

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA MECATRÔNICA**

ELLEN AMORIM DE CARVALHO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE OPERACIONAL,
ECONÔMICA E SUSTENTÁVEL DA CONVERSÃO DE
VEÍCULOS À COMBUSTÃO PARA TRAÇÃO ELÉTRICA**

**FLORIANÓPOLIS,
2022.**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA MECATRÔNICA**

ELLEN AMORIM DE CARVALHO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE OPERACIONAL,
ECONÔMICA E SUSTENTÁVEL DA CONVERSÃO DE
VEÍCULOS À COMBUSTÃO PARA TRAÇÃO ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheira em Mecatrônica.

Orientador:
Prof. Marcelo Vandresen, Dr.

Co-Orientador:
Prof. Douglas Deni Alves, Me.

**FLORIANÓPOLIS,
2022.**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Carvalho, Ellen Amorim

ANÁLISE DA VIABILIDADE OPERACIONAL, ECONÔMICA E SUSTENTÁVEL
DA CONVERSÃO DE VEÍCULOS À COMBUSTÃO PARA TRAÇÃO ELÉTRICA

/ Ellen Amorim Carvalho; orientação de Marcelo
Vandresen; coorientação de Douglas Deni Alves.

- Florianópolis, SC, 2022.

60 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Mecatrônica. Departamento
Acadêmico de Metal Mecânica.

Inclui Referências.

1. Mobilidade. 2. Sustentabilidade. 3. Tecnologia.

4. Multicritério. 5. AHP. I. Vandresen, Marcelo. II.

Deni Alves, Douglas. III. Instituto Federal de Santa Catarina.

IV. ANÁLISE DA VIABILIDADE OPERACIONAL, ECONÔMICA
E SUSTENTÁVEL DA CONVERSÃO DE VEÍCULOS À COMBUSTÃO
PARA TRAÇÃO ELÉTRICA.

ANÁLISE DA VIABILIDADE OPERACIONAL, ECONÔMICA E SUSTENTÁVEL DA CONVERSÃO DE VEÍCULOS À COMBUSTÃO PARA TRAÇÃO ELÉTRICA

ELLEN AMORIM DE CARVALHO

Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheira em Mecatrônica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do curso de Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 22 de julho, 2022.

Banca Examinadora:

Marcelo Vandresen, Dr.

Douglas Deni Alves, Me.

Erwin Werner Teichmann, Dr.

Luciano Amaury dos Santos, Dr.

A todos aqueles que, assim como eu, acreditam na missão de transformar a realidade do mundo para ser um lugar mais amável para todos nós vivermos, utilizando a tecnologia como uma das fontes propulsoras agentes da mudança.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Pai Maior, pela missão a mim repassada na existência terrena, a toda espiritualidade e ancestralidade que caminha junto comigo nessa jornada incrível que é a vida.

Agradeço a minha mãe, Fabiana Alves de Amorim, que me concebeu, me ensina, me apoia e é a luz eterna da minha vida, amor infinito que ultrapassa as barreiras da realidade, sem você eu nada seria.

Agradeço ao meu pai biológico, Osmar de Carvalho e Silva (*in memoriam*), ao meu pai de criação, Genivaldo Miranda da Silva (*in memoriam*), e minha avó, Maria Aparecida de Lima (*in memoriam*) que fizeram parte da construção de quem sou hoje e assim como minha mãe, vocês contribuíram para que eu explorasse conhecimentos que vão muito além da minha profissão.

Agradeço a minha irmã, Letícia Cecília Gama Miranda, que é um dos meus pilares desta vida, por tantas conversas, aprendizados e experiências compartilhadas.

Agradeço aos meus cachorros, Milk, Tinker e Spock, que enchem meu coração e minha casa de alegria todos os dias, meus confidentes fiéis.

Agradeço a todos da minha família carnal e a todos meus amigos que considero como a família que eu escolhi ter, todos os momentos com vocês são únicos e especiais, sem vocês a vida teria menos brilho.

Agradeço a todos os que de alguma maneira contribuíram para que este trabalho fosse concluído, de empresas em que trabalhei e toda a comunidade do Instituto Federal de Santa Catarina, em especial agradecimento ao meu orientador, Marcelo Vandresen e ao meu co-orientador, Douglas Deni Alves, pelas risadas, paciência, ensinamentos e dedicação para que este momento chegasse de forma leve e alegre.

Gratidão!

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de colaborar com o desenvolvimento tecnológico e social que integram a temática dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs) da ONU, através da conversão de veículos à combustão para tração elétrica, utilizando como base técnico-científica um projeto de pesquisa e desenvolvimento da instituição de ensino superior do presente documento. O estudo também aborda aspectos técnicos, financeiros sustentáveis que envolve a temática da mobilidade elétrica. Para a tomada de decisão, é proposto a utilização da análise multicritério que traz uma visão mais integralizada dos aspectos envolvidos e o ponto de vista das partes interessadas que influencia diretamente no processo da tomada de decisão. A análise também fornece uma avaliação global baseada no emprego de diversos indicadores para os efeitos esperados.

Palavras-chave: Mobilidade. Sustentabilidade. Tecnologia. Multicritério. AHP.

ABSTRACT

The present work aims to collaborate with the technological and social development that integrate the theme of the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) of the UN, through the conversion of combustion vehicles to electric traction, using as a technical-scientific basis a project of research and development of the higher education institution of this document. The study also addresses technical, financial and sustainable aspects involving the issue of electric mobility. For decision making, the use of multi-criteria analysis is proposed, which brings a more integrated view of the aspects involved and the point of view of the interested parties that directly influences the decision-making process. The analysis also provides an overall assessment based on the use of various indicators for expected effects.

Keywords: Mobility. Sustainability. Technology. Multi-criteria. AHP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de carro elétrico por Ányos Jedlik	19
Figura 2 - Primeira versão do carro elétrico da história por Gustave Trouvé....	19
Figura 3 – Carro elétrico Le Jamais Contente, por Camille Jenatzy	20
Figura 4 – Bateria chumbo-ácido de Gaston Planté.....	21
Figura 5 – Motor de arranque com sistema de ignição elétrica por Kettering ...	22
Figura 6 – Itaipu carro elétrico nacional marca Gurgel.....	23
Figura 7 – Feira no Japão para lançamento do Toyota Prius.....	24
Figura 8 – As 17 ODS da ONU	24
Figura 9 – Análise da contribuição do Brasil em 2022.....	26
Figura 10 – Categorias dos veículos elétricos (VEs)	28
Figura 11 – Vista superior do MCI do veículo convertido para tração elétrica ..	33
Figura 12 – Vista inferior do MCI do veículo convertido para tração elétrica	33
Figura 13 – Alternador do veículo convertido para tração elétrica.....	34
Figura 14 – Modelagem do acoplamento mecânico do motor elétrico ao câmbio original do veículo.....	35
Figura 15 – Peça acabada do acoplamento mecânico do motor elétrico ao câmbio original do veículo	36
Figura 16 – Versão do berço/cofre do motor em poliacetal e aço carbono para testes de acondicionamento	36
Figura 17 – Versão do berço/cofre do motor em poliacetal e aço carbono para avaliação e testes.....	37
Figura 18 – Versão final testada e validada do berço/cofre do motor em aço carbono	37
Figura 19 – Versão final testada e validada do berço/cofre do motor em aço carbono	38
Figura 20 – VCU Fueltech 450	39
Figura 21 – Chave para seleção do sentido de rotação do motor	39
Figura 22 - Botão de liga e desliga no painel do veículo	40
Figura 23 – Componente OBC + DC/DC	40
Figura 24 – Distribuição e posicionamento do pack de baterias na parte inferior da caçamba do veículo	41
Figura 25 – Montagem final do berço/cofre no veículo convertido	42
Figura 26 - Ciclo de Vida (ACV) de um produto.....	46
Figura 27 - Pegada de carbono para C40 Recharge e XC40 ICE E5.....	48
Figura 28 - Diagrama de equilíbrio de toneladas de CO2 Volvo Cars.....	49
Figura 29 - Comparação de utilização de energias renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo.....	50
Figura 30 - A jornada das baterias na economia circular	50
Figura 31 - Modelo de hierarquia da análise	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Peso dos critérios analisados	54
Gráfico 2 - Resultado da análise AHP	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de apresentação dos parâmetros considerados	44
Tabela 2 - Análise financeira comparativa de três modelos de veículo selecionados.....	45
Tabela 3 - Análise financeira comparativa do mesmo modelo de veículo utilizado na conversão.....	45
Tabela 4 – Áreas e subáreas de impacto e indicadores	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Ciclo de Vida
AMC	Análise Multicritério
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível
BEV	Veículo Elétrico à Bateria
BNEF	<i>Bloomberg New Energy Finance</i>
CA	Corrente Alternada
CAT	Certificado de Adequação à Legislação de Trânsito
CC	Corrente Contínua
CO2	Gás Carbônico
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>
EUA	Estados Unidos da América
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
FCEV	Veículo Elétrico com Células a Combustível
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
GEE	Gases de Efeito Estufa
GNV	Gás Natural Veicular
GRI	<i>Global Reporting Initiative</i>
GRU	Guia de Recolhimento da União
HEV	Veículo híbrido
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICEV	Automóveis de Combustão Interna
IEA	Agência Internacional de Energia
MCI	Motor a Combustão Interna
MME	Ministério de Minas e Energia

NBR	Norma Brasileira
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PHEV	Plug-in híbrido
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RENAVAM	Registro Nacional de Veículos Automotores
SIN	Sistema Interligado Nacional
VCU	<i>Vehicle Control Unit</i>
VE	Veículo Elétrico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	16
1.2	Definição do Problema	17
1.3	Objetivo Geral.....	17
1.4	Objetivos Específicos	17
1.5	Estrutura do Trabalho.....	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Contextualização histórica.....	18
	2.1.1 Breve histórico sobre o surgimento dos Veículos Elétricos (VE).....	18
	2.1.2 O surgimento das baterias	20
	2.1.3 A virada do século e a ascensão do petróleo	21
	2.1.4 A volta da alternativa elétrica	22
	2.1.5 Sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	24
2.2	Introdução às temáticas relacionadas aos Veículos Elétricos (VEs)	27
	2.2.1 Tipos e categorias de veículos	27
	2.2.2 A premissa da conversão de veículos à combustão para tração elétrica ..	28
	2.2.3 Fatores ambientais relacionados	29
3	METODOLOGIA.....	30
3.1	Análise operacional do processo de conversão	31
	3.1.1 Principais componentes de um VE	31
	3.1.2 Componentes a serem retirados do veículo	32
	3.1.3 Itens a serem adaptados	34
	3.1.4 Itens a serem inseridos.....	38
3.2	Análise econômica do processo de conversão	42
3.3	Análise sustentável do processo de conversão	46
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	51
	4.1.1 Caso de estudo	52
	4.1.2 Métricas de ponderação dos indicadores.....	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

As inovações tecnológicas associadas às soluções de mobilidade estão diretamente associadas às cadeias energéticas e industriais, que estão sendo particularmente afetadas pela transição energética, a qual vem se consolidando no mundo. O ritmo de entrada da eletromobilidade nos transportes e as novas rotas tecnológicas que vêm surgindo para o setor veicular apontam para um grande impacto repleto de incertezas nos agentes stakeholders envolvidos em toda a cadeia de suprimentos, ciclo de vida dos produtos e veracidade das tecnologias *green* que vêm surgindo. Nesse processo, há a busca por segurança energética, no sentido de garantia de atendimento à demanda, bem como por sustentabilidade socioambiental, que está diretamente relacionada à prevenção das mudanças climáticas e redução da poluição mundial. Nesse sentido, observa-se que é necessário muito estudo e análise sobre a entrada das inovações e até mesmo sobre definições de como esses processos irão acontecer, para que se atinjam os objetivos de cada setor. Há uma curva de desenvolvimento, até que novas tecnologias sejam implementadas em setores já existentes, sensibilizando questões sociopolíticas e socioeconômicas a partir das decisões a serem tomadas no planejamento a longo prazo.

A projeção do futuro da eletromobilidade está diretamente relacionada com o mercado de combustíveis automotivos e o impacto causado nas cadeias energéticas de combustíveis fósseis e biocombustíveis. A partir da crise de petróleo, que teve início em 1970, observou-se que combustíveis da categoria de recursos não renováveis, mesmo possuindo grande usabilidade em diferentes setores, não seria o futuro como única fonte de energia. Segundo dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP, 2021) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), mesmo com os efeitos causados pela crise hídrica, que acarretou no aumento expressivo das taxas relacionadas a esse setor, a energia elétrica segue sendo uma fonte mais competitiva no mercado do que os combustíveis fósseis. Imaginando um cenário em que a energia elétrica seja a principal fonte de combustível no setor de transporte, já existem análises para avaliar o impacto sobre a viabilidade da mobilidade nas cidades e os impactos que são causados no meio ambiente.

