

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

Alexandre Stephan da Silva Sidrim

**FRAMEWORK PARA GESTÃO DOS PROCESSOS DE RECICLAGEM DOS
SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA DOS VEÍCULOS
ELÉTRICOS**

Santa Maria, RS
2024

Alexandre Stephan da Silva Sidrim

**FRAMEWORK PARA GESTÃO DOS PROCESSOS DE RECICLAGEM DOS
SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA DOS VEÍCULOS
ELÉTRICOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk

Coorientador: Prof. Dr. Jones Luís Schaefer

Santa Maria, RS
2024

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Finance Code 001

Sidrim, Alexandre
FRAMEWORK PARA GESTAO DOS PROCESSOS DE RECICLAGEM DOS
SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA DOS VEICULOS
ELÉTRICOS / Alexandre Sidrim.- 2024.
116 p.; 30 cm

Orientador: JULIO SILUK
Coorientador: JONES SCHAEFER
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro
de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção,
RS, 2024

1. Reciclagem 2. Sistema de armazenamento de energia
3. Veículos Elétricos I. SILUK, JULIO II. SCHAEFER,
JONES III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a).
Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central.
Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, ALEXANDRE SIDRIM, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Alexandre Stephan da Silva Sidrim

**FRAMEWORK PARA GESTÃO DOS PROCESSOS DE RECICLAGEM DOS
SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA DOS VEÍCULOS
ELÉTRICOS**

Projeto de dissertação apresentado ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Área de Inteligência Organizacional, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Aprovado em 29 de janeiro de 2024:

Julio Cezar Mairesse Siluk, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Jones Luís Schaefer, Dr. (PUCPR)
(Coorientador)

Mario Eduardo Santos Martins, Dr. (UFSM)

Álvaro Luiz Neuenfeldt Júnior, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha família, cujo incentivo e orientação têm sido pilares fundamentais em minha jornada acadêmica. À minha esposa, Fernanda, expresso minha profunda gratidão pelo apoio constante, sempre presente em todos os momentos.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos ao distinto orientador acadêmico, Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk, cujos conselhos e orientações desempenharam um papel de suma importância na trajetória de minha pesquisa, consolidando-se como uma notável referência, tanto no âmbito profissional quanto no humano.

Minha sincera gratidão também ao meu amigo e coorientador, Jones, por compartilhar ideias valiosas sobre o tema da minha Dissertação. Sua contribuição foi essencial para o sucesso da minha jornada e teve um impacto significativo na consecução dos meus objetivos.

Agradeço ao Núcleo de Inovação e Competitividade (NIC) por proporcionar um ambiente de aprendizado enriquecedor e por permitir a construção de amizades que levarei para a vida.

Também expresso meu agradecimento à Universidade Federal de Santa Maria pela excelente estrutura e acesso ao conhecimento.

Este trabalho só foi possível com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

FRAMEWORK PARA GESTÃO DOS PROCESSOS DE RECICLAGEM DOS SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

AUTOR: Alexandre Stephan da Silva Sidrim
ORIENTADOR: Julio Cezar Mairesse Siluk
COORIENTADOR: Jones Luís Schaefer

A gestão da reciclagem dos sistemas de armazenamento de energia dos veículos elétricos é um importante tema que tem recebido crescente atenção nos últimos anos. A gestão adequada da reciclagem das baterias, que envolve a monitoração, manutenção, reutilização e reciclagem, é essencial para maximizar a vida útil dos sistemas de armazenamento de energia desses veículos modernos, minimizar impactos ambientais e garantir a segurança dos usuários. Isso inclui monitorar o desempenho das baterias durante sua vida útil, realizar a manutenção adequada, explorar opções de reutilização, reciclagem e descarte responsável. Dessa forma, esta pesquisa teve como objetivo geral propor um *framework* para gestão dos processos de reciclagem dos sistemas de armazenamento de energia dos Veículos Elétricos. Metodologicamente, a dissertação foi amparada por pesquisas bibliográficas, documentais e com pesquisas realizadas com especialistas nas áreas correlatas. Após finalizar a Revisão Sistemática de Literatura, foram identificados e analisados os aspectos sociais, econômicos, políticos, ambientais e tecnológicos relacionados à reciclagem desses sistemas. Na sequência houve a compilação das respostas provenientes dos questionamentos quantitativos e qualitativos realizados numa pesquisa junto aos especialistas, e em consonância com os resultados obtidos, foi realizada a elaboração de um *framework* abrangente. Destaca-se a contribuição desta pesquisa para a proposta de uma gestão eficiente e sustentável de reciclagem, os resultados possibilitarão a ampliação do conhecimento sobre o tema, promovendo contribuições significativas tanto para o âmbito acadêmico como o empresarial.

Palavras-chave: Reciclagem. Sistemas de Armazenamento de Energia. Veículos Elétricos.

ABSTRACT

FRAMEWORK FOR THE MANAGEMENT OF RECYCLING PROCESSES OF ELECTRIC VEHICLE ENERGY STORAGE SYSTEMS

AUTHOR: Alexandre Stephan da Silva Sidrim
ADVISOR: Julio Cezar Mairesse Siluk
CO-ADVISOR: Jones Luís Schaefer

The management of recycling of electric vehicle energy storage systems is an important topic that has received increasing attention in recent years. Proper management of battery recycling, which involves monitoring, maintenance, reuse and recycling, is essential to maximize the useful life of these modern vehicles' energy storage systems, minimize environmental impacts and ensure user safety. This includes monitoring the performance of batteries throughout their useful life, performing appropriate maintenance, exploring options for reuse, recycling and responsible disposal. Therefore, this research had the general objective of proposing a framework for managing the recycling processes of Electric Vehicle energy storage systems. Methodologically, the dissertation was supported by bibliographical and documentary research and research carried out with specialists in related areas. After completing the Systematic Literature Review, the social, economic, political, environmental, and technological aspects related to the recycling of these systems were identified and analyzed. Subsequently, responses from quantitative and qualitative questions carried out in a survey among experts were compiled, and in line with the results obtained, a comprehensive framework was drawn up. The contribution of this research to the proposal for efficient and sustainable recycling management stands out. The results will enable the expansion of knowledge on the subject, promoting significant contributions to both the academic and business spheres.

Keywords: Recycling. Energy supply system. Electric Vehicles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bateria de Li-íon	28
Figura 2 – Bateria NiMH.....	29
Figura 3 – Bateria Chumbo Ácido	29
Figura 4 – Supercapacitor	30
Figura 5 – Conceito de Reciclagem das Baterias.....	35
Figura 6 – Fluxo de Reciclagem das Baterias de Lítio	37
Figura 7 – Etapas para desenvolvimento da pesquisa.....	48
Figura 8 – Diagrama da Declaração Prisma.....	49
Figura 9 – Análise Bibliométrica	62
Figura 10 –Resumo RSL	73
Figura 11- Figura inicial do Framework.....	75
Figura 12- Figura final do Framework.....	81
Figura 13 - Caracterização dos Respondentes.....	85
Figura 14- Estrutura Hierárquica em formato de Árvore de Decisão.....	89
Figura 15- TSG Absoluto das Etapas.....	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas da Revisão Sistemática da Literatura.....	45
Quadro 2 – Filtro de busca utilizados na RSL	50
Quadro 3 – Matriz de Amarração	54
Quadro 4 – Referências dos Players, Elementos e Tecnologias.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de artigos na fase de Identificação	51
Tabela 2 – Players associados com Reciclagem de Baterias de carros elétricos identificados na Revisão Sistemática de Literatura	57
Tabela 3 – Siglas e Significados para a Árvore de Decisão.....	86
Tabela 4 – <i>Ranking</i> geral do grau de importância do Framework	92
Tabela 5– <i>Ranking</i> por Etapa do grau de importância das atividades do Framework	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VEs	<i>Veículos Elétricos</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IoE	<i>Internet of Energy</i>
SE	<i>Smart Energy</i>
ECM	<i>Energy Cloud Management</i>
BC	<i>Blockchain</i>
RSL	Revisão Sistemática da Literatura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	TEMA.....	20
1.2	PROBLEMA.....	20
1.3	OBJETIVOS.....	21
1.4	JUSTIFICATIVA	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	SISTEMAS DE ENERGIA.....	25
2.2	TIPOS DE VEÍCULOS ELETRIFICADOS	26
2.2.1	Tipos de Baterias	27
2.2.1.1	<i>Bateria de íon de Lítio</i>	27
2.2.1.2	<i>Bateria de hidreto de níquel</i>	28
2.2.1.3	<i>Bateria de chumbo ácido</i>	29
2.2.1.4	<i>Supercapacitores</i>	30
2.2.2	Ciclo de Vida das Baterias	31
2.3	RECICLAGEM DE BATERIAS DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.....	32
2.4	GESTÃO DA RECICLAGEM DOS SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.....	34
2.5	ASPECTOS REGULATÓRIOS DA RECICLAGEM DOS SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.....	39
3	METODOLOGIA	42
3.1	ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO	42
3.1.1	Natureza da Pesquisa	42
3.1.2	Abordagem da pesquisa	42
3.1.3	Objetivo da pesquisa	43
3.1.4	Método Científico	44
3.1.5	Técnicas de pesquisa utilizadas	44
3.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	47
3.3.1	Método de Trabalho	47
3.3.2	Revisão Sistemática da Literatura	48

3.3.3	Survey	52
3.3.4	Matriz de Amarração	53
3.4	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	55
4	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	56
4.1	ASPECTOS ECONÔMICOS	63
4.2	ASPECTOS SOCIAIS	65
4.3	ASPECTOS TECNOLÓGICOS	66
4.4	ASPECTOS LEGAIS.....	67
4.5	ASPECTOS AMBIENTAIS.....	69
4.6	CONTRIBUIÇÕES DA RSL.....	71
5	ELABORAÇÃO DO FRAMEWORK	75
5.1	ATIVIDADES DAS ETAPAS DO FRAMEWORK.....	76
5.2	AVALIAÇÃO DO FRAMEWORK.....	81
6	DETALHAMENTO DA SURVEY	84
6.1	CARACTERIZAÇÃO DOS ESPECIALISTAS RESPONDENTES	85
6.2	DETALHAMENTO DA HIERARQUIA EM FORMATO DE ÁRVORE DE DECISÃO	85
6.3	APLICAÇÃO DO MÉTODO MAUT.....	90
6.4	RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO FRAMEWORK EM GRAU DE IMPORTÂNCIA	92
7	IMPLICAÇÕES DO PONTO DE VISTA ACADÊMICO EMPRESARIAL	101
8	CONCLUSÃO	103
9	REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO

Em meados do século XIX inicia-se a história dos carros elétricos. Segundo Hoyer (2008), ela está relacionada à história das baterias. Gaston Planté um belga no ano de 1859, fez a demonstração da primeira bateria feita de chumbo-ácido, onde este equipamento veio a ser implantado em vários veículos elétricos que foram desenvolvidos na França a partir da década de 1880 (BARAN e FERNANDO 2017).

Além das baterias logo após outras duas tecnologias foram desenvolvidas entre o ano de 1890 e 1900, que são o sistema de frenagem regenerativa que com ajuda de um equipamento transforma a energia cinética geradas pelo freio através do movimento do veículo em energia elétrica, e é armazenada na bateria. E também o sistema híbrido a gasolina e eletricidade (BARAN e FERNANDO 2017).

A partir da década de 1920 o interesse em carros elétricos diminuiu, visto que os carros elétricos eram limitados por sua baixa velocidade e autonomia. Além disso, com a descoberta de reservas de petróleo em larga escala nos Estados Unidos, o combustível ficou barato e facilmente disponível em locais em que a eletricidade não era abundante.

De acordo com Baran e Legey (2011), a partir dos anos 1930, os Veículos Elétricos (VEs) continuaram a ser utilizados apenas em algumas cidades dos EUA e do Reino Unido para atividades de entregas, coleta de lixo e distribuição de leite. Segundo Gonçalves (2016) e Vaz *et al.* (2015), a partir de 1935, os veículos elétricos perderam cada vez mais espaço e passaram a ser produzidos em escala cada vez menor, sendo quase extintos do mercado devido principalmente a quatro desvantagens em relação aos de combustão interna: baixa autonomia; elevado custo de aquisição; dificuldades de recarga, já que a energia elétrica não se encontrava disponível em todas as regiões, além do tempo elevado desta atividade; e de manutenção, já que eram poucos os especialistas destinados a tal função em sistemas com motor e bateria.

Em períodos de racionamento de gasolina e diesel, como nas guerras mundiais, houve uma busca forçada por fontes de energia alternativas ao petróleo, e assim foram observados alguns picos de produção de veículos elétricos, principalmente nos EUA e no Reino Unido durante a primeira e a segunda

guerras mundiais (Baran e Legey, 2011). Além disso, no Japão do pós-guerra, o carro elétrico tornou-se também bastante popular, por causa do racionamento de combustíveis, mas sua produção foi descontinuada na década de 1950 quando o racionamento cessou (R BARAN et al., 2011). Segundo Ehrler *et al.* (2020), em 1942, Berlim ainda utilizava os veículos elétricos para entregas de alimentos vendidos em padarias, e durante a década de 1950, em frotas para serviços de correios.

Somente após a década de 1960, quando a opinião pública começou a se voltar para os problemas ambientais, os automóveis elétricos voltaram a atrair a atenção das grandes montadoras. Naquela época, o chumbo ainda era utilizado como aditivo para a gasolina, não havia filtros nem catalisadores para conter as emissões e o automóvel era considerado uma das principais fontes da poluição atmosférica nas grandes cidades.

Com a crise do petróleo em 1970, o interesse em carros elétricos aumentou novamente, impulsionado também por uma legislação ambiental mais rigorosa e, com isso, as empresas de automóveis começaram a projetar veículos elétricos, tendo como base fatores econômicos e ambientais. Os veículos elétricos passaram a serem vistos pelas grandes montadoras de carros como a melhor solução para uma futura substituição de veículos de motores a combustão interna, sendo elaborados muitos modelos como, veículos elétricos a bateria e veículos híbridos, que tem por definição o trabalho em conjunto de um motor a combustão e um motor elétrico (RAMÓN ROMERO *et al.*, 2009).

Nos anos 1980 as atenções voltaram-se mais uma vez para os veículos elétricos, novamente no intuito de reduzir a poluição nas grandes cidades. No final da década de 1980, as preocupações com a poluição nos grandes centros urbanos focaram a atenção nos VEs para o desenvolvimento sustentável, a necessidade de usar uma fonte de energia alternativa e novas tecnologias (Larcher e Tarascon, 2015). De acordo com Browne (2012), as barreiras para combustíveis alternativos, veículos e políticas para elevar tecnologias inovadoras rumo ao desenvolvimento sustentável dependem de limites geográficos, que estão estritamente relacionados às escolhas do consumidor, jurisdições e estágio de inovação tecnológica.

Em 2006 houve o "Acordo Climático Global da Califórnia", também conhecido como "AB 32". Foi uma lei aprovada pelo Estado da Califórnia, nos

Estados Unidos. A lei estabelecia metas ambiciosas de redução de gases de efeito estufa no estado, com o objetivo de reduzir as emissões para os níveis de 1990 até 2020. Para atingir essas metas, a lei exigia que as principais fontes de emissões, incluindo a indústria, o setor de transporte e o setor energético, implementassem medidas para reduzir suas emissões.

