



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

JACKSON DA SILVA SANTOS

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA CONVERSÃO DE UM VEÍCULO DE
COMBUSTÃO INTERNA PARA UM VEÍCULO ELÉTRICO**

Recife

2022

JACKSON DA SILVA SANTOS

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA CONVERSÃO DE UM VEÍCULO DE
COMBUSTÃO INTERNA PARA UM VEÍCULO ELÉTRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Pernambuco, como requisito
parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Professor Tiago Lima de
Sousa

Recife

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Santos, Jackson da Silva.

Análise técnica e econômica da conversão de um veículo de combustão interna para um veículo elétrico / Jackson da Silva Santos. - Recife, 2022.
66 : il., tab.

Orientador(a): Tiago Lima de Sousa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Mecânica - Bacharelado, 2022.

Inclui referências, apêndices.

1. veículo elétrico. 2. veículo a combustão. 3. conversão elétrica veicular. 4. viabilidade econômica. I. Sousa, Tiago Lima de. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)



Universidade Federal de Pernambuco
Departamento de Engenharia Mecânica Centro de
Tecnologia e Geociências- CTG/EEP



ATA DE SESSÃO DE DEFESA DE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC2

Ao 04.º dia do mês de novembro do ano de dois mil e vinte e dois, às 09:00 horas, de forma virtual através da plataforma google meet, reuniu-se a banca examinadora para a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, intitulado **Análise técnica e econômica da conversão de um veículo de combustão interna para um veículo elétrico**, elaborado pelo aluno **Jackson da Silva Santos**, matrícula 409.456.708/93, composta pelos avaliadores Prof. **Tiago Lima de Sousa** (orientador), Prof. **Justo Emilio Alvarez Jácobo** (membro titular) e Prof. **Jorge Antonio Palma Carrasco** (membro titular). Após a exposição oral do trabalho, o candidato foi arguido pelos componentes da banca que em seguida reuniram-se e deliberaram pela sua aprovação, atribuindo-lhe a média 7,67, julgando-o apto(x) / inapto() à conclusão do curso de Engenharia Mecânica. Para constar, redigi a presente ata aprovada por todos os presentes, que vai assinada pelos membros da banca.

Orientador:	Prof. Tiago Lima de Sousa	Nota:
Assinatura	 Documento assinado digitalmente TIAGO LIMA DE SOUSA Data: 25/11/2022 18:04:47 0300 Verifique em https://verificador.iti.br	<u>8,00</u>
Prof. Membro Interno:	Prof. Justo Emilio Alvarez Jácobo	Nota:
Assinatura	 Documento assinado digitalmente JUSTO EMILIO ALVAREZ JACOBO Data: 25/11/2022 16:13:33-0300 Verifique em https://verificador.iti.br	<u>8,00</u>
Prof. Membro Interno:	Prof. Jorge Antonio Palma Carrasco	Nota:
Assinatura	 Documento assinado digitalmente JORGE ANTONIO PALMA CARRASCO Data: 25/11/2022 17:22:22-0300 Verifique em https://verificador.iti.br	<u>7,00</u>

Recife, 04 de novembro de 2022.

Prof. Marcus Costa de Araújo
Coordenador de Trabalho de Conclusão de curso - TCC
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica – CTG/EEP-UFPE

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, a Deus por escrever e conduzir cada passo da minha história acadêmica e por me ajudar a superar cada obstáculo para concluir mais essa etapa da minha vida.

A Universidade Federal de Pernambuco por me proporcionar a infraestrutura para minha formação acadêmica e profissional.

Ao orientador, Professor Tiago Lima de Sousa, por toda paciência e pelos inúmeros ensinamentos.

A banca, Professor Justo Emílio Alvarez Jácomo e Professor Jorge Antonio Palma Carrasco, por todos direcionamentos que fizeram total diferença para conclusão desse trabalho.

A minha família por ser minha base para que eu pudesse crescer como homem e como engenheiro.

A minha esposa e filha que me motivam a cada dia buscar o sustento da nossa casa com alegria e gratidão.

RESUMO

Com o esforço global para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e na tentativa de diminuir a projeção do aquecimento global para os próximos anos, o setor de transportes tem sido um dos focos das ações para reduzir os danos ambientais. Atualmente, os veículos elétricos têm se apresentado como a melhor solução para diminuir as emissões no setor de transportes, além de melhorar a eficiência energética desse setor. O veículo elétrico tem o diferencial, além de zero emissões na utilização, de ter um custo total, energia elétrica e manutenção, 80% menor que o custo de utilização de um veículo a combustão. Essa economia, a longo prazo, permite que a conversão seja um investimento viável, permitindo uma rentabilidade que pode ser bastante vantajosa em alguns cenários. A conversão elétrica consiste em converter um veículo a combustão, que utiliza um motor de combustão interna, em um veículo elétrico, que utiliza um motor elétrico como máquina propulsora. Essa conversão é uma solução para quem não tem condições financeiras de comprar um veículo elétrico e deseja converter seu veículo próprio. Nesse contexto, este trabalho propõe uma metodologia de análise técnica e econômica da conversão de um veículo de combustão interna para um veículo elétrico. Para tanto, são estimados os custos relacionados a utilização do veículo a combustão e do veículo convertido para elétrico durante o período de 10 anos para, então, levantar quanto é a economia gerada em relação a uma faixa de quilometragens anuais. Tais resultados, quando comparados, permitem identificar a partir de qual quilometragem anual que a conversão elétrica veicular se torna viável. Logo, baseado nas análises de custo, conclui-se que uma utilização maior ou igual a 24.000 km/ano torna a conversão elétrica viável, pois essa quilometragem gera uma economia suficiente para o que o investimento tenha um VPL positivo.

Palavras-chave: veículo elétrico; veículo a combustão; conversão elétrica veicular; viabilidade econômica.

ABSTRACT

With the global effort to reduce greenhouse gas emissions and in an attempt to reduce the projection of global warming for the coming years, the transport sector has been one of the focuses of actions to reduce environmental damage. Currently, electric vehicles have been presented as the best solution to reduce emissions in the transport sector, in addition to improving the energy efficiency of this sector. The electric vehicle has the differential, in addition to zero emissions in use, of having a total cost, electric energy and maintenance, 80% lower than the cost of using a combustion vehicle. This savings, in the long term, allows the conversion to be a viable investment, allowing for profitability that can be quite advantageous in some scenarios. Electric conversion consists of converting a combustion vehicle, which uses an internal combustion engine, into an electric vehicle, which uses an electric motor as a propulsion machine. This conversion is a solution for those who cannot afford to buy an electric vehicle and want to convert their own vehicle. In this context, this work proposes a methodology for technical and economic analysis of the conversion of an internal combustion vehicle to an electric vehicle. To do so, the costs related to the use of the combustion vehicle and the vehicle converted to electric are estimated over a period of 10 years to then determine how much savings are generated in relation to a range of annual mileages. Such results, when compared, make it possible to identify from which annual mileage the vehicle electrical conversion becomes viable. Therefore, based on cost analyses, it is concluded that a use greater than or equal to 24,000 km/year makes the electrical conversion viable, as this mileage generates sufficient savings for the investment to have a positive NPV.

Keywords: electric vehicle; combustion vehicle; vehicle electrical conversion; economic viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Primeiro Veículo Elétrico na Alemanha em 1888.....	14
Figura 2 – Vendas de Veículos Elétricos no Brasil.....	16
Figura 3 – Renault Kwid E-TECH.....	17
Figura 4 – Toyota Corolla Altis Hybrid.....	17
Figura 5 – Estrutura do trabalho.....	19
Figura 6 – Etapas do ciclo Otto.....	20
Figura 7 – Motor de combustão interna.....	21
Figura 8 – Motor elétrico.....	23
Figura 9 – Inversor de frequência.....	24
Figura 10 – Diagrama de uma bateria.....	25
Figura 11 – Ilustração dos tipos de veículos.....	26
Figura 12 – Tipos de veículos híbridos.....	27
Figura 13 – Diagrama do Hidrovácuo.....	30
Figura 14 – Diagrama sistema de ar condicionado.....	30
Figura 15 – Direção Hidráulica.....	32
Figura 16 – Direção Elétrica.....	32
Figura 17 – Diagrama sistema de arrefecimento.....	33
Figura 18 – Diagrama carro convertido.....	35
Figura 19 – Renault Kwid 2018.....	39
Figura 20 – Motor elétrico e inversor de frequência.....	44
Figura 21 – Bateria.....	45
Figura 22 – BMS.....	46
Figura 23 – Conversor CC-CC.....	46
Figura 24 – Carregador.....	47
Figura 25 – Análise do VPL dos cenários.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Veículos mais baratos vendidos no Brasil em maio de 2022.....	16
Tabela 2 - Inflação acumulada Brasileira.....	40
Tabela 3 - Preços médios de gasolina no Nordeste em janeiro de cada ano.....	41
Tabela 4 - Custos da conversão em relação a modelos e autonomia.....	48
Tabela 5 - Custos dos opcionais da conversão.....	49
Tabela 6 - Comparação entre veículos.....	50
Tabela 7 - Variáveis de custos do veículo a combustão.....	51
Tabela 8 - Depreciação do veículo a combustão.....	51
Tabela 9 - Custos veículo a Combustão, em reais.....	52
Tabela 10 - Depreciação do veículo convertido.....	52
Tabela 11 - Investimentos da conversão.....	53
Tabela 12 - Amortização e juros do financiamento.....	53
Tabela 13 - Variáveis de custos do veículo convertido.....	54
Tabela 14 - Custos do veículo convertido, em reais.....	54
Tabela 15 - Economia, em reais.....	55
Tabela 16 - Preço de compra.....	55
Tabela 17 - Fluxo de caixa da conversão, em reais.....	56
Tabela 18 - Indicadores financeiros.....	56
Tabela 19 - Análise de cenários, com 10% de aporte próprio.....	57
Tabela 20 - Análise de cenários, com 30% de aporte próprio.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.a.	Ao ano
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
BMS	<i>Battery Management System</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CE	Ceará
CRMC	Custo de manutenção do Veículo a Combustão
CRME	Custo de manutenção do Veículo Elétrico
CRVC	Custo de rodagem do Veículo a Combustão
CRVE	Custo de rodagem do Veículo Elétrico
EUA	Estados Unidos da América
FC	Fluxo de Caixa
FCA	Fluxo de Caixa Acumulado
IBC	Índice Benefício/Custo
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículo Automotor
HVE	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
LED	<i>Light Emitter Diode</i>
Li-Po	Lítio-Polímero
MA	Maranhão
MCI	Motor de Combustão Interna
ME	Motor Elétrico
MG	Minas Gerais
Ni-Cd	Níquel-Cádmio
Ni-HM	Níquel-Hidreto Metálico
PA	Pará
PI	Piauí
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior
RJ	Rio de Janeiro
RN	Rio Grande do Norte

RS	Rio Grande do Sul
SUV	<i>Sport Utility Vehicle</i>
VC	Veículo a Combustão
VE	Veículo elétrico
VAUE	Valor Anual Uniforme Equivalente
VPL	Valor Presente Líquido
VW	Volkswagen S. A.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	13
1.2	BREVE HISTÓRIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	14
1.3	CENÁRIO ATUAL DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	15
1.4	MOTIVAÇÃO.....	17
1.5	OBJETIVOS.....	18
1.5.1	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>18</i>
1.5.2	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>18</i>
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA.....	20
2.2	MOTOR ELÉTRICO.....	23
2.2.1	<i>Inversor de Frequência.....</i>	<i>24</i>
2.3	BATERIAS.....	24
2.4	VEÍCULOS HÍBRIDOS.....	26
2.5	VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	28
2.6	ADAPTAÇÕES DA CONVERSÃO ELÉTRICA VEICULAR.....	29
2.6.1	<i>Adaptação do Sistema de Frenagem.....</i>	<i>29</i>
2.6.2	<i>Adaptação do Sistema de Ar Condicionado.....</i>	<i>30</i>
2.6.3	<i>Adaptação do Sistema de Direção.....</i>	<i>31</i>
2.6.4	<i>Sistema de Arrefecimento.....</i>	<i>33</i>
2.6.5	<i>Sistema de Alimentação de Energia.....</i>	<i>34</i>
2.6.6	<i>Sistema de Transmissão.....</i>	<i>34</i>
2.6.7	<i>Outras Adaptações.....</i>	<i>34</i>
2.7	COMPONENTES DO VEÍCULO CONVERTIDO.....	34
2.8	AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA.....	35
2.8.1	<i>Valor Presente Líquido.....</i>	<i>35</i>
2.8.2	<i>Taxa Mínima de Atratividade.....</i>	<i>36</i>
2.8.3	<i>Valor Anual Uniforme Equivalente.....</i>	<i>36</i>
2.8.4	<i>Índice Benefício/Custo.....</i>	<i>36</i>
2.8.5	<i>Retorno Sobre Investimento.....</i>	<i>37</i>
3	METODOLOGIA.....	38

3.1	LEVANTAMENTO DE CUSTOS.....	40
3.1.1	<i>Custos do Veículo a Combustão.....</i>	40
3.1.2	<i>Custos do Veículo Convertido.....</i>	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
4.1	ANÁLISE DE VIABILIDADE DA CONVERSÃO.....	51
4.1.1	<i>Análise de cenários.....</i>	57
5	CONCLUSÕES.....	59
	REFERÊNCIAS.....	60
	APÊNDICE A.....	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Com o esforço global para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e na tentativa de diminuir a projeção do aquecimento global, o setor de transportes tem sido um dos focos das ações para reduzir os danos ambientais (CADERNOS FGV ENERGIA, 2017). O setor de transportes contribuiu, no ano de 2018, com cerca de 17% da emissão de CO₂ mundial (CAIT, 2022). Os automóveis também são responsáveis pela maior parte da poluição sonora e atmosférica das grandes cidades, causando graves danos ao bem-estar e a saúde da população (DRUMM, 2014). Além de todos esses problemas ambientais, os veículos de passeio têm tido grandes aumentos em seus preços de venda após a pandemia da COVID-19, o que tem tornado o sonho do carro novo restrito a uma faixa bem seleta da população (TORRES, 2021). A flutuação instável dos preços dos combustíveis também têm sido um grave problema social, político e econômico que afeta toda a população (FERREIRA e VIEIRA FILHO, 2019).

Nesse contexto, o carro elétrico pode ser uma solução viável para substituição dos veículos a combustão de passeio já que, atualmente, dispomos de tecnologia de baterias e geração de energia em larga escala, o que permite que a frota de carros elétricos aumente e, por sua vez, diminua a frota de veículos movidos a combustíveis fósseis em circulação e, assim, amenizando alguns dos problemas causados pelos mesmos (DUPONT, 2010).

O carro elétrico é silencioso, com menor custo de manutenção e mais eficiente em relação aos veículos a combustão. Outros pontos de destaque do veículo elétrico é que ele tem gasto de energia baixíssimo quando está parado no trânsito e a possibilidade de regenerar energia durante as frenagens e em declives, produzindo um aumento em sua autonomia (AMARAL, 2018). As maiores desvantagens dos veículos elétricos são os altos preços de venda, a autonomia limitada, as várias horas necessárias para carregar as baterias e a vida útil das baterias (FROMER, 2020).

Diante desse cenário, a conversão de veículos a combustão para veículos elétricos tem sido uma solução aplicada por algumas empresas especializadas em muitos países, incluindo o Brasil, para possibilitar o acesso a veículos elétricos de forma mais barata e personalizada ao uso do cliente. Essa conversão elétrica é feita de forma a remover o motor de combustão interna e os seus sistemas periféricos para dar lugar ao motor

elétrico e seus periféricos, com as adaptações necessárias para a acomodação dos componentes.

