com.br/index.php/?/passo-a-passo/>>. Acesso em: jul. 2017.

DE CASTRO, Gleise. Itaipu quer desenvolver cadeia do carro elétrico. 2013. **Valor**. Disponível em:

<<http://jie.itaipu.gov.br/sites/default/files/files2009/file/Itaipu%20quer%20desenvolver%20cadeia%20do%20carro%20eletrico.pdf>>. Acesso em: set. 2017.

DE SOUZA, L. A. Óleo Diesel. **Mundo Educação**. Disponível em:

<<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/oleo-diesel.htm>>. Acesso em: set. 2017.

DESTAK JORNAL. **Carros rodam média de 15 mil km por ano, diz estudo da Cetesb**.

Disponível em: <<http://www.destakjornal.com.br/noticias/sao-paulo/carros-rodam-media-de-15-mil-km-por-ano-diz-estudo-da-cetesb-231995/>>. Acesso em: set. 2017.

DUNLOP. **Conheça os diferentes tipos de combustíveis**. Disponível em:

<<http://g1.globo.com/carros/especial-publicitario/dunlop/giro-de-noticias-dunlop/noticia/2015/10/conheca-os-diferentes-tipos-de-combustiveis.html>>. Acesso em: jul. 2017.

EBC – EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO. Rota 2030 substituirá o Inovar-Auto. **Abc do Abc**. Disponível em: <<http://www.abcdoabc.com.br/abc/noticia/rota-2030-substituira-inovar-auto-55183>>. Acesso em: set. 2017.

ECYCLE. **Diesel: conheça a composição e saiba por que ele é um perigo para a saúde humana**.

Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/63/4102-combustivel-diesel-composto-hidrocarbonetos-riscos-qualidade-ar-transporte-caminhoes-onibus-cargas-motores-emissoes-gases-materiais-particulados-cancerigenas-pulmao-perigo-atmosfera-respiratorio-controle-inspecao-veicular-programas-avancos.html>>. Acesso em: set. 2017.

EDP – ENERGIAS DE PORTUGAL. **Como funciona um veículo elétrico?** Disponível em:

<<https://energia.edp.pt/particulares/apoio-cliente/perguntas-frequentes/servicos/mobilidade-eletrica/como-funciona-um-veiculo-eletrico/faq-5343>>. Acesso em: set. 2017.

ELECTRIC MOTORS CLUB. **Renault is about to show new Zoe with ~200 miles of range in Paris next month**.

Disponível em: <<http://electricmotorsclub.com/renault-is-about-to-show-new-zoe-with-200-miles-of-range-in-paris-next-month/>>. Acesso em: set. 2017.

FORTES, R. S. **Estudo sobre a Eficácia do programa INOVAR-AUTO**. Monografia

(Graduação) – Universidade de Brasília – UnB, 2016. p. 72. Disponível em:

<https://fga.unb.br/articles/0001/4480/TCC1_Rafael_Schiavon_Fortes.pdf>. Acesso em: set. 2016.

FREYSSNET, M. **The Second Automobile Revolution is Underway**. The scenarios in confrontation. Disponível em:

<<http://freyssenet.com/files/The%20second%20automobile%20revolution%20is%20underway.%20Scenarios%20in%20confrontation.pdf>>. Acesso em: jul. 2017.

FREYSSNET, M. Three possible scenarios for cleaner automobiles, **International Journal of Automobile Technology and Management**, issue n°4, 2011.

iCARROS. **Alarme automotivo: como funciona?** 2015. Disponível em: <<http://www.icarros.com.br/noticias/geral/alar-me-automotivo:-como-funciona-/17555.html>>. Acesso em: set. 2017.

IMPÉRIO DAS BATERIAS. **Os 3 maiores motivos para você ter um carro elétrico.** Disponível em: <<http://imperio baterias santos.com.br/os-3-maiores-motivos-para-voce-ter-um-carro-eletrico/>>. Acesso em: ago. 2017.