Embora o acordo da Califórnia tenha sido estabelecido, o desenvolvimento de estudos relacionados aos veículos eletrificados ocorreu de maneira gradual e somente adquiriu ímpeto no final do século XX, notadamente em decorrência do lançamento do Toyota Prius em 1997. Em 2006, a divulgação de que a empresa recém-criada Tesla Motors iria produzir carros elétricos acendeu a luz amarela para as demais montadoras.

Tendo em vista não somente o aumento da produção de combustíveis de origem renovável, como também a redução da dependência da economia em relação ao petróleo importado, o EUA promulgou em 2007 o programa *Energy Independence and Security Act* (CARB, 2007). Este programa prevê o investimento entre os anos de 2008 e 2013 de U\$ 95 milhões anuais destinados à pesquisa e desenvolvimento de um sistema de transporte elétrico, e à formação de profissionais especialistas na tecnologia dos veículos elétricos. Ademais, foram destinados U\$ 25 bilhões aos fabricantes que produzirem tanto os veículos híbridos como seus componentes até 2020 (AMARANTA HAYATA, 2014).

No ano de 2015, 196 países negociaram o Acordo de Paris, sob o qual se comprometeram a tomar medidas para limitar o aumento da temperatura média global neste século para bem abaixo de 2 graus Celsius em relação aos níveis pré-industriais. Até o momento, 17 países anunciaram metas de veículos com 100% de emissão zero ou a eliminação progressiva de veículos com motor de combustão interna até 2050. A França, em dezembro de 2019, foi o primeiro país a colocar essa intenção em lei, com um prazo até 2040 (IEA, 2020).

O desenvolvimento de baterias mais eficientes e duradouras usando eletrodos de lítio íon e a emergência da descarbonização para alcançar as metas de mudanças climáticas propostas pelo Comitê de Mudanças Climáticas trouxe uma mudança no cenário relacionado aos veículos elétricos. Países como Noruega, Holanda e China traçam metas agressivas para extinguir carros a gasolina e diesel. Tais países têm objetivos de ampliar a eletrificação de suas frotas a partir de 2025. Em um futuro próximo, pretendem que 100% de seus

veículos sejam elétricos (Crabtree, 2019).

Entre os tipos principais de baterias existentes aplicáveis aos Veículos Elétricos, a candidata mais promissora é a bateria de íons de lítio, sendo considerada como a escolha mais adequada para VEs de última geração. Em comparação com as demais tecnologias de baterias, estas são superiores em várias características, entre elas, podemos citar sua alta eficiência e densidade de energia, permitindo que estas sejam projetadas com menor peso e tamanho. Com relação às vantagens apresentadas, é importante mencionar a longevidade dos ciclos de carga e descarga e a baixa taxa de autodescarga da bateria em questão. Além disso, sua eficiência em termos de impacto ambiental se mostrou superior quando comparada a outras baterias aplicáveis em sistemas de armazenamento de energia veicular, conforme evidenciado por estudos como o de Chen et al. (2012).

As redes elétricas e os veículos elétricos estão evoluindo juntamente com os avanços tecnológicos e os desenvolvimentos do mercado nas principais áreas industrializadas. Esses avanços incluem o uso crescente de tecnologias de energia renovável que normalmente são de baixa emissão, mas também intermitentes em sua operação, mercados crescentes para o que se espera seja a adoção generalizada de VEs e o desenvolvimento de uma série de redes inteligentes e tecnologias de “internet das coisas”.

Nesse contexto, é importante destacar o conceito de *Smart Energy* (SE), que se refere à integração de tecnologias de energia renovável com a rede elétrica, permitindo que as energias renováveis possam ser facilmente armazenadas, distribuídas e gerenciadas. A SE tem um papel fundamental na evolução da mobilidade elétrica, uma vez que permite a integração dos veículos elétricos à rede elétrica de maneira mais eficiente e sustentável.

A SE conecta os usuários para que eles gerenciem sua energia por meio de plataformas digitais usando modelos de nuvem pública, privada ou híbrida (Carvalho et al., 2021)

Schaefer et al. (2020b) propuseram um layout básico para o gerenciamento do SE, composto por sete camadas principais (Physical, Fog, Network, Cloud, Service, Session, and Application) e quatro blocos de suporte ao gerenciamento (Broker, Security and Privacy, Third-party Services, and Cloud Auditor). Em proposta posterior, Carvalho et al. (2021) a este layout foi

adicionada a camada de Regulação, onde são realizadas todas as atividades no âmbito da regulação e do estabelecimento da legislação.

A Bloomberg New Energy Finance estima que até 2030 mais de 200.000 toneladas métricas de baterias de íons de lítio (Li-ion) terão que ser recicladas somente na UE (EPRS,2021). E esse número deve dobrar até 2035. Enquanto isso, o valor das baterias recicladas de íons de lítio deve chegar a US\$ 700 por tonelada métrica. Ao mesmo tempo, a Comissão Europeia introduzirá um novo quadro regulamentar para a indústria das baterias, valorizando ainda mais a reciclagem e a rastreabilidade em todas as etapas da cadeia de valor das baterias. Isso significa que a produção circular de baterias, em que baterias inteiras ou seus minerais e compostos constituintes são mantidos em um ciclo de uso contínuo e de reutilização, abrirá oportunidades de negócios significativas. No entanto, eles só podem ser totalmente explorados por meio de esforço colaborativo ao longo de toda a cadeia de valor da bateria (EPRS,2021).

A vida útil é baseada no número de ciclos de recarga que uma determinada bateria é capaz de suportar. A bateria deve ser dimensionada para que sua vida útil seja o maior possível de forma a evitar a sua substituição (ASSUMPTÃO, 2016), cujos custos são muito elevados. De acordo com Romão *et al.* (2019), as baterias atuais costumam durar de 500 a 2000 ciclos, e Hoekstra (2019) demonstrou que a tendência é que esses ciclos aumentem para valores entre 5000 e 10000 até 2030. Segundo Wang e Thoben (2016), as baterias atuais com 3000 ciclos duram em média 8,2 anos se forem recarregadas completamente uma vez por dia. A vida útil da bateria termina quando a voltagem de uma célula, módulo ou pacote perde 20% de sua tensão máxima, atingindo 80% do seu *State of Health* (SOH) inicial.

A bateria dura, em média, de oito a dez anos. Devido ao atual estágio inicial da presença de veículos elétricos nas vias brasileiras, a demanda pela reciclagem da referida bateria ainda é incipiente. No entanto, é esperado que, à medida que a utilização desses veículos se torne mais comum e disseminada, a necessidade de reciclagem se torne mais premente

Os resíduos de baterias são importantes fontes secundárias de metais, que podem estar em concentrações muito altas, em alguns casos até superiores às encontradas nos minérios (ZIVANCEV *et al.*, 2018). Na União Europeia, a

reciclagem de VEs em fim de vida útil atingiu 95% em 2015, para recuperar peças e principalmente os metais que constituem as baterias. Em 2016, foram geradas entre 8 e 9 milhões de toneladas de resíduos de VEs na região e entre 80 e 100% dos materiais dos veículos foram recuperados ou reciclados. No mesmo ano, mais de 94000 toneladas de baterias foram recicladas mundialmente, sendo 50% na Europa e 33% na China. Nos EUA, quase todos os automóveis são reciclados e aproximadamente 86% dos materiais destes veículos são recuperados ou utilizados para produção de energia (STEWART *et al.*, 2019).

Conforme indicado por Volan *et al.* (2019), a implementação efetiva de medidas de reciclagem para baterias de veículos elétricos (VEs) depende de um comprometimento substancial por parte dos governos, com o intuito de estimular as montadoras a adotarem práticas sustentáveis de reciclagem de baterias, bem como dos fabricantes de baterias, que devem contemplar em seus projetos um design que facilite a reciclagem. Economias de escala devem ajudar a reduzir os custos de reciclá-las e tornar o processo ainda mais econômico comparado à extração de novos materiais. Para Chen *et al.* (2019), a reciclagem das LIBs (Baterias de Lithium) é de fundamental importância por três razões principais: reduzir as incertezas associadas à flutuação dos custos dos materiais, equilibrar as desiguais distribuição e produção de materiais essenciais, e abordar a situação do transporte durante o descarte dessas baterias.

A Resolução CONAMA nº 257/99 determina as regras para o descarte de baterias de lítio de forma correta. Assim, após seu esgotamento, as pilhas e baterias que contenham na composição chumbo, cádmio, mercúrio em seus compostos (metais pesados), devem ser entregues pelos usuários aos estabelecimentos que as comercializam. No entanto essa Resolução não engloba as baterias dos VEs. Ainda é evidente a carência de políticas públicas que ratifiquem o destino adequado das baterias de forma a assegurar a gestão adequada desses resíduos.

Cabe ressaltar que a reciclagem de baterias de veículos elétricos (VEs) é de grande importância para a preservação do meio ambiente e para a sustentabilidade dos processos produtivos. Com efeito, as baterias de íons de lítio, presentes em grande parte dos VEs, contêm elementos tóxicos e perigosos, tais como cobalto, níquel e lítio, que podem causar danos ambientais significativos quando descartados inadequadamente.

Por outro lado, os materiais recuperados das baterias recicladas podem ser reutilizados na fabricação de novas baterias, sem que haja a necessidade de extrair recursos naturais novamente. Além disso, os processos de reciclagem também permitem a recuperação de outros metais valiosos, como alumínio e cobre, que podem ser reutilizados em diversas outras aplicações.

1.1 TEMA

Gestão dos processos de reciclagem dos sistemas de armazenamento de energia dos veículos elétricos.

1.2 PROBLEMA

Os veículos elétricos estão ganhando cada vez mais popularidade podem ser considerados como uma alternativa sustentável aos veículos a combustão interna. No entanto, a gestão dos processos de reciclagem dos sistemas de armazenamento de energia desses veículos, como as baterias de íons de lítio, ainda é um desafio a ser enfrentado.

Apesar dos benefícios da reciclagem de baterias de veículos elétricos, existem desafios significativos associados à sua gestão, como a complexidade do processo de reciclagem, que requer conhecimentos técnicos especializados e instalações adequadas para garantir a segurança e eficiência na separação e recuperação dos materiais.

Além disso, a quantidade crescente de baterias de veículos elétricos descartadas representa um desafio em termos de logística e capacidade de reciclagem, especialmente em regiões onde a infraestrutura de reciclagem ainda é limitada.

Nesse sentido, surgem alguns importantes questionamentos a serem respondidos nesta pesquisa:

a) como ocorre o processo de reciclagem de sistemas de armazenamento de energia utilizadas em veículos elétricos?

b) quais são as principais normas e regulamentações atuais que abordam a reciclagem de sistemas de armazenamento de energia de veículos elétricos?

c) quais são os principais aspectos que visam garantir uma reciclagem eficiente e sustentável das baterias dos veículos elétricos?

d) é possível concatenar e organizar esses aspectos para auxiliar na gestão dos processos de reciclagem de baterias dos veículos elétricos?

1.3 OBJETIVOS

Considerando o tema da pesquisa, o objetivo geral desta dissertação será propor um framework para gestão dos processos de reciclagem dos sistemas de armazenamento de energia de veículos elétricos. Para alcançar o objetivo geral foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar o panorama da reciclagem dos sistemas de armazenamento de energia de veículos elétricos a nível mundial e nacional.
- b) Mapear as legislações e regulamentações relacionadas à reciclagem de sistemas de armazenamento de energia de veículos elétricos.
- c) Identificar quais aspectos integram a gestão da reciclagem dos sistemas de armazenamento de energia dos veículos elétricos.
- d) Apresentar um Framework para Gestão de Processos de Reciclagem dos sistemas de armazenamento de energia de veículos elétricos.

1.4 JUSTIFICATIVA

A implementação de uma gestão eficiente de reciclagem de baterias de veículos elétricos torna-se imperativa tanto sob o aspecto ambiental quanto empresarial. Empresas que adotam práticas sustentáveis tendem a ser mais competitivas e atraem um número crescente de consumidores preocupados com o meio ambiente (EUROMETAUX, 2019). Além disso, a reciclagem de baterias pode representar uma fonte de matéria-prima valiosa para novos produtos e tecnologias, gerando oportunidades de negócios.

A reciclagem de baterias é um processo fundamental para mitigar o impacto ambiental gerado pelos dispositivos eletrônicos, uma vez que estas baterias abrigam componentes químicos perigosos que, quando descartados indevidamente, podem provocar danos tanto ao meio ambiente quanto à saúde humana, TechRepublic (2021).

Por outro lado, a reciclagem de baterias também é crucial para reduzir o impacto ambiental desses dispositivos. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (2013), a reciclagem de baterias de chumbo-ácido pode reduzir as emissões de dióxido de chumbo em até 99%. Além disso, a reciclagem de baterias também ajuda a evitar a escassez de recursos naturais e a reduzir a dependência de matérias-primas não renováveis.

Conforme Lins et al. (2017), a atividade de mineração apresenta impactos ambientais em cada uma de suas etapas, sendo elas a criação da mina, a extração do minério e a sua fundição e refino. Desta forma, do ponto de vista da sustentabilidade ambiental da cadeia produtiva dos VEs, a busca por uma menor pressão na expansão da oferta de novos metais para a indústria de manufatura das baterias se torna uma preocupação crescente.

Agência Internacional de Energia (AIE) projetou que a demanda global por baterias está aumentando, impulsionada em grande parte pelo imperativo de reduzir as mudanças climáticas por meio da eletrificação da mobilidade e da transição energética mais ampla. Em uma publicação num relatório conjunto de 2019 da McKinsey e da Global Battery Alliance (GBA) e Systemiq, *A vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030*, projetou um tamanho de mercado de 2,6 TWh e um crescimento anual de 25% até 2030. Contudo, uma análise de 2022 da equipe McKinsey Battery Insights projeta que toda a cadeia de baterias de íon-lítio (Li-ion), desde a mineração até a reciclagem, poderia crescer mais de 30% anualmente de 2022 a 2030, quando atingiria um valor de mais de US\$ 400 bilhões e um tamanho de mercado de 4,7 TW.

Um fator relevante que justifica a realização deste trabalho é o contexto mundial, onde normas e regulamentos relacionados a energias limpas estão em pleno vigor. A União Europeia tem se destacado em sua busca por uma transição para uma economia de baixo carbono, com metas ambiciosas de redução de emissões de gases de efeito estufa e estímulo à adoção de veículos elétricos. Conforme citado por Beccali et al. (2019), a Europa tem sido pioneira na implementação de regulamentos voltados para a descarbonização do setor automobilístico, o que tem levado muitas empresas construtoras e desenvolvedoras de carros a direcionar suas linhas de produção para veículos elétricos.

Essa mudança brusca nas linhas de produção dos fabricantes de automóveis, de motores a combustão interna para motores elétricos, é um fator relevante que justifica a necessidade de estudos aprofundados sobre o processo de reciclagem das baterias dos veículos elétricos. Com a crescente demanda por veículos elétricos, espera-se um aumento significativo no volume de baterias de veículos elétricos atingindo o fim de sua vida útil. Portanto, compreender e otimizar o processo de reciclagem dessas baterias é fundamental para garantir a sustentabilidade e a economia circular no setor automotivo, como defendido por Alves et al. (2020) em seu estudo sobre a gestão de resíduos de baterias de veículos elétricos.