A conversão pode ser feita em um veículo novo ou usado, levando em consideração as características de cada modelo, da utilização do usuário e a disponibilidade de recursos financeiros.

No entanto, apesar dos seus benefícios, ainda existem pouquíssimas empresas especializadas na conversão, o que torna a conversão desconhecida e inacessível para a maioria da população brasileira (SILVA, 2018).

1.2 BREVE HISTÓRIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Com o avanço tecnológico do motor elétrico no século XIX, impulsionado pelos trens elétricos, foi possível o surgimento dos primeiros protótipos de veículos elétricos na Europa e nos EUA. Por volta do ano de 1835, foram surgindo os primeiros carros elétricos nessas localidades (KUMAR, 2021). Eles eram muitos semelhantes às carroças, mas sem cavalos, conforme a figura 1.

Figura 1 - Primeiro Veículo Elétrico na Alemanha em 1888



Fonte: Kumar e Alexander (2021).

Com avanços na tecnologia de baterias, foi possível produzir os veículos elétricos em Londres em 1884. Entre 1890 e 1910 foram os anos dourados do carro elétrico, mas devido à baixa autonomia, rede elétrica precária, os avanços tecnológicos do MCI e a produção em massa da Ford, deram fim a todos os fabricantes de carros elétricos (KUMAR; ALEXANDER, 2021).

As crises petrolíferas, nas décadas de 1970 e 1980, e as legislações ambientais, no início dos anos 1990 (que limitavam as emissões de poluentes dos veículos), fizeram renascer o interesse por veículos elétricos nos EUA. No início do século XXI, com os avanços tecnológicos dos motores elétricos e das baterias de Lítio, os carros elétricos voltaram a ser produzidos em massa (KUMAR; ALEXANDER, 2021).

No Brasil, no final dos anos 1970, a Gurgel S.A. e a Furnas Centrais Elétricas S.A. desenvolveram dois modelos de carros elétricos: o Itaipu Elétrico e o Itaipu 400, mas, devido a medidas de nacionalização e substituição do petróleo, como o Proálcool, bem como aos elevados custos e sua baixa autonomia, resultaram em uma péssima aceitação no mercado nacional (BORBA, 2012). Desde 2006, houve muitos projetos de protótipos de veículos elétricos entre Itaipu e empresas e montadoras (ITAIPU, 2022). Também a empresa WEG, fabricante de motores e inversores elétricos, tem desenvolvido vários protótipos para aprimorar seus equipamentos voltados para a mobilidade elétrica (WEG, 2015).

1.3 CENÁRIO ATUAL DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

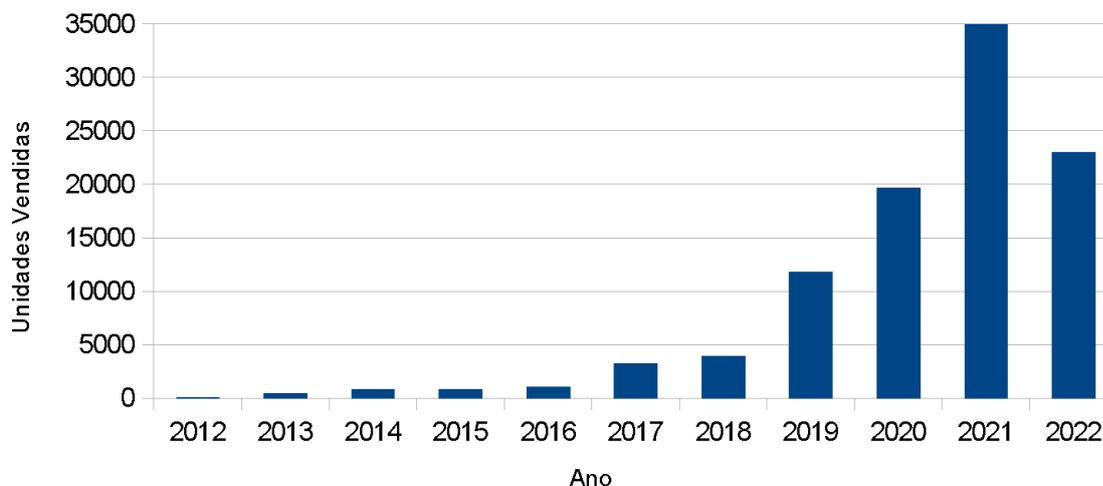
Atualmente, duas empresas se destacam no cenário mundial da fabricação dos veículos elétricos. A primeira é a americana Tesla, que fabrica carros elétricos de luxo de alta performance e tecnologia embarcada. Famosa por produzir modelos autônomos que podem guiar o veículo sem a ação do condutor. A segunda empresa é a chinesa BYD, que tem uma vasta estrutura de fábricas espalhadas pelo planeta e é a maior fabricante de veículos elétricos em número de venda de veículos elétricos no primeiro semestre de 2022 (MIHALASCU, 2022).

No Brasil, a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE) estima que mais de 100.000 carros elétricos foram vendidos de 2012 até julho de 2022. Esse número é composto por:

- Veículos híbridos (HEV, sigla em inglês de *Hybrid Electric Vehicle*);
- Híbridos *plug-in* (PHEV, sigla em inglês de *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*);
- Veículos 100% elétricos (BEV, sigla em inglês de *Battery Electric Vehicle*).

Esses veículos podem ser veículos de passeio, utilitários, SUVs e comerciais leves. Superar a marca de 100.000 veículos elétricos é uma vitória importante para o setor que vem crescendo muito nos últimos anos, conforme mostra a figura 2.

Figura 2 – Vendas de Veículos Elétricos no Brasil



Fonte: Adaptado de ABVE (2022).

A grande maioria desses veículos elétricos vendidos no Brasil são importados e isso faz com que os veículos elétricos tenham preços de compra muito mais elevados que os modelos a combustão da mesma categoria, mesmo com a isenção de impostos de importação desde de 2017. A tabela 1 mostra os veículos a combustão, elétricos e híbridos mais baratos vendidos no Brasil, no mês de maio de 2022.

Tabela 1 - Veículos mais baratos vendidos no Brasil em maio de 2022

Veículo a combustão	Preço	Veículo elétrico	Preço	Veículo híbrido	Preço
Renaut Kwid	R\$ 59.090,00	Renaut Kwid E-TECH	R\$ 142.990,00	Toyota Corolla	R\$ 154.890,00
Fiat Mobi	R\$ 60.903,00	JAC E-JS1	R\$ 149.900,00	Toyota Cross H.	R\$ 149.900,00
Hyundai HB20	R\$ 71.190,00	JAC lev20	R\$ 159.900,00	Toyota Prius High	R\$ 190.190,00
Fiat Argo	R\$ 70.477,00	JAC lev40	R\$ 189.900,00	Volvo XC40	R\$ 244.950,00
VW Gol	R\$ 72.690,00	Renaut Zoe	R\$ 204.990,00	MINI Cooper SE	R\$ 259.990,00
Chevrolet Onix	R\$ 73.820,00	FIAT 500e	R\$ 239.990,00	Lexus UX Luxury	R\$ 259.990,00
VW Polo	R\$ 75.700,00	MINI Cooper SE	R\$ 239.990,00	Toyota RAV4	R\$ 247.490,00
Hyundai HB20S	R\$ 78.890,00	Peugeot e208GT	R\$ 244.990,00	Honda Accord	R\$ 299.990,00

Fonte: O autor (2022).

Considerando o sub-compacto Renault Kwid, que tem uma versão a combustão e uma versão elétrica (que está na fase de pré-venda), percebe-se que a versão elétrica custa mais do que o dobro da versão a combustão e, em contrapartida, encontra-se o sedã médio Toyota Corolla Altis Hybrid em um preço 8,3% mais caro que o Renault Kwid E-TECH, mas de categoria muito superior e sem a preocupação com a autonomia da bateria, já que se trata de um veículo híbrido, que pode carregar a bateria com o motor de

combustão interna. Esses modelos são mostrados nas figuras 3 e 4.

Figura 3 – Renault Kwid E-TECH



Fonte: Renault (2022).

Figura 4 – Toyota Corolla Altis Hybrid



Fonte: Toyota (2022).

1.4 MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos, alguns autores, tais como Mantovani (2013), Amaral (2018), Silva (2018) e Chiaradia (2015), apresentaram trabalhos científicos que visam a conversão para veículos elétricos.

Mantovani (2013) analisou a cinética e a dinâmica de um VW Saveiro determinando o torque e a potência do motor elétrico para a conversão. Amaral (2018) elaborou um manual detalhado de conversão e regularização de um VW GOL. Silva (2018) levantou variáveis e instruções para a conversão de um VW Fusca. Chiaradia (2015) analisou a viabilidade econômica de veículos elétricos em relação a veículos híbridos e a combustão em vários cenários, como político, econômico, energético e rodoviário.

Analisando os trabalhos supracitados, observa-se que há necessidade de uma

análise baseada em custos de utilização para definir se a conversão é viável economicamente para quem pretende fazer esse investimento.

Portanto, a motivação para o desenvolvimento deste trabalho consiste em apresentar uma metodologia de análise de viabilidade técnica e econômica de conversão de um veículo a combustão interna para veículo elétrico. Para tanto, utiliza-se como base conceitos da engenharia mecânica tais como: equipamentos eletromecânicos, motores de combustão interna e engenharia econômica.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade da conversão de um carro a combustão para um carro elétrico.

1.5.2 Objetivos Específicos

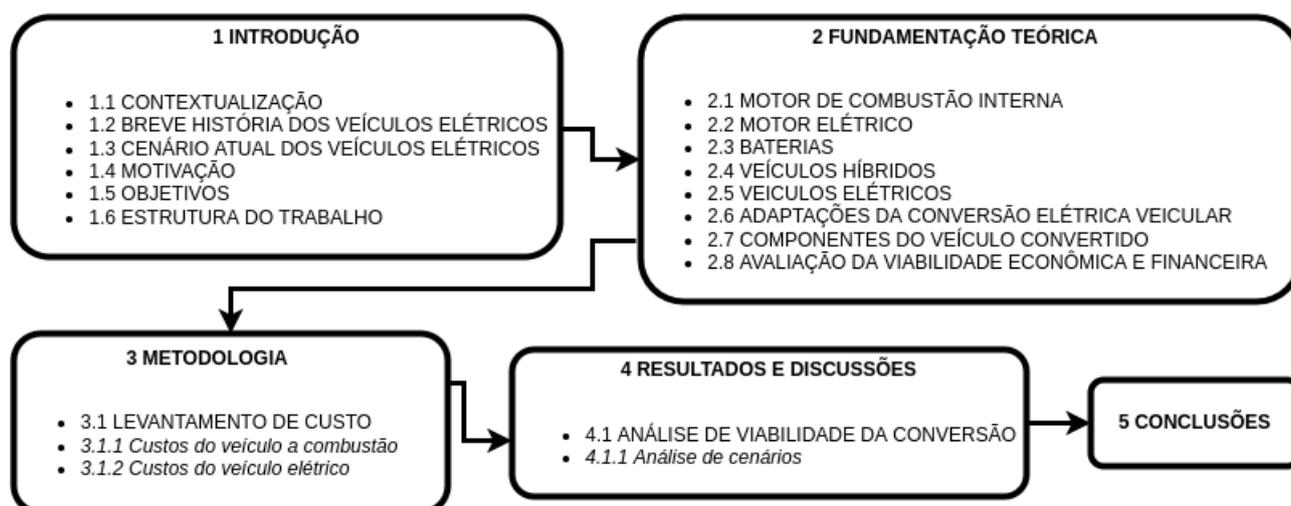
Como objetivos específicos tem-se:

- Apresentar princípios de funcionamento dos veículos a combustão e elétricos;
- Selecionar os equipamentos para a conversão;
- Levantar os custos do veículo a combustão e veículo elétrico;
- Estimar a partir de qual quilometragem anual a conversão é viável;

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho encontra-se estruturado em 5 seções e, para facilitar a compreensão dessa estrutura, a figura 5 traz uma representação gráfica das seções.

Figura 5 – Estrutura do trabalho



Fonte: O Autor (2022).

A presente seção traz a contextualização, uma breve história dos veículos elétricos, o cenário atual dos veículos elétricos, a motivação e objetivos nos quais se baseia este trabalho.

Na seção 2 apresenta-se a fundamentação teórica, sendo revisados os conceitos do motor de combustão interna e do motor elétrico; explicando o funcionamento dos veículos híbridos e elétricos para, então, ser apresentada a conversão elétrica veicular e suas adaptações necessárias. Nessa seção também são apresentadas algumas ferramentas de análise de viabilidade econômica.

A seção 3 trata da metodologia utilizada para o levantamento dos custos de utilização de um veículo a combustão e de um veículo elétrico, além de selecionar os principais equipamentos para a conversão elétrica veicular.

Na seção 4 são descritos e discutidos os resultados alcançados nesse trabalho por meio do levantamento e análise dos custos do veículo a combustão e do veículo convertido em um cenário base, a fim de compreender a economia gerada por utilizar um veículo convertido ao invés de um veículo a combustão e, por meio de vários cenários de quilometragens anuais distintas, perceber qual a quilometragem que permite que a conversão seja viável.

A conclusão é apresentada na seção 5, onde são feitas as considerações acerca dos levantamentos e das análises realizadas, dos resultados obtidos e dos trabalhos futuros com base nos resultados e discussões apresentados ao longo do trabalho.

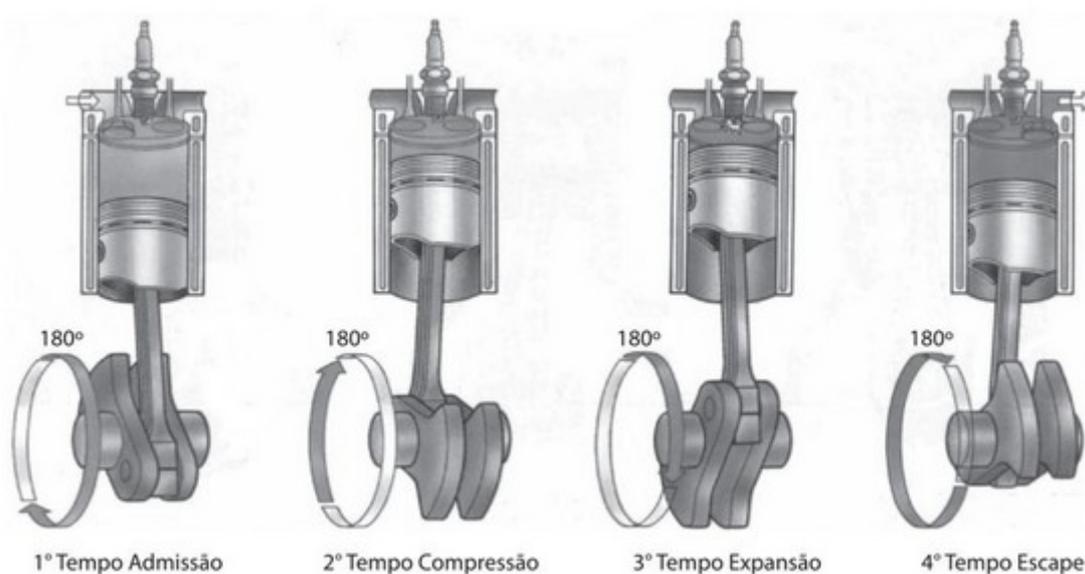
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Antes da análise da conversão elétrica veicular, se faz necessário revisar os conceitos básicos dos motores a combustão interna (MCI), motor elétrico (ME) e dos veículos que utilizam esses tipos de motores para um melhor entendimento acerca da conversão de um veículo a combustão para um veículo elétrico. Pois, alguns sistemas, como de auxiliar de frenagem e sistema ar condicionado, utilizam energia proveniente do MCI e esses sistemas precisam ser supridos.