Por outro lado, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021), “nove em cada dez habitantes dos grandes centros urbanos no mundo estão expostos a níveis de poluição pelo menos 2,5 vezes mais altos do que se considera aceitáveis – e que foram responsáveis pela morte de 3,7 milhões de pessoas em 2012”. Além disso, o gás carbônico (CO₂) liberado pela queima de combustíveis fósseis, também é um dos principais responsáveis pelo aquecimento global, fato que acelerou o desenvolvimento de alternativas veiculares segundo as regulamentações ambientais da Europa, de países da Ásia e de alguns estados dos EUA, que restringem os limites de emissão de CO₂ por quilômetro rodado.

Alguns mitos e informações duvidosas vem surgindo a respeito da mobilidade elétrica como alternativa sustentável. O primeiro ponto a ser levantado é a afirmação de que os veículos elétricos (VE) não poluem, visto que no processo de produção da bateria possui poluição atribuível ao veículo, já que os elementos que a constituem precisam ser minerados, refinados e processados. Ainda sobre esse ponto, há o problema de descarte, já que os insumos da bateria são tóxicos, podendo ser altamente danosos para a saúde humana e contaminação do meio ambiente. Outro ponto é a matriz elétrica para o carregamento das baterias, quanto mais renovável for, menor será a emissão de GEE para carregamento dos veículos. Em relatórios de dados requisitados pela Arabesque (*asset-management company ESG*), a revista Forbes publicou uma matéria em março de 2021 informando que a Tesla Motors falhou com o reporte sobre a emissão de carbono, não disponibilizando os dados necessários para a análise ESG (*Environmental, Social and Governance*), que foi considerado como forma de acobertamento de informações fundamentais para que a empresa seja considerada sustentável diante a comunidade científica, o que inclui dados sobre manufatura dos automóveis. Para finalizar, neste cenário teríamos a transformação dos postos atuais de combustíveis em eletropostos, entretanto ainda não se têm muitas informações concretas sobre o impacto estrutural e de segurança deste novo modelo de abastecimento, bem como em oficinas mecânicas para que estejam habilitadas a trabalhar com VE.

A conversão de veículos à combustão para tração elétrica é objeto de um projeto de pesquisa e desenvolvimento intitulado: Projeto P&D 05697-0219/2019: Inserção de Veículos Elétricos em Frotas Públicas, através da Conversão de Veículos à Combustão para Tração Elétrica, coordenado pelo Prof. Adriano de Andrade

Bresolin, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAE) do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Câmpus Florianópolis, em parceria com a Centrais Elétricas de Santa Catarina – CELESC e polo EMBRAP II – IFSC. Toda a abordagem citada é como parte da análise de viabilidade operacional, econômica e sustentável da conversão de veículos à combustão para tração elétrica e como isso se relaciona com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) da ONU, sendo 7 que serão abordados no estudo: Saúde e Bem-Estar (ODS 3), Energia Limpa e Acessível (ODS 7), Indústria, Inovação e Infraestrutura (ODS 9), Cidades e Comunidades Sustentáveis (ODS 11), Consumo e Produção Responsáveis (ODS 12), Ação contra a Mudança Global do Clima (ODS 13) e Parcerias e Meios de Implementação (ODS 17).

1.1 Justificativa

A pandemia da covid-19 acarretou uma série de mudanças com relação a várias temáticas mundiais e, principalmente, quanto ao uso de transportes e planos nacionais de recuperação, que apresentam oportunidades para governos e empresas da América Latina na corrida para a transição para a mobilidade elétrica, conforme afirma o relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2021). O relatório ainda destaca que os países estão inovando para superar os elevados custos iniciais da eletrificação e reduzir os riscos financeiros associados.

Nesse contexto, a necessidade de integrar soluções com diferentes perspectivas é evidente, para que todas as inovações tecnológicas estejam alinhadas com a visão da indústria, comércio e sustentabilidade de todo o processo. Visto que a regulamentação ainda é muito precária, este trabalho tem a importância de mostrar uma visão mais integrada de toda a cadeia de valor e ciclo de vida do produto, como forma de comprovação da necessidade de integralizar diferentes aspectos relacionados do desenvolvimento tecnológico e aplicação em larga escala, correlacionando com a temática principal da conversão de veículos à combustão para tração elétrica.

1.2 Definição do Problema

Será analisada a execução e viabilidade da conversão de veículos movidos à combustão para tração elétrica, de forma a contribuir para o aumento da inserção de veículos elétricos no mercado nacional. A conversão de veículos à combustão para tração elétrica é viável do ponto de vista operacional, econômico e sustentável?

1.3 Objetivo Geral

Desenvolvimento de uma análise de viabilidade operacional, econômica e sustentável da conversão de veículos à combustão para tração elétrica.

1.4 Objetivos Específicos

- a) Estudo teórico sobre as temáticas relacionadas à mobilidade urbana, eletromobidade, mercado das cadeias energéticas e sustentabilidade da cadeia de valor e ciclo de vida dos veículos elétricos.
- b) Estudo teórico e prático sobre a conversão de veículos à combustão para tração elétrica.
- c) Utilização da análise multicritério para tomada de decisão e como correlaciona com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis da ONU.
- d) Documentação e divulgação dos resultados obtidos.

1.5 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho inicia a discussão sobre o tema proposto na introdução, embasando os capítulos posteriores onde serão abordados conteúdos relacionados ao tema principal, que é o processo de conversão de um veículo à combustão para tração elétrica, sendo abordado através de um viés analítico sobre a viabilidade operacional, econômica e sustentável do processo de conversão.

No capítulo dois é realizada a contextualização histórica da mobilidade elétrica e temáticas envolvidas. Também aborda os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis da ONU, parte do contexto geral desse estudo e da contribuição do Brasil para o atingimento das metas estipuladas na Agenda 2030 da ONU.

O terceiro capítulo discorre sobre a metodologia de cada análise realizada e o resultado parcial obtido em cada uma delas.

No capítulo quatro é apresentado os resultados obtidos através da utilização da análise multicritério e AHP, como apoio à tomada de decisão.

As considerações finais e sugestões para trabalhos futuros são abordadas no capítulo cinco.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada uma contextualização histórica sobre os veículos elétricos, como essa temática se relaciona com as ODSs, introdução aos tipos de veículos elétricos bem como os fatores relacionados a sustentabilidade que estão envolvidos na eletromobilidade.

2.1 Contextualização histórica

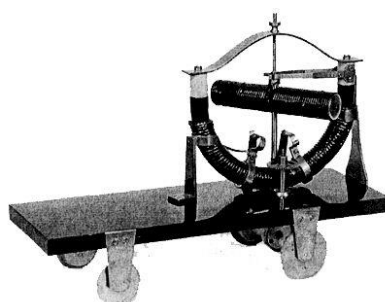
As circunstâncias ajudam a formar o entendimento sobre determinado assunto, deste modo, a contextualização histórica tem por objetivo traçar um histórico sobre o objeto de estudo deste presente trabalho, de forma a apresentar o contexto em que houve o surgimento dos veículos elétricos, o desenvolvimento tecnológico ao passar dos anos e como este tema tem correlação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU no contexto do Brasil e do mundo.

2.1.1 Breve histórico sobre o surgimento dos Veículos Elétricos (VE)

Existem várias premissas sobre o surgimento dos veículos elétricos, sendo que o título de “primeiro carro elétrico” não vem ao caso dessa seção, mas sim a tecnologia envolvida que deu origem a várias inovações que revolucionaram o mundo até os dias atuais. Começando pelo século XIX, onde a Revolução Industrial trouxe a

necessidade do aprimoramento de atividades braçais para trabalhos que poderiam ser realizados por máquinas de maneira muito mais eficiente, o que originou uma corrida por pesquisa e desenvolvimento ao redor do mundo. Em 1828, o húngaro Ányos Jedlik, inventou a primeira versão de uma propulsão elétrica que continha componentes básicos de um motor a bateria: estator, rotor e comutador. Para a realização de testes de funcionamento, Ányos acoplou a engenhoca a uma miniatura de carro, validando então o conceito do funcionamento do motor elétrico e também o conceito da eletricidade como uma unidade propulsora que se movimenta sob rodas (Figura1), sendo que Ányos foi considerado o pai dos dínamos e motores.

Figura 1 – Modelo de carro elétrico por Ányos Jedlik



Fonte: EletricVehiclesNews (2022).

As pesquisas e desenvolvimento continuaram e em vários locais tem-se o registro do surgimento de veículos elétricos em contextos variados de aplicação, mas alguns anos mais tarde, em 1881, o francês Gustave Trouvé apresentou o primeiro carro elétrico completo e que contava com um motorista, no Congresso Internacional de Eletricidade, em Paris (Figura 2).

Figura 2 - Primeira versão do carro elétrico da história por Gustave Trouvé



Fonte: UpsBatteryCenter (2022).

Após a apresentação em um evento de tal magnitude, foram surgindo as primeiras marcas especializadas em veículos elétricos na Europa e Estados Unidos. A corrida para a eletrificação, segundo Barreto (1986), teve seu ápice de produção e comercialização entre os anos de 1890 e 1910, época em que a população optava por esse tipo de veículo por serem mais seguros e socialmente desejados, diferente da então situação dos automóveis à combustão. Foi então que em 1899, o carro elétrico denominado *La Jamais Contente* foi o primeiro automóvel a ultrapassar 100km/h, sendo pilotado pelo seu criador, o belga Camille Jenatzy (Figura 3), comprovando então a eficácia da tecnologia em ascensão.

Figura 3 – Carro elétrico Le Jamais Contente, por Camille Jenatzy



Fonte: Vander Bilt Cup Races (2022).

2.1.2 O surgimento das baterias

Houve diversas fases de desenvolvimento relacionado à mobilidade elétrica durante os séculos XIX e XX, porém, o surgimento dos carros elétricos está diretamente ligado ao surgimento das baterias. Os primeiros modelos desenvolvidos não eram capazes de armazenar cargas para a autonomia suficiente desejada, mas em 1859, o francês Gaston Planté inventou a bateria de chumbo-ácido (Figura 4), primeiro modelo de baterias recarregáveis e que até hoje é a base das baterias utilizadas hoje em dia. Inicialmente, era utilizada para alimentar as luzes em vagões de trem parados na estação.

Figura 4 – Bateria chumbo-ácido de Gaston Planté



Fonte: EletricVehiclesNews (2022).

Posteriormente em 1881 foi adaptada por Camille Alphonse Faure, que modificou o método de revestimento de placas de chumbo com uma pasta de óxido de chumbo, ácido sulfúrico e água, que com o processo de cura adequado, durante o carregamento deu um aumento substancial na capacidade de carga, quando comparado com a versão de bateria de Planté. Esse foi um grande marco que levou em nível industrial a produção de baterias e que deu a possibilidade para ser utilizada nos modelos de veículos elétricos que estavam surgindo na época.

2.1.3 A virada do século e a ascensão do petróleo

Na virada do século, aconteceram várias descobertas de campos de petróleo, que também deram origem a vários desenvolvimentos de melhorias na extração e manuseio, o que acarretou a redução de custos associados à utilização dessa matriz energética. Levando-se em consideração que 40 anos antes já existiam modelos de automóveis de combustão interna (ICEV) e externa (veículos a vapor), houve um aprimoramento dessa tecnologia quando em 1912, Charles Kettering (Figura 5) inventou o motor de arranque que contava com sistema de ignição elétrica, podendo dar a partida nos motores a combustão de maneira simplificada e eliminando o uso da manivela, além de inúmeras outras invenções que mudou o rumo do mundo automotivo.

Figura 5 – Motor de arranque com sistema de ignição elétrica por Kettering



Fonte: Maharpress (2022).

No contexto de mudanças, durante a Primeira Guerra Mundial, houve uma necessidade ainda maior de buscar alternativas energéticas devido às limitações relacionadas ao período, cujo transporte como deslocamento e abastecimento deveria ser realizado de maneira rápida e eficiente, através dos veículos motorizados. Foi nesse período em que a indústria automobilística focou seu desenvolvimento em motores à combustão interna, pois os veículos elétricos não se mostravam atrativos para o contexto da guerra quando comparados aos veículos à combustão, devido a fatores como: alto custo de produção das baterias (que apresentavam baixa eficiência), baixa autonomia e alto custo final de produção do veículo. Vale ressaltar que nesse período, Henry Ford desenvolveu o sistema produtivo de automóveis que mudou completamente a realidade do mundo automobilístico, cujo preço final dos carros elétricos chegou a ser duas vezes maior que o preço final dos carros à combustão.