O mercado de veículos elétricos no Brasil tem apresentado oportunidades promissoras, especialmente com o início do uso crescente desses veículos no país. A adoção de veículos elétricos é impulsionada por políticas de incentivo do governo, crescente conscientização ambiental e a busca por alternativas mais sustentáveis de transporte.

Dentro desse contexto também é importante destacar a crescente adoção de sistemas de energia baseados em nuvem computacional, a Energy Cloud, que promete transformar o mercado de energia em um ambiente mais dinâmico e flexível. Nesse contexto, as baterias dos automóveis elétricos assumem um papel crucial na viabilização desse sistema, podendo atuar como fontes de energia móveis e flexíveis, capazes de armazenar e fornecer energia de acordo com a demanda do sistema. Com a integração dessas baterias à Energy Cloud, é possível criar uma rede descentralizada de armazenamento de energia, capaz de atender às necessidades de diferentes setores, como residências, empresas e indústrias, contribuindo para um uso mais eficiente e sustentável dos recursos energéticos. ABB Power Grids(2021).

Essa tendência representa uma oportunidade única para investidores, fabricantes de veículos, empresas de infraestrutura de recarga e serviços relacionados à gestão de veículos elétricos. A crescente demanda por veículos elétricos no Brasil abre espaço para a expansão de novos negócios, a criação de empregos e o desenvolvimento de tecnologias e serviços voltados para esse segmento (Aguiar, 2021).

No entanto, é importante destacar que o mercado de veículos elétricos ainda enfrenta desafios no Brasil, como a falta de infraestrutura de recarga,

custos mais elevados em comparação com veículos a combustão interna e questões relacionadas à regulamentação e incentivos fiscais (GARCIA; SANTOS, 2020). Portanto, é necessário um esforço conjunto de governo, indústria, academia e sociedade civil para superar esses desafios e aproveitar plenamente as oportunidades oferecidas pelo início do uso de veículos elétricos no Brasil (ALMEIDA et al., 2018; PEREIRA, 2021).

Ainda nesse contexto a implementação do ROTA 2030 no Brasil, que busca incentivar o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis no setor automotivo, cria uma oportunidade única para a gestão de reciclagem de veículos elétricos.

O ROTA 2030 é uma política pública implementada no Brasil com o objetivo de incentivar o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis no setor automotivo, visando aprimorar a eficiência energética dos veículos e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (Aguiar, 2020).

Uma das principais frentes do ROTA 2030 é a promoção de veículos elétricos e híbridos no mercado brasileiro, visando a transição para uma matriz de transporte mais sustentável e menos dependente de combustíveis fósseis. Através de incentivos fiscais, créditos tributários e outras medidas. O Programa ROTA 2030 será substituído pelo Programa “MOVER” no ano de 2024.

Dessa forma, a frota de veículos elétricos no mercado brasileiro vem crescendo de forma exponencial (SILVA, 2020). No entanto, é importante ressaltar que, apesar desse crescimento, o valor ainda é alto para adquirir esse tipo de veículo, e em breve teremos o término do ciclo de vida das baterias que compõem os veículos elétricos (ALMEIDA, 2021).

Nossa legislação atual não contempla estas atividades. Existe uma proposta de Projeto de lei em tramitação no Senado Federal que visa tratar da Logística Reversa das baterias dos VEs (ainda não colocada em pauta até dezembro de 2023). Portanto, a relevância e o impacto que a temática da reciclagem das baterias dos veículos elétricos justificou a realização do estudo proposto neste trabalho com a apresentação do Framework embasado tanto no resultado da RLS bem como na Survey aplicada aos especialistas das áreas correlatas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistemas de energia

A evolução dos sistemas de energia ao longo do tempo tem sido objeto de diversos estudos e pesquisas. De acordo com Santos et al. (2017), os sistemas de energia evoluíram de sistemas centralizados para sistemas descentralizados e, atualmente, estão evoluindo para sistemas dinâmicos e flexíveis, impulsionados, em grande parte, pela popularização dos veículos elétricos.

Segundo Nascimento et al. (2016), antigamente, os sistemas de energia eram altamente centralizados, com grandes usinas geradoras de energia elétrica localizadas em pontos específicos e com a distribuição da energia sendo realizada através de uma rede de transmissão e distribuição. Esses sistemas eram altamente eficientes em termos de custos, mas também apresentavam alguns problemas em relação à segurança e à sustentabilidade ambiental.

Com o advento da geração distribuída (GD), os sistemas descentralizados surgiram, permitindo que pequenas usinas geradoras de energia elétrica fossem instaladas em diversos pontos da rede, tornando-a mais flexível e segura. A geração distribuída também trouxe uma maior variedade de fontes de energia, como solar e eólica, para a rede (Nascimento et al., 2016).

Atualmente, os sistemas de energia evoluíram ainda mais para se tornarem dinâmicos e flexíveis, conhecidos como "Energy Cloud". Segundo a análise de Perez et al. (2018), esses sistemas são baseados na ideia de que a energia elétrica pode ser gerada e consumida de forma descentralizada, permitindo que consumidores e produtores troquem energia entre si. Os veículos elétricos são uma peça fundamental desse sistema, pois podem servir como uma fonte de armazenamento de energia, fornecendo energia para a rede em momentos de alta demanda e carregando quando a demanda é menor.

Esses sistemas dinâmicos e flexíveis são altamente eficientes em termos de custos e, também permitem que a energia seja produzida e consumida de forma mais sustentável. Eles permitem uma maior integração de fontes de energia renováveis e, também incentivam a participação ativa dos consumidores na gestão do consumo de energia (Perez et al., 2018).

Em resumo, a evolução dos sistemas de energia ao longo dos anos tem sido marcada por mudanças significativas, desde sistemas altamente centralizados até sistemas dinâmicos e flexíveis, com a participação ativa dos veículos elétricos. Essas transformações têm permitido a integração mais eficiente de fontes de energia renováveis e a gestão ativa do consumo de energia, contribuindo para a construção de um sistema energético mais sustentável e seguro para as gerações presentes e futuras.

2.2 Tipos de Veículos Eletrificados

Os veículos eletrificados podem ser divididos nas seguintes categorias (BRAJTERMAN, 2016):

-Veículo Híbrido (Hybrid Electric Vehicle - HEV):

Veículo com dois motores, com um motor elétrico, alimentado por uma bateria elétrica, e um motor a combustão interna. A bateria do HEV é recarregável exclusivamente por meio do sistema de frenagem regenerativa (não é conectado à rede elétrica). Um veículo só é classificado como totalmente híbrido se puder ser movido, pelo menos parte do seu tempo, somente pelo motor elétrico.

-Plug-in Híbrido (Plug-in Hybrid Electric Vehicle - PHEV):

Veículo híbrido, que também conta com um motor a combustão interna a combustível líquido podendo também ser gasoso e com no mínimo um motor elétrico. A sua bateria, no entanto, é recarregável tanto via frenagem regenerativa quanto via conexão a um sistema elétrico.

- Veículo elétrico à bateria (Battery Electric Vehicle - BEV):

Veículo baseado em motores elétricos (pode ter mais de um motor). O veículo é alimentado por uma bateria, que pode ser recarregada na rede elétrica local e também através do sistema de frenagem regenerativa, que aproveita a energia liberada durante as frenagens.

- Veículo elétrico com Células a Combustível: (Fuel Cell Electric Vehicle FCEV):

Os veículos elétricos a célula de combustível (*FCEV- fuel cell electric vehicle*) são compostos basicamente por tanque de armazenamento de combustível, célula de combustível, baterias e motor elétrico. Embora os *FCEVs*

sejam, na verdade veículos elétricos, a entrada de energia para a propulsão elétrica provém do combustível, armazenado em tanques a bordo, através da célula de combustível que, por processos eletroquímicos, gera eletricidade (APOSTOLOU; XYDIS, 2019).

2.2.1 Tipos de Baterias

2.2.1.1 Bateria de íon de lítio - Li-íon

O princípio de funcionamento das baterias de íon de lítio baseia-se no fenômeno da intercalação iônica. Este fenômeno é descrito pela difusão dos íons de lítio através de rede cristalina tanto do cátodo como no ânodo, com a diferença que quando intercala em um, desintercala do outro e vice-versa. A intercalação de um Li num eletrodo requer obrigatoriamente a intercalação de um elétron, de maneira a manter a neutralidade elétrica (CHAGAS, 2012).

As Baterias de Íons de Lítio hoje em dia são utilizadas em larga escala em equipamentos eletrônicos e diversos portáteis, pois elas apresentam grande vantagem quanto a sua densidade de energia, uma vez que o lítio é um elemento altamente reativo. Em outras palavras, é possível armazenar uma grande quantidade de energia em baterias pequenas e leves: se fossemos utilizar outros tipos de bateria, como por exemplo, bateria de hidreto metálico de níquel ou bateria de níquel cádmio, teríamos baterias com o tamanho e peso duas ou até mesmo três vezes maiores que as baterias de íons de lítio precisariam ter (CLEMENTE, 2022).

Embora a bateria seja de íons de lítio, ela não contém nenhum metal lítio, apenas íons. Os íons são átomos ou moléculas com cargas elétricas causadas pela perda ou ganho de um ou mais elétrons. Além disso, estas baterias são as mais seguras dentre as diversas opções e os fabricantes asseguram esta segurança a fim de proteger os consumidores de eventuais falhas (Brain.M, 2021)

A maioria das peças de baterias de íon de lítio são recicláveis, tornando essas baterias uma boa opção para a preservação do meio ambiente. Este tipo de bateria é usado em veículos totalmente elétricos (BEVs) e em híbridos plug-

in (PHEVs), embora a química exata dessas baterias varie da encontrada nos eletrônicos de consumo.

Figura 1-Bateria Li-íon



Fonte – Neocharge (2022)

2.2.1.2 Bateria de hidreto metálico de níquel – NiMH

As baterias de hidreto metálico de níquel são amplamente utilizadas em veículos elétricos híbridos (HEV), pois possuem um baixo custo se comparadas às baterias de lítio. Seus armazenamento e transporte são simples, além de conterem apenas toxinas leves e serem rentáveis para a reciclagem (ATAIDE, 2010).

Atributos como, a segurança em altas tensões, o baixo custo de manutenção e a flexibilidade de projeto também são algumas boas vantagens, pois, a capacidade dessas baterias varia de 30mAh a 250Ah. Porém, o efeito memória maior do que as baterias de lítio, os carregadores com preços elevados e o complexo controle de carga, devem ser levados em consideração na escolha desse tipo de bateria para aplicações automotivas (POLLED.B. G, 2012)

Figura 2-Bateria NiMH



Fonte-Neocharge (2022)

2.2.1.3 Bateria de chumbo-ácido

Atualmente, as baterias de chumbo-ácido estão sendo utilizadas em veículos elétricos apenas para complementar outras cargas, como as de acessórios. Essas baterias são de alta potência, baratas, seguras e confiáveis, mas sua curta vida útil e o baixo desempenho em temperaturas frias dificultam o uso em veículos elétricos. Devido às características técnicas, a gama destes veículos é entre 120 e 200 km, o que os torna insuficientes para viagens longas, sendo que o tempo para recarregar varia de 30 minutos a 6 horas, dependendo do modo de recarga (HELMERS; MARX, 2012).

Figura 3 –Bateria Chumbo-Ácido



Fonte – Embarcados (2022)

2.2.1.4 Supercapacitores

O supercapacitor não é uma bateria no sentido tradicional, no entanto são dispositivos que armazenam energia com baixa densidade energética, alta densidade de potência e possuem um excepcional ciclo de vida. Em outras palavras, armazenam menos energia, mas possuem a capacidade de carga e descarga muito maior que as baterias tradicionais (C. M. Krishna, 2021)

Diferentemente das baterias comuns que armazenam um líquido entre um eletrodo e um eletrólito, os supercapacitores são capacitores com alta capacidade de armazenamento que utilizam eletricidade estática para armazenar energia. Eles são componentes elétricos com dois terminais que armazenam energia eletromagnética na forma de um campo elétrico. Os terminais são conectados a duas placas condutoras que possuem um material isolante entre elas – o dielétrico (S. Pay,2003).

Quando carregado, o capacitor fica com um dos terminais repletos de elétrons, que são incapazes de passar para o outro terminal devido ao material isolante e criando assim uma diferença de potencial. Quando liberados, os elétrons são utilizados para realizar trabalho, como movimentar o motor do carro elétrico, por exemplo.

Os supercapacitores são empregados aqui porque normalmente as células de combustível sozinhas são incapazes de fornecer o poder de aceleração de veículos totalmente elétricos (bateria) ou veículos movidos a gasolina convencionais. Em vez de aumentar o tamanho das células de combustível de hidrogênio para aumentar a aceleração, descobriu-se que a adição de um supercapacitor fornece potência superior para peso e, em última análise, melhor economia de combustível (Carignano et al., 2017).

Figura 4 –Supercapacitor



Fonte: Embarcados (2022)

2.2.2 Ciclo de Vida das Baterias

Cada produto tem uma "vida", começando pelo projeto e desenvolvimento do produto, seguido de extração de recursos, produção, uso/consumo e, finalmente, atividades referentes à gestão de resíduos (VALLE, 2004). Todas as atividades ou processos, na vida de um produto, resultam em impactos ambientais devido ao consumo de recursos, emissões de substâncias no ambiente natural e outras trocas ambientais (REBITZER *et al.*, 2004).

A norma Norma técnica Brasileira (NBR) ISO 14044 define Ciclo de Vida como “estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou de sua geração a partir de recursos naturais até a disposição final”(ABNT, 2009b).

O modo de uso da bateria influencia diretamente em sua eficiência e durabilidade, e alguns fatores como frequência de carga, profundidade e taxa de descarga, temperatura e condições de operação podem colaborar para que a bateria tenha sua vida útil diminuída. No final de sua vida útil, a bateria continua tendo valor. Ela não poderá mais alimentar o carro elétrico plenamente, mas pode ser utilizada para armazenamento de energia em um sistema de energia solar, por exemplo (Xiaosong Hu, 2020).

Quando falamos sobre o descarte, ainda é um assunto nublado em nosso país, onde os principais tipos de baterias são exportados para serem reciclados. Isso ocorre muito por conta de o Brasil não produzir esse tipo de bateria em larga escala. Porém, com o crescimento do uso desse tipo de baterias, em poucos anos devemos ter um trato melhor com o descarte e reciclagem desse tipo de equipamento.

2.3 Reciclagem de Baterias e Sistemas de Armazenamento de Energia

Segundo Clemente (2022), dentre as diversas formas de armazenamento de energia, as baterias eletroquímicas se apresentam como candidatas potenciais a diversas aplicações no setor elétrico brasileiro, sobretudo pela capacidade de resposta instantânea dessa tecnologia e por sua flexibilidade operativa e locacional.