2.1 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

O motor de combustão interna (MCI) é uma máquina térmica que transforma a energia química contida no combustível em energia mecânica, térmica e sonora, por meio de combustão do combustível dentro da câmara do pistão, que produz o deslocamento do êmbolo fazendo a manivela girar e produzir a energia mecânica rotacional no eixo. Nos veículos de passeio é mais comum que o MCI use o ciclo de funcionamento Otto, ilustrado na figura 6, mas também temos o ciclo Diesel que é mais utilizado em caminhonetes, SUVs e veículos *off-road* (DA SILVEIRA, 2008).

Figura 6 – Etapas do ciclo Otto



Fonte: Brunetti (2018).

O ciclo Otto de 4 tempos, tem 4 etapas de movimentação do êmbolo que permitem seu funcionamento. Na primeira etapa, etapa de admissão, o êmbolo está no ponto morto

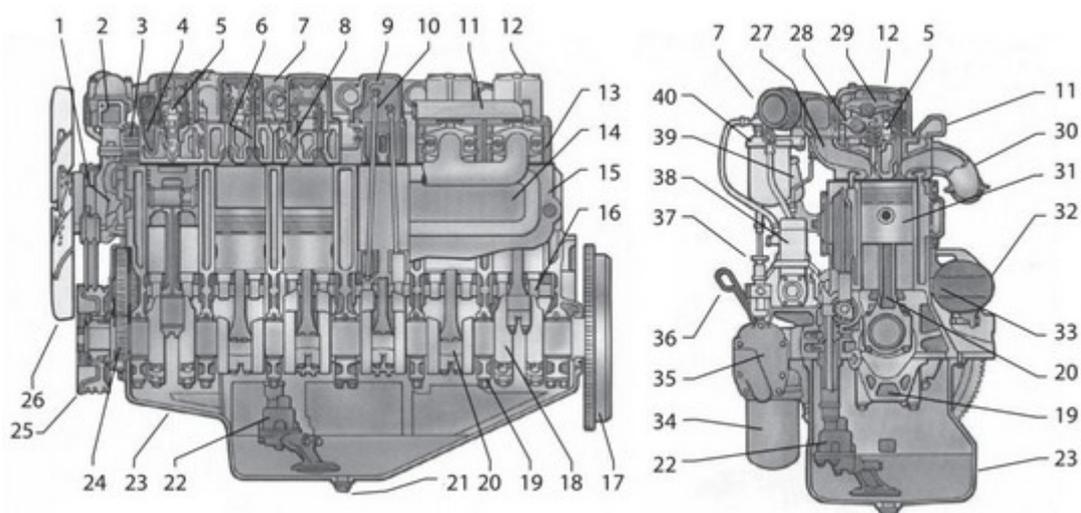
superior (PMS) e seu movimento de descida, proveniente do ciclo anterior ou do motor de partida, expande a camada de combustão fazendo a sucção da mistura ar e combustível para dentro da câmara de combustão por meio de válvulas, essa etapa dura até o êmbolo chegar próximo ao ponto morto inferior (PMI).

Na segunda etapa, etapa de compressão, o êmbolo está em movimento de subida fazendo a compressão da mistura ar combustível até que o pistão chegue próximo ao PMS. Na terceira etapa, etapa de expansão, a mistura de ar e combustível que está comprimida recebe uma centelha por meio da vela de ignição, a centelha gera a combustão fazendo que o êmbolo se movimente para baixo devido a expansão do volume da câmara de combustão. É nessa etapa que a energia química do combustível é convertida em energia mecânica.

Na última etapa, etapa de exaustão, os gases resultantes da combustão são expelidos da câmara de combustão por meio de válvulas devido ao movimento de subida do êmbolo até o PMS e, com isso, pronto para começar mais um novo ciclo. A diferença básica entre o ciclo Otto e o ciclo Diesel é que apenas ar é comprimido na etapa de compressão e o combustível é injetado com a câmara pressurizada causando a combustão, sem o auxílio de uma centelha na etapa de expansão (DA SILVEIRA, 2008).

O MCI dos automóveis, e motocicletas de maior potência, tem vários pistões, conforme figura 7, associados e sincronizados na árvore de manivelas, popularmente conhecido como virabrequim.

Figura 7 – Motor de combustão interna



Fonte: Brunetti (2018).

Esse motor precisa de muitos sistemas periféricos para o seu funcionamento correto e para redução de poluição e ruído, sendo alguns deles (DA SILVEIRA, 2008):

- Sistema de arrefecimento (reservatório de expansão, bomba d'água, mangueiras, válvula termostática, e trocador de calor);
- Sistema de lubrificação (bomba de óleo, filtro de óleo e óleo lubrificante);
- Sistema de alimentação de combustível (tanque, bomba de combustível, mangueiras e válvulas injetoras);
- Sistema de ignição (bobina, cabos e velas de ignição);
- Sistema de admissão de ar (filtro de ar, tubulação, corpo de borboleta e coletor de admissão);
- Sistema de partida (motor de partida e engrenagem no volante do motor);
- Sistema de alimentação elétrica (alternador, regulador de tensão, baterias, cabos e conexões);
- Sistema de controle de funcionamento (central eletrônica computadorizada, sensores e atuadores);
- Sistema de catalisação (catalisador e sensores de oxigênio);
- Sistema de transmissão (embreagem, cabos e caixa de transmissão).

Ao acionar a ignição, popularmente conhecido como ligar o contato, o sistema de alimentação de combustível é acionado e ao dar a partida os sistemas de ignição e de partida trabalham em conjunto com o de alimentação de combustível para o motor funcionar, sendo gerenciados pela central eletrônica. O sistema de arrefecimento permite que o motor trabalhe na temperatura ideal (aproximadamente 90°C) e os outros sistemas cumprem seus papéis (DA SILVEIRA, 2008).

Devido às muitas partes móveis e muitos sistemas periféricos, o motor de combustão interna tem uma menor confiabilidade e um maior custo de manutenção em comparação com o motor elétrico. O rendimento de um MCI é muito baixo em comparação com o rendimento do ME, pois a maior parte da energia retirada do combustível se transforma em calor e ruído e somente cerca de 35% se transforma em energia mecânica. Mesmo com todos os avanços tecnológicos, o motor de combustão interna tem uma eficiência energética baixa em comparação com o ME (SILVA, 2018).

Pode se comparar o MCI a uma lâmpada incandescente residencial, pois tem um alto desperdício de energia em calor, sendo que não é esse o seu principal propósito; o ME pode ser comparado a lâmpada LED, que consegue converter a maioria da energia

elétrica em luminosidade com baixíssimo desperdício e uma excelente durabilidade. Assim o MCI não é a máquina ideal para ser o propulsor de um veículo de passeio e o ME tem bastante potencial para substituí-lo nas próximas décadas.

2.2 MOTOR ELÉTRICO

O motor elétrico (ME) é uma máquina rotativa que converte a energia elétrica em energia mecânica de rotação por meio da manipulação de campos eletromagnéticos para rotacionar um rotor. O motor elétrico, particularmente de corrente alternada assíncrono ou motor de indução, é uma máquina muito mais simples em relação ao MCI, porém tem alguns sistemas periféricos que são (BARBI, 1985):

- Sistema de alimentação de energia (baterias, cabos e conexões);
- Sistema de controle (inversor de frequência).

No funcionamento do ME o campo magnético nas bobinas do estator (parte fixa) gerado pela corrente elétrica de entrada excita um campo magnético no rotor (parte rotativa) fazendo que o mesmo gire no seu eixo. O ME tem um rendimento mínimo de 90%, sendo uma grande vantagem energética em relação ao MCI, pois consegue converter boa parte da energia recebida (BARBI, 1985). O ME não precisa de um sistema de lubrificação complexo, pois utiliza mancais de rolamento na união do eixo a carcaça e, por ter apenas uma peça móvel, o rotor em azul na figura 8, tem uma maior confiabilidade e custo de manutenção drasticamente reduzido em relação ao MCI.

Figura 8 – Motor elétrico



Fonte: WEG (2018).

O ME pode ser controlado por um inversor de frequência, que permite que o motor trabalhe em uma faixa bem mais larga de velocidades do que o MCI, sem tanto prejuízo em sua eficiência. Essa larga faixa de velocidade do ME permite que, nos veículos elétricos, não seja necessária uma transmissão complexa com várias relações de transmissão para diversas faixas de velocidade como no MCI.

2.2.1 Inversor de Frequência

O inversor de frequência, mostrado na figura 9, é uma máquina eletrônica que permite o controle do motor elétrico por meio de alterações na tensão e frequência da corrente elétrica para controlar a velocidade e a torque do motor. É possível que o inversor seja facilmente programado para que o motor tenha o comportamento adequado para qualquer estado de funcionamento (FRANCHI, 2009). Tal programação é importante, pois não é seguro que o motor elétrico arranque com potência máxima, pois pode-se perder o controle do veículo e causar um acidente.

Figura 9 – Inversor de frequência



Fonte: WEG (2018).

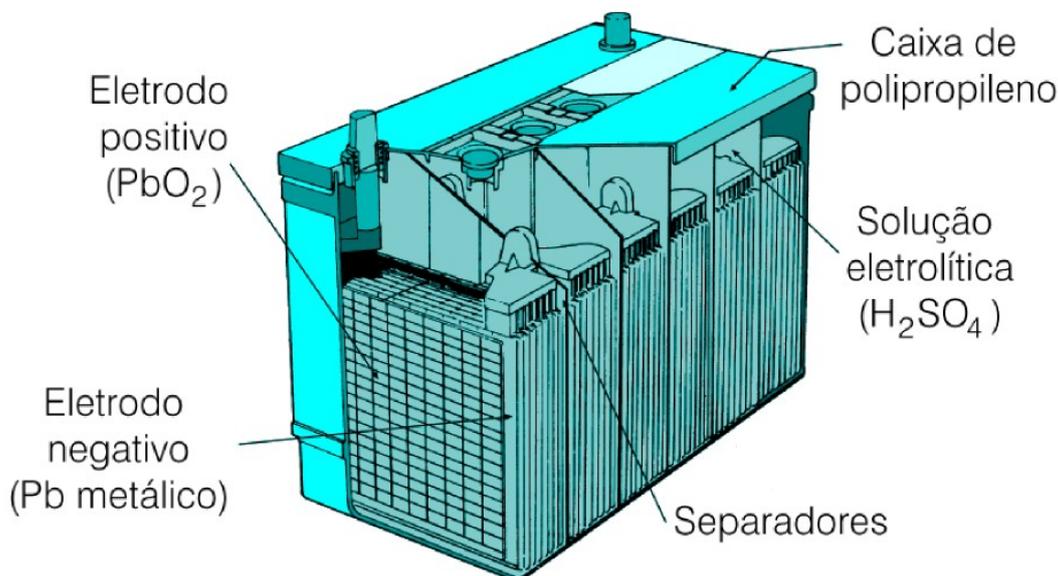
O inversor de frequência se faz necessário no veículo elétrico pois o motor elétrico tem uma velocidade de rotação ideal de funcionamento para cada tensão e frequência de oscilação da corrente, com isso o inversor permite que o motor funcione em velocidade variável com a melhor eficiência possível.

2.3 BATERIAS

Uma bateria é um acumulador de energia química e é formada por uma ou mais células eletroquímicas, conforme ilustrado na figura 10. Essas células podem ser ligadas em série ou em paralelo, ou em uma combinação de ambas. Por meio de reações eletroquímicas, a energia química armazenada nessas células é convertida em energia

elétrica, que é transmitida para um circuito externo através de seus eletrodos da bateria (TRINDADE, 2006).

Figura 10 – Diagrama de uma bateria



Fonte: adaptado de Bocchi; Ferracin; Biaggio (2000).

As baterias de chumbo/ácido são os modelos de baterias mais comuns que equipam os automóveis em geral. O dióxido de chumbo reage com ácido sulfúrico durante o processo de descarga gerando sulfato de chumbo e água (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

Para o uso em carros elétricos, a bateria de chumbo/ácido é uma opção mais acessível financeiramente, mas, devido a sua baixa densidade energética em comparação com outros tipos de baterias, esse tipo de bateria é utilizado em veículos com baixa autonomia. Pois, para maiores autônominas, o excesso de peso diminuiria drasticamente o rendimento do veículo.

As baterias de Níquel-Cádmio (Ni-Cd) apresentam uma melhor densidade energética, mas devido ao Cádmio, por ser altamente tóxico, ela vem sendo substituída pelas baterias de Níquel-Hidreto Metálico (Ni-HM) e as baterias de lítio (BARANDAS, 2007).

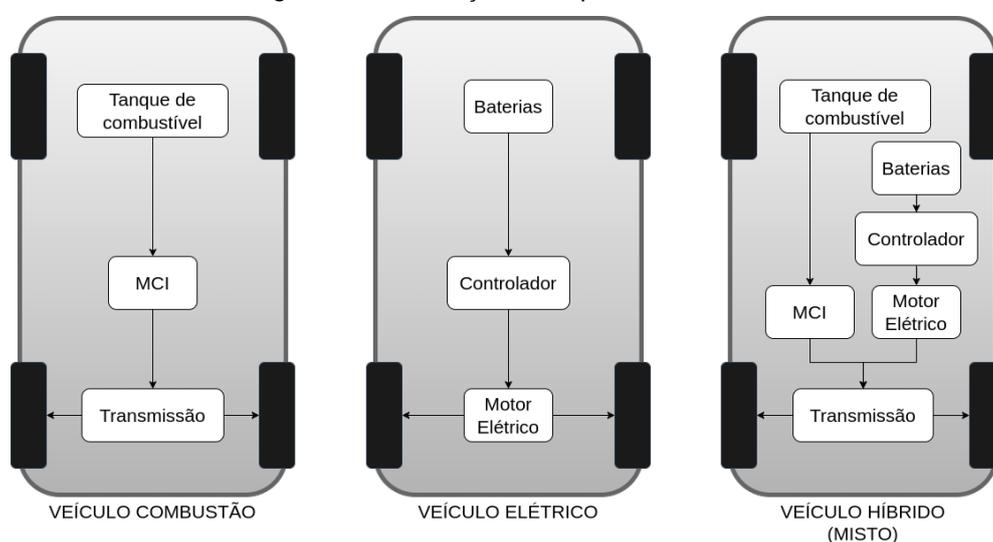
De acordo com Santana (2014), as baterias de Lítio (Li) superaram as outras baterias devido ao Lítio ser menos tóxico, por ter maior densidade energética, elevada tensão, baixa taxa de autodescarga e facilidade de fabricação. A bateria de Li-Po é uma versão mais moderna da bateria de Li com a adição de polímero. Se diferencia dos outros sistemas de baterias devido ao tipo de eletrólito usado, pois utiliza um eletrólito sólido no

lugar do separador poroso tradicional. O uso de polímero seco permite uma fabricação mais fácil e segura e, ainda possibilita a produção de baterias com geometrias de perfil fino e plano (SAUSEN, 2012).

2.4 VEÍCULOS HÍBRIDOS

Os veículos híbridos têm os dois motores, motor de combustão interna (MCI) e motor elétrico (ME) e buscam utilizá-los da forma mais eficiente possível. Os tipos de veículos são ilustrados na figura 11.