2.1.4 A volta da alternativa elétrica

O assunto dos veículos elétricos voltou à tona alguns anos antes da década de 70 que foi marcada pela Crise do Petróleo, o que também acarretou no aumento do preço do combustível. Foi nas décadas de 50 e 60, que segundo Husain (2003), começaram a surgir debates sobre a preocupação com os efeitos da poluição gerados pelos veículos à combustão e danos causados ao meio ambiente devido ao rápido crescimento das frotas de automóveis à combustão ao redor do mundo. Com o passar dos anos, foram desenvolvidas novas tecnologias para melhorar a eficiência dos VEs,

como, por exemplo, a criação da bateria níquel-ferro com maior capacidade que a de chumbo, bem como a frenagem regenerativa. No cenário brasileiro, em 1974, João Augusto Amaral Gurgel criou o primeiro carro elétrico nacional, que pesava 460 kg, sendo 320 kg apenas de baterias, com autonomia de 50 km e tinha o nome de Itaipu (Figura 6).

Figura 6 – Itaipu carro elétrico nacional marca Gurgel



Fonte: Auto Esporte (2022).

Assim como em outros locais, o problema recorrente sempre foi muito parecido para as marcas fabricantes de carros elétricos: peso das baterias, baixa autonomia e tempo de recarga. Na década de 80, a Crise do Petróleo foi superada e a atenção para a mobilidade elétrica voltou a entrar em segundo plano. No caso do cenário brasileiro, nessa mesma época, foi criado o programa “Proálcool” que foi um grande sucesso, porém inviabilizou ainda mais a comercialização e crescimento da produção de veículos elétricos nacionalmente.

Com a crescente conscientização política a respeito de questões ambientais, grandes indústrias como a Ford e General Motors começaram a voltar o olhar para a solução elétrica e híbrida, promovendo pesquisas relacionadas a essa temática. Foi então que em 1997, no Japão, a fabricante Toyota lançou seu primeiro carro híbrido, o Prius (Figura 7) e na mesma época também foi lançado na Europa o Duo, híbrido da Audi. Ambos já contavam com tecnologia de ponta e design contemporâneo, muito diferente dos modelos precursores.

Figura 7 – Feira no Japão para lançamento do Toyota Prius



Fonte: Motor 24 (2022).

2.1.5 Sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), compõem a Agenda 2030, proposta pela ONU, em 2015, cujo plano é que os seus países membros incorporassem na agenda de desenvolvimento sustentável para os próximos 15 anos as propostas estabelecidas. Os ODS buscam assegurar os direitos humanos, agir contra as mudanças climáticas, lutar contra vários tipos de desigualdades e a injustiças e enfrentar outros grandes desafios da humanidade.

Figura 8 – As 17 ODS da ONU



Fonte: Nações Unidas Brasil (2022).

Diversas iniciativas então são criadas pelos países para que esses objetivos sejam atingidos, há um crescente movimento para a conscientização como forma de garantia da sustentabilidade do processo, onde as empresas que possuem mais credibilidade, prestam relatórios que normalmente são baseados na Global Reporting Initiative (GRI), que inclusive, é uma demanda crescente do mercado financeiro com relação à transparência das informações compartilhadas.

Para o tema deste estudo, foram selecionadas algumas ODS que serão abordadas em mais detalhes de forma a integralizar o desenvolvimento. Segue objetivos de cada uma conforme a ONU Brasil:

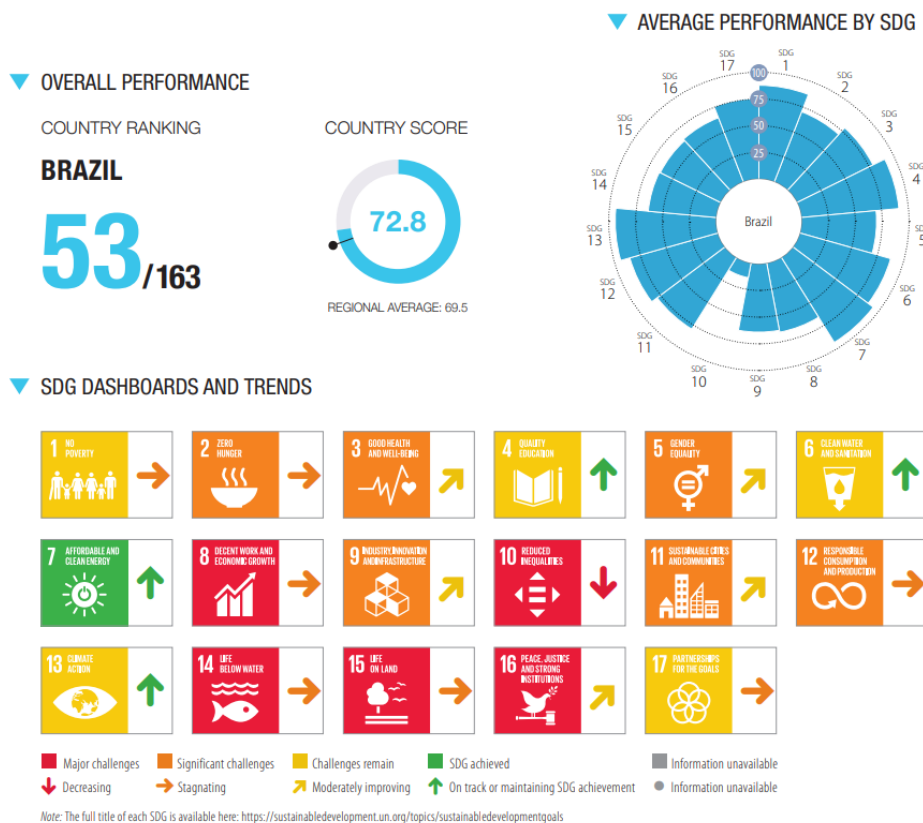
- a) ODS 3 Saúde e Bem-Estar: garantir o acesso à saúde de qualidade e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.
- b) ODS 7 Energia Limpa e Acessível: garantir o acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e modernas para todos.
- c) ODS 9 Indústria, Inovação e Infraestrutura: construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação.
- d) ODS 11 Cidades e Comunidades Sustentáveis: tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.
- e) ODS 12 Consumo e Produção Responsáveis: garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis.
- f) ODS 13 Ação Contra a Mudança Global do Clima: adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos.
- g) ODS 17 Parcerias e Meios de Implementação: reforçar os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

Segundo a análise no ano de 2022 do *Sustainable Development Report*, dos 163 países analisados que possuem dados atualizados, o Brasil está na posição 53 do *rank*, contribuindo mais ativamente para os objetivos 4, 6, 7 e 13 ao longo dos anos, conforme Figura 9.

Figura 9 – Análise da contribuição do Brasil em 2022

BRAZIL

Latin America and the Caribbean



Fonte: Sustainable Development Report (2022).

A aderência à iniciativa gera grande impacto para o contexto da cadeia de valor de cada segmento do mercado, sendo que cada ODS contribui para objetivos específicos, mas, ao mesmo tempo, todos os 17 objetivos se integram de alguma maneira. Se falarmos sobre a ação contra a mudança global do clima (ODS 13), a empresa pode decidir atuar na redução das emissões de carbono olhando para a logística de transporte utilizada, selecionando a frota de caminhões como alvo de melhoria, então, neste caso, já estará automaticamente contribuindo para a melhoria nas cidades e comunidades (ODS 11) e para a saúde e bem-estar (ODS 3), através da diminuição das emissões de carbono em determinada região.

2.2 Introdução às temáticas relacionadas aos Veículos Elétricos (VEs)

A preocupação com as questões sociais e ambientais, e a ascensão do mercado de veículos leves, resulta em diferentes iniciativas tecnológicas para desenvolver soluções para o futuro. A crescente adoção da mobilidade elétrica é um indicador de que essa é a tecnologia do futuro e que pode trazer inúmeros benefícios para a sociedade.

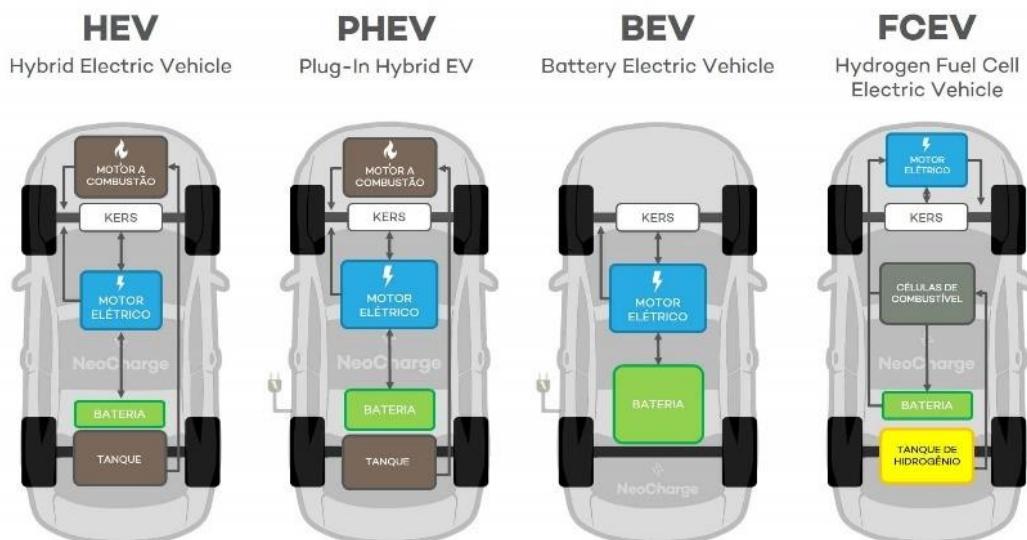
2.2.1 Tipos e categorias de veículos

Para a abordagem sobre a conversão de veículos para tração elétrica, primeiro é necessário o entendimento sobre quais são os tipos de veículos e como podem ser divididos, a partir das categorias listadas a seguir (IEA, 2011; DOUCETTE; MCCULLOCH, 2011; ABVE, 2013; PBMC, 2014; SILVA, 2014; BRAJTERMAN, 2016).

- a) Veículo convencional: tipo de veículo com motor à combustão interna (ICE) de ciclo Otto, convencionalmente comercializado, que roda apenas com gasolina, apenas com etanol ou *flex fuel*, que funciona com ambos os tipos de combustíveis.
- b) Veículo convertido a gás natural veicular (NGV): veículo que pode possuir qualquer tecnologia que foi convertida para utilizar gás natural veicular.
- c) Veículo híbrido (HEV): possui dois motores, sendo um elétrico alimentado por bateria, e outro motor à combustão interna. A bateria é recarregável exclusivamente através de frenagem regenerativa, ou seja, não é conectada à rede elétrica.
- d) Plug-in híbrido (PHEV): veículo híbrido como o da categoria anterior, porém a sua bateria é recarregável através de frenagem regenerativa e, também, por conexão à rede elétrica.
- e) Veículo elétrico à bateria (BEV): possui unicamente motor elétrico, alimentado por bateria recarregável através de frenagem regenerativa e conectada à rede elétrica.
- f) Veículo elétrico com células a combustível (FCEV): tem como fonte de energia uma célula a partir do hidrogênio para movimentação e carregamento da bateria.

Como pode ser observado, assim como existe uma variedade de tecnologias para os carros à combustão, os veículos elétricos também podem variar de acordo com as necessidades e demandas do mundo atual. Neste estudo, a prioridade é a abordagem dos veículos elétricos, que são divididos em quatro categorias das seis citadas anteriormente e que pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Categorias dos veículos elétricos (VEs)



Fonte: NeoCharge (2022).

2.2.2 A premissa da conversão de veículos à combustão para tração elétrica

Várias iniciativas em mobilidade elétrica foram surgindo nos últimos anos, com diferentes temáticas e propósitos. A meta é atender às exigências mundiais de redução de emissões, o Brasil está seguindo a tendência global e concentrando seus esforços cada vez mais em veículos das categorias puramente elétricos e híbridos plug-in, porém há vários desafios políticos, normativos e estruturais. Esses pontos corroboram para que o valor monetário dos carros elétricos seja alto e de difícil acesso para a maior parte da população, o que diferencia os valores para cada país, é a estratégia utilizada para facilitar o acesso e disseminação à essa tecnologia. Países como os da União Europeia promovem incentivos para a utilização de veículos eletrificados, como por exemplo, isenção de taxas anuais de licenciamento, redução nas taxas relacionadas à fatura de energia elétrica residencial e comercial, carregamento do veículo em supermercados e locais de trabalho, entre outros.

No cenário brasileiro, segundo a revista MotorShow (2020), no mercado brasileiro os cinco carros elétricos mais vendidos foram o Audi e-tron (a partir de R\$ 531.990), Chevrolet Bolt (R\$ 260.790), Nissan Leaf (R\$ 220.000), Jaguar I-Pace (R\$ 508.950) e BMW i3 (a partir de R\$ 253.950), com preços completamente diferentes dos veículos à combustão. Além das iniciativas socioambientais comentadas que estão envolvidas na mobilidade elétrica, a redução do preço dos veículos elétricos também é objetivo do desenvolvimento tecnológico. A proposta é o reaproveitamento dos veículos à combustão, realizando a conversão para tração elétrica.