Destaca-se também a versatilidade desses sistemas, que se mostram capazes de prover diferentes serviços, como backup, arbitragem e compensação da variabilidade de geração eólica e solar, por exemplo, possibilitando maior penetração dessas fontes renováveis e, conseqüentemente, a redução das emissões de gases de efeito estufa. Adicionalmente, dada sua modularidade, as baterias se mostram aptas a diferentes aplicações: desde sistemas residenciais ou isolados de pequeno porte até aplicações centralizadas de alta capacidade (EPE, 2019).

De acordo com Agência Internacional de Energia (IEA), até 2030, há uma previsão de 23 milhões de veículos elétricos sendo vendidos globalmente. Isso poderia levar para 5.750.000 toneladas de baterias retiradas até 2040, assumindo uma vida útil da bateria de 10 anos e 250 kg por bateria.

Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE) anunciou que até setembro de 2021, segundo dados da RENAVAL, mais de 66.000 veículos elétricos e híbridos foram registrados em circulação no Brasil

Apesar das inúmeras possibilidades de aplicações, centralizadas e distribuídas, verifica-se que algumas ainda dependem de questões regulatórias e comerciais, o que reforça a importância da discussão aqui proposta, de forma a buscar a inserção das baterias no mercado brasileiro de forma sustentável, à medida que contribuam para os requisitos do sistema elétrico e se mostrem competitivas frente às demais soluções (Yasmin, 2022).

Um aspecto sensível analisado sob o ponto de vista socioambiental é a destinação das baterias após o término da sua vida útil, principalmente devido aos metais tóxicos em sua composição que apresentam riscos ao meio ambiente e à saúde caso não seja disposto adequadamente. A disposição segura de materiais perigosos é custosa, e as formas mais comuns consistem no envio para aterros ou incineradores (Dehghani-Sani, Tharumalingam, Dusseault, &

Fraser, 2019).

O conceito de economia circular propõe a manutenção do valor dos recursos extraídos e produzidos em circulação por meio de cadeias produtivas integradas. O destino de um material deixa de ser uma questão de gerenciamento de resíduos, mas parte do processo de design de produtos e sistemas; com o objetivo de aumentar a eficiência do uso de recursos, com foco especial em resíduos urbanos e industriais, para alcançar um melhor equilíbrio e harmonia entre economia, meio ambiente, e sociedade (WEBSTER, 2015).

Ressalta-se que a aplicação dos princípios da Energia Circular (recuperar, reutilizar e reciclar) para as baterias, permite mitigar os impactos e riscos socioambientais, e também fomentar novas oportunidades. No Brasil, a destinação de resíduos está alinhada a esses princípios com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS,2017) que, no caso das baterias, obriga os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes a realizar logística reversa para coleta e destinação adequada.

Seguindo a lógica circular, a bateria inservível deve ser coletada e encaminhada para reparo ou recuperação, possibilitando o seu retorno à condição original, ou ainda a sua utilização em aplicações secundárias (WEF, 2019). No caso de baterias íon-lítio de veículos elétricos, por exemplo, estas podem ser aproveitadas como armazenamento estacionário no setor elétrico após serem inutilizadas, visto que a capacidade nominal restante, cerca de 80%, é admissível para serviços menos intensivos (Pagliaro & Meneguzzo, 2019). Essa prática possibilita a extensão da vida útil do equipamento contribuindo não somente para sua sustentabilidade, mas também para sua economicidade.

Ao se esgotarem as opções de reuso, os materiais devem ser recuperados por meio de reciclagem. Atualmente os processos de reciclagem de baterias são dispendiosos, sua viabilidade depende dos custos de coleta, manuseio, desagregação, além de escala e valor do material recuperado. Destaca-se o nível elevado, acima de 99%, de reciclagem de baterias chumbo-ácido na Europa e Estados Unidos (WEF, 2019). Isso se deve principalmente pela simplicidade, padronização e rede de coleta bem estabelecida para esse tipo de bateria (European Commission, 2018).

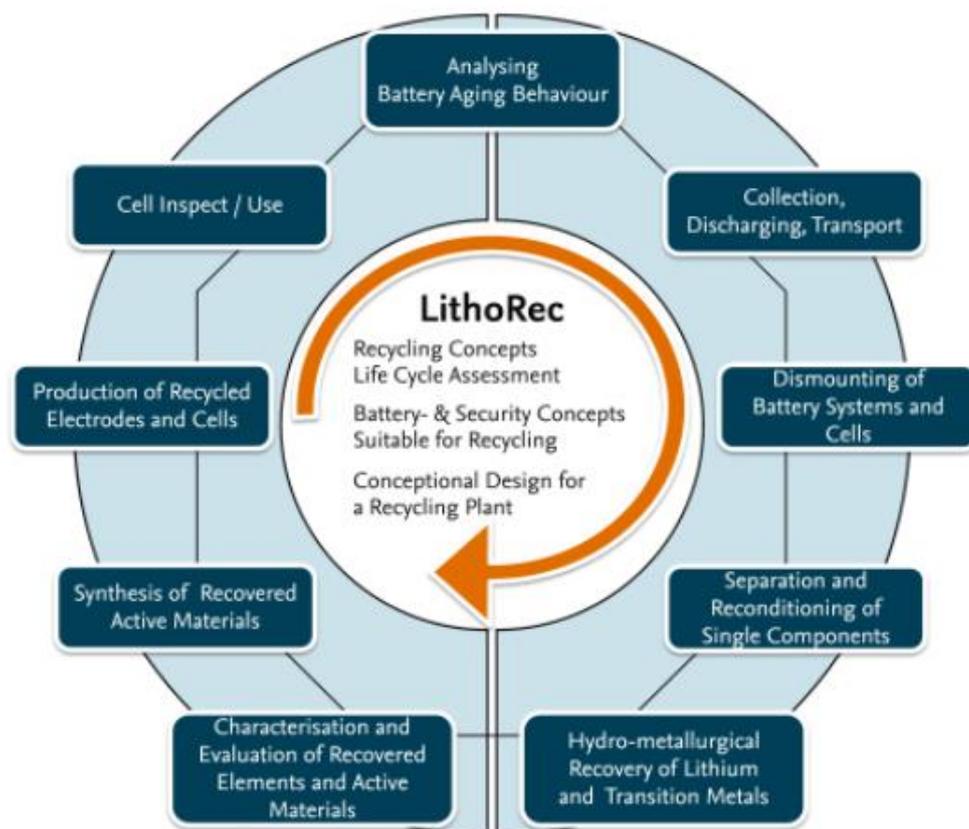
Já as baterias íon-lítio (LIBs) apresentam desafios tecnológicos pela sua complexidade, mas a relevância da reciclagem cresce com a sua expansão

(Dehghani-Sanij, Tharumalingam, Dusseault, & Fraser, 2019). O fator chave para a implementação da economia circular de baterias é a sua coleta após o uso (WEF, 2019). Também é importante que as baterias sejam projetadas para favorecer o seu reuso e reciclagem, como separação fácil das peças, padronização de formatos e materiais, simplicidade de remoção, etiquetagem, entre outros. Classificação e separação correta das baterias recolhidas também são essenciais para evitar os riscos de contaminações cruzadas nas unidades de reciclagem (Gaines, 2014).

2.4 Gestão da reciclagem dos sistemas de armazenamento de energia.

Os veículos elétricos geralmente requerem baterias de alto desempenho, portanto, uma bateria é removida de um veículo quando a capacidade diminui além de um certo ponto. Estima-se que isso geralmente aconteça quando as baterias atingem 70% a 80% de sua capacidade original. Embora não sejam mais práticas para uso em veículos neste momento, as baterias ainda são capazes de lidar com carga e descarga para outras aplicações, como armazenamento de eletricidade (Berkeley Lab, s.d).

Figura 5-Conceitos de Reciclagem das baterias



Fonte:Automóveis Elétricos(2021)

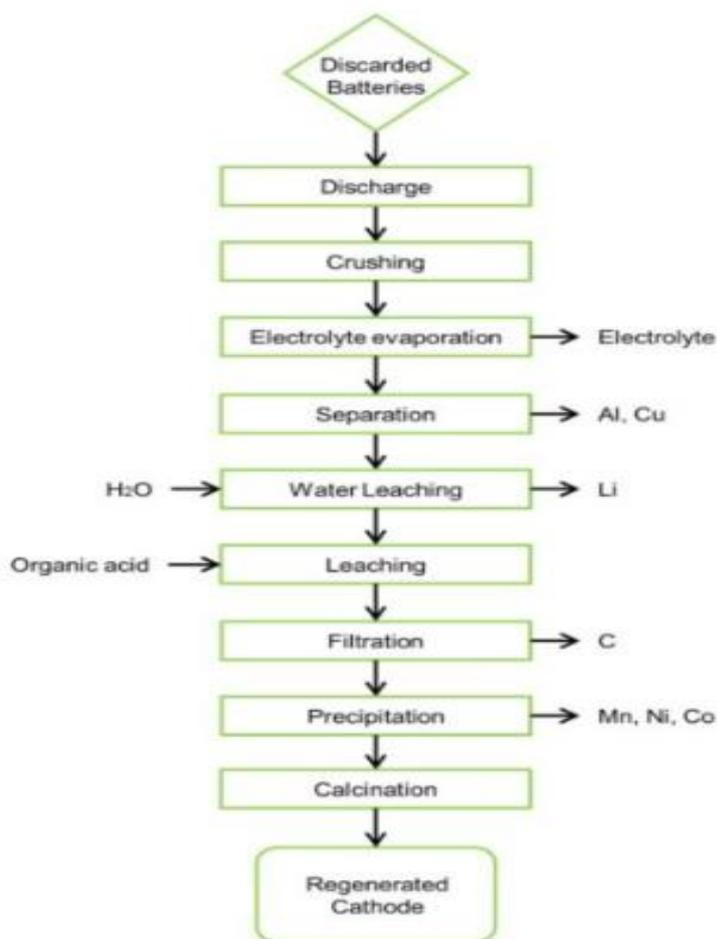
Na União Europeia, a reciclagem de VEs em fim de vida útil atingiu 95% em 2015, para recuperar peças e principalmente os metais que constituem as baterias. Em 2016, foram geradas entre 8 e 9 milhões de toneladas de resíduos de VEs na região e entre 80 e 100% dos materiais dos veículos foram recuperados ou reciclados. No mesmo ano, mais de 94000 toneladas de baterias foram recicladas mundialmente, sendo 50% na Europa e 33% na China. Nos EUA, quase todos os automóveis são reciclados e aproximadamente 86% dos materiais destes veículos são recuperados ou utilizados para produção de energia (STEWART *et al.*, 2019).

A reciclagem do lítio das baterias após o término de sua vida útil ainda não é habitual e pouco foi reciclado ao longo dos últimos anos, com taxas inferiores a 1%, o que ocorre porque o preço do lítio reciclado é até cinco vezes mais caro do que outros processos a base de salmoura (TANCO *et al.*, 2019). A reciclagem de baterias de VEs deve vir a fornecer aproximadamente 50% do lítio necessário para a produção de novas baterias em 2040. O lítio está entre 5% e

7% da composição das LIBs (ZIVANCEV *et al.*, 2018).

O processo mais adequado para sua recuperação é a moagem criogênica, que consiste em quando se utiliza nitrogênio líquido a -196°C para diminuir a temperatura do elemento e reduzi-lo a um tamanho de partícula. Nessa temperatura, o lítio dentro das células não reage. Após isso, as baterias são trituradas e imersas em água. O íon de lítio reage com a água e produz hidróxido de lítio e gás hidrogênio, que é queimado acima da solução (AVEKA, 2020; SONOC *et al.*, 2015). Um aspecto positivo é que o crescente uso deste tipo de bateria nos veículos elétricos vem aumentando seu total de reciclagem, com a capacidade global total para fabricação de LIBs de veículos crescendo de 31 GWh em 2016 para valores entre 120 e 549 GWh em 2020, o que exigiu mais de 550000 toneladas dos materiais lítio, cobalto, manganês, níquel e grafite somados (STEWART *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2020).

Figura 6- Fluxo de Reciclagem das Baterias de Lítio



Fonte : <http://larex.poli.usp.br>

Os resíduos de baterias são importantes fontes secundárias de metais, que podem estar em concentrações muito altas, em alguns casos até superiores às encontradas nos minérios (ZIVANCEV *et al.*, 2018). Na União Europeia, a reciclagem de VEs em fim de vida útil atingiu 95% em 2015, para recuperar peças e principalmente os metais que constituem as baterias. Em 2016, foram geradas entre 8 e 9 milhões de toneladas de resíduos de VEs na região e entre 80 e 100% dos materiais dos veículos foram recuperados ou reciclados. No mesmo ano, mais de 94000 toneladas de baterias foram recicladas mundialmente, sendo 50% na Europa e 33% na China. Nos EUA, quase todos os automóveis são reciclados e aproximadamente 86% dos materiais destes veículos são recuperados ou utilizados para produção de energia (STEWART *et al.*, 2019).

Wang e Thoben (2016) demonstraram que a projeção do total de VEs e

baterias a serem reciclados nos próximos anos corresponde às vendas de veículos elétricos nos anos anteriores aliadas à sua vida útil e taxas históricas de descarte. Segundo Volan *et al.* (2019), para isso ocorrer, depende de grande empenho dos governos para incentivar as montadoras a reciclar as baterias dos VEs, assim como dos fabricantes de baterias, que devem optar por um *design* que facilite a reciclagem e realizar a identificação dos componentes utilizados, aumentando a segurança do processo. Economias de escala devem ajudar a reduzir os custos de reciclá-las e tornar o processo ainda mais econômico comparado à extração de novos materiais. Para Chen *et al.* (2019), a reciclagem das LIBs é de fundamental importância por três razões principais: reduzir as incertezas associadas à flutuação dos custos dos materiais, equilibrar as desiguais distribuição e produção de materiais essenciais, e abordar a situação do transporte durante o descarte dessas baterias.

De acordo com Chen *et al.* (2019), existem três opções para as baterias em fim de vida útil: remanufatura, reaproveitamento e reciclagem, que dependem do seu *design*, qualidade e SoH(State of Health). As duas primeiras estendem o uso das baterias, enquanto a terceira encerra o ciclo, portanto, o ideal seria que elas fossem remanufaturadas ou reaproveitadas primeiro, para depois serem recicladas. Segundo Volan *et al.* (2019), a vida útil das baterias após irem para o seu segundo uso é de aproximadamente seis anos em média.

A reciclagem é a opção que pode acomodar baterias de todos os modelos e SoH, porém, a quantidade de elementos químicos nas LIBs impõe alguns obstáculos técnicos e econômicos. Os pacotes de LIBs são estruturas complexas, compostas por vários módulos, nos quais inúmeras células, de geometria prismática, cilíndrica ou em bolsa, são conectadas em diferentes configurações, em série, paralela ou serial-paralela; por soldagem, ligação de fios ou junção mecânica, com dissipadores de calor colocados entre elas para formar um módulo. De acordo com Sonoc *et al.* (2015), as células em bolsa são as mais utilizadas em automóveis por serem leves, e em um deles, todas têm a mesma química e o mesmo tamanho. A casca externa dessas células é feita de um polímero, enquanto a das outras duas é feita de aço.