Figura 11 – Ilustração dos tipos de veículos

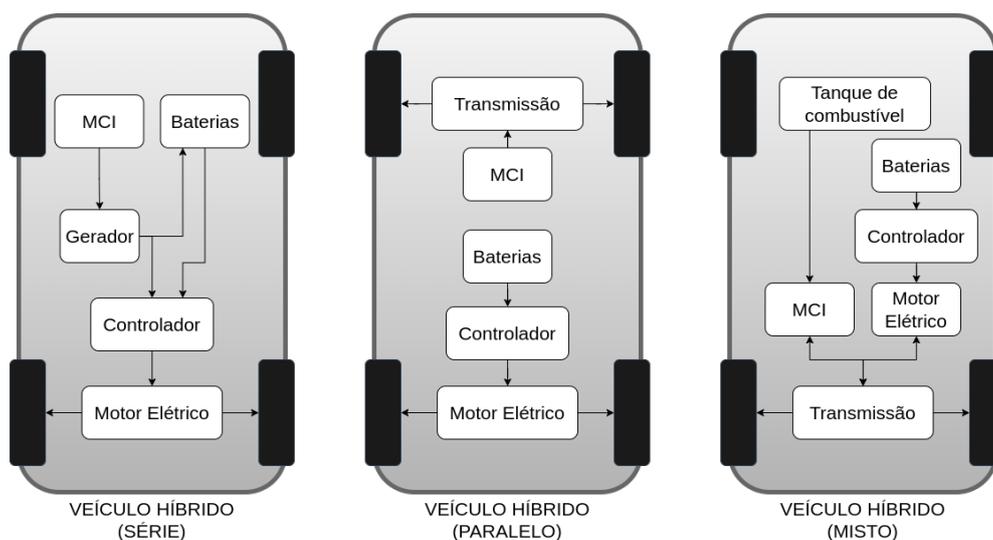


Fonte: O autor (2022).

O veículo híbrido na configuração mais utilizada, no caso da configuração mista, o ME toma o lugar do motor de partida e fica localizado junto à transmissão, para que possa rotacionar o mesmo eixo que o MCI. Tal configuração consegue economizar combustível quando está parado no trânsito, ter uma bateria menor em relação ao veículo elétrico, por não ser a única fonte de energia, e pode contar com carregamento da bateria pelo fornecimento de energia do MCI e de uma tomada doméstica, nas versões *plug-in*.

Os veículos híbridos podem ter três configurações em relação ao funcionamento do MCI e do ME, sendo: série, paralelo e série paralelo (misto), conforme pode ser visto na figura 12.

Figura 12 – Tipos de veículos híbridos



Fonte: Autor (2022).

No veículo híbrido em série, o MCI é acoplado a um gerador para fornecer energia elétrica para carregar as baterias. Apenas o ME é acoplado a transmissão de potência para as rodas do veículo. Essa configuração permite a melhor eficiência do MCI, pois o mesmo trabalha em rotação fixa, além de não necessitar de uma bateria tão grande quanto os outros modelos, já que utiliza o MCI como fonte de energia principal. Essa configuração tem a desvantagem de não obter a potência mecânica do MCI diretamente ligada às rodas, apenas a potência do ME será utilizada no deslocamento de veículo.

No veículo híbrido em paralelo, o MCI e o ME podem transmitir potência ao veículo de forma independente. Nesse caso, o ME acaba se tornando um assistente do MCI, pois no caso de cargas de utilização menores ele é utilizado.

No veículo híbrido em série paralelo, ou misto, o MCI é acionado quando há necessidade de potência ou de recarregar as baterias, para que seja possível utilizar o ME. O próprio ME é utilizado como gerador quando o MCI é acionado, permitindo que as baterias sejam recarregadas e isso elimina a preocupação com a autonomia das baterias, pois, enquanto houver combustível, haverá possibilidade de recarregar as baterias. Essa é a configuração mais utilizada atualmente, pois permite uma melhor eficiência do conjunto de motores de acordo com a utilização.

O freio regenerativo está presente na maioria dos veículos híbridos, pois tal sistema permite converter parte da energia cinética do veículo em energia elétrica para recarregar a bateria. Quando o condutor deixa de acionar o pedal do acelerador e/ou aciona o pedal de freio, seja numa descida ou devido ao fechamento de um semáforo, o

sistema reconhece e utiliza o ME como gerador de energia para aproveitar parte da energia cinética ao mesmo tempo que aciona o sistema de frenagem para garantir a segurança da condução do veículo. O freio regenerativo permite um acréscimo da autonomia do veículo utilizando o ME e economiza combustível fóssil. O mesmo sistema de freio regenerativo é utilizado nos veículos elétricos.

Todos os veículos híbridos podem ser *plug-in*, o que permite que ele possa receber energia elétrica da rede doméstica ou de estação de carregamento para carregar a bateria. Vai depender se o fabricante instalou um carregador ao veículo para converter a energia da rede (CA) em energia para carregar a bateria (CC).

Infelizmente, o veículo híbrido ainda não é acessível para a maioria da população brasileira, devido ao seu alto preço de venda. Tal preço foi mostrado, anteriormente, na tabela 1.

2.5 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os veículos elétricos utilizam apenas o motor elétrico (ME) como máquina de propulsão e, devido às características do ME, não necessitam de uma transmissão complexa como a dos veículos a combustão. Alguns modelos contam com um redutor, com relação fixa, para melhorar a condução do veículo na partida, mas outros não fazem uso desse equipamento e o ME tem um eixo diretamente conectado com as rodas do veículo.

A bateria do veículo elétrico é maior e mais pesada que a bateria do veículo híbrido, pois ela é a única fonte de energia do veículo. Além do peso elevado, o custo da bateria ainda representa a maior parcela nos custos de produção do veículo elétrico e esse fato é o que ainda impede que o veículo elétrico seja popularizado. Com o avanço da tecnologia, as baterias têm aumentado sua densidade energética e diminuído seu custo e isso tem elevado a autonomia e diminuído o preço dos veículos elétricos. O que traz otimismo em relação ao futuro dos veículos elétricos, pois a tendência é que o avanço tecnológico aumente a viabilidade de implementação desses veículos.

Uma grande preocupação em torno dos veículos elétricos é a autonomia de rodagem com uma carga de bateria, que atualmente é cerca de 300 km, pois os veículos a combustão têm cerca de 540 km de autonomia e com uma rede bem estruturada de postos de combustível. Portanto, a autonomia não é uma preocupação nos veículos a combustão. Mas, o que passa despercebido é que poucas pessoas rodam tantos quilômetros diariamente e isso faz com que essa autonomia não seja tão vantajosa em

trajetos urbanos, mas apenas em longas viagens, que tendem a ser feitas de avião e não de carro.

A KBB Brasil, empresa especializada em pesquisas no setor automotivo, e muitas outras instituições internacionais já provaram que a média de trajeto veicular diário das pessoas nas grandes cidades não passa de 50 km, e em alguns lugares é bem menor que isso. Por isso, a autonomia do veículo elétrico não é uma desvantagem legítima, já que a maioria das pessoas não costuma fazer longas viagens de carro todos os dias.

2.6 ADAPTAÇÕES DA CONVERSÃO ELÉTRICA VEICULAR

Com os conceitos do MCI e do ME revisados, a compreensão das adaptações necessárias para a conversão elétrica veicular fica facilitada.

A conversão consiste em retirar o motor de combustão interna do veículo e seus sistemas periféricos, que não serão mais utilizados, e instalar o motor elétrico e seus periféricos (SILVA, 2018). Essa retirada é importante para dar espaço ao motor elétrico e seus sistemas periféricos. Antes da retirada desses componentes é importante recolher algumas informações dos sistemas que precisarão de adaptações devido à ausência do MCI. Tais sistemas são:

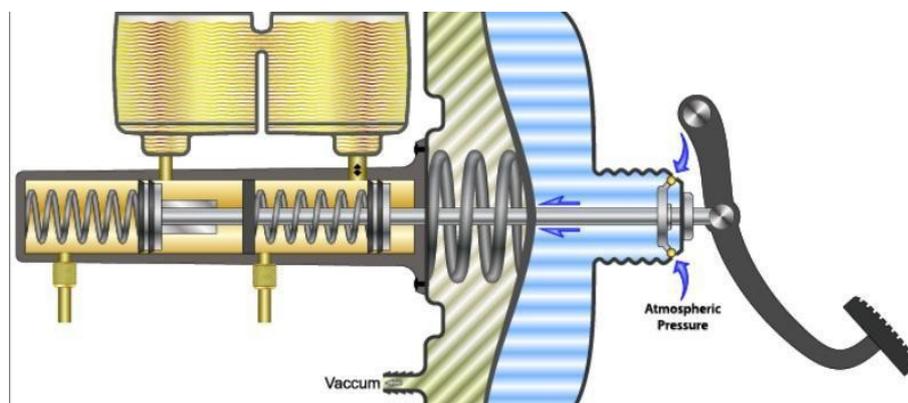
- Sistema de frenagem;
- Sistema de ar condicionado;
- Sistema de direção;
- Sistema de frenagem;
- Sistema de ar condicionado;
- Sistema de direção;
- Sistema de arrefecimento;
- Sistema de alimentação de energia;
- Sistema de transmissão.

2.6.1 *Adaptação do Sistema de Frenagem*

O auxiliar de frenagem, mais conhecido como hidrovácuo, necessitará de uma adaptação, pois utiliza de vácuo (depressão) produzido no coletor de admissão de ar do MCI para auxiliar no acionamento do freio, para que não seja necessária tanta força do condutor do veículo, conforme ilustrado na figura 13. Tal adaptação pode ser feita com

uma pequena bomba de vácuo elétrica na mesma pressão do coletor de admissão na marcha lenta do MCI. Para obter essa pressão, é necessário fazer a medição na mangueira do hidro vácuo antes da desmontagem.

Figura 13 – Diagrama do Hidrovácuo

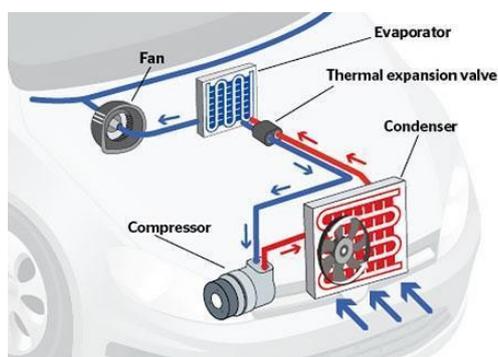


Fonte: Breque (2020).

2.6.2 Adaptação do Sistema de Ar Condicionado

O sistema de ar condicionado é uma máquina térmica que retira o calor da cabine dos ocupantes. Para algumas localidades é um sistema muito importante para os condutores, ainda mais na região nordeste do Brasil. Ele é constituído de compressor, condensador, evaporador, válvula de expansão e de tubulações, conforme figura 14.

Figura 14 – Diagrama sistema de ar condicionado



Fonte: RAC (2022).

O compressor é acionado pelo MCI, que fornece energia para comprimir e deslocar o fluido refrigerante nas tubulações para retirar calor da cabine dos ocupantes, por meio do evaporador, e transportá-lo para o exterior do veículo, através do condensador.

O sistema de ar condicionado do veículo, se houver, precisará ser adaptado, pois ele utiliza o motor para acionar o compressor do sistema de ar condicionado. Para essa adaptação, é necessário um pequeno motor elétrico auxiliar, além do motor elétrico principal, para acionar o compressor enquanto o veículo estiver sendo utilizado, mesmo que esteja parado no trânsito. O funcionamento deste motor será, sem dúvida, o maior gasto energético do veículo enquanto estiver parado e, por isso, essa adaptação deve ser muito bem projetada para satisfazer a necessidade de torque e velocidade de rotação do compressor com o menor gasto de energia possível. Os veículos híbridos também utilizam motores elétricos para o acionamento do compressor do ar condicionado.

2.6.3 Adaptação do Sistema de Direção

A direção mecânica é um mecanismo que permite que o condutor esterça as rodas dianteiras, possibilitando que o veículo faça curvas e manobras, como as manobras para estacionar. Esse mecanismo é constituído, basicamente, de um pinhão e cremalheira que convertem a rotação do volante na cabine do condutor para movimento retilíneo dos braços da direção que conectam a cremalheira às rodas dianteiras. A direção pode ter um assistente que possibilita que o condutor manobre o veículo aplicando pouca força para girar o volante, tornando a condução do veículo mais confortável.

A direção hidráulica é o nome dado a direção que tem a assistência de um pistão hidráulico para que o condutor não precise exercer tanto esforço no volante para esterçar as rodas. O cilindro hidráulico é localizado na caixa de direção e exerce força nos braços da direção em associação e sincroniza a força exercida pelo pinhão.

O sistema da direção hidráulica precisa de uma bomba hidráulica acoplada ao motor que pressuriza o fluido para exercer a assistência, além de necessitar de um reservatório e tubulações, conforme mostrado na figura 15. Esse sistema é antiquado e com problemas de vazamento nas tubulações, como a maioria dos sistemas hidráulicos. Também um sistema pouco eficiente, pois a bomba hidráulica está sempre acoplada ao motor e retirando energia mecânica do sistema, mesmo quando não é necessário a assistência na direção.

Figura 15 – Direção Hidráulica



Fonte: Dias; Rodriguez (2021).

A direção elétrica é o nome dado a direção que tem a assistência de um servo motor que exerce a assistência na direção. O servo motor pode estar localizado na coluna direção, conforme figura 16, ou acoplado a caixa de direção. Ambos em associação e sincronia com o movimento do pinhão da coluna de direção. Esse sistema é mais leve e com maior confiabilidade devido à ausência de tubulações e de uma bomba. Esse sistema é mais eficiente que o hidráulico, pois só é acionado quando há necessidade e utiliza energia elétrica, sem afetar a performance do MCI.

Figura 16 – Direção Elétrica



Fonte: Dias; Rodriguez (2021).

A direção elétrica permite que o sistema de direção seja controlado para assistente de estacionamento, manutenção de faixa e condução semi autônoma e autônoma, pois consegue esterçar o volante sem a ajuda do condutor.

O sistema de direção do veículo pode ser afetado se ele for equipado com direção hidráulica, mas se ele for mais moderno e contar com direção elétrica, ou não tiver

assistência na direção, não precisará de adaptação.

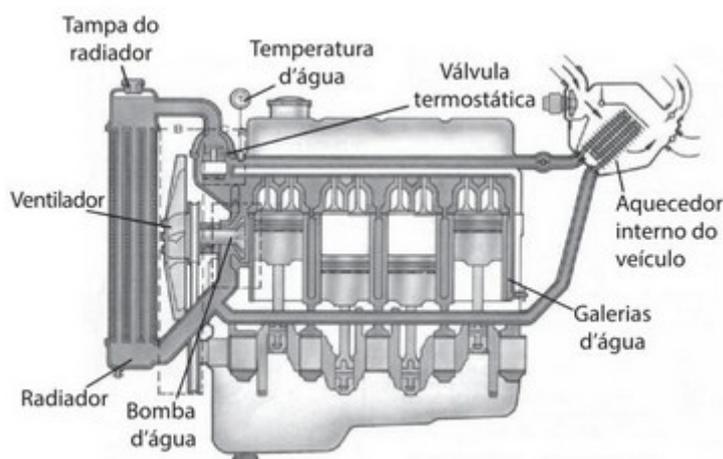
No caso da direção elétrica, a assistência é feita por um servo motor que fica acoplado à coluna de direção atrás do volante e por isso não é necessário fazer adaptações.

Para a adaptação do sistema de direção hidráulica, pode ser usado o mesmo motor utilizado para a adaptação do sistema de ar condicionado, ligando as polias por meio de correias, como ocorria no motor de combustão interna. O projeto desse motor deve considerar o torque e a rotação de cada componente associado a ele. Essa característica de assistência à direção é importante na escolha do modelo a ser convertido.