2.2.3 Fatores ambientais relacionados

Todo e qualquer processo, independentemente de sua natureza, gera algum tipo de resíduo sólido. Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010), resíduo sólido pode ser definido como sendo todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade. Conforme a lei 12.305/2010 do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2010), que define a PNRS, os resíduos precisam ter um destino ambientalmente correto e a classificação dos resíduos no Brasil é normatizada pela ABNT NBR 10.004/2004. A classificação se dá de acordo com suas características ou propriedades e é relevante justamente para a correta escolha da destinação mais ambientalmente adequada. A identificação do processo ou atividade que deu origem aos resíduos é denominada fonte geradora; o mapeamento da geração de resíduos por fonte geradora é uma importante ferramenta para a gestão, organização e redução de custos dos processos, que faz correlação direta com as ODS citadas anteriormente.

As emissões de CO₂ podem ser consideradas resíduos produzidos pelo uso do automóvel, e de acordo com dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2021), no ano de 2021, os automóveis da categoria utilitários foram responsáveis por mais de 900 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera, praticamente o dobro da pegada de carbono brasileira que segundo o *Global Carbon Project*, gira em torno de 467 milhões de toneladas de CO₂. Segundo o anuário estatístico de energia elétrica publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019), no ano de 2019, o Brasil

produziu um total de 626 TWh, e para esse total de energia elétrica gerada em 2019, houve uma contribuição de 12,40 milhões de toneladas de CO₂ pela fonte.

Considerando o aumento da utilização de veículos elétricos, durante a fase de uso do automóvel, a proporção influencia diretamente na redução da quantidade de emissões por quilômetro rodado, já que a matriz elétrica é a matriz energética desse meio de transporte eletrificado.

3 METODOLOGIA

A metodologia é uma sistematização para alcançar resultados. Nesse capítulo será detalhado os métodos estabelecidos para a realização da análise da viabilidade operacional, econômica e sustentável da conversão de veículos à combustão para tração elétrica.

Foi realizada uma pesquisa aplicada, com abordagem quanti-qualitativa e bibliográfica, utilizando como base análise de multicritérios para quebrar o problema geral em subproblemas. A pesquisa aplicada foi produzida a partir de aplicação prática, realizada no laboratório do projeto de pesquisa e desenvolvimento, denominado Laboratório Coworking do Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Florianópolis.

A abordagem do problema, sendo quanti-qualitativa é caracterizada pela combinação das abordagens quantitativas e qualitativas. As técnicas quantitativas utilizadas são baseadas em estatísticas bibliográficas para tratar as informações, os resultados estão apresentados com tabelas e gráficos. Para a abordagem qualitativa foram utilizadas técnicas que não se limitam aos dados isolados, entendendo a realidade do cenário envolvido no caso de estudo, por meio do projeto voltado para o grupo de pesquisa em mobilidade elétrica do IFSC, denominado Projeto P&D 05697-0219/2019: Inserção de Veículos Elétricos em Frotas Públicas, através da Conversão de Veículos à Combustão para Tração Elétrica, em parceria com a Centrais Elétricas de Santa Catarina – CELESC e polo EMBRAPII – IFSC. A premissa do projeto é a conversão dos veículos à combustão, da frota pública de entidades governamentais do estado de Santa Catarina, com o propósito de viabilizar o uso de veículos convertidos para elétricos neste cenário aplicado.

Para finalizar, a pesquisa bibliográfica aborda conceitos sobre mobilidade urbana, eletromobilidade, sustentabilidade, pegada de carbono, matriz energética, entre outros, correlacionando com o processo de conversão de veículos à combustão para elétricos. Os registros bibliográficos estão indexados na seção final de referências.

3.1 Análise operacional do processo de conversão

A proposta de conversão citada é referente a um projeto de pesquisa e desenvolvimento, em que o veículo possua as mesmas condições de uso quando movido à combustão, porém, utilizando a tração elétrica. Assim, relaciona-se o tamanho de motores e baterias através da utilização de câmbios de transmissão automáticos e contínuos com rendimento acima de 70%. A análise neste trabalho se dará pela relação de itens a serem retirados, adaptados e inseridos para que um carro à combustão seja convertido para tração elétrica.

3.1.1 Principais componentes de um VE

Os veículos convencionais, possuem um sistema de propulsão denominado *powertrain* e um motor de combustão interna (MCI), que utiliza gasolina, biodiesel, álcool ou gás natural, resultado de décadas de invenção e desenvolvimento científico, como já mencionado anteriormente. Os veículos MCI precisam de sistema de lubrificação e arrefecimento, através da reação do combustível com o comburente que ocorre o processo de combustão, dentro de uma câmara específica e outros componentes que fazem parte de todo o circuito de fluxo. No caso do conceito de máquinas elétricas, elas podem ser descritas como máquinas eletromecânicas que possuem o funcionamento baseado no fenômeno da indução eletromagnética, que, de forma simplificada, podem ser divididas em dois tipos: máquinas elétricas estáticas e máquinas elétricas rotativas.

Um veículo pode ser denominado veículo eletrificado quando conta com pelo menos uma máquina elétrica no sistema de propulsão. Independente do arranjo, precisa ter um sistema de armazenamento de energia elétrica (AE) - que é

responsável por armazenar e disponibilizar energia - e de processamento de energia (PE) - que tem a capacidade de transmitir energia entre os processos, como por exemplo, a energia precisa ser transmitida entre a bateria e o motor elétrico de tração, para se dar o processo de tração do veículo. Além disso, é necessário definir uma estratégia para o controle e gerenciamento dos sistemas de controle de potência (EP), para garantir a transmissão de energia entre as máquinas elétricas e os armazenadores de energia, distribuindo para os outros sistemas eletrônicos. Os parâmetros controlados são tensão, corrente e frequência, onde a conversão é tratada no nível de corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC). A eletrônica de potência envolve basicamente potência, eletrônica e controle, de extrema importância para garantir a eficiência e desempenho otimizado dos veículos eletrificados.

3.1.2 Componentes a serem retirados do veículo

Todos os sistemas do carro são dependentes do motor à combustão pois ele é o *core* e único gerador de força para todos os sistemas funcionarem, ou seja, tudo está interligado e depende, de algum modo, do funcionamento do motor à combustão para poderem entrar em operação. No carro elétrico ocorre o contrário, todos os sistemas são independentes e funcionam naturalmente sem a necessidade do funcionamento do motor elétrico principal, que é responsável basicamente pela força motriz para a movimentação do veículo. A análise será baseada na conversão do automóvel Fiat Fiorino, e os itens a seguir descrevem os componentes que precisam ser retirados do veículo a ser convertido para tração elétrica:

- a) Motor à combustão: como mencionado anteriormente, é o único gerador de força para todos os sistemas do veículo MCI funcionar; desse modo, precisa ser retirado por completo, incluindo as partes de acoplamento mecânico. Nas Figuras 11 e 12 é possível observar em diferentes vistas o MCI retirado do veículo.

Figura 11 – Vista superior do MCI do veículo convertido para tração elétrica



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 12 – Vista inferior do MCI do veículo convertido para tração elétrica



Fonte: Autoria própria (2022).

- b) Motor de arranque: também chamado de motor de partida, é um motor elétrico que tem a função de transformar a energia elétrica da bateria em energia mecânica para girar o motor à combustão, então, retirando o motor à combustão, esse componente precisa também ser retirado já que não é mais necessária sua utilização.

- c) Compressor de ar-condicionado: o software de comunicação desse componente não é compatível com o novo software de comunicação que será utilizado pelos demais itens elétricos que serão inseridos, por isso, esse item precisa ser retirado da montagem.
- d) Bomba do hidráulico: por possuir seu funcionamento dependente do motor a combustão e possuir software de comunicação que não é compatível com o novo protocolo de comunicação a ser utilizado, também deve ser retirada da montagem.
- e) Alternador: esse elemento, na Figura 15, é responsável por transformar a energia mecânica do motor à combustão em energia elétrica. Como não haverá mais a necessidade de carregar a bateria de baixa tensão utilizando o trabalho do motor à combustão, é retirado da montagem.

Figura 13 – Alternador do veículo convertido para tração elétrica



Fonte: Autoria própria (2022).

- f) Cano de escape: o motor à combustão opera 4 tempos no ciclo de Otto – admissão, compressão, explosão/combustão, exaustão – cujo elemento responsável pela exaustão é o cano de escape, não sendo mais necessária a sua utilização na montagem elétrica.
- g) Bomba de água do radiador: por possuir seu funcionamento dependente do motor à combustão, também precisa ser retirada da montagem.

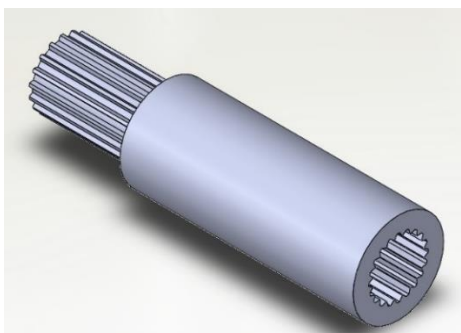
3.1.3 Itens a serem adaptados

Para o reaproveitamento do veículo à combustão é necessário realizar a adaptação de algumas partes para que aconteça o acoplamento ideal de componentes que não foram desenvolvidos para operarem juntos, de forma a garantir

o correto funcionamento do conjunto. Para o veículo do estudo de caso, houve principalmente a necessidade das seguintes adaptações:

- a) Câmbio de direção: pela estratégia do escopo do projeto, optou-se por continuar com o câmbio original do veículo, uma vez que, manter a relação de marchas, traz o benefício de aumentar a relação entre os eixos. Dessa forma, é possível obter maior velocidade final quando comparado com a conexão direta entre o motor elétrico e o eixo da roda; assim, para a dirigibilidade, basta engatar a primeira ou terceira marcha do câmbio manual, não havendo a necessidade de troca de marchas, nem a utilização da marcha ré, durante a aceleração e frenagem, pois a partir de agora, é o inversor que será responsável pela direção de rotação do motor.
- b) Radiador: a principal função deste componente é dissipar o excesso de calor gerado pelo motor durante a queima do combustível. Com a retirada do motor à combustão, ainda há a necessidade de troca de calor do sistema; então, as mangueiras precisam ser adaptadas para a refrigeração do novo *powertrain* e inserir um motor elétrico para realizar o acionamento da refrigeração do fluido.
- c) Acoplamento mecânico entre o motor elétrico e o câmbio original: com o novo motor elétrico, é necessário inserir o eixo de acoplamento entre as partes, podendo ser comprado à parte ou desenvolvido de forma adaptada, conforme o local onde vai ser inserido. Esse flange é responsável pelo acoplamento do motor elétrico à caixa de câmbio, desenvolvido conforme Figuras 14 e 15.

Figura 14 – Modelagem do acoplamento mecânico do motor elétrico ao câmbio original do veículo



Fonte: Projeto ConverTE (2022).

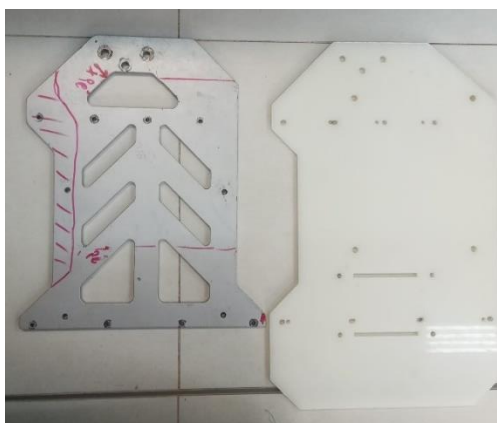
Figura 15 – Peça acabada do acoplamento mecânico do motor elétrico ao câmbio original do veículo



Fonte: Projeto ConverTE (2022).

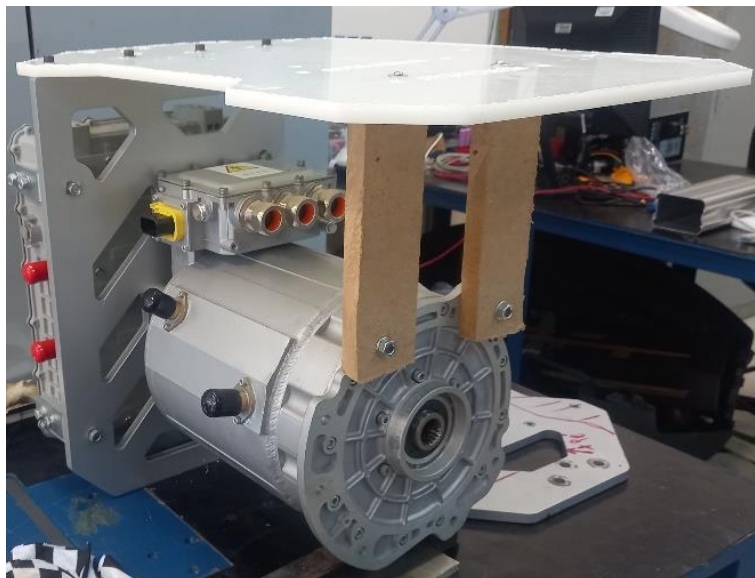
- d) Berço/cofre do motor: essa estrutura é responsável por fixar o motor à carroceria do automóvel. Dentre várias funcionalidades, essa estrutura garante o correto posicionamento e confiabilidade da imobilização do conjunto do motor. Com a inserção de um novo motor e seus componentes, foi desenvolvido um *mockup* (modelo em escala real de um dispositivo projetado, conforme Figuras 16 e 17) para avaliação e teste de performance e acondicionamento, que passou por versionamento até chegar na modelo final do cofre, o qual foi inserido na montagem do veículo.