INDÚSTRIA HOJE. **Como funciona um carro elétrico?** 2014. Disponível em: <<http://www.industria hoje.com.br/como-funciona-um-carro-eletrico>>. Acesso em: ago. 2017.

INFO MOTOR. **NEDC, New European Driving Cycle.** 2011. Disponível em: <<http://www.infomotor.com.br/site/2011/10/nedc-new-european-driving-cycle/>>. Acesso em: ago. 2017.

INNOVAR AUTO. **Conheça o INNOVAR-AUTO.** Disponível em: <http://inovarauto.mdic.gov.br/InovarAuto/public/inovar.aspx?_adf.ctrl-state=pev3hc0oq_9>. Acesso em: set. 2017.

INSTITUTO DE FÍSICA. Motor de Combustão Interna. **UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.** Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~leila/motor.htm>>. Acesso em: ago. 2017.

JOVEM PAN. **Por que o carro flex fica mais potente com etanol?** Entenda. Disponível em: <<http://jovempan.uol.com.br/noticias/por-que-o-carro-flex-fica-mais-potente-com-etanol-entenda.html>>. Acesso em: jul. 2017.

JUSSANI, A. C.; MASIERO, G; IBUSUKI, U. Carro-elétrico vs híbrido: Qual alternativa ambientalmente sustentável para o Brasil? **XVII SEMEAD: Seminários em Administração.** 2014. Disponível em: <<http://sistema.semead.com.br/17semead/resultado/trabalhosPDF/221.pdf>>. Acesso em: set. 2017.

LEBEAU, K. et al. How expensive are electric vehicles? A total cost of ownership analysis. **EVS27 - International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium.** Barcelona, Spain, 2013.

LEWGOY, J. Quanto custa manter um carro compacto, um sedan e um SUV. 2016. **Revista Exame.** Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/seu-dinheiro/quanto-custa-manter-um-carro-compacto-um-sedan-e-um-suv/#>>. Acesso em: set. 2017.

LITTLE, A. D. **Battery Electric Vehicles vs. Internal Combustion Engine Vehicles.** A United States-Based Comprehensive Assessment. 2016. Disponível em: <http://www.adlittle.us/uploads/tx_extthoughtleadership/ADL_BEVs_vs_ICEVs_FINAL_November_292016.pdf>. Acesso em: set. 2017.

MARTINS, Raphael. Há dois caminhos para o carro elétrico vingar no Brasil. **Revista Exame.** Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/brasil/ha-dois-caminhos-para-o-carro-eletrico-vingar-no-brasil/>>. Acesso em: set. 2017.

MELLO, A. M., MARX, R., SOUZA, A. Exploring scenarios for the possibility of developing design and production competencies of electrical vehicles in Brazil, **International Journal of Automotive Technology and Management**, 13 (3), pp. 289-314. 2013.

MITSUBISHI MOTORS. **Vehicles**. Disponível em: <<https://www.mitsubishicars.com/>>. Acesso em: ago. 2017.

MOON, G. Y. Bateria de sódio tem segurança e maior vida útil. **Veículo Elétrico. Itaipu Binacional**. 2015. Ano 5, nº8. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/informativo_ve_8_final.pdf>. Acesso em: set. 2017.

MOTOR TREND. **Honda Inside**. Disponível em: <<http://www.motortrend.com/cars/honda/insight/2011/>>. Acesso em: ago. 2017.

MOWERY, D. C. e ROSENBERG, N. **Trajatórias da Inovação** – mudança tecnológica nos Estados Unidos da América no século XX. Clássicos da Inovação. Editora da Unicamp, 2005.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Funcionamento do Motor de Combustão Interna**. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm>>. Acesso em: jul. 2017.

NOVA CANA. **Etanol**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/etanol>>. Acesso em: jul. 2017.