2.6.4 Sistema de Arrefecimento

O sistema de arrefecimento do MCI será totalmente retirado, mas será necessário fazer uma adaptação para suportar o trocador de calor do ar condicionado, que fica acoplado ao trocador de calor do sistema de arrefecimento (radiador na figura 17), que fica posicionado na dianteira do veículo.

Figura 17 – Diagrama sistema de arrefecimento



Fonte: adaptado de Brunetti (2018).

O sistema de arrefecimento também conta com um sistema de aquecimento para a cabine dos ocupantes. Esse sistema é constituído por um trocador de calor dentro da cabine, que permite que o calor do líquido de arrefecimento possa ser compartilhado com a cabine. Esse sistema é importante para regiões frias, mas, devido a remoção do sistema de arrefecimento, essa comodidade será perdida no veículo convertido. Esse

aspecto gera uma limitação regional na conversão elétrica veicular.

2.6.5 *Sistema de Alimentação de Energia*

O sistema de alimentação de energia e de partida necessitam ser retirados. O alternador e o motor de partida serão substituídos pelo ME principal, que terá duas funções. Durante o funcionamento, o ME alimentará a transmissão de potência mecânica para o deslocamento do veículo e, durante as frenagens, o ME transformará parte da energia cinética em energia elétrica para a bateria, funcionando como um gerador.

2.6.6 *Sistema de Transmissão*

O sistema de transmissão, seja manual ou automático, não precisa ser alterado, já que ele pode ser utilizado para suportar o ME e a transmissão pode permitir que usemos um ME menor e menos potente, possibilitando economia de peso, dinheiro e energia elétrica. Sendo necessária apenas uma adaptação no eixo do ME para ser compatível com a embreagem, no caso da transmissão manual. E, para transmissão automática, será necessária a adaptação para o acoplamento com o conversor de torque.

2.6.7 *Outras Adaptações*

Além dos sistemas periféricos do MCI, é necessário que haja adaptações para sustentação do motor e das baterias na carroceria, além da fixação dos mostradores de tensão e corrente para monitoramento no painel de instrumentos.

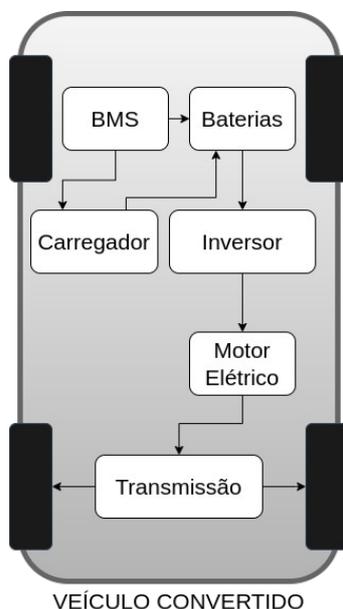
2.7 COMPONENTES DO VEÍCULO CONVERTIDO

Para o funcionamento do veículo convertido, esses são os principais equipamentos necessários:

- Motor elétrico e inversor de frequência;
- Banco de baterias;
- Módulo de controle do banco de baterias (BMS);
- Conversor CC-CC para os sistemas auxiliares;
- Carregador para recarregar as baterias na rede elétrica;
- Mostradores de tensão e corrente do banco de baterias;
- Cabos e conexões elétricas.

A figura 18 mostra uma representação de alguns desses componentes.

Figura 18 – Diagrama carro convertido



Fonte: O autor (2022).

2.8 AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

A viabilidade econômica e financeira da conversão do veículo a combustão para elétrico será estabelecida analisando indicadores financeiros que mostrarão se o investimento é viável.

Tais indicadores são o Valor Presente Líquido, Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE), Índice Benefício/Retorno (IBC) e o Retorno Sobre Investimento (sigla em inglês, *Return Over Investment* – ROI).

2.8.1 Valor Presente Líquido

O valor presente líquido, VPL, é uma ferramenta financeira que é utilizada para analisar se um investimento é viável financeiramente, levando em consideração o valor do dinheiro em relação ao tempo (GITMAN, 2004). O VPL permite ter uma estimativa do retorno de um investimento em relação ao fluxo de caixa de determinados períodos, que são influenciadas por uma taxa de juros (MARQUEZAN; BRONDANI, 2006).

$$VPL = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad (2.1)$$

Onde:

- VPL é o valor presente líquido;
- I_0 é o investimento inicial;
- FCj é o fluxo de caixa no j-ésimo período;
- n é o número total de períodos analisados;
- i é a taxa de desconto aplicada para todos os períodos.

O VPL com valor positivo mostra que o investimento tem um retorno financeiro maior que se o investimento fosse feito em renda fixa com a taxa de juros i. Se o VPL for negativo, indica que o investimento não tem um retorno financeiro vantajoso nas mesmas condições.

2.8.2 Taxa Mínima de Atratividade

A taxa mínima de atratividade, TMA, é a taxa da menor rentabilidade desejada para a rentabilidade de um negócio. A TMA é a taxa de desconto, i, ao se calcular o VPL (AVILA, 2013). Geralmente essa taxa é maior que a inflação, pois a inflação é a taxa mínima que qualquer investimento deve superar.

2.8.3 Valor Anual Uniforme Equivalente

O Valor Anual Uniforme Equivalente, VAUE, ou VPL anualizado, informa o retorno anual proporcionado pelo investimento. Da mesma forma que o VPL, o VAUE utiliza uma taxa de desconto, i, nos períodos, n. O VAUE é definido pela seguinte fórmula:

$$VAUE = \frac{VPL * i(1+i)^n}{(1+i)^n} \quad (2.2)$$

Quando o VAUE é negativo indica prejuízo e quando é positivo indica lucro a cada ano do negócio.

2.8.4 Índice Benefício/Custo

O Índice Benefício/Custo, IBC, é a taxa que evidencia o benefício em relação ao custo, ou seja, qual a porcentagem desse benefício em relação ao custo. O IBC é definido

da seguinte forma:

$$IBC = \frac{VPL(\text{Benefícios})}{VPL(\text{Custos})} \quad (2.3)$$

Se o IBC for igual a 1 o benefício é igual ao custo, sendo menor que 1 indica prejuízo e maior que 1 indica lucro. Por exemplo, se o IBC for igual a 1,25, indica que para cada real investido nesse negócio foram retornados R\$ 1,25.

Como o IBC utiliza o VPL dos benefícios e dos custos permite que o índice considere a desvalorização do capital com o passar do tempo.

2.8.5 Retorno Sobre Investimento

O Retorno Sobre Investimento, ROI, ou ROI anualizado, é uma taxa que mede o retorno relativo ao investimento. É uma porcentagem do que foi investido (custo) que foi retornado com a receita.

$$ROI = (IBC)^{1/n} - 1 \quad (2.2)$$

Quando o ROI é negativo, significa que o investimento ainda não foi retornado, pois o custo ainda é maior que a receita, ou benefício. Quando o ROI é zero, o investimento foi retornado. Quando o ROI é positivo, a receita é maior que o custo e isso significa que está havendo lucro, pois a receita superou o valor do custo.

3 METODOLOGIA

Este trabalho busca explorar as variáveis do processo de conversão de um veículo a combustão para um veículo elétrico, com análise de cenários que permita uma melhor compreensão dessas variáveis.

O estudo vai englobar dois tipos de veículos. Sendo eles:

- Veículo a combustão equipado com um MCI;
- Veículo convertido para elétrico.

Analisar esses dois modelos permite a escolha do melhor veículo, de acordo com a quilometragem rodada anual.

Segundo a empresa KBB Brasil, em 2019 a média de km rodado por ano no Brasil era de 12.900 km, no primeiro ano de uso do veículo. Com essa informação, pode-se estimar os custos dos diversos tipos de veículos em 10 anos para, então, comparar os custos totais e determinar os cenários onde tais tipos de veículos são mais viáveis economicamente.

As baterias de Lítio têm por volta de 10 anos de vida útil e de garantia do fabricante, em função disso, foi escolhido o período de análise de 10 anos para incluir no levantamento de custos, considerando a substituição das baterias, que é um grande obstáculo para a popularização dos veículos elétricos, pois é um dos maiores temores de quem pensa em ter um veículo elétrico.

Adquirir um veículo novo para a conversão é inviável, pois o custo da aquisição é alto e isso diminuiria drasticamente a possibilidade de viabilização financeira da conversão, além da conversão acarretar na perda da garantia do fabricante em relação ao veículo. Atualmente, o veículo mais barato vendido no Brasil é o Renault Kwid, na versão *Zen*, que custa cerca de R\$ 59.090, o modelo conta com ar condicionado e direção elétrica (MIRAGAYA, 2022).

Por outro lado, adquirir um veículo usado para a conversão seria uma melhor escolha, já que o custo de aquisição de um veículo usado é bem menor do que o custo de um veículo novo. Por exemplo, um veículo Renault Kwid 2018, versão *Life*, custa cerca de R\$ 38.762,00, o modelo é bastante básico e não conta com ar condicionado e também não possui assistente de direção, porém é cerca de 34% (R\$ 20.328) mais barato que a versão mais barata do Renault Kwid novo (FIPE, 2022).

Em contrapartida, escolher um veículo mais antigo e mais barato poderia acarretar em dificuldades na obtenção de peças de reposição. Por isso, para converter modelos mais antigos, é indicado a escolha de veículo de larga produção nacional, que ainda possua bastante unidade rodando no país e que a indústria de autopeças ainda produza peças de reposição. Por exemplo, o VW Fusca é um modelo com mais de 50 anos de idade de fabricação, mas que ainda é possível encontrar peças de reposição no mercado.

Diante do exposto, o modelo escolhido, no presente trabalho, para a análise da conversão elétrica veicular é o Renault Kwid 2018, anteriormente citado e mostrado na figura 19, pois é um veículo pequeno e leve, permitindo que seja convertido utilizando um motor elétrico pequeno e uma quantidade menor de baterias em relação a um veículo maior e mais pesado, tornando, assim, o veículo mais eficiente do ponto de vista energético.

Figura 19 – Renault Kwid 2018



Fonte: Heycar, 2019.

Com a escolha do modelo, é possível obter os valores de compra do veículo, custo de IPVA, depreciação, o custo da conversão e os custos de utilização.

Os custos de utilização do veículo são o grande montante de gastos de um veículo com o passar dos anos. Os custos de utilização são os custos com combustível (rodagem) e manutenção. O acumulado dos custos de rodagem pode superar o preço de compra do veículo em poucos anos, dependendo da quilometragem anual rodada.

Com a quilometragem anual, o preço do combustível e da manutenção, é possível

calcular o custo de utilização do veículo a combustão. Com o preço da energia elétrica e a estimativa de rendimento do veículo, é possível calcular os custos de utilização do veículo elétrico.

Outro custo importante a ser considerado é o da depreciação dos veículos em relação ao tempo, pois o veículo perde valor de mercado e se deteriora com o passar do tempo. É preciso considerar, também, o valor residual do veículo no final do período analisado. A depreciação anual segue a fórmula abaixo:

$$\text{Depreciação anual} = \frac{\text{Valor atual} - \text{Valor residual}}{n^{\circ} \text{ de anos}} \quad (3.1)$$

O “valor atual” corresponde ao valor de mercado do veículo atualmente. O “valor residual” corresponde ao valor estimado no fim da vida útil do veículo. O “nº de anos” corresponde a quantidade de anos que ainda restam para o fim da vida útil do veículo.

A taxa de juros aplicada ao cálculo do VPL (TMA) será um pouco acima da média da inflação acumulada Brasileira dos últimos 10 anos, de 2012 a 2021, que segundo Reis (2022) é de cerca de 6,11% a.a. Os dados são mostrados na tabela 2.

Tabela 2 - Inflação acumulada Brasileira

Ano	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Inflação acu. (%)	5,84	5,91	6,41	10,67	6,29	2,95	3,75	4,31	4,52	10,06

Fonte: Reis (2022).

3.1 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Esta seção tem o objetivo de levantar os custos de utilização de um veículo a combustão e de um veículo convertido, em um intervalo de 10 anos, por meio de análise de dados passados e escolhas de equipamentos da conversão. Tais dados são necessários para que seja possível, na seção de resultados e discussões, analisar as projeções dos cenários, de acordo com suas especificações.

3.1.1 Custos do Veículo a Combustão

Os custos mais significativos de utilização de um veículo a combustão são os

custos de combustível, manutenção e IPVA.

Para projetar os custos de combustível nos próximos 10 anos, emprega-se os custos dos últimos 10 anos como base para essa estimativa. Nos meses de janeiro, no período de 2012 a 2022, a gasolina comum no Nordeste acumulou uma alta de pouco mais de 100%, conforme tabela 3, então pode-se estimar uma alta de 10% a.a. (ANP, 2022).

Tabela 3 - Preços médios de gasolina no Nordeste em janeiro de cada ano

Ano	Preço	Varição (%)	Acumulado (%)
2012	R\$ 2,69	-	-
2013	R\$ 2,75	2,20	2,20
2014	R\$ 3,10	12,71	14,91
2015	R\$ 3,03	-2,04	12,87
2016	R\$ 3,74	23,25	36,12
2017	R\$ 3,71	-0,78	35,35
2018	R\$ 4,10	10,65	46,00
2019	R\$ 4,29	4,51	50,51
2020	R\$ 4,60	7,30	57,81
2021	R\$ 4,73	2,78	60,59
2022	R\$ 6,68	41,28	101,87

Fonte: ANP (2022).

O custo de rodagem do veículo a combustão (CRVC) em um ano, é o valor gasto com combustível, que é o produto da quilometragem rodada com o preço da gasolina, cujo resultado é dividido pelo rendimento do veículo em trajeto urbano. Conforme a seguinte equação:

$$CRVC = \frac{\text{Rodagem} \times \text{Preço Gasolina}}{\text{Rendimento VC}} \quad (3.2)$$

$$CRVC = \frac{12.900 \text{ km} \times \frac{R\$ 6,681}{L}}{10 \frac{\text{km}}{L}} = R\$ 8.618,00$$

Os custos de rodagem dos anos seguintes são estabelecidos de acordo com a inflação (6,11%) estimada, de acordo com a seguinte equação:

$$CRVC_i = \text{Custo Rodagem VC}_{i-1} \times (1 + \text{inflação acumulada}) \quad (3.3)$$

Em relação aos custos de manutenção do veículo a combustão (CMVC), utiliza-se a análise de Chiaradia (2015), que estimou que o custo de manutenção de um MCI que roda 15.000 km por ano é de R\$ 1.500,00/ano. Como essa estimativa de referência data de 2015, utiliza-se o custo de manutenção de R\$ 1.500,00/ano para um veículo que roda 12.900 km/ano.