Figura 16 – Versão do berço/cofre do motor em poliacetal e aço carbono para testes de acondicionamento



Fonte: Projeto ConverTE (2022).

Figura 17 – Versão do berço/cofre do motor em poliacetal e aço carbono para avaliação e testes



Fonte: Projeto ConverTE (2022).

Até chegar na versão final, testada e validada conforme Figuras 18 e 19.

Figura 18 – Versão final testada e validada do berço/cofre do motor em aço carbono



Fonte: Projeto ConverTE (2022).

Figura 19 – Versão final testada e validada do berço/cofre do motor em aço carbono



Fonte: Projeto ConverTE (2022).

3.1.4 Itens a serem inseridos

Com relação à inserção dos novos componentes que farão parte do sistema do veículo MCI que passará a ser um VE, é necessário realizar uma série de cálculos de dimensionamento seguindo alguns parâmetros pré-estabelecidos, de forma a garantir que o novo sistema atenderá à demanda e, na maior parte dos casos, também aumentar a performance do veículo convertido. Neste trabalho não será abordado esse assunto, porém é possível consultar um estudo de dimensionamento que resultou em uma calculadora web, cujo projeto é intitulado *Desenvolvimento de um sistema web para cálculo e dimensionamento do motor e pack de baterias para conversão em veículo elétrico*, disponível nas referências deste trabalho. Sobre os componentes a serem inseridos, temos:

- a) Motor elétrico principal: elemento responsável pela transformação da energia elétrica em mecânica; compõe o sistema do novo *powertrain*, sendo a força motriz do automóvel elétrico.
- b) *Vehicle Control Unit* (VCU): é o módulo de controle responsável pela maior parte dos processos de aspectos funcionais de um veículo elétrico. Responsável pelo controle de sinais que transitam nos sistemas para realizar as ações dos componentes que precisam de acionamento, pois são sistemas

independentes do veículo. Um exemplo disso pode ser dado, a partir do acionamento do freio; quando isso ocorre, é a VCU que realiza o controle para ativar eletronicamente o sistema de frenagem. No caso da Fiorino, foi utilizada a Fueltech 450 (Figura 20), que originalmente possui módulos apenas para veículos à combustão, porém desenvolveu, em conjunto com o presente projeto de pesquisa e desenvolvimento, o módulo para carros elétricos. Os sistemas se comunicam através do protocolo CAN.

Figura 20 – VCU Fueltech 450



Fonte: Autoria própria (2022).

- c) Inversor: dispositivo que é capaz de converter sinal elétrico CC para sinal elétrico CA e que realiza, principalmente, o controle de velocidade do motor e sentido da rotação. Para que fosse possível controlar o sentido “ré”, “neutro” e “direção” foi necessário incluir uma chave que, também, foi adaptada para tal fim, conforme Figuras X e Y. O inversor também é responsável por converter CA em CC para o carregamento da bateria.

Figura 21 – Chave para seleção do sentido de rotação do motor



Fonte: Projeto ConverTE (2022).

- d) Botão de liga/desliga: no painel da Fiorino, foi adaptado e inserido um botão de liga e desliga do motor elétrico principal, colocado próximo à chave de controle do inversor, do item anterior.

Figura 22 - Botão de liga e desliga no painel do veículo



Fonte: Autoria própria (2022).

- e) OBC (*on board charge*) + DC/DC: também pode ser chamado de carregador+conversor (Figura 23) e tem a função de converter a tensão CA para carregamento da bateria do veículo na tomada comum, e baixar o nível de tensão, para o carregamento da bateria interna DC, que é o sistema de baixa tensão.

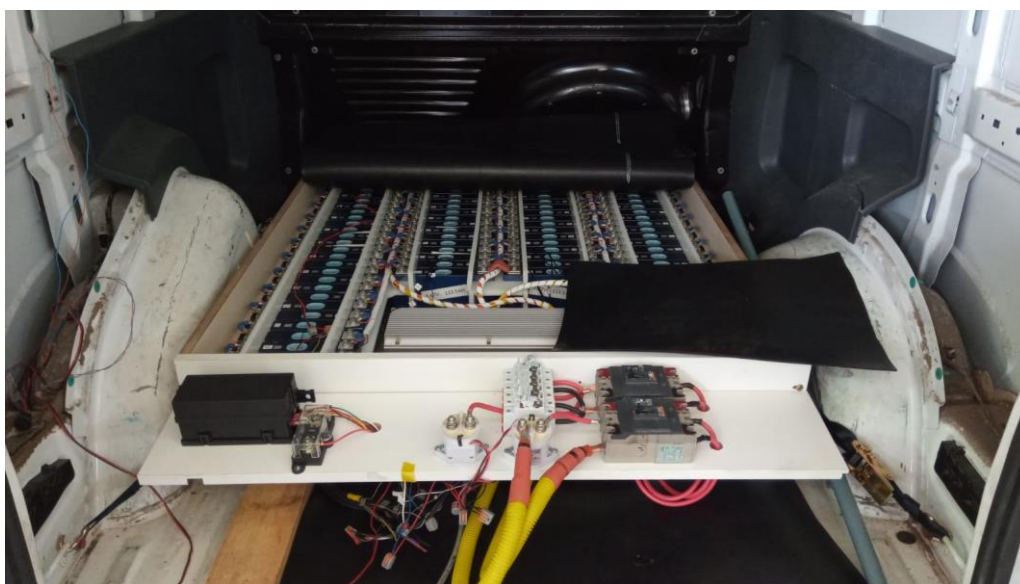
Figura 23 – Componente OBC + DC/DC



Fonte: Autoria própria (2022).

- f) Pack de baterias: tendo a função de armazenamento de carga para alimentação do veículo, o pack de baterias é feito pela combinação de baterias individuais e, por meio da combinação de várias células, é possível obter capacidades e tensões diferentes. O pack precisa ser dimensionado de acordo com a necessidade da aplicação. Para o caso da Fiorino, foram utilizadas 94 (noventa e quatro) células de tecnologia NMC (lítio-óxido-mangânês-cobalto), sendo que cada célula possui 3,67V e 113,5Ah, que através da ligação em série, alcança a tensão de 344,98V. Além disso, é necessário escolher o local para o posicionamento do pack de baterias, levando-se em conta o centro de massa do veículo para a correta distribuição do peso, como na Figura 24.

Figura 24 – Distribuição e posicionamento do pack de baterias na parte inferior da caçamba do veículo



Fonte: Arquivo Pessoal (2022).

- g) Ar-condicionado: inserção de um novo módulo de compressor eletrônico que possui motor elétrico e comunicação via protocolo CAN, necessário para comunicar e acionar com todo o restante do sistema.
- h) Sistema de frenagem: mantendo a disposição original, foi acrescentado ao sistema uma bomba de vácuo para gerar a pressão negativa, a fim de possibilitar a frenagem do veículo; isso é necessário pois a pressão de vácuo no veículo MCI é gerada pelo próprio motor, que foi retirado do sistema.

- i) Sistema de direção: é possível optar por manter a direção hidráulica original do veículo e acrescentar um motor elétrico para assistir a essa direção hidráulica, que antes era acionada pelo motor à combustão, porém, como no caso da Fiorino, também é possível inserir um tipo de direção que é assistida eletricamente, com um motor elétrico independente.
- j) Berço/cofre do motor: após as adaptações comentadas no item 3.1.3, é necessário inserir o conjunto no local onde antes era ocupado pelo motor à combustão, realizando as devidas conexões elétricas e mecânicas, conforme Figura 25.

Figura 25 – Montagem final do berço/cofre no veículo convertido



Fonte: Autoria própria (2022).

3.2 Análise econômica do processo de conversão

Para considerar um investimento economicamente viável ou não, podem ser utilizadas diferentes técnicas e ferramentas na ponderação. Para o caso os modelos de veículos MCI e VE, pode existir muita dificuldade para realizar a precificação dos benefícios que os modelos trazem, analisar os custos é um dos critérios de comparação sobre a viabilidade. Para esta seção, será utilizado uma métrica de análise denominada Custo Total de Propriedade, ou, no inglês, *Total Cost of Ownership* (TCO). A matemática financeira apresentada nesta seção, é somente o custo de propriedade do veículo, para saber se o investimento é adequadamente coberto pela renda e faturamento do investidor.

Segundo um estudo publicado por Scorrano *et. al* (2021), a análise TCO fornece informações úteis para consumidores, gestores de frotas, fabricantes e decisores políticos. Os modelos de TCO podem complementar outras metodologias, mas, basicamente, pode ter dois componentes de custo: um orientado ao consumidor (custos monetários privados, pelo utilizador do veículo) e um custo suportado pela sociedade (por exemplo, poluição atmosférica e sonora). Para esta análise, é proposto o desenvolvimento de um modelo para comparar os custos associados para a aquisição de veículos leves de três diferentes formatos: veículo à combustão, veículo elétrico de fábrica e veículo elétrico convertido.

Para estimar um modelo, é necessário levar em conta alguns fatores relacionados, que nesse caso se dará pelos mesmos parâmetros utilizados no estudo realizado por Scorrano *et. al* (2021), que são:

- a) Custos iniciais: despesas iniciais para adquirir o veículo.
- b) Custos operacionais: incorridos anualmente durante o período de utilização do veículo.
- c) Valores residuais: ocorre apenas no momento de revenda do veículo.

Para o caso de veículos elétricos, também pode ser considerado nos custos iniciais, a infraestrutura necessária para viabilizar o uso do veículo, que seria a aquisição e instalação do equipamento de carregamento do veículo (eletroposto). Existem também dois casos que impactam na análise:

- a) Caso o veículo elétrico seja adquirido por pessoa jurídica/empresas privadas, em que os recursos de capital são próprios, essas organizações devem descontar os fluxos de caixa aplicando uma taxa denominada Custo Médio Ponderado de Capital (CMPC, ou, em inglês, WACC), que é um custo médio ponderado de dívidas patrimoniais e financeiras, do setor empresarial. A taxa mencionada, deve ser usada como Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para a realização dos cálculos do custo de propriedade.
- b) Caso o veículo seja adquirido por uma pessoa física ou uma pequena empresa sem ou com capital limitado, os custos podem ser pagos integralmente no momento da compra do veículo ou pagos parcialmente em prestações. Para a situação do pagamento parcelado, precisa ser considerado as devidas taxas da legislação do país em questão.

Para a análise proposta neste trabalho, os seguintes parâmetros serão considerados:

Tabela 1 - Tabela de apresentação dos parâmetros considerados

Critério	Consideração	Medida
Quilometragem diária	-	60 km/dia
Período	Até a substituição do veículo	5 anos
Taxa mínima de atratividade	Taxa de juros real, obtida descontando a inflação	3% ao ano
Modelo do veículo	Considerando valores da montadora para o ano de 2022	Valor da conversão: R\$ 119 mil
Custo da carga anual	Considerando 0,27 kWh/km e 252 dias úteis por ano	0,98 R\$/kWh comercial
Custo do combustível anual	Considerando 12,6 km/l e 252 dias úteis por ano	7,19 R\$/l
Custo anual de manutenção	Considerando valores da montadora para o ano de 2022	-
Valor presente (custos) - Valor presente (residual)	<i>Total Cost of Ownership</i> (TCO) referido na literatura internacional	Diferença entre a soma dos valores presente dos custos todos e o valor presente do preço de revenda do veículo
Custo anual uniforme equivalente (CAUE)	<i>Annualized Total Cost of Ownership</i> (ATCO) referido na literatura internacional	-

Fonte: Autoria própria (2022).

Os cálculos dos critérios mencionados, podem ser revisados no trabalho de Scorrano *et. al* (2021), disponível nas referências bibliográficas. Na Figura 26, a comparação entre os diferentes modelos de veículos selecionados. O resultado é dado em porcentagem da diferença de valores entre os modelos, tomando o veículo à combustão como referência de comparação.