A gestão de reciclagem de baterias de veículos elétricos é um processo importante para garantir a sustentabilidade da indústria de transporte elétrico.

Esse processo envolve diversas etapas e atividades, desde a coleta até o tratamento e recuperação dos materiais contidos nas baterias. Chen, M(2021).

A reciclagem de baterias de veículos elétricos geralmente é realizada por empresas especializadas em reciclagem de metais e outros materiais. Essas empresas devem seguir requisitos ambientais e regulatórios específicos para garantir que a reciclagem seja realizada de forma segura e sustentável, Sivakumar, S. (2020).

Segundo Zhang (2020), as atividades relacionadas à gestão de reciclagem de baterias de veículos elétricos incluem a coleta das baterias usadas, a desmontagem e separação dos materiais, o tratamento químico para separar os componentes e a recuperação de materiais para uso em novas baterias ou outros produtos. Além disso, a gestão de reciclagem também pode incluir a logística de transporte, armazenamento e descarte adequado de resíduos.

É importante destacar que a reciclagem de baterias de veículos elétricos é essencial para reduzir os impactos ambientais e garantir a sustentabilidade do setor de transporte elétrico. A gestão eficiente da reciclagem de baterias é fundamental para garantir que os materiais sejam reutilizados de forma segura e sustentável, evitando o descarte inadequado e reduzindo a necessidade de extrair novos recursos naturais da natureza.

2.5 Aspectos regulatórios da reciclagem dos sistemas de armazenamento de energia

O Brasil deu um importante passo no controle das emissões de CO₂ quando o Congresso Nacional ratificou o Acordo de Paris em 2016, que prevê a redução de 43% das emissões de gases de efeito estufa até 2030 em relação aos níveis de emissão de 2005.

Segundo dados do Balanço Energético Nacional, em 2020, o Brasil emitiu 398,3 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera, sendo 45% provenientes do setor de transporte.

Na adoção de estratégias governamentais de apoio a eletromobilidade no Brasil, em julho de 2018, o Decreto Presidencial nº 9.442 alterou a alíquota do

Imposto sobre Produtos Industrializados, com essa medida, a alíquota foi reduzida de 25% para 7% para os BEVs e de 25% para 20% para HEVs. Em relação aos investimentos em pesquisa, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) se destaca como a principal instituição fomentadora de projetos de pesquisa e desenvolvimento em mobilidade elétrica brasileira, pois representam 65% dos aportes realizados em projetos em mobilidade elétrica em comparação com outras instituições de fomento à pesquisa no Brasil.

Um exemplo desse investimento foi o Edital 22 P&D ANEEL, que visa gerar negócios e soluções de mercado para a mobilidade elétrica nos anos de 2020 a 2024 (ANEEL, 2020). No que diz respeito aos programas e políticas de incentivo à mobilidade elétrica no Brasil, o Rota 2030 é a primeira política industrial automotiva de longo prazo implementada no Brasil, vigente entre 2018 e 2033, que define uma série de regulamentações e incentivos para melhorar a competitividade e a logística do transporte sistema no país (ANEEL, 2020).

Dentre as Associações de Classe que se relacionam com a mobilidade elétrica no Brasil, destaca-se a Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE), que atua junto a empresas do setor e outros atores, com o objetivo de promover o debate, popularizar e divulgar os temas dos VEs, além de apoiar na tomada de decisões sobre medidas regulatórias e articulação de atores, sejam eles do setor público ou privado (ABVE, 2021). Nesse cenário de incentivos à difusão dos VEs, em fevereiro de 2020, foi lançada a Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME), cujo objetivo é ser um instrumento de articulação entre governo, mercado, tecnologia e sociedade civil, articulando suas ações em prol da construindo metas para a mobilidade elétrica no Brasil (ANEEL, 2020).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou em dezembro de 2021, a Resolução Normativa nº 1.000/2021 consolidando as principais regras para a prestação dos serviços públicos de distribuição de energia elétrica, onde estão dispostos os direitos e deveres dos consumidores. Ele consolida o conteúdo de 61 normas anteriormente editadas pela ANEEL, que foram revogadas, e entre elas, encontra-se a Resolução Normativa nº 819/2018 (ANEEL, 2020). Já Resolução Normativa N°819/2018 (REN 819/2018), foi a primeira regulamentação brasileira sobre recarga de veículos elétricos, na qual estabelece os procedimentos e condições para a realização das atividades de recarga de veículos elétricos no Brasil. Este regulamento permite a qualquer

interessado realizar atividades de carregamento de veículos elétricos, inclusive para fins de exploração comercial, a preços livremente negociados.

Apesar da regulamentação no Brasil ter sofrido mudanças significativas com a publicação da Resolução 1.000/2021 no âmbito da prestação dos serviços públicos de distribuição de energia elétrica, no que diz respeito ao tema carregamento de veículos elétricos, não houve mudanças significativas. A Resolução Normativa 1.000/2021 apresenta um regulamento mínimo sobre eletro mobilidade no Brasil.

O Projeto de lei (PL 392/2023) está em pauta no Brasil determinando a obrigatoriedade de pontos de recarga para carros elétricos em postos de abastecimento nas rodovias federais. A medida incentiva o uso de veículos elétricos nas estradas do país e reduz o uso de substâncias poluentes (Agência Senado, 2023).

3 METODOLOGIA

Segundo Ander-Egg (1978, p.28) pesquisa consiste em um “procedimento reflexivo sistemático, controlado e crítico, que permite descobrir novos fatos ou dados, relações ou leis, em qualquer campo do conhecimento”. Deste modo, a pesquisa trata-se em algo próprio da natureza humana (Barros, Lehfeld, 1990), que compreende a tarefa de reunir informações pertinentes para a resolução de um problema previamente estabelecido (Booth, et al, 2000).

O enquadramento metodológico, bem como o seu procedimento, o método da pesquisa, a delimitação, serão os assuntos pertinentes a essa etapa da dissertação. Também serão apresentadas as etapas da pesquisa e seu detalhamento, a Matriz de Amarração e o Cronograma do projeto.

3.1 Enquadramento Metodológico

Nesta subseção será detalhado o enquadramento metodológico da dissertação.

3.1.1 Natureza da pesquisa

Segundo LACERDA et al. (2013), o pesquisador deve definir o método a ser utilizado no início da pesquisa, explicitando o que o motivou a escolher tais métodos. Estes métodos devem (i) responder ao problema de pesquisa, (ii) terem reconhecimento por parte da comunidade científica, (iii) estarem alinhados com o método definido anteriormente e (iv) evidenciar os procedimentos que foram adotados de forma clara.

Quanto à natureza da pesquisa, este trabalho é de ordem prática e busca resolver auxiliar profissionais a resolver problemas reais, sendo classificada como pesquisa aplicada. (LACERDA et al., 2013).

3.1.2 Abordagem da pesquisa

De acordo com Richardson (1999), os estudos que empregam uma metodologia qualitativa podem descrever a complexidade de determinado problema, analisar a interação de certas variáveis, assim como compreender e classificar processos dinâmicos vivenciados por grupos sociais. As técnicas

qualitativas focam a experiência das pessoas e seu respectivo significado em relação a eventos, processos e estruturas inseridos em cenários sociais (Skinner, Tagg, Holloway, 2000).

A pesquisa quantitativa é caracterizada pelo uso da quantificação, tanto na coleta quanto no tratamento das informações, utilizando-se de técnicas estatísticas (Richardson, 1989). Objetiva a aquisição de resultados que evitem possíveis distorções de análise e interpretação e que possibilitem a maximização da margem de segurança (Diehl, 2004). De modo geral, a pesquisa quantitativa é passível de ser medida em escala numérica (Rosental, Frémontier-Murphy, 2001).

Este método é frequentemente aplicado nos estudos descritivos, que procuram descobrir e classificar a relação entre variáveis, os quais propõem descobrir as características de um fenômeno. Nesse tipo de pesquisa, identificam-se primeiramente as variáveis específicas que possam ser importantes, para posteriormente explicar as complexas características de um problema (Richardson, 1999).

A abordagem dessa pesquisa será mista quantitativa, sendo realizada uma análise da literatura e a coleta de dados sobre a opinião de agentes envolvidos com o objeto da pesquisa.

3.1.3 Objetivo da pesquisa

Conforme Richardson (1999) a pesquisa exploratória aprofunda os conhecimentos das características de determinado fenômeno para procurar explicações das suas causas e consequências. Esse tipo de pesquisa apresenta menor rigidez no planejamento. É desenvolvida com o objetivo de proporcionar visão geral acerca de determinado fato. É realizado especialmente quando o tema é pouco explorado e torna-se difícil sobre ele formular hipótese (GIL, 1999; CERVO; BERVIAN, 2002).

Já as pesquisas descritivas objetivam identificar correlação entre variáveis e focam-se não somente na descoberta, mas também, análise dos fatos, descrevendo-os, classificando-os e interpretando-os. Trata-se, portanto de uma análise aprofundada da realidade pesquisada (Rudio, 1985). Os

fundamentos teóricos da pesquisa descritiva são construídos depois da análise de dados empíricos, sendo aprimorados *a posteriori*. (Dalfovo, Lana, Silveira, 2008).

Desta forma, esta pesquisa tem caráter Exploratório, por ter poucos informações disponíveis, principalmente no tocante à Reciclagem de baterias e conseqüentemente o hiato da Legislação. Destarte, a dissertação também tem o cunho descritivo com a identificação de padrões e relações nos dados coletados.

3.1.4 Método Científico

O método indutivo fundamenta-se na observação de um objeto ou fenômeno específico para que se alcancem, partindo dele, conclusões gerais ou universais. É que quando se parte da observação consistente do específico, proposições gerais ganham força e plausibilidade (MEZZARROBA; MONTEIRO, 2004). A indução, portanto, é um processo mental que parte de dados particulares e, na medida em que estes vão sendo “suficientemente constatados”, permite-se inferir uma verdade mais ampla que aquela contida inicialmente nas partes examinadas. É um procedimento generalizador que tem como objetivo chegar a conclusões de conteúdo muito mais amplo que as próprias premissas que foram utilizadas de alicerce (MARCONI; LAKATOS, 2007, p. 53).

Por fim, o método científico utilizado é caracterizado como indutivo, buscando formar uma teoria que corresponda a um contexto geral a partir de dados particulares obtidos ao longo do estudo (MARCONI; LAKATOS, 2003).

3.1.5 Técnicas de pesquisa utilizadas

Os procedimentos técnicos permitem o delineamento da investigação empírica, sendo divididos em dois grupos, quais sejam: “aqueles que se valem de fontes de ‘papel’ e aqueles cujos dados são fornecidos por pessoas” (Gil, 2002, p. 43). Integram o primeiro grupo, a pesquisa bibliográfica e documental e, por sua vez, o segundo grupo é composto por pesquisa experimental, *ex-post-*

facto, *survey*, estudo de caso, pesquisa-ação e pesquisa participante (Gil, 2002).

A pesquisa bibliográfica e a documental utilizam-se de dados existentes. Todavia, a diferença entre estas consiste no fato da primeira utilizar-se de dados que já receberam tratamento analítico, ou seja, é baseada em material (artigos científicos e livros) já publicado (Gil, 2010). Para Fonseca (2002, p. 32) “a pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos”.

Segundo Sampaio e Macini (2007, p.84) “uma revisão sistemática, assim como outros tipos de estudo de revisão, é uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados à literatura sobre determinado tema.”. Para Mendes, Silveira e Galvão (2008, p. 761) uma revisão de literatura sistemática deverá levar em consideração 6 passos essenciais (ver quadro 1):

Quadro 1: Etapas da revisão sistemática da literatura

1ºPasso	<ul style="list-style-type: none"> • Escolha e definição do tema • Objetivos • Identificar as palavras chaves • Estabelecimento de hipótese ou questão de pesquisa
2ºPasso	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão • Uso de base de dados • Seleção dos estudos
3ºPasso	<ul style="list-style-type: none"> • Extração das Informações • Organizar e sumarizar as informações • Formação do banco de dados
4ºPasso	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de análise estatística • Inclusão/Exclusão de estudos • Análise crítica dos estudos selecionados
5ºPasso	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão dos resultados • Propostas de recomendações • Sugestão para futuras pesquisas
6ºPasso	<ul style="list-style-type: none"> • Síntese do conhecimento ou das informações obtidas

Fonte : Adaptado de MENDES, SILVEIRA & GALVÃO(2008).

A Revisão Sistemática de Literatura foi realizada visando coletar informações que respondam a uma pergunta de pesquisa inicial utilizando um processo claro e organizado para a obtenção, seleção e posterior análise crítica dos dados a respeito do tema em estudo. (RIBEIRO ROCHA; DE OLIVEIRA; TALAMINI, 2021).O protocolo escolhido para cancelar a RSL foi o definido por : *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) para embasar cada uma das etapas realizadas durante a pesquisa,

sendo elas a identificação; Seleção; Elegibilidade; Inclusão (LIBERATI *et al.*, 2009) da literatura encontrada.

Por sua vez, a *survey* visa interrogar diretamente as pessoas cujo comportamento está sendo estudado. Desse modo, consiste na solicitação de informações a um quantitativo significativo de respondentes sobre a problemática em foco (Gil, 2011). Para Pinsonneault e Kraemer (1993) a *survey* se caracteriza como procedimento de pesquisa onde os dados são obtidos junto a uma população-alvo, normalmente, via questionários.

As pesquisas iniciais utilizadas nessa dissertação foram uma Pesquisa Bibliográfica e Documental. Será feita uma *Survey* após o término da RSL, visando a compreensão do que existe no Brasil e em alguns países da Europa, sobre a Gestão de processos de reciclagem de Sistemas de Armazenamento de Energia.

A Análise Multicritério é uma técnica quali-quantitativa, situada no meio do *continuum* que separa as abordagens puramente exploratórias e pouco estruturadas de tomada de decisão – como Brainstorm e Grupos de Discussão – e os modelos quantitativos rigidamente estruturados da Pesquisa Operacional, voltados para a otimização de funções-objetivo, sujeitas a um conjunto de restrições como a Programação Linear ou Dinâmica (ENSSLIN, L, 2001). Dessa forma a análise multicritérios auxilia a definir ordens de prioridades, classificar alternativas, determinar relações de influência entre as variáveis e identificar soluções mais adequadas e sustentáveis para os problemas enfrentados. Na estrutura de análise multicriterial, o conjunto de critérios estabelecido auxilia na avaliação dos objetivos relacionados aos negócios em questão (Mota e Almeida, de, 2011), fornecendo aos gestores informações decisivas para a implementação de projetos (Sola, Mota e Kovaleski, 2011).

Dessa forma, a utilização dos métodos de Análise Multicriterial, poderá ser importante ferramenta auxiliar na avaliação estruturada das variáveis advindas dos processos de reciclagem das Baterias assim como para apoiar a estruturação do *framework* para gestão dos processos de reciclagem das Baterias dos Carros Elétricos.