Nesse valor estão considerados todos os itens da manutenção de um MCI, pois, para o carro convertido os outros custos como custo de manutenção de pneus, suspensão e freios são os mesmos do veículo a combustão e, por isso, não são considerados nessa análise comparativa. Os custos de manutenção dos anos seguintes são determinados da mesma forma que o custo de rodagem.

$$CMVC_i = CMVC_{i-1} \times (1 + \text{inflação acumulada}) \quad (3.3)$$

Outro custo do veículo a combustão que deve ser considerado é o Imposto sobre a Propriedade de Veículo Automotor (IPVA), pois em 8 estados brasileiros (RS, PA, RJ, RN, PE, PI, MA e CE) os veículos elétricos têm isenção total de IPVA (PERONI, 2021). Para isso, o Renault Kwid 2018, que é o veículo escolhido para esta análise, tem o valor do IPVA que é 4% do valor de mercado veículo que é cerca de R\$ 38.762,00. Assim o valor do IPVA é cerca de R\$ 1.550,00. O Custo do IPVA dos anos seguintes é calculado da mesma forma que os custos de rodagem e manutenção, mas com uma redução de 10% a.a., devido ao fato desse modelo de veículo ter essa média de redução de valor de mercado (FIPE, 2022).

$$IPVA_i = IPVA_{i-1} \times (1 - \text{inflação acumulada}) \quad (3.4)$$

3.1.2 Custos do Veículo Convertido

O custo do veículo convertido é calculado pela soma dos valores dos itens da conversão, para compor o investimento, e os custos de rodagem e manutenção. Para calcular os custos da conversão, selecionam-se os principais e mais caros equipamentos que são necessários para a conversão e, assim, estima-se o custo da conversão. Os custos de rodagem serão calculados considerando o preço da energia elétrica e o

consumo do motor elétrico (ME) escolhido.

O custo de rodagem de um veículo elétrico é calculado usando uma estimativa de rendimento do veículo elétrico, ou seja, quantos quilômetros o veículo percorre consumindo apenas 01 kWh ou a quantidade de kWh consumida por km rodado. Chiaradia (2015) estimou um rendimento de 7,14 km/kWh ou 0,14 kWh/km e este trabalho emprega a mesma estimativa para os cálculos.

Uma possibilidade interessante é a de utilizar energia solar para recarregar a bateria do veículo elétrico, pois é possível diminuir ainda mais os custos de utilização do veículo elétrico e diminuir as emissões relacionadas à geração de energia elétrica.

Em janeiro de 2022, em Pernambuco, a taxa de energia elétrica (Tarifa_{EE}) era de R\$ 1,08/kWh, nessa taxa estão incluídas todas as tarifas e impostos de um consumidor residencial (NEOENERGIA, 2022). O custo de rodagem do veículo elétrico (CRVE), em reais (R\$), é o produto da rodagem (km) e a taxa da energia elétrica (R\$/kWh), dividido pelo rendimento do veículo elétrico (kWh/km), conforme a equação abaixo.

$$CRVE = \frac{\text{Rodagem} \times \text{Tarifa}_{EE}}{\text{Rendimento}_{VE}} \quad (3.5)$$

$$CRVE = \frac{12.900 \text{ km} \times \frac{R \$ 1,08}{\text{kWh}}}{\frac{7,14 \text{ km}}{\text{kWh}}} = R \$ 1.950,00$$

Em relação aos custos de manutenção do veículo elétrico (CMVE), considera-se que sejam cerca de $\frac{1}{4}$ do custo de manutenção do MCI, pois o ME tem poucas partes móveis e poucos itens de manutenção (DOMINGOS, 2018). Como o custo de manutenção de um veículo a combustão é de R\$ 1.500,00/ano, tem-se que, para o veículo convertido, o custo de manutenção será de R\$ 375,00/ano. Os custos de manutenção do veículo elétrico dos anos seguintes são calculados da mesma forma que os custos de manutenção do veículo a combustão, que já foram mostrados na seção anterior.

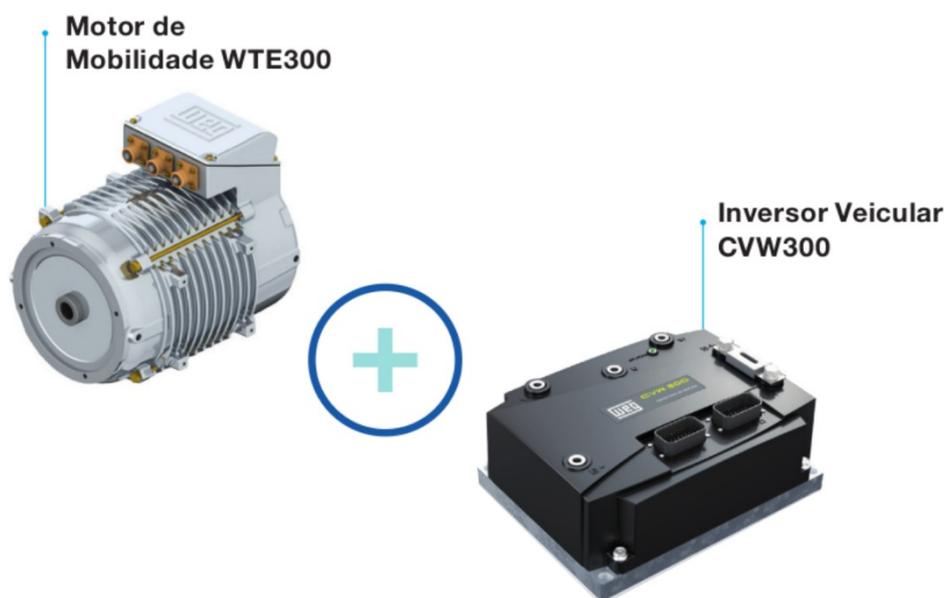
O investimento da conversão é calculado levando em consideração o custo dos principais equipamentos e estimando o custo de outros produtos e serviços necessários para a conversão.

Mostrar com mais detalhes os equipamentos do veículo elétrico torna a

compreensão da conversão e do funcionamento do veículo elétrico mais aprofundada.

O motor elétrico e o inversor de frequência são feitos um para o outro, ou seja, eles são projetados para trabalharem juntos e isso garante a sincronia e compatibilidade destes equipamentos. Esse motor e inversor da linha de mobilidade elétrica da WEG têm sido utilizados na conversão de veículos em parceria com várias empresas em todo país, mostrados na figura 20.

Figura 20 – Motor elétrico e inversor de frequência



Fonte: WEG (2019).

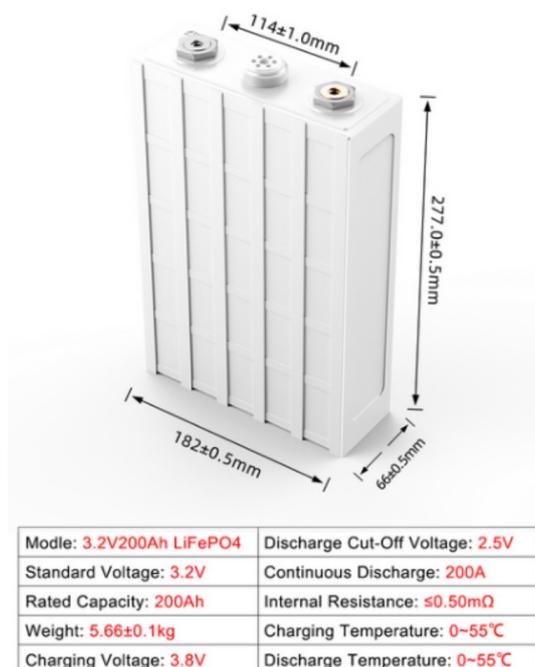
O inversor possibilita a configuração do mapa de rodagem do veículo que, basicamente, determina a quantidade de potência que o motor deve entregar ao veículo dependendo da velocidade. Esse inversor é apropriado, pois recebe energia em corrente contínua e transmite energia em corrente alternada para o motor, o que dispensa a utilização de um conversor CC-CA entre a bateria e o inversor. Esse é um excelente exemplo do diferencial positivo de um equipamento projetado especialmente para veículos elétricos. Quanto mais as empresas investirem em equipamentos para mobilidade elétrica, mais os veículos elétricos se tornarão mais viáveis.

Segundo Kaleg, Hapid E Kurnia (2015), o ideal para o projeto da conversão, que prioriza a questão financeira, é otimizar a autonomia, a velocidade máxima e a eficiência do veículo para se obter um orçamento menos custoso possível. Para satisfazer essas recomendações é necessário utilizar a menor autonomia necessária para a necessidade do usuário e equipar o veículo com baterias de lítio, pois têm uma maior densidade

energética que permite uma melhor eficiência do veículo em relação a outros tipos de bateria.

Neste trabalho, escolhe-se a bateria de lítio LiFePO_4 , mostrada na figura 19, pois tem a melhor capacidade de armazenamento de energia, atualmente. Uma versão importada da China, mostrada da figura 21, tem 3,2 Volts e 200 Ah por unidade.

Figura 21 – Bateria



Fonte: Dongguan (2022).

Serão utilizadas cerca de 22 unidades de baterias, ligadas em série, para resultar em 70,4 Volts para suprir a tensão de entrada com inversor de frequência e terão uma potência de 14,08 kWh. Considerando que o veículo terá um rendimento de 0,14 kWh/km, ou 7,14 km/kWh, podemos estimar uma autonomia de 101 km. Essa autonomia é mais que suficiente para um trajeto urbano comum, pois 12.900 km anuais correspondem a cerca de 51 km por dia útil.

Foi determinada uma autonomia de quase o dobro de autonomia prevista, pois pode haver imprevistos e desvios de trajeto, bem como o desgaste da bateria, que leva a diminuição da capacidade de armazenamento de energia das mesmas. Também é importante ter uma margem de segurança do nível de carga da bateria, pois trabalhar com níveis médios da carga de bateria aumenta a vida útil da mesma.

O BMS (*Battery Management System*) é um equipamento que gerencia e

administra o banco de baterias. Controlando a tensão, corrente e temperatura do banco de baterias. Foi selecionado um equipamento americano mostrado na figura 22, pois equipamentos nacionais não são específicos para banco de baterias de carro elétrico e são de baixa tensão.

Figura 22 – BMS



Fonte: Elithion (2022).

O conversor CC-CC é importante para que o veículo tenha a alimentação elétrica de 12 volts para os sistemas normais do veículo, como iluminação, som, acessórios, entre outros. O conversor selecionado, mostrado na figura 23, é de origem chinesa e permite que a tensão do banco de baterias seja convertida para 12 Volts, que é a tensão normal dos sistemas auxiliares.

Figura 23 – Conversor CC-CC



Fonte: VGEPS (2022).

O carregador, mostrado na figura 24, é um conversor CA-CC que permite que o banco de baterias seja carregado com uma fonte externa de energia elétrica, como tomadas residências e estações de carregamento rápido.

Figura 24 – Carregador



Fonte: STECK (2022).

Alguns equipamentos são difíceis de serem encontrados no mercado brasileiro e precisam ser importados, a importação eleva o preço e dificulta a assistência técnica por parte do fabricante do equipamento.

No Brasil, existe uma empresa, chamada Electro, que, desde 2010, faz as conversões elétricas veiculares e vende kits de conversão próprios para alguns modelos de veículos serem convertidos em outras localidades, além de utilizar apenas equipamentos nacionais. A Electro cedeu, via e-mail, um demonstrativo (tabela 4) dos valores da conversão em relação a vários modelos de veículos e a autonomia desejada.

Tabela 4 - Custos da conversão em relação a modelos e autonomia

Modelo	Autonomia		
	25 km	45 km	100 km
Renault Kwid			
Fusca			
Subaru Vivio			
Puma			
MP Lafer	R\$ 57.000,00	R\$ 64.800,00	R\$ 72.500,00
BR-800			
Renault Twingo			
Mercedes Smart			
Fiat 147			
Fiat Palio			
Vw Gol	R\$ 69.000,00	R\$ 76.800,00	R\$ 84.500,00
GM Celta			
Ford Ka			
Caminhonete	R\$ 82.000,00	R\$ 89.800,00	R\$ 97.500,00
Honda Civic			

Fonte: Adaptado de Electro (2022).

Para modelos não listados acima há um acréscimo de R\$ 3.000,00 que corresponde ao projeto de conversão de um veículo que eles ainda não executaram.

Levando em consideração o acréscimo de R\$ 15.500,00 no valor para ter uma autonomia de 100 km, ao invés de 25 km, podemos calcular que esse seja o valor para termos um banco de baterias para tal capacidade. Ter essa estimativa é importante, pois a bateria é o equipamento que tem o tempo de vida útil mais significativo no carro elétrico e, ao final da vida útil, essa bateria deve ser substituída, o que significa um novo investimento.

Analisando o valor estimado na tabela 11 de R\$ 78.094,22 e o valor correspondente da tabela 4 de R\$ 72.500,00. Pode-se perceber que o valor estimado da conversão e o valor da Electro são bem próximos, porém são os valores estimados na tabela 11 que são considerados nas análises.

Além disso, a Electro também disponibilizou os valores relacionados a alguns itens opcionais que podem ser agregados na conversão e seus valores, que são mostrados na

tabela 5.

Tabela 5 - Custos dos opcionais da conversão

Opcional	Custo
Ar Condicionado	R\$ 2500,00
Direção Hidráulica	R\$ 1400,00
Aquecedor	R\$ 1400,00
Híbrido	R\$ 9800,00
Mão de obra	R\$ -1000,00
Peças retiradas	R\$ 4500,00

Fonte: Adaptado de Electro (2022).

A penúltima linha da tabela 5 mostra o valor da mão de obra que vai ser descontado se os equipamentos forem enviados para que a conversão seja feita na localidade do cliente. Esse é um aspecto que deve ser considerado, pois a venda do MCI e dos sistemas retirados trazem um retorno financeiro considerável e a tabela 5 mostra que esse retorno é considerado pela Electro, de R\$ 4.500,00. Essa é a opção mais viável para quem mora longe de Uberaba-MG, onde fica localizada a Electro. Porém, ainda haverá o custo do frete do kit de conversão e o custo da mão de obra na oficina local que irá efetuar a conversão.

O opcional híbrido inclui a instalação de um pequeno gerador a Diesel, no teto do veículo, para prover energia elétrica para recarregar as baterias e isso faz com o veículo se torne um veículo híbrido de configuração em série.

Por outro lado, pode-se fazer uma comparação entre um Renault Kwid 2018 que vale cerca de R\$ 38.762,00 com um investimento de cerca de R\$ 78.094,22 para converter esse veículo, para obter 100 km de autonomia. Esse veículo terá um valor agregado de cerca de R\$ 116.856,22 e o Renault Kwid E-TECH pode ser comprado por cerca de R\$ 142.990,00 com 300 km de autonomia, todos os itens opcionais inclusos e com a garantia do fabricante por cerca de R\$ 26.133,78 (22%) a mais que o veículo convertido.

Para ilustrar melhor essa comparação, a tabela 6 mostra esses valores, além trazer os dados do Toyota Corolla Altis, que foi comparado na seção de fundamentação teórica.

Tabela 6 - Comparação entre veículos

Veículo	Custo	Autonomia
Renault Kwid Convertido	R\$ 116.856,22	100 km
Renault Kwid E-TECH	R\$ 142.990,00	300 km
Toyota Corolla Altis Hybrid	R\$ 154.890,00	“Ilimitada”

Fonte: Electro/Autoesporte/Estadão (2022).

Esse tipo de comparação é importante para quem pretende fazer esse investimento, pois fica mais claro qual pode ser a melhor opção de acordo com a preferência e o poder aquisitivo de cada indivíduo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão abordados os custos dos veículos analisados de acordo com a rodagem e o preço da gasolina. Todas as projeções desenvolvidas neste trabalho foram feitas com o auxílio de uma planilha computacional, disponível no apêndice A.

4.1 ANÁLISE DE VIABILIDADE DA CONVERSÃO

Os valores assumidos para a projeção dos custos do veículo a combustão mostrados na seção anterior estão reunidos na tabela 7.

Tabela 7 - Variáveis de custos do veículo a combustão

Variável	Valor	Unidade
Preço do combustível	6,68	R\$/L
Variação anual combustível	10	% a.a.
Custo de manutenção	1.500	R\$/ano
Variação anual manutenção	6,11	% a.a.
Rendimento do veículo	10	km/L
Quilometragem	12.900	km/ano
IPVA	1550	R\$
Variação anual IPVA	-10	% a.a.