Tabela 2 - Análise financeira comparativa de três modelos de veículo selecionados

Modelo	Citröen Jumpy	Citröen E-Jumpy	ConverTE
Preço de fábrica	R\$ 187,490.00	R\$ 329,990.00	R\$ 231,431.00
Emplacamento/Alteração	R\$ 174.94	R\$ 174.94	R\$ 174.94
Custo carga/combustível anual	R\$ 8,628.00	R\$ 4,000.75	R\$ 4,000.75
Custo manutenção anual	R\$ 6,931.00	R\$ 6,931.00	R\$ 6,931.00
Licenciamento anual	R\$ 142.69	R\$ 142.69	R\$ 142.69
Taxa de depreciação anual	20.00%	20.00%	20.00%
Alíquota de IPVA	2.00%	2.00%	2.00%
IPVA no 1º ano	R\$ 3,749.80	R\$ 6,599.80	R\$ 4,628.62
...			
IPVA no 5º ano	R\$ 1,228.73	R\$ 2,162.62	R\$ 1,516.71
...			
VP(custos) - VP(valor residual)	R\$ 215,934.34	R\$ 304,074.93	R\$ 228,456.29
CAUE	R\$ 47,150.25	R\$ 66,396.15	R\$ 49,884.48
CAUE/12 (mensal)	R\$ 3,929.19	R\$ 5,533.01	R\$ 4,157.04
Diferença do veículo à combustão	0%	41%	6%

Fonte: Autoria própria (2022).

Outra análise que pode ser realizada, é levando em consideração apenas os veículos relacionados na conversão realizada no projeto de pesquisa e desenvolvimento mencionado no tópico 3.1. Para isso, o valor do veículo em que foi realizada a conversão, é a Fiat Fiorino 2018 e tem como referência preços relacionados à tabela FIPE disponibilizada no site iCarros.

Tabela 3 - Análise financeira comparativa do mesmo modelo de veículo utilizado na conversão

Modelo	Fiat Fiorino	ConverTE
Preço de fábrica	R\$ 99,990.00	R\$ 181,113.00
Emplacamento/Alteração	R\$ 174.94	R\$ 174.94
Custo carga/combustível anual	R\$ 8,448.65	R\$ 2,563.44
Custo manutenção anual	R\$ 1,211.00	R\$ 1,211.00
Licenciamento anual	R\$ 142.69	R\$ 142.69
Taxa de depreciação anual	20.00%	20.00%
Alíquota de IPVA	2.00%	2.00%
IPVA no 1º ano	R\$ 1,999.80	R\$ 3,622.26
...		
IPVA no 5º ano	R\$ 655.29	R\$ 1,186.94
...		
VP(custos) - VP(valor residual)	R\$ 121,783.36	R\$ 157,071.82
CAUE	R\$ 26,591.95	R\$ 34,297.35
CAUE/12 (mensal)	R\$ 2,216.00	R\$ 2,858.11
Diferença do veículo à combustão	0%	29%

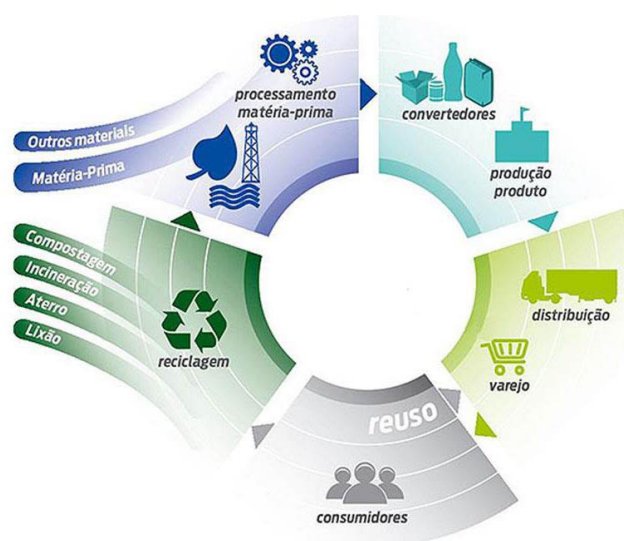
Fonte: Autoria própria (2022).

Na Tabela 3 é possível observar que existe um valor de investimento inicial agregado ao processo de conversão. Na Tabela 2, também é possível observar, que quando comparado com a compra de um VE de fábrica, o processo de conversão é mais viável economicamente. Para a tomada de decisão final, será realizada a análise multicritério, disponível no capítulo 5.

3.3 Análise sustentável do processo de conversão

A jornada de um produto vai desde o seu desenvolvimento até uma eventual descontinuação. A análise do Ciclo de Vida (ACV), é a avaliação de impactos ambientais, que através de uma metodologia analisa informações desde a extração da matéria prima, passando por várias etapas até chegar ao descarte (FINNVEDEN et al., 2009).

Figura 26 - Ciclo de Vida (ACV) de um produto



Fonte: ArqBio (2022).

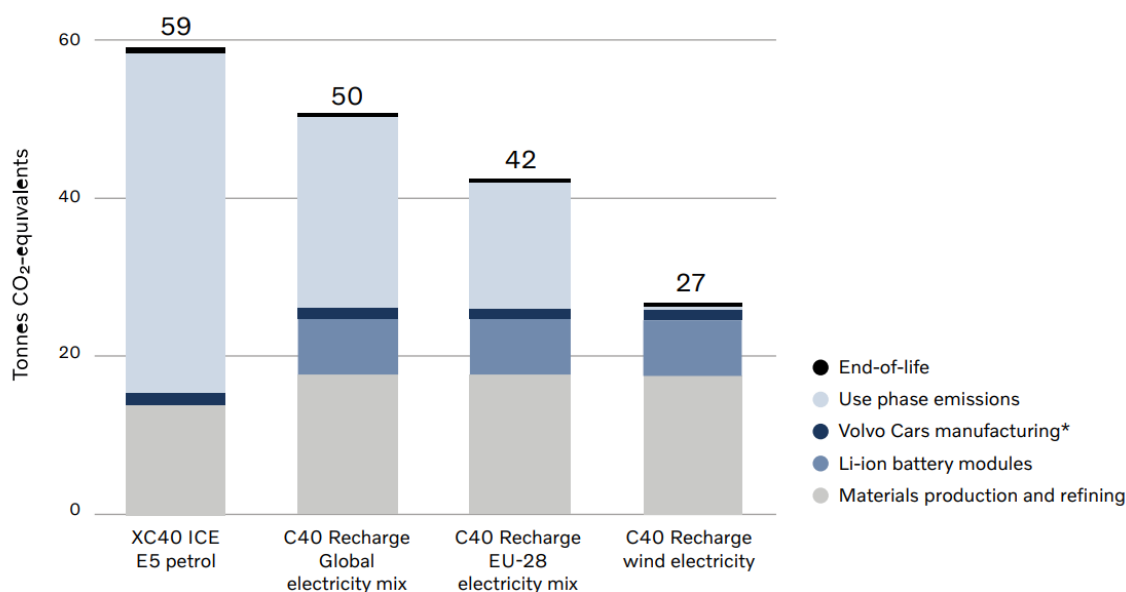
O processo de ACV é regido pelas normas da série ABNT NBR 14040, porém as informações ainda não são tão disseminadas e de difícil acesso ao público em geral, é uma ferramenta poderosa para garantir a eficiência e ao mesmo tempo contribuir para a sustentabilidade dos processos. Analisando a cadeia de um veículo elétrico para investigar a veracidade de ser considerado um produto *green* e zero

emissão de CO₂, será focado em 3 principais processos de acordo com a ACV: processamento da matéria-prima, produção produto e reciclagem.

As matérias primas utilizadas nas estratégias de *supply chain* (cadeia de suprimentos) da produção de baterias - que é um dos principais componentes de um VE – são commodities minerais extraídas em alguns países e que em quase sua totalidade são processadas e refinadas na China. Todo o processo envolvido está muito longe de ser amigo do meio ambiente, já que a extração de cobalto, níquel, alumínio, manganês, cobre, lítio e metais terras raras, além de agredir o meio ambiente, normalmente possuem padrões não aceitáveis de trabalho e direitos humanos. Grandes produtores ou consumidores de carros elétricos, afirmam terem como propósito as práticas ESG, porém continuam consumindo matéria prima oriunda de fornecedores de países que praticam extração duvidosa dos recursos minerais e possuem conflitos políticos e sociais. Segundo estudo do Laboratório de Reciclagem, Tratamento de Resíduos e Extração (LAREX USP), estima-se que mais de 125 milhões de carros elétricos estarão nas ruas em 2030 e os minerais encontrado nas baterias podem não suprir a demanda esperada no futuro. As baterias são classificadas como resíduos perigosos, podendo causar problemas de saúde e segurança para as pessoas e para o meio ambiente se forem descartadas de modo inadequado. É de extrema importância os produtores e consumidores possuírem boas políticas de extração e descarte deste insumo, para contribuir com as ODS de números 9, 11 e 12 abordadas, de modo a garantir que o final do processo seja o mais sustentável possível.

Em relação à indústria automotiva, o relatório de pegada de carbono disponibilizado pela Volvo, analisa diversos fatores envolvidos para o lançamento do veículo elétrico Volvo C40 Recharge em comparação com o veículo a combustão Volvo XC40 ICE E5. Na comparação, os resultados da emissão de toneladas de CO₂ levam em consideração a distância total de 200 mil km rodados e diferentes tipos de matriz elétrica.

Figura 27 - Pegada de carbono para C40 Recharge e XC40 ICE E5



* Volvo Cars manufacturing includes both factories as well as inbound and outbound logistics.

Figure ii. Carbon footprint for C40 Recharge and XC40 ICE, with different electricity mixes.

Results are shown in tonnes CO₂-equivalents per functional unit (200,000km total distance, rounded values).

Fonte: Volvo C40 Recharge LCA Report (2022).

As discussões sobre a contribuição positiva na diminuição de gases GEE possui o foco da eletrificação de carros relacionado à fase de uso, porém, caso o foco seja direcionado para a fase de produção, extração e tratamento de matéria-prima, os dados não são tão promissores. Ainda utilizando o relatório da Volvo como exemplo de estudo de caso, a Volvo Cars está concentrando a maior parte de seus esforços na redução de pegada de carbono de materiais e peças, tendo como outra iniciativa, a escolha do método de alocação de sucata de produção. A Figura 29 abaixo retrata a diferença de contribuição de emissões GEE para a fase de fabricação do veículo, materiais e módulos de bateria, sendo que para o veículo elétrico C40 Recharge é quase 70% maior do que para o outro veículo da comparação.

Figura 28 - Diagrama de equilíbrio de toneladas de CO2 Volvo Cars

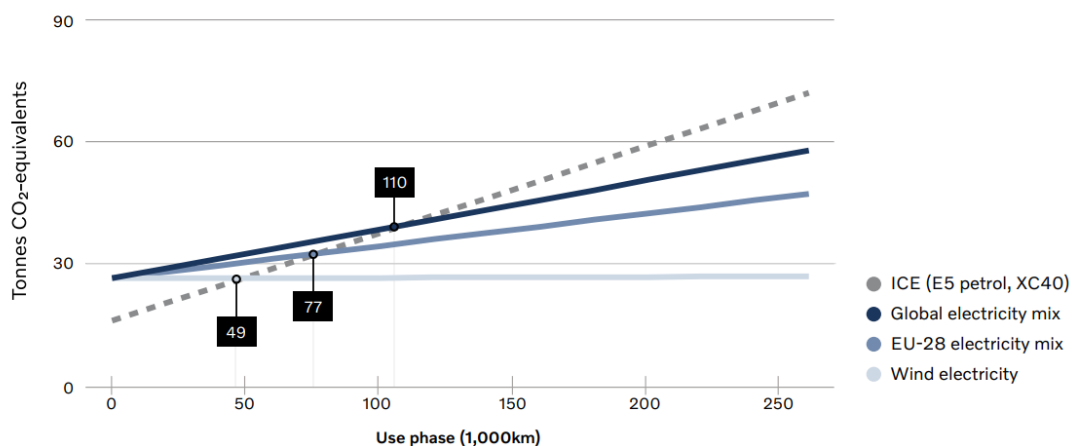
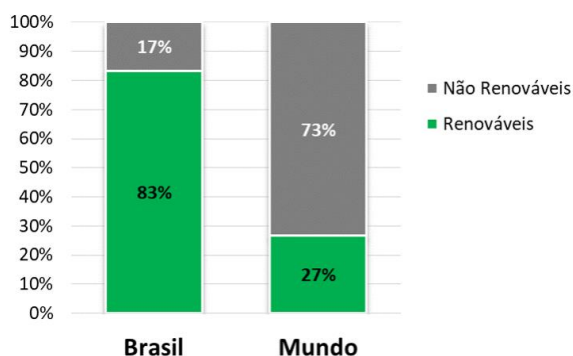


Figure iii. Break-even diagram: Total amount of GHG emissions, depending on total kilometres driven, from XC40 ICE (dashed line) and C40 Recharge (with different electricity mixes in the use phase). Where the lines cross, break-even between the two vehicles occurs. All life cycle phases except use phase are summarized and set as the starting point for each line at zero distance.

Fonte: Volvo C40 Recharge LCA Report (2022).