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

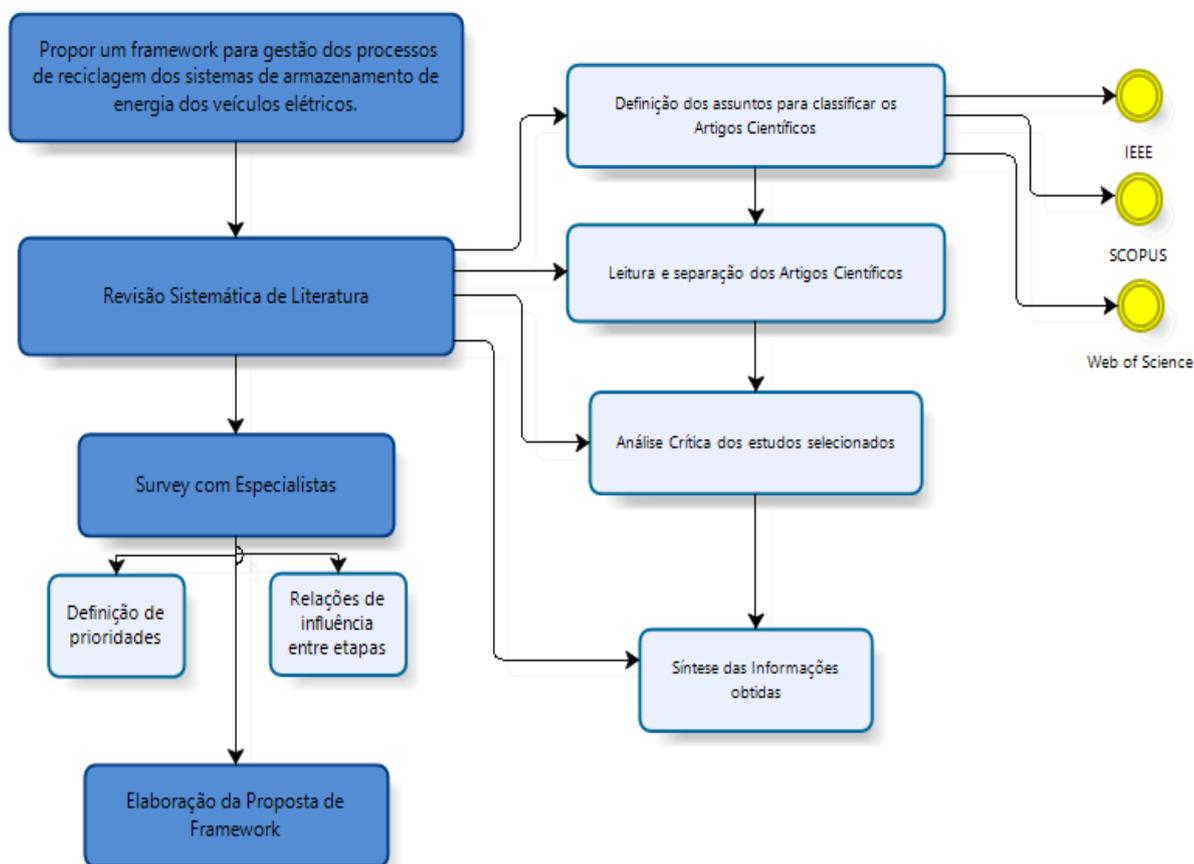
A presente pesquisa possui diferentes etapas em sua metodologia, cada uma destas representa um processo fundamental para a construção do conhecimento e busca dos objetivos estabelecidos para este trabalho de dissertação. Dentre estas partes, duas já foram concluídas e serviram de base para a construção do projeto de pesquisa ora apresentado: o referencial teórico que foi a etapa inicial na qual foi realizada uma pesquisa bibliográfica utilizando uma Revisão Sistemática Literária com o intuito de buscar informações iniciais a respeito do problema proposto e estabelecer de forma clara as lacunas existentes na literatura atual; e uma entrevista e questionário, que serão aplicados junto à especialistas.

As demais etapas previstas serão os levantamentos das variáveis advindas da expansão da RSL com uma aplicação de análise multicriterial para logo em seguida partir para a estruturação do Framework para a Gestão dos processos de reciclagem dos Sistemas de Armazenagem de energia dos VEs.

3.3.1 Método de Trabalho

O método de trabalho define a sequência de passos lógicos que o pesquisador vai seguir para alcançar seu objetivo, gerando conhecimento válido e cientificamente reconhecido como verdadeiro. (MARCONI; LAKATOS, 2010). Na Figura 7 estão expostos os passos que foram seguidos para o desenvolvimento desta pesquisa.

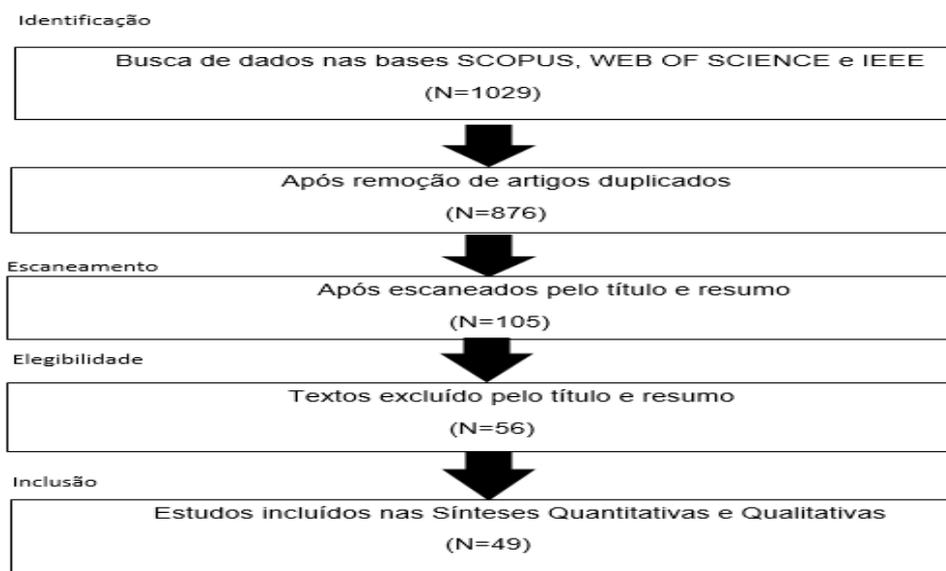
Figura 7- Etapas para o desenvolvimento da pesquisa



Fonte:Elaborado pelo autor (2023)

3.3.2 Revisão Sistemática da Literatura

Para a realização da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), foi adotado o protocolo definido pela declaração Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) para orientar cada uma das etapas realizadas durante a pesquisa. O protocolo PRISMA consiste em uma sequência rigorosa de etapas, incluindo a identificação, seleção, elegibilidade e inclusão da literatura encontrada, conforme descrito por Liberati et al. (2009). Esse protocolo foi utilizado como referência para garantir a qualidade e transparência da revisão sistemática realizada.

Figura 8- Diagrama da Declaração *PRISMA*

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) apresentada contempla uma série de etapas críticas para garantir a qualidade e relevância dos resultados obtidos. Essas etapas incluem: (i) formulação das perguntas de pesquisa; (ii) definição dos critérios de inclusão e exclusão; (iii) seleção e avaliação da literatura; (iv) avaliação da qualidade da literatura incluída na revisão sistemática; e (v) análise e síntese das informações encontradas. Essas etapas foram baseadas em um modelo descrito por Cronin, Ryan e Coughlan (2008) e foram seguidas de forma rigorosa para garantir a objetividade e transparência da revisão sistemática.

A revisão sistemática da literatura foi realizada com o intuito de encontrar artigos que possam orientar a pesquisa e, ao mesmo tempo, demonstrar a sua originalidade. Em seguida, foi realizada a categorização dos artigos encontrados, a fim de otimizar sua leitura e encontrar possíveis relações entre temas e autores.

A RSL foi realizada com buscas nas bases da *Scopus*, *IEEE* e *Web Of Science*. Após a seleção e posterior leitura completa dos artigos encontrados, restaram quarenta e nove documentos que discutiam a os temas carros elétricos, baterias de EVS e reciclagem. Destes, quarenta e cinco apresentaram

conteúdos com enfoque técnicos e quatro apresentaram como tema principal a revisão da literatura.

A primeira fase da revisão sistemática da literatura iniciou com a definição das palavras-chave para realização das buscas. O termo escolhido para realização das buscas, tanto nas bases nacionais como internacionais foram: *reciclagem, baterias e veículos elétricos, second life*.

Na segunda etapa da revisão sistemática da literatura, definiu-se como índice o *abstract*. Ou seja, foram buscados artigos nos quais as palavras-chave “*reciclagem*”, “*baterias*” e “*reciclagem*” e “*second life*” apareciam nos *abstracts*. Além disso, definiu-se que seriam buscados artigos completos .

Na terceira etapa foi definido a linha do tempo para realização das buscas. O intervalo de tempo selecionado abrangeu o período de 2018 até a presente data e a justificativa para tal critério foi a busca de artigos atuais.

Na quarta etapa da revisão sistemática da literatura, foi realizada a busca por artigos, e, em seguida, foram analisados os seus títulos. Para aqueles que se mostraram pertinentes ao tema da pesquisa tiveram também seu *abstract* analisado. Aqueles que se mostraram pertinentes ao tema foram catalogados, tendo sido, posteriormente, realizada a leitura destes artigos.

Quadro 2 - Filtros de busca utilizados na Revisão Sistemática da Literatura

Filtro	Scopus	Web of Science	IEEE
Tipo	Artigos	Artigos	Artigos
Busca em	<i>Title, abstract or keywords</i>	<i>Topic</i>	<i>All Metadata</i>
Áreas de pesquisa	<i>Energy; Engineering; Decision Sciences; Business, Environmental; Economics, Econometrics and Finance</i>	<i>Energy Fuels; Engineering Electrical Electronic; Green Sustainable Science Technology; Engineering Industrial; Engineering Environmental; Engineering Manufacturing; Engineering</i>	<i>All Metadata</i>
Anos	2018 – Presente	2018 – Presente	2018- Presente
Termos de busca	<i>("battery*") AND ("electric vehicle*") AND ("recycling*") AND ("second life")</i>	<i>"battery*" AND "electric vehicle*" AND "recycling*" AND ("second life")</i>	<i>("battery*") AND (:"electric vehicle*") AND (:"recycling*") AND ("second life")</i>

Fonte: adaptado de Schaefer (2022)

Durante a fase de identificação, foram encontrados 1329 artigos relevantes. Depois de remover registros duplicados, restaram 1088 artigos. Na fase de escaneamento, foram analisados os títulos e resumos dos artigos e somente 65 foram selecionados, considerando o escopo desta pesquisa, que se concentra nos players da Gestão de reciclagem das Baterias dos veículos elétricos. Dessa forma, 1023 artigos foram excluídos por estarem focados em outras atividades que não estão diretamente relacionadas com o tema desta pesquisa.

Tabela 1- Quantidade de artigos na fase de identificação

STRINGS SCOPUS	Scopus
(TITLE-ABS-KEY ("battery*") AND TITLE-ABS-KEY ("electric vehicle*") AND TITLE-ABS-KEY ("recycling*")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENER") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BUSI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ECON") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "DECI")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))	935
STRINGS WEB OF SCIENCE	WOS
"battery*" (Tópico) AND "electric vehicle*" (Tópico) AND " recycling *" (Todos os campos) and Engineering or Environmental Sciences Ecology or Business Economics (Áreas de pesquisa) and English (Idiomas)	212
STRINGS IEEE	IEEE
("All Metadata": "battery*") AND ("All Metadata": "electric vehicle*") AND ("All Metadata": " recycling *")	185

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na fase de elegibilidade, foram avaliados os textos completos e 65 artigos foram excluídos por não abordarem o tema da reciclagem de sistemas de armazenamento de energia dos VEs. Na quarta fase, 51 artigos foram incluídos na síntese qualitativa e quantitativa, pois seus temas estavam relacionados aos objetivos específicos da pesquisa e eles indicaram pelo menos um player que estava relacionado com o escopo deste estudo.

3.3.3 Survey

A *Survey* que será aplicada aos especialistas terá uma abordagem mista, com questões quantitativas e qualitativas, visando coletar dados objetivos e mensuráveis sobre os desafios relacionados à gestão do ciclo de vida dos sistemas de armazenagem de energia dos veículos elétricos, assim como dados mais abrangentes e aprofundados sobre as percepções e sugestões dos especialistas. Segundo Flick (2009), a abordagem mista é uma estratégia de pesquisa que utiliza tanto métodos quantitativos quanto qualitativos, permitindo a complementaridade e triangulação dos dados coletados.

Para coletar dados quantitativos na survey, uma das estratégias de pesquisa adotada será a Escala de Likert, que é uma escala psicométrica amplamente utilizada em pesquisas de opinião e avaliação de atitudes. Essa escala consiste em uma série de afirmações sobre o tema em estudo, acompanhadas de um conjunto de opções que variam de "discordo totalmente" a "concordo totalmente". Os especialistas serão solicitados a avaliar o seu grau de concordância ou discordância com as afirmações propostas, permitindo a coleta de dados objetivos e mensuráveis sobre as opiniões em relação aos desafios identificados na gestão do ciclo de vida dos sistemas de armazenagem de energia dos veículos elétricos. A Escala de Likert é uma técnica de medição muito comum em pesquisas sociais, pois permite uma análise estatística precisa dos dados coletados e, ao mesmo tempo, é fácil de ser administrada (Fink, 2013). O processo de investigação abordará uma variedade de perspectivas ao questionar os atores relevantes, incluindo Professores especializados, Gestores de Logística e Gerentes de Concessionárias de Automóveis. Os questionamentos, totalizando 50 questões, serão elaborados para explorar aspectos econômicos, ambientais, sociais, tecnológicos e políticos relacionados à indústria de veículos elétricos. Após a coleta desses dados, uma análise utilizando a técnica MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) será aplicada para avaliar e ponderar as diferentes dimensões consideradas. Após, será desenvolvido um framework proporcionando uma base para a compreensão e gestão dos fatores que influenciam a indústria de sistemas de armazenagem de energia para veículos elétricos.

3.3.4 Matriz de Amarração

Com o objetivo de avaliar a coerência das relações estabelecidas entre as dimensões e decisões de encaminhamento de uma pesquisa e, desse modo, indicar a consistência metodológica da intervenção científica, Mazzon (1981, p.54) propôs um instrumento de análise basicamente focalizado na questão da aderência e da compatibilidade entre modelo de pesquisa, objetivos da pesquisa, hipóteses de pesquisa e técnicas de análise planejadas para tratamento dos dados em termos qualitativos

A matriz de amarração é uma ferramenta útil para a organização do projeto de pesquisa, facilitando ao pesquisador e ao leitor uma visão clara de cada uma das partes do estudo e de seus objetivos, permitindo a verificação de consistência da pesquisa de forma relativamente visual e rápida. Conforme (MAZZON, 2018) ao gerar a matriz de amarração o pesquisador deve verificar se a pesquisa possui hipóteses formuladas de forma adequada e embasamento teórico justificado, analisando também se o questionário aborda as questões necessárias e se as técnicas de análise escolhidas podem ser aplicadas às métricas determinadas.