Fonte: O autor (2022).

A depreciação anual do veículo a combustão e os valores utilizados no cálculo da mesma estão mostrados na tabela 8.

Tabela 8 - Depreciação do veículo a combustão

Valor atual	R\$ 38.762,00
Vida útil	10 anos
Valor residual	R\$ 8.915,26
Depreciação anual	R\$ 2.984,67

Fonte: O autor(2022).

A tabela 9 mostra os custos do veículo a combustão de acordo com as taxas utilizadas para projetar as variações anuais.

Tabela 9 - Custos veículo a Combustão, em reais

Custos	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Manutenção	1.500,00	1.591,65	1.688,90	1.792,09	1.901,59	2.017,78	2.141,06	2.271,88	2.410,69	2.557,99
Rodagem	8.618,49	9.480,34	10.428,37	11.471,21	12.618,33	13.880,16	15.268,18	16.795,00	18.474,50	20.321,95
Depreciação	2.597,05	2.597,05	2.597,05	2.597,05	2.597,05	2.597,05	2.597,05	2.597,05	2.597,05	2.597,05
IPVA	1.550,48	1.395,43	1.255,89	1.130,30	1.017,27	915,54	823,99	741,59	667,43	600,69
Custo total	14.266,02	15.064,48	15.970,22	16.990,66	18.134,24	19.410,54	20.830,28	22.405,52	24.149,68	26.077,68

Fonte: O autor (2022).

Pode-se observar que o custo de rodagem anual é altamente elevado, constituindo cerca de 59% do custo anual. Esse dado revela que o maior custo do veículo a combustão não é proveniente da manutenção, mas sim da rodagem devido ao elevado custo dos combustíveis. Por isso, a viabilidade econômica do veículo a combustão tende a ser reduzida com os aumentos dos preços dos combustíveis e para alta quilometragem.

A depreciação anual do veículo convertido e os valores utilizados no cálculo da mesma estão mostrados na tabela 10.

Tabela 10 - Depreciação do veículo convertido

Valor atual	R\$ 116.856,22
Vida útil	10 anos
Valor residual	R\$ 52.585,30
Depreciação anual	R\$ 6.427,09

Fonte: O autor(2022).

Considera-se um valor residual do veículo convertido de 45% do valor atual, pois no final dos 10 anos de análise o veículo estará com baterias novas e com o motor e inversor ainda com consideráveis anos de vida útil.

Para demonstrar os investimentos da conversão temos a tabela 11, que demonstra os valores de cada componente selecionado e mostrado na seção de metodologia e o total da soma dos valores.

Tabela 11 - Investimentos da conversão

Equipamento	Custo
Motor	R\$ 10.000,00
Inversor	R\$ 8.000,00
Baterias	R\$ 10.135,40
BMS	R\$ 800,00
Conversor CC-CC	R\$ 111,71
Carregador	R\$ 1.500,00
Cabos	R\$ 5.000,00
Mão de obra	R\$ 3.500,00
Margem de lucro	R\$ 39.047,11
Total	R\$ 78.094,22

Fonte: O autor (2022).

O valor total da conversão é um valor consideravelmente alto e, por isso, vamos considerar que 90% desse valor será financiado com um crédito bancário no prazo de 5 anos, no sistema Francês e com uma taxa de juros de 2% ao mês, e os 10% restante deverá ser financiado com recursos próprios do dono do veículo. A tabela 12 traz a amortização e os juros anualizados do financiamento bancário.

Tabela 12 - Amortização e juros do financiamento

Ano	Amortização	Juros
1	R\$ 8.265,26	R\$ 15.998,14
2	R\$ 10.482,35	R\$ 13.781,06
3	R\$ 13.294,16	R\$ 10.969,25
4	R\$ 16.860,21	R\$ 7.403,20
5	R\$ 21.382,82	R\$ 2.880,59

Fonte: O autor (2022).

Os juros entram nos custos do veículo convertido e a amortização no fluxo de caixa da conversão.

Os valores assumidos para a projeção dos custos do veículo convertido, mostrados na seção anterior, estão reunidos na tabela 13.

Tabela 13 - Variáveis de custos do veículo convertido

Variável	Valor	Unidade
Preço da energia elétrica	1,08	R\$/kWh
Aumento da energia elétrica	6,11	% a.a.
Custo de manutenção	375	R\$/ano
Aumento da manutenção	6,11	% a.a.
Rendimento do veículo	7,14	km/kWh
Quilometragem	12900	km/ano
IPVA	0	R\$

Fonte: O autor (2022).

A tabela 14 mostra os custos do veículo convertido, onde pode ser notado que o custo de rodagem do veículo elétrico é cerca de 20% do custo total anual, muito menor que a proporção notada no custo total do veículo a combustão, que é de 60%.

Tabela 14 - Custos do veículo convertido, em reais

Custos	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Manutenção	1.500,00	1.591,65	1.688,90	1.792,09	1.901,59	2.017,78	2.141,06	2.271,88	2.410,69	2.557,99
Rodagem	1.951,26	2.146,39	2.361,03	2.597,13	2.856,84	3.142,52	3.456,78	3.802,45	4.182,70	4.600,97
Depreciação	6.427,09	6.427,09	6.427,09	6.427,09	6.427,09	6.427,09	6.427,09	6.427,09	6.427,09	6.427,09
IPVA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Juros	15.998,14	13.781,06	10.969,25	7.403,20	2.880,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo total	25.876,50	23.946,18	21.446,27	18.219,51	14.066,11	11.587,39	12.024,93	12.501,43	13.020,48	13.586,05

Fonte: O autor (2022).

Outro aspecto interessante é que o custo total do primeiro ano do veículo convertido é cerca de 69% do custo total do veículo a combustão, conforme pode ser observado nas tabelas 9 e 14. Essa economia, de cerca de 31%, poderia ser aumentada se não fosse a depreciação do veículo convertido, que é 2,47 vezes maior que a depreciação anual do veículo a combustão.

Os demonstrativos de resultados dos veículos, constituídos apenas de custos, têm resultado negativo e a economia gerada pelo veículo convertido é a diferença nos custos do veículo a combustão em relação ao veículo convertido, mostrados na tabela 15.

Tabela 15 - Economia, em reais

Custos	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Combustão	-14.266,02	-15.064,48	-15.970,22	-16.990,66	-18.134,24	-19.410,54	-20.830,28	-22.405,52	-24.149,68	-26.077,68
Convertido	-25.876,50	-23.946,18	-21.446,27	-18.219,51	-14.066,11	-11.587,39	-12.024,93	-12.501,43	-13.020,48	-13.586,05
Economia	-11.610,47	-8.881,71	-5.476,05	-1.228,86	4.068,13	7.823,14	8.805,35	9.904,10	11.129,19	12.491,63

Fonte: O autor (2022).

A tabela 16 traz o preço de compra em relação ao tipo de veículo e os custos das baterias do veículo convertido. O valor relacionado ao veículo convertido é a soma do valor de mercado do veículo a combustão e o investimento da conversão.

Tabela 16 - Preço de compra.

Veículo	Custo
Combustão	R\$ 38.762,00
Convertido	R\$ 116.856,22
Baterias	Custo
Convertido	R\$ 10.135,40

Fonte: O autor (2022).

Com todas as tabelas apresentadas até aqui, nessa seção, é possível projetar o fluxo de caixa da conversão no decorrer de 10 anos.

Para gerar o fluxo de caixa da conversão, utiliza-se o investimento na conversão (aporte próprio e o financiamento), a depreciação devolvida, o valor residual do veículo convertido e a economia como fontes de recursos; e o investimento da conversão (ano 0), o preço de substituição da bateria (ano 10) e as amortizações anuais como usos dos recursos para, então, gerar o fluxo de caixa da conversão, que permite determinar a viabilidade econômica utilizando as ferramentas econômicas. O fluxo de caixa (FC) da conversão é mostrado na tabela 17.

Tabela 17 - Fluxo de caixa da conversão, em reais

Fontes	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Aporte próprio	7809										
Financiamento	70285										
V. Residual											52585
Depreciação		6427	6427	6427	6427	6427	6427	6427	6427	6427	6427
Economia		-11610	-8882	-5476	-1229	4068	7823	8805	9904	11129	12492
Total Fontes	78094	-5183	-2455	951	5198	10495	14250	15232	16331	17556	71504
Usos											
Conversão	78094										
Baterias											10135
Amortização		8265	10482	13294	16860	21383					
Total Usos	78094	8265	10482	13294	16860	21383					10135
FC		-13449	-12937	-12343	-11662	-10888	14250	15232	16331	17556	61369
FCA		-13449	-26386	-38729	-50391	-61278	-47028	-31796	-15464	2092	63460

Fonte: O autor (2022).

O fluxo de caixa acumulado (FCA) indica quando o valor do investimento é retornado quando supera o valor do investimento, de R\$ 78.094,22. Como o valor do FCA do 10º ano é menor que o valor do investimento, o investimento não é retornado.

Para analisar melhor a viabilidade econômica usa-se o VPL para verificar se o fluxo de caixa é suficiente para promover viabilidade econômica da conversão. A tabela 18 traz os indicadores de análise da viabilidade.

Tabela 18 - Indicadores financeiros

Indicador	Valor
TMA	7%
VPL	-R\$ 59.465,34
VAUE	-R\$ 8.466,53
IBC	0,57
ROI	-5,43%

Fonte: O autor (2022).

O VPL negativo indica que o fluxo de caixa é insuficiente para dar viabilidade econômica a conversão, pois em muitos anos o dinheiro perde o seu poder de compra. O investimento não é retornado e essa informação é confirmada pelo ROI anualizado negativo.

De forma semelhante, o VAUE também indica prejuízo ao se fazer esse tipo de

investimento, pois indica um prejuízo de R\$ 8.466,53 por ano. E, por fim, o IBC indica que a cada um real investido é retornado 57 centavos, indicando prejuízo.

4.1.1 Análise de cenários

Para evidenciar em qual cenário a conversão é viável é necessário alterar as quilometragens anuais para que seja constatado a partir de qual quilometragem a conversão passa a ser viável. Como usa-se uma planilha computacional, a obtenção desses resultado é facilitado.

A tabela 19 mostra os indicadores obtidos com a variação da quilometragem anual rodada.

Tabela 19 - Análise de cenários, com 10% de aporte próprio

Quilometragem anual	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	35.000
VPL (R\$)	-102.817,22	-75.379,32	-47.941,42	-20.503,52	6.934,38	34.372,28	61.810,19
VAUE (R\$)	-14.638,86	-10.732,32	-6.825,78	-2.919,24	987,30	4.893,84	8.800,38
IBC	0,26	0,46	0,66	0,85	1,05	1,25	1,44
ROI	-12,58%	-7,51%	-4,14%	-1,58%	0,49%	2,23%	3,75%

Fonte: O autor (2022).

Percebe-se, por meio dos indicadores e da variação da quilometragem anual, que quilometragens acima de 24.000 km/ano tornam a conversão viável, permitindo que a conversão elétrica veicular seja um bom investimento.

Ao se perceber os indicadores de quilometragens acima de 30.000 km/ano, fica evidente que a conversão elétrica veicular tem um grande potencial econômico para veículos de cargas leves e de transporte de passageiros que tem uma alta quilometragem anual.

Pode-se, ainda, analisar se a porcentagem do capital de aporte próprio para a conversão passar de 10% para 30%. Tais resultados são mostrados na tabela 20.

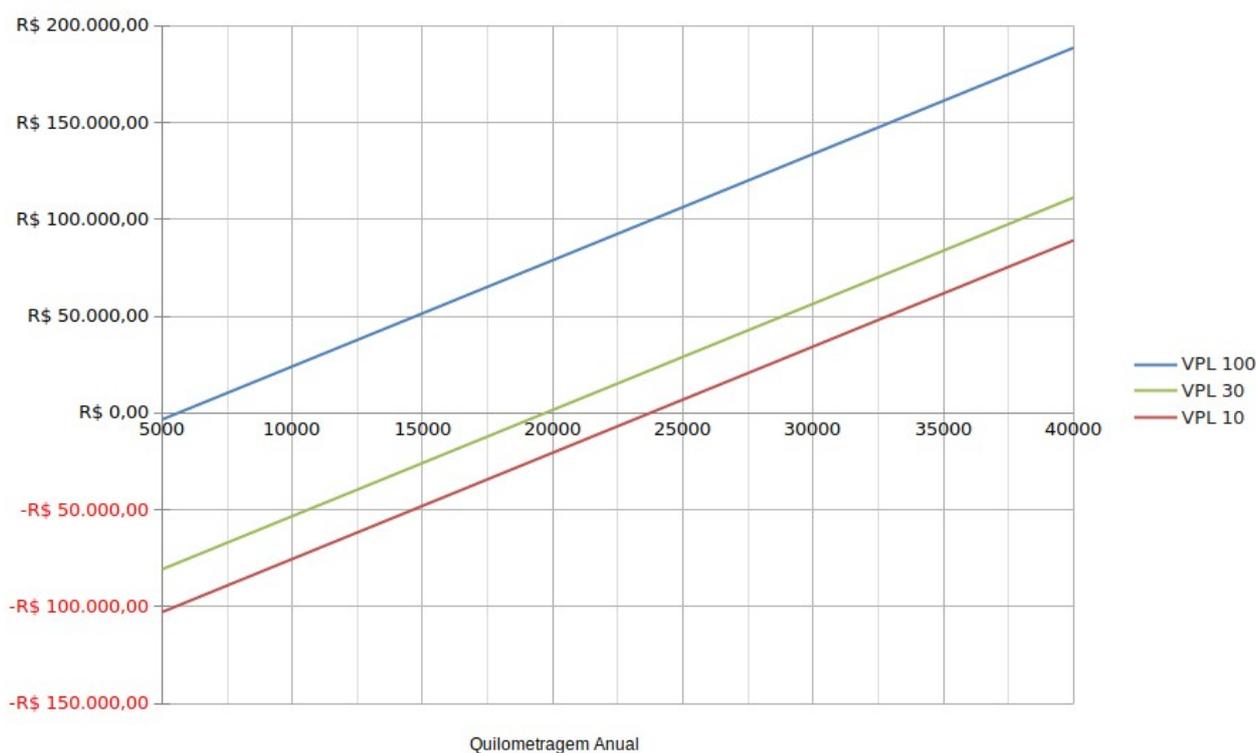
Tabela 20 - Análise de cenários, com 30% de aporte próprio

Quilometragem anual	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000	30.000	35.000
VPL (R\$)	-80.709,50	-53.271,60	-25.833,69	1.604,21	29.042,11	56.480,01	83.917,91
VAUE (R\$)	-11.491,22	-7.584,68	-3.678,14	228,40	4.134,94	8.041,48	11.948,02
IBC	0,36	0,58	0,80	1,01	1,23	1,45	1,66
ROI	-9,64%	-5,31%	-2,25%	0,13%	2,09%	3,76%	5,21%

Fonte: O autor (2022).

Com o aumento do valor do aporte próprio e a redução do valor financiado com um crédito bancário, a conversão se torna viável a partir de 20.000 km/ano, pois diminui o montante de juros, tornando a conversão mais viável. Essa variação dos cenários analisados pode ser vista com mais clareza na figura 25.

Figura 25 – Análise do VPL dos cenários



Fonte: O autor (2022).

A figura 25 mostra um gráfico do VPL em relação a variação de quilometragem anual e a variação no valor do aporte próprio. VPL10, em vermelho, é referente aos valores do VPL quando o aporte próprio de recursos para a conversão é de 10%. Da mesma forma para 30% de aporte próprio, é mostrado pelo VPL30 em verde.