NOVA CANA. **Governo Federal repensa futuro dos carros no Brasil: “Inovar-Auto 2” vira “Rota 2030”**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/carros/governo-federal-futuro-carros-brasil-inovar-auto-2-rota-2030-190417/>>. Acesso em: set. 2017.

OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. **Diesel Engine**. Disponível em: <https://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/basics/jtb_diesel_engine.pdf>. Acesso em: set. 2017.

PEGCAR. **Afinal, o que é Car Sharing?** Disponível em: <<https://pegcar.com/blog/o-que-e-carsharing/>>. Acesso em: julho de 2017.

PENSAMENTO VERDE. **Entenda a relação entre carbono negro e as mudanças climáticas**. 2014. Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/entenda-relacao-entre-carbono-negro-e-mudancas-climaticas/>>. Acesso em: ago. 2017.

PORTAL ENERGIA. **Vantagens e desvantagens do Carro Elétrico vs Gasolina**. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-do-carro-electrico-vs-gasolina/>>. Acesso em: ago. 2017.

QUATRO RODAS. **Programa Rota 2030 deve alterar impostos sobre automóveis**. Disponível em: <<https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/sucessor-do-inovar-auto-rota-2030-vai-focar-em-seguranca-e-sustentabilidade/>>. Acesso em: set. 2017.

RENAULT. **Nouvelle Renault ZOE**. Disponível em: <<https://www.renault.fr/vehicules/vehicules-electriques/zoe/versions.html>>. Acesso em: set. 2017.

RENAULT. Nouvelle Renault ZOE. Dossier de Presse. 2016. **AM Today**. Disponível em: <<https://www.am-today.com/sites/default/files/articles/18823/renault-84848-global-fr.pdf>>. Acesso em: set. 2017.

RENAULT. **Sandero**. Disponível em: <<https://www.renault.com.br/veiculos/conheca-nossa-gama/sandero.html>>. Acesso em: set. 2017.

RENAULT RETAIL GROUP. **New Renault Zoe**. Disponível em: <<https://www.renaultretail.co.uk/new-renault-cars/electric-vehicles/renault-zoe/>>. Acesso em: set. 2017.

REUTERS. 'Rota 2030' vai substituir o Inovar-Auto com foco em tecnologia e competitividade. **G1**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/carros/noticia/rota-2030-vai-substituir-o-inovar-auto-com-foco-em-tecnologia-e-competitividade.ghtml>>. Acesso em: set. 2017.

REVISTA PETRUS. **Entenda o que significa alta octanagem e o efeito nos carros**. Disponível em: <<http://www.revistapetrus.com.br/entenda-o-que-significa-alta-octanagem-e-o-efeito-nos-carros/>>. Acesso em: set. 2017.

ROPER, L. D. **Electric-Car Versus Gasoline-Car Cost Comparison**. 2017. Disponível em: <<http://www.roperld.com/science/BEVvsICECost.htm#compare>>. Acesso em: set. 2017.

TECMUNDO. **Renault lança nova versão do Zoe, seu pequenino carro elétrico**. 2016. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/renault/110282-renault-lanca-zoe-pequenino-carro-eletrico.htm>>. Acesso em: set. 2017.

TILLMANN, C. A. da C. **Motores de combustão interna e seus sistemas**. / Carlos Antonio da Costa Tillmann. – Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Tec Brasil, 2013. 165 p.

TOYOTA. **Prius**. Disponível em: <<https://www.toyota.co.uk/new-cars/prius/index.json>>. Acesso em: ago. 2017.

VERDES SOBRE RODAS. **Sobre o carro elétrico**. Disponível em: <<http://www.verdesobrerodas.com.br/p/sobre-o-carro-eletrico.html>>. Acesso em: ago. 2017.

ZEEV. **Renault Zoe**. Disponível em: <<http://www.zeev.pt/carros-eletricos/renault/zoe/>>. Acesso em: ago. 2017.