Quadro 3 – Matriz de Amarração

Problema de Pesquisa	Objetivo Geral	Perguntas Específicas	Objetivos Específicos	Metodologia	Instrumento de Coleta	Contribuições
Gestão do processo de reciclagem baterias dos Veículos elétricos	Propor um Framework para gestão dos processos de reciclagem dos Sistemas de Armazenagem de energia dos Veículos.	- Como ocorre o processo de reciclagem de sistemas de armazenamento de energia utilizadas em veículos elétricos?	Analisar o panorama da reciclagem sistemas de armazenamento de energia de veículos elétricos a níveis mundial e nacional.	Revisão Sistemática De Literatura	Consulta às bases de artigos Scopus, Web Of Science e IEEE Xplore	Visão geral dos processos de aplicação da reciclagem de baterias dos Evs na literatura atual, permitindo um entendimento sistêmico sobre o problema de descarte.
		- Quais são as principais normas e regulamentações atuais que abordam a reciclagem de sistemas de armazenamento de energia de veículos elétricos?	Mapear as legislações e regulamentações relacionadas à reciclagem de sistemas de armazenamento de energia de veículos elétricos.			
		- Quais são os principais aspectos que visam garantir uma reciclagem eficiente e sustentável dos veículos elétricos?	Identificar quais aspectos integram a Gestão da reciclagem dos sistemas de armazenamento de energia dos veículos elétricos.			
		- É possível concatenar e organizar esses aspectos para auxiliar na gestão dos processos de reciclagem de baterias dos veículos elétricos?	Apresentar um framework para Gestão de Processos de Reciclagem dos sistemas de armazenamento de energia de veículos elétricos.	Survey	Solicitação de informações de especialistas	Apresentação das tecnologias disponíveis e os desenvolvimentos tecnológicos necessários para permitir a implementação de um Framework para reciclagem das baterias dos VEs
				Framework	Após reunir todas as respostas aos questionamentos quantitativos e qualitativos da Survey com os especialistas na área da pesquisa	Estruturação de impactos ou benefícios que um conjunto de diretrizes, métodos, processos ou padrões oferece para o tratamento e reciclagem de sistemas armazenagem de veículos carros elétricos

Fonte: Adaptado de Mazzon (2018).

3.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa tem como objetivo aprofundar o estudo sobre a gestão da reciclagem de baterias de veículos elétricos, com foco na tomada de decisão e avaliação do desenvolvimento e implementação da gestão do processo de reciclagem do sistema de armazenamento dos veículos elétricos.

Para atingir esse objetivo, a pesquisa realizará uma abordagem específica e detalhada dos aspectos relacionados à gestão dos processos de reciclagem de baterias de veículos elétricos. Em um primeiro momento, serão mapeados os principais atores envolvidos, requisitos, elementos e atividades relacionadas à reciclagem de baterias em âmbito global e também no Brasil. Em seguida, será feita uma análise detalhada dos possíveis fatores-chave para a gestão da reciclagem de baterias.

Por fim, será elaborado um framework para a gestão da reciclagem de baterias de veículos elétricos, com ênfase nos aspectos obtidos nas respostas da pesquisa de campo. A pesquisa também contribuirá para o avanço do conhecimento e das práticas de gestão da reciclagem de baterias de veículos elétricos, promovendo a sustentabilidade ambiental e o uso eficiente dos recursos naturais.

4 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Através da realização da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), foi possível identificar 30 players, elementos e tecnologias (PET), relacionadas aos negócios de Sistema de Armazenamento de Energia em um escopo global. A Tabela 1 apresenta esses players com o número de citações e a respectiva porcentagem considerando os 49 artigos incluídos na RSL. Para facilitar a identificação, eles foram codificados como PET1 a PET30.

Esses players foram agrupados em 7 clusters: Nações, Agências, Finanças, Conhecimento, Cadeia de Suprimentos, Clientes e Serviços. Dessa forma, cada player foi enquadrado no cluster que mais se assemelha à sua situação em relação aos negócios de Baterias de Veículos Elétricos em âmbito global.

É importante destacar alguns pontos relevantes em relação a esse agrupamento. Por exemplo, no cluster Nações, PET1 foi classificado como Organizações de Nações, que inclui as organizações de países mencionados nos artigos, como a União Europeia os EUA e o Mercosul, enquanto PET2 é formado pelas demais nações.

No cluster de Agências, além de PET3 e PET4, também foram incluídos outros players, como PET5- Associações, Agências Nacionais e Programas Pró-Energias Renováveis, que inclui todas as outras organizações relevantes para a inserção da EVs a nível nacional. Já no cluster Cadeias de suprimentos foram inseridos o PET14-IOT e o PET16 Smart Energy devido ao contexto abordado nos artigos da RSL.

Tabela 2 - *Players* associados com os negócios de Reciclagem de Baterias de Carros Elétricos identificados na Revisão Sistemática da Literatura

CLUSTER	CÓDIGO	PLAYER	CITAÇÕES
NAÇÕES	PET1	Organizações de Nações	14
	PET2	Nações	5
AGÊNCIAS	PET3	Agências Internacionais	3
	PET4	Organizações Não-Governamentais (ONGs)	3
	PET5	Associações, Agências Nacionais e Programas de Energia Renovável	10
CONHECIMENTO	PET6	Universidades, Institutos de Educação e Pesquisa e Pesquisadores	6
FINANÇAS	PET7	Agentes Financeiros Públicos	3
	PET8	Doadores Internacionais	1
	PET9	Cadeia de valor das Baterias	4
	PET10	Agentes Financeiros Privados	3
	PET11	Seguradoras	1
CADEIAS DE SUPRIMENTOS	PET12	Fabricantes de Veículos Elétricos	8
	PET13	Fabricantes e Desenvolvedores de Baterias de carros elétricos	5
	PET14	IOT	10
	PET15	Sistemas Logísticos	1
	PET16	Sistemas Inteligentes de Gerenciamento de Energia (Smart Energy)	18
CLIENTES	PET17	Legislação sobre reciclagem	1
	PET18	Empresas de Reciclagem de Baterias	1
	PET19	Centros Automotivos	1
	PET20	Agências de Reciclagem	2
	PET21	Políticas Públicas	8
	PET22	V2G	12
	PET23	Ambientalistas	31
	PET24	Efeitos Comerciais	2
	P25	Outros Clientes	2
SERVIÇOS	PET26	Reciclagem	24
	PET27	<i>Third-Party Ownership</i>	1
	PET28	Outras Empresas	1
	PET29	Reutilização das Baterias(Second Life)	9
	PET30	Serviços de utilidades públicas	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O Quadro 4 apresenta todas as referências da RSL onde podem ser encontrados os *players*, elementos e tecnologias, diretamente relacionadas aos Clusters propostos.

Quadro 4-Referências dos *Players*, Elementos e Tecnologias

Cluster	Código	Referências
NAÇÕES	PET1	(ZHAO et al., 2021; DE SOUZA et al., 2018; KAWAMOTO et al., 2019; PICATOSTE, 2022; Ranawat et al., 2022; HUMPHREYS et al., 2022; PARK et al., 2020; ZHAO et al., 2021; CHEN et al., 2021; AHMADIPARIDARI et al., 2019; VELANDIA VARGAS et al., 2019; NGUYEN-TIEN et al., 2021; XING et al., 2022; IVANOV et al., 2020) .
	PET2	(CHEN et al 2017; DHIFLI et al., 2020; GAO et al., 2019; SUN et al., 2019; MORIOKA et al., 2022).
AGÊNCIAS	PET3	(PARK et al., 2020; NGUYEN-TIEN et al., 2021; GAO et al., 2019).
	PET4	(SUN et al., 2019; CHEN et al., 2021; FLOREA, 2020).
	PET5	(DE SOUZA et al., 2018, KALAYCI et al., 2021; SUN et al., 2019; HUMPHREYS et al., 2022; DHIFLI et al., 2020; NGUYEN-TIEN et al., 2021; KAWAMOTO et al., 2019; PARK et al., 2020; FLOREA, 2020; CHEN et al., 2021).
CONHECIMENTO	PET6	(PICATOSTE; JUSTEL; MENDOZA, 2022; KAWAMOTO et al., 2019; ALI; MOULIK, 2022; SUN et al., 2019; FRANZÒ; NASCA, 2021; SADEGHIAN et al., 2022).
FINANÇAS	PET7	(THAKUR; DE ALMEIDA; BASKAR, 2022; PICATOSTE; JUSTEL; MENDOZA, 2022).
	PET8	(JOAN MANUEL F.,2022)
	PET9	(KALAYCI et al., 2021; ZHAO et al., 2021; SADEGHIAN et al., 2022; GAO et al., 2019).
	PET10	(PARK et al., 2020; SUN et al., 2019; KABUS et al., 2020).
	PET11	(ASHISH GUHAN,2022)

CADEIA DE SUPRIMENTOS	PET12	(ZHAO et al., 2021; PICATOSTE; JUSTEL; MENDOZA, 2022; SUN et al., 2019; FRANZÒ; NASCA, 2021; TU et al., 2017; FLOREA, 2020;DHIFLI et al., 2020; SADEGHIAN et al., 2022).
	PET13	(HERNANDEZ-CASTILLO et al., 2020;SUN et al., 2019; KALAYCI et al., 2021; YU et al., 2021; RAFELE et al., 2020)
	PET14	(KRISHNAKUMAR, S.,2022; HAN et al., 2022; KABUS et al., 2020; PANNERSELVAM; NARAYANAN; KUMAR, 2023; TU et al., 2017; DAI et al., 2019; BABAR; ALI, 2021; RANAWAT; PRASAD, 2018; DHIFLI et al., 2020; SADEGHIAN et al., 2022).
	PET15	(DE SOUZA et al. 2022).
	PET16	(THAKUR; DE ALMEIDA; BASKAR, 2022; KALAYCI et al., 2021; ZHAO et al., 2021; HUMPHREYS et al., 2022; ALI; MOULIK, 2022; AHMADI, 2019; YU et al., 2021; RAFELE et al., 2020; SU et al., 2023; HAN et al., 2022; KABUS et al., 2020; LIU et al., 2021; FRANZÒ; NASCA, 2021; TU et al., 2017; FLOREA, 2020; ROBAYO et al., 2020; RANAWAT; PRASAD, 2018; SADEGHIAN et al., 2022).
CLIENTES	PET17	(FUINHAS et al., 2021).
	PET18	(ZHAO et al., 2021).
	PET19	(BURCHART-KOROL,2020).
	PET20	(DRANKA, GEREMI GILSON,2020; BAURE, GEORGE,2019).
	PET21	(ZHAO et al., 2021; PICATOSTE; JUSTEL; MENDOZA, 2022; ALI; MOULIK, 2022, AHMADIPARIDARI et al., 2019; NGUYEN-TIEN et al., 2021; FUINHAS et al., 2021; DHIFLI et al., 2020; SUN et al., 2019).
	PET22	(SUH, JAEWAN., 2022; MONTEIRO, VITOR et al., 2020; HERNANDEZ-CASTILLO et al., 2020; KALAYCI et al., 2021, PICATOSTE; JUSTEL; MENDOZA, 2022; XING et al., 2022; PANNERSELVAM; NARAYANAN; KUMAR, 2023; LIU et al., 2021; TERADA et al., 2022; DAI et al., 2019; HAN et al., 2022; LIAO, ZITONG,2022)
	PET23	(DE SOUZA et al., 2018; PARK et al., 2020; PICATOSTE; JUSTEL; MENDOZA, 2022; KAWAMOTO et al., 2019; ZHAO et al., 2021; ALI; MOULIK, 2022; AHMADIPARIDARI et al., 2019; NGUYEN-TIEN et al., 2021; FUINHAS et al., 2021; DHIFLI et al., 2020; HUMPHREYS et al., 2022; AHMADI, 2019; YU et al., 2021; CHEN et al., 2017; DHIFLI et al., 2020; NGUYEN-TIEN et al., 2021; RANAWAT; PRASAD, 2018; HERNANDEZ-CASTILLO et al., 2020; KALAYCI et al., 2021, PICATOSTE; JUSTEL; MENDOZA, 2022; XING et al., 2022; PANNERSELVAM; NARAYANAN; KUMAR, 2023; LIU et al., 2021; TERADA et al., 2022; DAI et al., 2019; HAN et al., 2022; HASAN; DHINGRA, 2022; IVANOV et al., 2020; PARK et al., 2023; FRANZÒ; NASCA, 2021; FUINHAS et al., 2021).
	PET24	(DAI et al., 2019; PARK et al., 2020).
	PET25	(ALI; MOULIK, 2022; NGUYEN-TIEN et al., 2021).

SERVIÇOS	PET26	(THAKUR; DE ALMEIDA; BASKAR, 2022; ZHAO et al., 2021; DE SOUZA et al., 2018; PICATOSTE; JUSTEL; MENDOZA, 2022; PARK et al., 2020; CHEN et al., 2021; SUN et al., 2019; NGUYEN-TIEN et al., 2021; XING et al., 2022; GAO et al., 2019; HAN et al., 2022; IVANOV et al., 2020; LIU et al., 2021; FUINHAS et al., 2021; RAFELE et al., 2020; KAWAMOTO et al., 2019; FRANZÒ; NASCA, 2021; CHEN, 2019; KABUS et al., 2020; PANNERSELVAM; NARAYANAN; KUMAR, 2023; DHIFLI et al., 2020; SADEGHIAN et al., 2022; DAI, QIANG, 2019; PIPITONE, E, 2021).
	PET27	(HERBERGER, TIM, 2019).
	PET28	(ZHAO et al., 2021).
	PET29	(DE SOUZA et al., 2018; IVANOV et al., 2020; ROBAYO, MIGUEL, 2020; CHOKRI, MAHMOUDI, 2019; LIU et al., 2021; FUINHAS et al., 2021; RAFELE et al., 2020; DHIFLI et al., 2020; SADEGHIAN et al., 2022).
	PET30	(THAKUR; DE ALMEIDA; BASKAR, 2022).

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Foi realizada uma análise bibliométrica, com o uso do software VOSviewer, a fim de explorar as tendências e relações presentes nos artigos da RSL. Os metadados dos artigos foram coletados e utilizados para gerar a Figura 11, que apresenta uma visualização das principais palavras-chave encontradas nos estudos.

Ao analisar a Figura 9, é possível identificar uma agregação de palavras em duas cores predominantes: marrom, azul. As palavras-chave em marrom, como Battery, Electric Vehicle, End of Life, representam elementos que compõem as camadas de coleta e agregação de dados. Em vermelho observamos os termos: Energy Storage, Energy Management system, Control, Second Life. Existe uma forte conexão entre esses elementos, que são frequentemente abordados em conjunto na literatura. Isso sugere que sua relação é significativa e merece atenção especial em pesquisas e estudos relacionados.

Além disso, pode-se destacar na Figura em tela os termos: Recycling, Regulation, Renewable energy que destacam sobremaneira a importância da gestão de reciclagem das baterias dos veículos elétricos nos artigos analisados. Os termos battery management system na cor verde encontra-se intimamente ligado ao termo remanufacturing na cor laranja, sugerem que a importante ligação com o tema reciclagem que é um dos temas objetos da pesquisa em questão.