No estudo mencionado, é importante salientar que o maior fato positivo é de que as emissões GEE da fase de uso para a bateria do veículo BEV por distância percorrida é menor do que para o veículo MCI. No cenário brasileiro, durante os anos de 2015 a 2019, foi emitido 2.139,8 milhões de toneladas de dióxido de carbono (CO₂). Entre altos e baixos ao longo dos anos variando de acordo com a fonte e setor, segundo o resultado publicado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento (OCDE), o Brasil ficou bem abaixo do resultado mundial, fato positivo devido ao aumento da busca por diversificar a matriz energética do país utilizando novas fontes de energia, principalmente eólica, solar e derivados da cana de açúcar. Os setores que contabilizaram a cada ano mais de 70% do total emitido de CO₂, foram: transporte e indústria. Para o ano de 2019 segundo a EPE, a matriz energética brasileira é mais renovável do que a mundial, isso quer dizer que nosso país consome e produz mais energia das fontes renováveis que em outros países, então, se dividir a emissão de GEE pelo número total de habitantes no Brasil, é possível concluir que nosso país emite menos GEE por habitante do que a maioria de outros países.

Figura 29 - Comparação de utilização de energias renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo

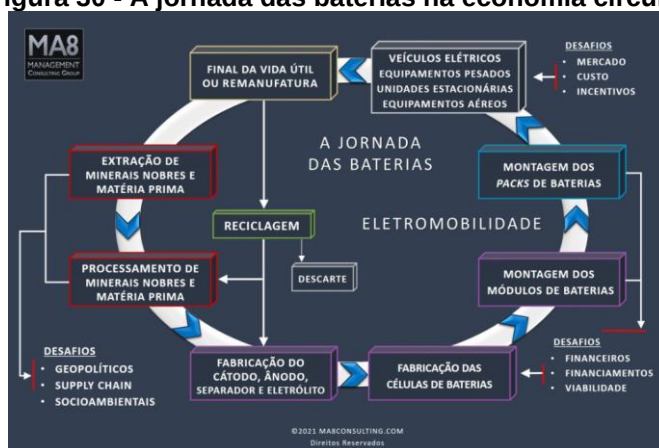


Fonte: EPE (2019).

É possível concluir que, quanto melhor for a escolha da fonte da matriz energética, melhores resultados serão obtidos com o aumento do consumo da energia elétrica devido à inserção de uma maior frota de veículos elétricos. A migração para a utilização de fontes de energias renováveis como matriz elétrica é proporcionalmente importante à utilização de veículos eletrificados.

Considerando a fase final do ACV, com a correta maneira de descarte também é possível garantir a correta maneira de reciclagem, reaproveitando as baterias para uso em outras aplicações, ou seja, realizando a remanufatura, ou ao final da vida útil garantir que não gerará danos nocivos para as pessoas e para o meio ambiente. Na Figura 32 é possível observar a jornada das baterias em busca da economia circular, que implica na redução do desperdício ou dos resíduos ao mínimo, mantendo os materiais dentro da economia sempre que possível quando o produto chega ao fim do seu ciclo de vida.

Figura 30 - A jornada das baterias na economia circular



Fonte: MA8 Consulting Group (2022).

Analisando o cenário de que os automóveis de várias categorias serão completamente descartados para a produção de novos veículos elétricos, o montante final de resíduo produzido é quase imensurável, mesmo que os VE aparentemente contribuam positivamente para as questões ambientais associadas. Por isso, o desenvolvimento tecnológico deve considerar o reaproveitamento e a economia circular como aliadas para o reaproveitamento dos automóveis à combustão.

A proposta da realização a conversão para tração elétrica como mencionado no capítulo 3, é um dos melhores caminhos para assegurar a redução do montante final de veículos para descarte, e também, promovendo o máximo possível de reciclagem para os itens retirados dos automóveis convertidos.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Atualmente, a adoção de veículos elétricos é uma questão amplamente debatida. É interessante que na avaliação para a tomada de decisão, diferentes aspectos sejam considerados, com diferentes perspectivas. A utilização da avaliação multicritério traz uma visão mais integralizada dos aspectos envolvidos e o ponto de vista das partes interessadas influencia no processo da tomada de decisão. O estudo publicado por Giacomini *et al.* (2017), emprega a metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP) - em português Processo de Hierarquia Analítica - que fornece uma avaliação global baseada no emprego de diversos indicadores para os efeitos esperados.

O grande matemático Henri Lebesgue deixou grandes contribuições em topologia, teoria do potencial, análise de Fourier, entre outros, também formulou a teoria da medida. Segundo ele, fazer comparações diretas de objetos em relação a uma propriedade, é um processo matemático fundamental para derivar medidas. Para estabelecer medições para bens intangíveis que não possuem escalas de medição, segundo Saaty (2008), é necessário que o valor derivado para cada elemento dependa de quais outros elementos ele é comparado. Assim como na AHP, a relatividade das escalas pode ser derivada fazendo comparações de pares, usando uma escala absoluta de números para representar essas comparações, que, quando combinadas, definem uma escala cardinal de números absolutos. Quando fatores

intangíveis precisam ser somados e multiplicados entre si com outros fatores, estes são organizados em uma hierarquia, ou uma estrutura de rede, e medidos de acordo com os critérios representados nessas estruturas.

Para avaliar a hipótese de adoção de carros elétricos convertidos nas frotas públicas e de serviços de entregas, é sugerido a aplicação da análise multicritério feita por meio da metodologia AHP. A abordagem de avaliação estruturada segue as etapas descritas abaixo, que serão abordadas no tópico 4.1.1, e as métricas de peso dos critérios serão abordadas no tópico 4.1.2:

- a) Declaração dos objetivos;
- b) Identificação dos impactos esperados;
- c) Definição dos indicadores;
- d) Comparação das alternativas;
- e) Construção da hierarquia;
- f) Ponderação dos indicadores por comparação aos pares;
- g) Determinação do julgamento geral sobre as alternativas.

4.1.1 Caso de estudo

O estudo de caso analisado é para a decisão sobre a conversão de veículos utilitários a combustão (MCI) para veículos elétricos (VE), das frotas públicas e de serviços de entregas.

- a) Declaração dos objetivos: o objetivo da pesquisa é avaliar a vantagem da adoção de carros elétricos convertidos por parte das frotas públicas e de serviços de entregas.
- b) Identificação da repercussão esperada: classificados em diferentes áreas de impacto: Economia, Energia, Meio Ambiente e Sociedade.
- c) Definição dos indicadores: os indicadores escolhidos para quantificar os impactos estão disponíveis na Tabela 04.

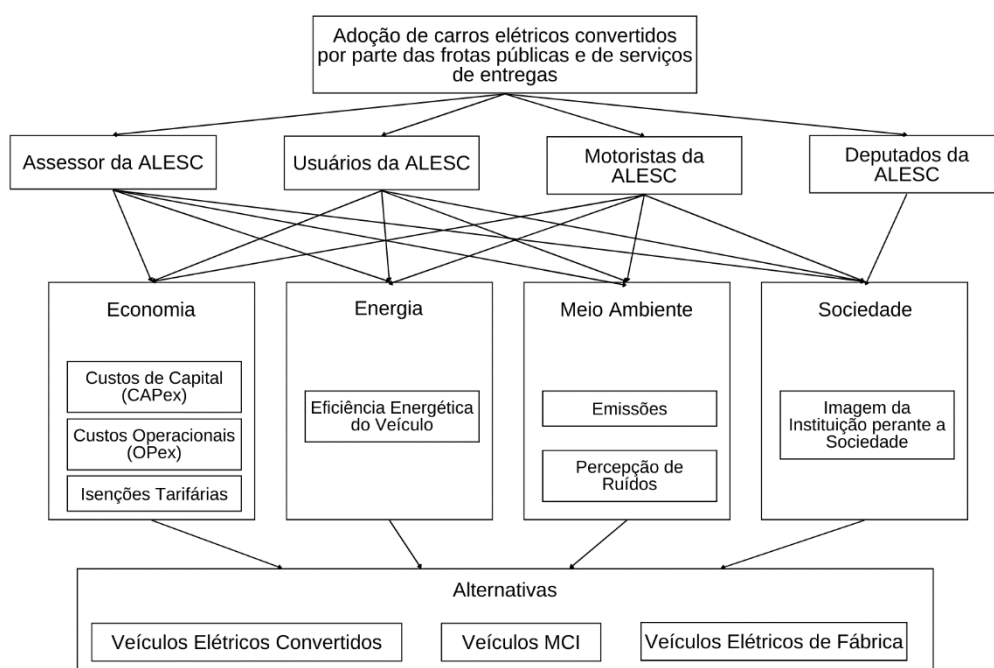
Tabela 4 – Áreas e subáreas de impacto e indicadores

Área de Impacto	Subárea de Impacto	Indicador
Economia	Custos	Custos de Capital
		Custos Operacionais
	Benefícios	Isenções Tarifárias
Energia	Consumo de Combustível	Eficiência Energética do Veículo
Meio Ambiente	Emissões	Emissões
	Ruídos	Percepção de Ruídos
Sociedade	Inovação	Imagem da Instituição perante a Sociedade

Fonte: Autoria própria (2022).

- d) Comparação das alternativas: são considerados os modelos de veículos MCI utilitários, modelos VE de fábrica e veículos MCI convertidos para tração elétrica.
- e) Construção da hierarquia: a proposta do modelo hierárquico, adaptado à realidade do presente trabalho, está ilustrado na Figura 33. A identificação do objetivo principal da avaliação é o passo essencial para que os outros elementos estejam correlacionados. O segundo nível da hierarquia inclui as principais partes interessadas considerando os diferentes pontos de vista de cada uma delas em relação ao objetivo principal. Nos próximos níveis, estão o conjunto de critérios subcritérios identificados anteriormente. O último nível corresponde na identificação das alternativas possíveis.

Figura 31 - Modelo de hierarquia da análise



Fonte: Autoria própria (2022).

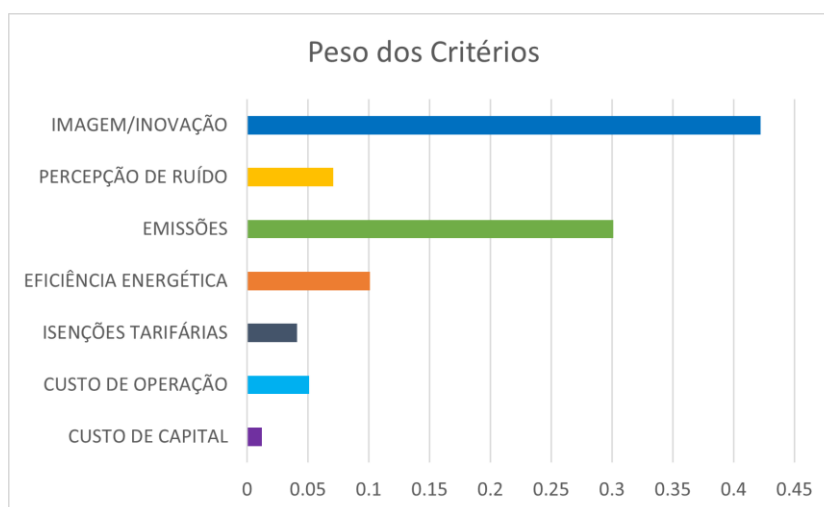
- f) Ponderação dos indicadores por comparação: considerando os diferentes pontos de vista dos diferentes grupo-alvos, a pesquisa bibliográfica levou em consideração métricas matemáticas baseadas no método AHP que serão mais bem descritas no item 4.1.2.
- g) Determinação do julgamento geral sobre as alternativas: os resultados obtidos são sintetizados no modelo AHP para apresentação da performance das alternativas propostas.

4.1.2 Métricas de ponderação dos indicadores

A comparação entre dois elementos usando AHP pode ser feita de diferentes maneiras, porém a mais utilizada é a escala de importância relativa sugerida por Saaty (2005). A escala determina a importância relativa de uma alternativa quando comparada a outra, atribuindo valores de 1 a 9, é comum tentar sempre utilizar números ímpares para que haja uma distinção razoável entre os pontos de medição. A escolha dos valores deve considerar qual escolha possui menor consistência (valores próximos a 1) e maior consistência (valores próximos a 9). Levando em conta os valores escolhidos, é criada uma matriz comparativa para cada par a ser analisado. Considerando os indicadores citados no item 4.1.1, a comparação se dará pelos modelos de veículos: Citroën Jumpy (MCI), Citroën E-Jumpy (VE) e ConverTE.

Os valores utilizados para o peso de cada critério foram baseados no estudo da Universidade de Trieste, mencionado anteriormente, visto que realizaram a aplicação de um questionário, e para fins de avaliação, os valores foram também utilizados para replicar a realidade brasileira.

Gráfico 1 - Peso dos critérios analisados



Fonte: Autoria própria (2022).