A figura 25 também mostra o VPL se o aporte próprio for igual a 100% do investimento da conversão (VPL 100) e percebe-se que a conversão é viável, a partir de 6.000 km/ano. Ou seja, uma quilometragem muito abaixo da média brasileira.

O aumento do aporte próprio diminui o valor da quilometragem anual em que a conversão se torna viável, pois, assim como na maioria dos investimentos, os juros do financiamento bancário são um grande obstáculo para a viabilidade econômica.

5 CONCLUSÕES

Levando em consideração os cenários analisados na comparação entre o veículo a combustão e o convertido, na seção anterior, fica evidente que a conversão é viável para uma rodagem superior a 24.000 km/ano, se for levado em consideração de 10 anos de utilização do mesmo veículo e as proporções de investimentos de aporte próprio e de financiamento bancário para a conversão.

Para quilometragens inferiores a 24.000 km/ano, o veículo a combustão é mais viável economicamente. Assim, uma quilometragem média de 12.900 km/ano é insuficiente para promover uma economia que retorne o investimento em 10 anos, pois o investimento é significativo e o valor agregado do veículo convertido fica próximo ao preço de compra de um veículo elétrico novo, conforme tabela 6.

A conversão elétrica é uma transformação significativa no veículo e tem muitas variáveis que devem ser consideradas, pois, sem a devida análise, esse investimento pode ser inviável e trazer muitos infortúnios na vida de quem o faz.

A análise técnica permitiu avaliar se a conversão tem equipamentos e mão de obra suficientes para executar o projeto. Com a seleção dos equipamentos, feita na seção 3, ficou evidente que existem equipamentos disponíveis no mercado.

A análise financeira visa diminuir a probabilidade do investimento se tornar um problema financeiro, pois mesmo que, do ponto de vista ambiental, o veículo elétrico seja muito melhor que o veículo a combustão ele também deve ser vantajoso do ponto de vista financeiro.

A análise, até aqui desenvolvida, pode servir de base para trabalhos futuros que busquem explorar, especificamente, a análise da viabilidade da conversão elétrica veicular com um pequeno gerador instalado no teto do veículo para suprir a demanda de energia elétrica das baterias, formando um veículo híbrido em série ou a utilização de painéis solares para recarregar as baterias e eliminar o custo de rodagem.

REFERÊNCIAS

- ABVE. **100 mil eletrificados já circulam no Brasil**. Disponível em: <http://www.abve.org.br/100-mil-eletrificados-circulam-no-brasil/>. Acesso em: 06 ago. 2022.
- AMARAL, E. C. G. **Como converter seu carro para elétrico**. Brasília: Edição do autor, 2018.
- ANP. Disponível em: <https://preco.anp.gov.br/>. Acesso em: 24 jun. 2022.
- BARANDAS, A. P. M. G. et al. Recuperação de cádmio de baterias níquel-cádmio via extração seletiva com tributilfosfato (TBP). **Química Nova**, São Paulo, v. 30, p. 712-717, 2007.
- AVILA, A. V. Matemática financeira e engenharia econômica. **Programa de Educação Tutorial de Engenharia Civil**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- BARBI, I. **Teoria fundamental do motor de indução**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1985.
- BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S. R. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. **Química Nova na escola**, São Paulo, v. 11, n. 3, 2000.
- BORBA, B. S. M. C. **Modelagem Integrada da Introdução de Veículos Leves Conectáveis à Rede Elétrica no Sistema Energético Brasileiro**. 2012. 179f. Tese de Doutorado (Doutor em Planejamento Energético) – Programa de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.
- BREQUE. **Recuperação do hidro vácuo (servo-freio)**. 2020. Disponível em: <https://freiosbreque.com.br/recuperacao-do-hidrovacuio-servo-freio/>. Acesso em: 2 jun. 2022.
- BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna**. V. 1. Editora Blucher, 2018.
- CADERNOS FGV ENERGIA. **Carros elétricos**. Rio de Janeiro: Ed. FGV, v. 04, n. 7, mai. 2017.

CAIT – **Climate Data Explorer** - World Research Institute. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?>

[breakBy=sector&chartType=percentage&end_year=2018§ors=total-including-lucf&start_year=1990](https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&chartType=percentage&end_year=2018§ors=total-including-lucf&start_year=1990). Acesso em: 30 mar. 2022.

CHIARADIA, C. E. **Estudo da viabilidade da implantação de frotas de veículos elétricos e híbridos elétricos no atual cenário econômico, político, energético e ambiental brasileiro**. 2015. 164 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/139203>.

DA SILVEIRA, F. L. **Máquinas térmicas à combustão interna de Otto e de Diesel**. Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, 2008.

DIAS, D.; RODRIGUEZ, H. As vantagens e (poucas) desvantagens da direção elétrica. 2021. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/auto-servico/as-vantagens-e-poucas-desvantagens-da-direcao-eletrica/>. Acesso em: 13 jun. 2022.

DOMINGOS, A. C. A. R. **Avaliação da viabilidade econômica da introdução de veículos elétricos na frota do SUCH**. 2018. 71f. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica) – Faculdade de Ciências e tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2018.

DONGGUAN SHENGLI ENERGY TECHNOLOGY CO. Disponível em: [https://es.aliexpress.com/item/1005004219140345.html?](https://es.aliexpress.com/item/1005004219140345.html?spm=a2g0o.detail.1000013.1.146ea985PADuhq&gps-id=pcDetailBottomMoreThisSeller&scm=1007.13339.274681.0&scm_id=1007.13339.274681.0&scm-url=1007.13339.274681.0&pvid=88b4acd2-84c6-4f93-8c0b-5fcfb29c13ac&_t=gps-id:pcDetailBottomMoreThisSeller,scm-url:1007.13339.274681.0,pvid:88b4acd2-84c6-4f93-8c0b-5fcfb29c13ac,tpp_buckets:668%232846%238115%232000&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000028420060968%22%2C%22sceneId%22%3A%223339%22%7D&pdp_npi=2%40dis%21BRL%21%21921.37%21921.37%21%21%21%21%402101c84b16559917614874572ea8f9%2112000028420060968%21rec)

[spm=a2g0o.detail.1000013.1.146ea985PADuhq&gps-id=pcDetailBottomMoreThisSeller&scm=1007.13339.274681.0&scm_id=1007.13339.274681.0&scm-url=1007.13339.274681.0&pvid=88b4acd2-84c6-4f93-8c0b-5fcfb29c13ac&_t=gps-id:pcDetailBottomMoreThisSeller,scm-url:1007.13339.274681.0,pvid:88b4acd2-84c6-4f93-8c0b-5fcfb29c13ac,tpp_buckets:668%232846%238115%232000&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000028420060968%22%2C%22sceneId%22%3A%223339%22%7D&pdp_npi=2%40dis%21BRL%21%21921.37%21921.37%21%21%21%21%402101c84b16559917614874572ea8f9%2112000028420060968%21rec](https://es.aliexpress.com/item/1005004219140345.html?spm=a2g0o.detail.1000013.1.146ea985PADuhq&gps-id=pcDetailBottomMoreThisSeller&scm=1007.13339.274681.0&scm_id=1007.13339.274681.0&scm-url=1007.13339.274681.0&pvid=88b4acd2-84c6-4f93-8c0b-5fcfb29c13ac&_t=gps-id:pcDetailBottomMoreThisSeller,scm-url:1007.13339.274681.0,pvid:88b4acd2-84c6-4f93-8c0b-5fcfb29c13ac,tpp_buckets:668%232846%238115%232000&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2212000028420060968%22%2C%22sceneId%22%3A%223339%22%7D&pdp_npi=2%40dis%21BRL%21%21921.37%21921.37%21%21%21%21%402101c84b16559917614874572ea8f9%2112000028420060968%21rec). Acesso em: 24 jun. 2022.

DRUMM, F. C. et al. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Rio Grande do Sul, v. 18, n. 1, p. 66-78, 2014.

DUPONT. Soluções e problemas do carro elétrico. **Ecycle**. 2010. Disponível em: <http://www.ecycle.com.br/tecnologia-a-favor/63-solucoes-problemas-carro-eletrico.html>. Acesso em: 30 mar. 2022.

ELECTRO. Disponível em: www.electro.net.br. Acesso em: 22 ago. 2022.

ELITHION. Disponível em: <https://www.elithion.com/lithiumate.php>. Acesso em: 24 jun. 2022.

FERREIRA, M. D. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Política de preços dos combustíveis. **Diagnóstico e desafios da agricultura brasileira**. Rio de Janeiro: Ipea, p. 207-226, 2019.

FIPE. Disponível em: <https://www.mobiauto.com.br/tabela-fipe/carros/renault/kwid/2018/life-1-0-12v-sce-flex>. Acesso em 10 mai. 2022.

FRANCHI, C. M. **Inversores de frequência**: teoria e aplicações. Saraiva Educação SA, 2009.

FROMER, C. **Veículos elétricos**: O que se deve levar em consideração antes de adquirir um. Disponível em: <http://www.abve.org.br/veiculos-eletricos-o-que-se-deve-levar-em-consideracao-antes-de-adquirir-um/>. Acesso em: 5 nov. 2022.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira** – 10ª ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2004.

HEYCAR. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fheycar.com.br%2Fficha-tecnica%2F4138-ficha-tecnica-completa-do-renault-kwid-zen-1-0-12v-2018&psig=AOvVaw3AlrkfSTgwIhe9W9IfZvpH&ust=1667935052294000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjRxqFwoTCJiLm8HknPsCFQAAAAAdAAAAABAN>. Acesso em: 5 nov. 2022.

ITAIPU. **Veículos Elétricos.** Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/tecnologia/veiculos-eletricos/>. Acesso em: 2 de ago. 2022.

KALEG, S.; HAPID, A.; KURNIA, M. R. Electric vehicle conversion based on distance, speed and cost requirements. **Energy Procedia**, v. 68, p. 446-454, 2015.

KBB Brasil. Brasileiros rodam em média 12,9 mil Km no primeiro ano de uso de um veículo. **KBB Brasil**. Disponível em: <https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/quanto-brasileiro-roda-carro-ano/?ID=1830>. Acesso em: 9 mai. 2022.

KUMAR, L. A.; ALEXANDER, S. A. **Power Converters for Electric Vehicles**. CRC Press, 2021.

OLIVEIRA, D. Renault Kwid elétrico, diverte e assusta no preço. **Estadão - Jornal do Carro**. Disponível em: <https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/aceleramos-renault-kwid-eletrico-diverte-e-assusta-no-preco-veja-o-video/>. Acesso em: 13 jun. 2022.

MANTOVANI, C. F. **Análise cinética e dinâmica para conversão de um VW Saveiro em veículo elétrico**. 2013, 65f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

MARQUEZAN, L. H. F.; BRONDANI, G. Análise de investimentos. **Revista Eletrônica de Contabilidade**, v. 3, n. 1, p. 35-35, 2006.

MIHALASCU, D. Disponível em: <https://insideevs.uol.com.br/news/596548/byd-tesla-briga-carros-eletricos/>. Acesso em: 18 out. 2022.

MIRAGAYA, F. Os 10 carros mais baratos do Brasil em 2022: preço e análise dos modelos. **Autopapo**. Disponível em: <https://autopapo.uol.com.br/noticia/10-carros-mais-baratos-do-brasil-2022/>. Acesso em: 10 mai. 2022.

NEOENERGIA, 2022. **Informações de tarifa grupo A**. Disponível em: <https://servicos.neoenergiapernambuco.com.br/residencial-rural/Pages/Alta%20Tens%C3%A3o/tarifas-grupo-a.aspx>. Acesso em: 2 jul. 2022.

PERONI, J. Carros elétricos e híbridos já recebem incentivos no Brasil; saiba quais. **Jornal do Carro**. Disponível em: <https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/carros-eletricos-e-hibridos-ja-recebem-incentivos-no-brasil-saiba-quais/>. Acesso em: 22 ago. 2022.

RAC. **Regassing and maintaining your car air conditioner**. Disponível em: <https://rac.com.au/car-motoring/info/car-air-con-repairs>. Acesso em: 2 jun. 2022.

REIS, T. Inflação acumulada: saiba tudo sobre esse importante conceito. **Suno**. Disponível em: <https://www.suno.com.br/artigos/inflacao-acumulada/>. Acesso em: 22 ago. 2022.

RENAULT. Disponível em: https://www.renault.com.br/veiculos-eletricos/kwid-etech.html?CAMPAIGN=br-pt-r-t-def-model-kwid-etech-go-classic-shop-institucional&ORIGIN=sea_defensive&gclsrc=aw.ds&&gclid=Cj0KCQjw0oyYBhDGARIsAMZEUmMhA68xizUB7FSAAg2zH6D8w3Rpj2gGxgLEnyEnPBfPw2R9XCr4aAm5YEALw_wcB. Acesso em: 22 ago. 2022.

SANTANA, A. M. **Análise química de elementos potencialmente tóxicos em baterias e pilhas por FAAS e ICP OES**. 2014.

SAUSEN, P. et al. **Avaliação de modelos analíticos na predição do tempo de vida de baterias de dispositivos móveis**. In: Pesquisas Aplicadas em Modelagem Matemática. Eds. Ijuí: Unijuí, 2012.

SILVA, T. R. **Viabilidade de implantação de motores elétricos em veículos a combustão**. 2018. 50f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia elétrica) - Faculdades Doctum de Caratinga, Caratinga, 2018.

STECK. Disponível em: https://loja.steck.com.br/carregador-veiculo-eletrico-portatil-stk-cves-0232/p?idsku=280314&gclid=Cj0KCQjwkt6aBhDKARIsAAyeLJ0-GkMrR7KvN7FNps89kNITQPZtH9paarUjS__9W7RNAPS7WM216_waAhRGEALw_wcB. Acesso em: 25 out. 2022.

TORRES, L. R. Análise econômica da alta nos preços dos carros: a inevitabilidade das leis de oferta e demanda. **Boletim Economia Empírica**, v. 2, n. 10, 2021.

TOYOTA. Disponível em: <https://www.toyota.com.br/modelos/corolla/>. Acesso em: 22 ago. 2022.

TRINDADE, R. H. L. **Estudo das características de baterias recarregáveis possíveis de serem utilizadas no projeto satélite universitário**, itasat, *in*: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA, 12., São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: ENCITA, 2006.

VGEPS. Disponível em: https://es.aliexpress.com/item/1005002365233673.html?_randl_currency=BRL&_randl_shipto=BR&src=google&aff_fcid=09b661f088d94cd69adfea9529e6ef46-1656070099800-09341-UneMJZVf&aff_fsk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff_trace_key=09b661f088d94cd69adfea9529e6ef46-1656070099800-09341-UneMJZVf&terminal_id=0e7ea87436ef425cb580eae0f7ad1c7f&afSmartRedirect=y. Acesso em: 24 jun. 2022.

WEG. **Soluções em mobilidade elétrica**. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hd2/h54/WEG-solucoes-em-mobilidade-eletrica-folder-50083876-pt.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2022.

WEG. **Soluções em propulsão & tração elétrica**. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwil28LW1qj5AhXLHLkGHeQkBi0QFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Fstatic.weg.net%2Fmedias%2Fdownloadcenter%2Fha1%2Fh8d%2F50042550_portuguese_web.pdf&usg=AOvVaw3uZkzI9Vd9WpF5wKkMqJk4. Acesso em: 02 ago. 2022.

APÊNDICE A

Link para acesso da planilha computacional utilizada neste trabalho:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1_sZRFgks3AmxTrKQautQGRYdXFDPeJxmQ5SP3BUP9Qo/edit?usp=drivesdk