Para a análise das 3 alternativas, é realizado a comparação em pares de cada um dos modelos de veículo, em relação a cada um dos 7 critérios mencionados anteriormente. Usando diversas matrizes de comparação se calcula as prioridades relativas compostas:

$$p_i = \sum_{j=1}^7 x_{ij} \cdot w_j$$

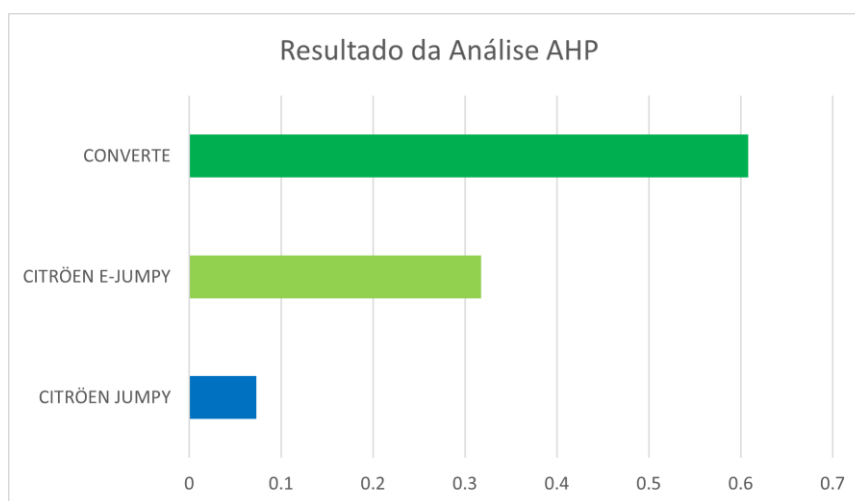
p_i = prioridade do veículo i , probabilidade de satisfação das partes interessadas com a escolha do veículo i

w_j = peso do critério j

x_{ij} = prioridade relativa do veículo i pelo critério j

A análise AHP em questão, obteve os resultados conforme Gráfico 2.

Gráfico 2 - Resultado da análise AHP



Fonte: Autoria própria (2022).

O estudo propõe uma metodologia válida e mostra a importância de levar em consideração não apenas aspectos técnicos, mas também outros parâmetros – intangíveis – que influenciam fortemente a decisão de adotar veículos elétricos. Através do estudo de caso mostrado, é possível chegar à conclusão de que a adoção de veículos elétricos por si só já vale a pena; e vale ainda mais a pena realizar a conversão de veículos movidos à combustão para tração elétrica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Qualquer conclusão determinista seria um equívoco, principalmente quando tratamos de temas relacionados às questões ambientais e econômicas, em um cenário tão instável e suscetível a drásticas mudanças como o momento atual. A única certeza é de que o desenvolvimento tecnológico é uma realidade desde os primórdios da existência humana. A tecnologia é um estudo sistemático sobre técnicas, processos, métodos, meios e instrumentos de domínio da atividade humana, sendo responsável por ditar os caminhos da evolução da sociedade em um certo período, de tempo e espaço. Os profissionais que trabalham inseridos contribuindo para esse desenvolvimento, são atores que, mesmo possuindo diferentes papéis na interpretação, são os principais responsáveis por ditar o futuro do mundo. Sendo assim, é de extrema relevância que estejam cada mais conscientes disso e preocupados em impactar positivamente nas questões políticas, sociais e ambientais.

Sobre a viabilidade operacional da conversão de veículos à combustão para tração elétrica, o estudo mostra que é uma tarefa acessível e customizável de acordo com a necessidade da aplicação. A concepção sobre os fundamentos de dimensionamento dos componentes a serem inseridos no carro que está sendo convertido, resulta diretamente no resultado esperado, principalmente sobre a eficiência do sistema e a relação do dimensionamento com a parte financeira, levando em conta o alto custo de importação dos itens dimensionados.

Com relação à viabilidade econômica, os resultados são satisfatórios, chegando à conclusão de que é financeiramente viável o processo de conversão, ainda mais quando comparado à compra de veículos elétricos de fábrica. A tendência é de que os kits para conversão vão baratear cada vez mais ao longo do tempo, podendo viabilizar ainda mais no futuro próximo o processo de conversão de veículos à combustão.

Da perspectiva da análise sustentável, é importante salientar que é através da conversão dos veículos à combustão que haverá uma maior contribuição para o cenário de inúmeras toneladas de lixo que serão produzidas, caso o único caminho seja a substituição do veículo a combustão para o veículo elétrico. A matriz elétrica e a fabricação são mandatórias para que os carros elétricos sejam considerados *green* e zero emissão de CO₂. A extração e tratamento de toda a matéria-prima envolvida deve ser praticada conforme as premissas ESG, bem como o processo dentro da indústria automotiva, que precisa implementar medidas importantes relacionadas ao meio ambiente. O fim do ciclo de vida do produto - descarte e reciclagem - que ainda é considerado águas desconhecidas e vários projetos visam desenvolver essa temática. Resumindo, levando em consideração todos os pontos levantados, pode-se concluir que sim, os carros elétricos podem ser considerados sustentáveis pela perspectiva da fase de uso do ciclo de vida do produto, visto que é nessa fase em que há quase toda a compensação, ao longo do tempo de uso, dos gases de efeito estufa e outros impactos ambientais negativos gerados pelas outras fases do ciclo de vida do produto.

Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável abordados no estudo trazem importantes premissas e caminhos que precisam ser percorridos para que vários transtornos sociais, políticos e ambientais sejam sanados e o planeta seja cada vez mais um lugar amável e justo de viver. A perspectiva multissetorial que a análise multicritério traz, permite avaliar diferentes interesses e pontos de vista, que muitas vezes são considerados como intangíveis. O resultado obtido está de acordo com a vontade de adotar frotas elétricas: mesmo estando ciente que os custos serão mais elevados, a imagem perante a sociedade e os benefícios ambientais podem ser alcançados. No futuro, a pesquisa pode considerar realizar entrevistas com as partes interessadas para obter uma maior acurácia nos dados, validando o modelo proposto e comparando os resultados esperados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS.

Resumo semanal combustíveis. Disponível em:

https://preco.anp.gov.br/include/Resumo_Semanal_Combustiveis.asp. Acesso em: 21 jun. 2022.

ARQ.BIO. **Análise do Ciclo de Vida: o que é?**. Disponível em:

<https://arqbio.wordpress.com/2017/03/15/analise-do-ciclo-de-vida-o-que-e/>. Acesso em: 23 jun. 2022.

AZEVEDO, Marcelo Henrique. **Carros elétricos: viabilidade econômica e ambiental de inserção competitiva no mercado brasileiro.** 2018 Monografia (Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas, 2018. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1579/6/MONOGRAFIA_CarrosEI%C3%A9tricosViabilidade.pdf. Acesso em: 20 mai. 2022.

BARRETO, Gilmar. **Veículo elétrico à bateria: contribuições à análise de seu desempenho e seu projeto.** 1986. 360f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BLOOMBERFNEF. **Electric Vehicle Outlook 2022.** Disponível em:

<https://about.bnef.com/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

CHRISPIM, Mariana Cardoso; SOUZA, Jhonathan Fernandes Torres de; SIMÕES, André Felipe. **Avaliação comparativa entre veículos elétricos e veículos convencionais no contexto de mitigação das mudanças climáticas.** Disponível em:

https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/6723. Acesso em: 03 mai. 2022.

DOUCETTE, R.T., MCCULLOCH, M.D. **Modeling the CO₂ emissions from battery electric vehicles given the power generation mixes of different countries.** Energy Policy, v. 39, p. 803–811. 2011.

EIA U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Frequently Asked Questions (FAQs).** Disponível em:

<https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11#:~:text=In%202020%2C%20total%20U.S.%20electricity,CO2%20emissions%20per%20kWh>. Acesso em: 26 jun. 2022.

ELECTRIC VEHICLE NEWS. **History early.** Disponível em:

<https://www.electricvehiclesnews.com/History/historyearlyII.htm>. Acesso em: 02 jun. 2022.

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico->

168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202020.pdf. Acesso em: 09 jun. 2022.

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 28 jun. 2022.

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Demanda de energia dos veículos leves.** Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-331/topico-607/Demanda_Ve%C3%ADculos_Leves_2022_2031.pdf. Acesso em: 28 jun. 2022.

FILHO, Paulo Sergio Manesco; OBARA, Francis W. Hiroito; AVILA, Renato Nogueira Perez. **Um estudo sobre a viabilidade dos carros elétricos comparados aos de combustão.** Disponível em: https://www.inesul.edu.br/revista/arquivos/arq-idvol_70_1600711299.pdf. Acesso em: 08 mai. 2022.

FONTES, Fernando Antônio de Sant'Ana. **Sistematização de Iniciativas de Mobilidade Elétrica no Brasil.** Disponível em: http://www.ipdeletron.org.br/wwwroot/pdf-publicacoes/55/Sistematizacao_de_Iniciativas_de_Mobilidade_Eletrica_no_Brasil.pdf. Acesso em: 18 abr. 2022.

GIACOMINI, Cristian *et. al.* **Na AHP-Based Method to Assess the Introduction os Electric Cars in a Public Administration.** Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7977542>. Acesso em: 29 jul. 2022.

GOV.BR. **Serviços Infraestrutura, Trânsito e Transportes.** Disponível em: [https://www.gov.br/pt-br/servicos/emitir-certificado-de-adequacao-a-legislacao-de-transito-cat#:~:text=O%20que%20%C3%A9%3F,do%20Distrito%20Federal%20\(DETRAN\)](https://www.gov.br/pt-br/servicos/emitir-certificado-de-adequacao-a-legislacao-de-transito-cat#:~:text=O%20que%20%C3%A9%3F,do%20Distrito%20Federal%20(DETRAN)). Acesso em: 26 mai. 2022.

HUSAIN, Iqbal. **Electric and Hybrid Vehicles: Design fundamentals.** Boca Raton: CRC Press LCC, 2003. 270p.

LAREX USP. **Reciclagem de baterias de carros elétricos: obtenção de metais a partir de processo hidrometalúrgico.** Disponível em: <http://larex.poli.usp.br/reciclagem-de-baterias-de-carros-eletricos-obtencao-de-metais-a-partir-de-processo-hidrometalurgico/>. Acesso em: 25 jun. 2022.

NAÇÕES UNIDAS, Brasil. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 15 mar. 2022.

NEOCHARGE. **Tempo de carga de um carro elétrico.** Disponível em: <https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/tempo-carga-veiculo-eletrico>. Acesso em: 03 abr. 2022.

NOCE, Toshizaemom. **Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento.** 2010 Dissertação Mestrado (Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em

Engenharia Mecânica.) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2010. Disponível em: http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngMecanica_NoceT_1.pdf. Acesso em: 20 mai. 2022.

PACTO GLOBAL, Rede Brasil. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/ods>. Acesso em: 15 mar. 2022.

PROJETO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO, IFSC. **Inserção de Veículos Elétricos em Frotas Públicas, através da Conversão de Veículos a Combustão para Tração Elétrica**. Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2022.

SAATY, Thomas. **Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors The Analytic Hierarchy/Network Process**. Disponível em: <https://rac.es/ficheros/doc/00576.PDF>. Acesso em: 29 jul. 2022.

SCORRANO, Mariangela. **Electric light commercial vehicles for a cleaner urban goods distribution. Are they cost competitive?**. Disponível em: 1-s2.0-S0739885920302201-main.pdf. Acesso em: 29 jul. 2022.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT REPORT. **Dashboards Index Map**. Disponível em: <https://dashboards.sdgindex.org/map>. Acesso em: 15 mar. 2022.

TECSUS. **Panorama da emissão de CO2 e matriz elétrica brasileira**. Disponível em: <https://tecsus.com.br/blog/panorama-da-emissao-de-co2-e-matriz-eletrica-brasileira/>. Acesso em: 26 abr. 2022.

UNION OF CONCERNED SCIENTISTS. **Reports & Multimedia**. Disponível em: <https://www.ucsusa.org/resources>. Acesso em: 08 jul. 2022.

UN REPORT. **Relatório Annual 2021**. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/resources/relatorio-anual-2021#:~:text=Em%202021%2C%20ano%20em%20que,enfrentar%20a%20tripla%20crise%20planet%C3%A1ria>. Acesso em: 05 jul. 2022.

UPSBATTERYCENTER. **First model electric car**. Disponível em: <https://www.upsbatterycenter.com/blog/first-model-electric-car-1828/>. Acesso em: 25 jun. 2022.

VARGAS, Éverton Jorge Bittencourt de Vargas. **Desenvolvimento de um sistema web para cálculo e dimensionamento do motor e pack de baterias para conversão em veículo elétrico**. 2022.109 f. Dissertação (Bacharel em Engenharia Mecatrônica) – Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2022.

VOLVO CARS. **Carbon footprint report Volvo C40 Recharge**. Disponível em: <https://www.volvocars.com/images/v/-/media/Market-Assets/INTL/Applications/DotCom/PDF/C40/Volvo-C40-Recharge-LCA-report.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2022.