Já os demais termos nas cores: rosa, lilás e verde claro na Figura 9 representam elementos que são importantes para a compreensão dos conceitos e práticas relacionados à gestão da reciclagem das baterias dos veículos elétricos. Esses termos incluem coisas como Energia Renovável, Regulação, Mobilidade Elétrica. Eles sugerem que a pesquisa nesta área está em constante evolução e que as tecnologias avançadas estão sendo cada vez mais utilizadas para lidar com os desafios e oportunidades relacionados à gestão de Sistemas de Armazenagem de Energia.

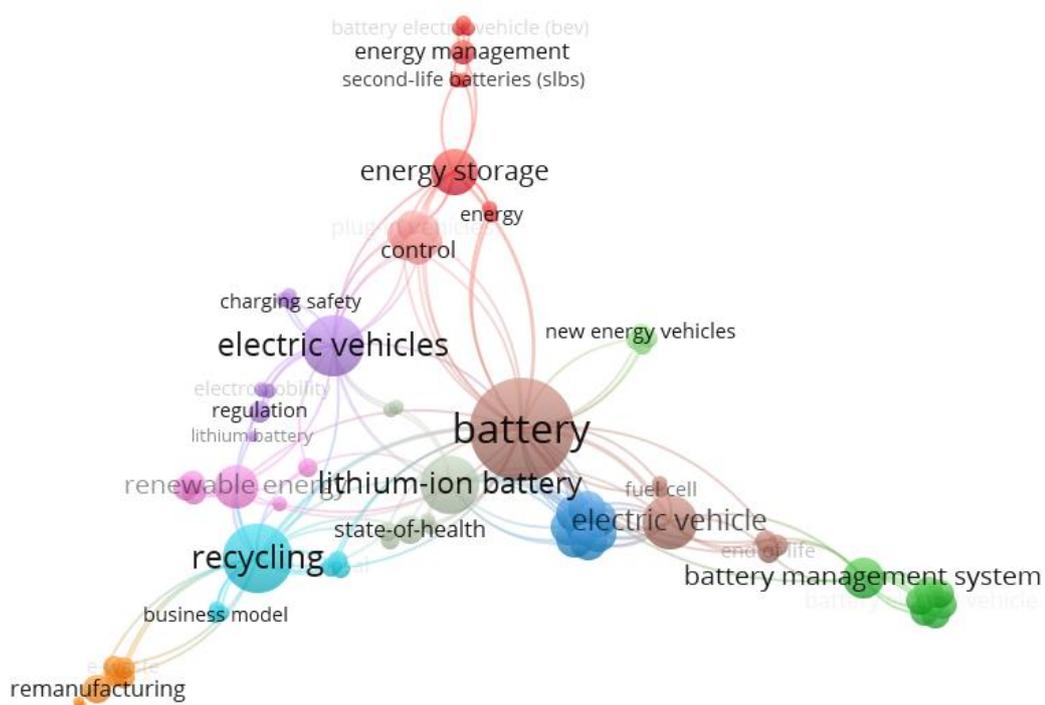
A análise bibliométrica realizada com o software VOSviewer proporcionou insights valiosos sobre as tendências e relações presentes na literatura sobre gestão de ciclo e vida das baterias dos carros elétricos. Como evidenciado pela Figura 9, a reciclagem emergiu como uma palavra-chave crucial, destacando a

sua importância no ciclo de vida, que é essencial para garantir a eficiência energética e sustentabilidade dos carros elétricos.

Além disso, a análise revelou uma constante evolução da pesquisa nesta área, demonstrando o crescente interesse e investimento em tecnologias e estratégias que possam melhorar a eficácia e o impacto ambiental da gestão de ciclo e vida das baterias dos carros elétricos. Isso sugere que a pesquisa sobre esse tema é vital para a evolução e sustentabilidade do setor automotivo, e para o avanço geral da agenda global de sustentabilidade.

Portanto, a análise bibliométrica realizada com o software VOSviewer fornece uma visão ampla e significativa da literatura sobre gestão de processos de reciclagem das baterias dos carros elétricos, destacando a importância da reciclagem e a constante evolução da pesquisa nesta área.

Figura 9- Análise Bibliométrica



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os resultados da RSL proporcionaram uma análise abrangente dos principais aspectos associados à gestão da reciclagem de baterias de veículos elétricos. Foram identificados cinco aspectos fundamentais que devem ser considerados de forma integrada: os aspectos econômicos, sociais, legais, tecnológicos e ambientais.

O aspecto econômico considera questões relacionadas aos custos e benefícios financeiros da reciclagem de baterias, incluindo modelos de negócios e a viabilidade econômica dos processos de reciclagem. O aspecto social abrange a conscientização pública, o engajamento das partes interessadas e os impactos sociais da reciclagem de baterias. No aspecto legal, são discutidos marcos regulatórios, políticas públicas e legislações aplicáveis. O aspecto técnico considera as tecnologias de reciclagem disponíveis, os processos de separação e recuperação de materiais e a otimização dos processos produtivos. Por fim, o aspecto ambiental aborda os impactos da reciclagem de baterias no meio ambiente, incluindo a redução de resíduos, a minimização do impacto ambiental da produção de novas baterias e a preservação de recursos naturais. Em seguida, serão discutidos e analisados os referidos aspectos.

4.1 Aspectos econômicos

Fazendo uma análise sobre a discussão para a dimensão econômica, pode-se começar com a relação de dependência entre os *clusters* Agências e Nações. Dentro da relação destes *clusters* está a relação de P1 - Agências Internacionais com P2 - Nações, e a relação entre P3 - Associações, Agências Nacionais e Programas Pró-Energias Renováveis e P2 - Nações.

Em termos de custos de capital para aquisição, os veículos com motor de combustão interna (ICEVs) são financeiramente mais atraentes do que os veículos elétricos a bateria (BEVs), o que é um obstáculo para muitos consumidores comprarem BEVs. Além disso, a variedade de modelos existentes no mercado automotivo para BEVs ainda não é comparável com a disponível para ICEVs (M.-K. Tran et al,2021)

Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), a implementação de projetos de gestão de ciclos de vida das baterias dos veículos elétricos renováveis é essencial para alcançar a transição energética e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor de transportes (AIE, 2020). Essa implementação tem gerado expectativas no mercado de energia para adoção pelas nações.

Por outro lado, no Brasil, as agências nacionais trabalham para ajudar o governo a atingir metas de desenvolvimento sustentável trazendo doadores e investidores mais próximos do setor de reciclagem de baterias. De acordo com a Associação Brasileira de Reciclagem de Baterias (ABRE), a reciclagem de baterias é fundamental para evitar a contaminação do meio ambiente e garantir a segurança da população (ABRE, 2021).

É importante ressaltar que a gestão dos processos de reciclagem das baterias dos veículos elétricos e a reciclagem de baterias são duas etapas complementares no processo de transição para uma economia mais sustentável (BINGHAM, C., & NABOURS, R. K. (2018).

A implementação de projetos de gestão de reciclagem das baterias dos veículos elétricos renováveis deve ser acompanhada de políticas públicas de incentivo à reciclagem de baterias, visando garantir a segurança ambiental e a efetividade das medidas implementadas (ANDRADE, F. O., & FERREIRA, M. S., 2020).

Ainda na dimensão econômica, os *clusters* de Cadeias de Suprimentos o P12 e o P13 possuem uma conexão por serem ambos “Fabricantes”, dentro das suas especificidades.

A conexão entre fabricantes de veículos elétricos e fabricantes e desenvolvedores de baterias é crucial para o desenvolvimento e aprimoramento da tecnologia de carros elétricos. Os fabricantes de veículos elétricos precisam de baterias confiáveis e eficientes para seus veículos, e os fabricantes e desenvolvedores de baterias dependem dos fabricantes de veículos elétricos para a demanda de mercado de suas baterias (BLOOMBERGNEF. 2019).

Um exemplo dessa conexão pode ser visto na parceria entre a Tesla e a Panasonic. A Tesla utiliza as baterias de íon-lítio da Panasonic em seus veículos elétricos, enquanto a Panasonic produz as células de bateria e módulos para a Tesla. Além disso, as empresas trabalham juntas no desenvolvimento de tecnologia de bateria mais avançada (TESLA. 2022).

Outro exemplo é a parceria entre a Volkswagen e a Northvolt. A Volkswagen investiu na *startup* de baterias sueca Northvolt e, em troca, a Northvolt fornecerá baterias para a nova linha de veículos elétricos da Volkswagen. A Volkswagen também está trabalhando com a QuantumScape na pesquisa e desenvolvimento de baterias de estado sólido (REUTERS, 2021).

Dessa forma pode-se inferir que as parcerias entre fabricantes de veículos elétricos e fabricantes e desenvolvedores de baterias são cruciais para a inovação e o aprimoramento contínuo da tecnologia de carros elétricos e baterias. Essas alianças permitem que os fabricantes de veículos elétricos tenham acesso às melhores baterias disponíveis para atender às demandas dos consumidores.

4.2 Aspectos sociais

A relação entre P6-Universidades, Institutos de Educação e Pesquisa e Pesquisadores e P26-Reciclagem tem alguns aspectos sociais importantes.

De acordo com Yang et al. (2021), "as universidades e institutos de pesquisa têm desempenhado um papel crucial na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de reciclagem de baterias de veículos elétricos, incluindo o desenvolvimento de novos materiais e processos para aumentar a eficiência e a segurança da reciclagem".

Segundo Costa et al. (2021), as universidades e instituições de pesquisa têm um papel fundamental na produção de conhecimento sobre a reciclagem de baterias, tanto por meio de pesquisas científicas quanto por meio de atividades de extensão e divulgação, que visam conscientizar a sociedade sobre a importância da reciclagem de baterias e seus impactos ambientais e sociais. Essas instituições e profissionais envolvidos em pesquisas científicas, buscam desenvolver novas tecnologias e processos de reciclagem de baterias, bem como em atividades de extensão e divulgação que visam conscientizar a sociedade sobre a importância da reciclagem e seus impactos ambientais e sociais (Velooso et al. 2020).

Conforme afirmado por Kim et al. (2021), a reciclagem de baterias de veículos elétricos pode trazer benefícios significativos para a sociedade, incluindo a geração de empregos para catadores e empresas de reciclagem, a redução da poluição e dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de baterias, e a promoção da sustentabilidade e da responsabilidade social por meio da reciclagem.

4.3 Aspectos tecnológicos

A gestão inteligente da reciclagem das baterias dos veículos elétricos envolve uma relação de interdependência entre diferentes aspectos tecnológicos, como a Internet das Coisas (IoT), a Smart Energy e a tecnologia Vehicle-to-Grid (V2G). A IoT é um elemento-chave na gestão da cadeia de suprimentos de baterias, permitindo o monitoramento remoto do desempenho das baterias em tempo real, a previsão de falhas e a otimização do uso de energia " (Zhang et al., 2020, p. 2).

Por sua vez, a Smart Energy é fundamental para maximizar a vida útil das baterias, reduzir os custos operacionais e minimizar os impactos ambientais, através do desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia eficientes e integrados com fontes de energia renovável (Wang et al.,2020,p.3). Já a tecnologia V2G permite a integração dos veículos elétricos com a rede elétrica, transformando-os em fontes de armazenamento de energia flexíveis e capazes de fornecer energia de volta para a rede em momentos de pico de demanda. Isso ajuda a estabilizar a rede elétrica e, ao mesmo tempo, aumenta a vida útil das baterias dos veículos elétricos (Kaldellis & Zafirakis, 2019, p. 2). Em conjunto, esses aspectos tecnológicos são essenciais para garantir a eficiência e a sustentabilidade da gestão de reciclagem das baterias dos veículos elétricos.

A gestão inteligente da reciclagem das baterias dos veículos elétricos é um desafio importante na transição para um futuro mais sustentável. Nesse contexto, a interdependência entre diferentes aspectos tecnológicos, como a IoT, a Smart Energy e a tecnologia V2G, é fundamental. A IoT possibilita o monitoramento remoto das baterias em tempo real, previsão de falhas e otimização do uso de energia. Já a Smart Energy contribui para maximizar a vida útil das baterias e reduzir os custos operacionais e ambientais, através do desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia integrados com fontes renováveis. A tecnologia V2G, por sua vez, permite a integração dos veículos elétricos com a rede elétrica, transformando-os em fontes de armazenamento de energia flexíveis e capazes de fornecer energia de volta para a rede. Em conjunto, esses aspectos tecnológicos são cruciais para garantir a

eficiência e a sustentabilidade da gestão do ciclo de vida das baterias dos veículos elétricos, contribuindo para um futuro mais limpo e sustentável.

4.4 Aspectos legais

Do ponto de vista legal a relação com o maior impacto no desenvolvimento da Gestão dos processos de reciclagem das Baterias dos veículos Elétricos ocorre entre P2- Nações, P5- Associações, Agências Nacionais e programas de Energia Renovável, P17-Legislação sobre Reciclagem e P21-Políticas públicas. A gestão de reciclagem das baterias dos veículos elétricos é influenciada por diversas partes interessadas, incluindo nações, associações, agências nacionais, programas de energia renovável, legislações sobre reciclagem e políticas públicas.

A gestão de reciclagem das baterias dos veículos elétricos é uma questão de interesse nacional e requer políticas públicas eficazes para promover a adoção de tecnologias limpas e sustentáveis, incluindo a gestão adequada das baterias. Nesse sentido, as associações e agências nacionais têm um papel importante na criação de diretrizes e padrões para a reciclagem e o descarte seguro das baterias (NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, 2013). Além disso, a legislação sobre reciclagem é um elemento chave na gestão do ciclo de vida das baterias dos veículos elétricos, estabelecendo regras para o descarte seguro e a recuperação dos materiais das baterias (EUROPEAN PARLIAMENT, 2019).

Para que a gestão adequada e sustentável das baterias dos veículos elétricos seja garantida, é essencial a colaboração e coordenação entre diversas partes interessadas, desde as nações até as associações e agências nacionais, passando pela legislação sobre reciclagem e pelas políticas públicas. Governos e formuladores de políticas são incentivados a assumir um papel de liderança na implementação de políticas, leis e recomendações que ajudem a superar os desafios das energias renováveis (UNITED NATIONS, 2020).

É importante destacar que a transição para veículos elétricos requer a implementação de políticas públicas eficazes para promover o uso de energia limpa e a gestão sustentável das baterias. As metas ambiciosas de reciclagem

de baterias e as políticas de estímulo para a adoção de práticas sustentáveis de reciclagem estabelecidas pela legislação da UE são um exemplo de medidas que podem ajudar a incentivar a adoção de práticas sustentáveis de reciclagem de baterias (EUROPEAN COMMISSION, 2020).

A legislação sobre reciclagem é um elemento chave na gestão reciclagem das baterias dos veículos elétricos, pois estabelece regras para o descarte seguro e a recuperação dos materiais das baterias. As políticas públicas podem ajudar a incentivar a adoção de práticas sustentáveis de reciclagem de baterias. De acordo com a Comissão Europeia, "a legislação da UE estabelece metas ambiciosas de reciclagem de baterias e políticas de estímulo para a adoção de práticas sustentáveis de reciclagem" (CE, 2021).

Portanto, é possível observar que a gestão reciclagem das baterias dos veículos elétricos é uma questão complexa e que envolve diversas partes interessadas, desde as nações até as associações e agências nacionais, passando pela legislação sobre reciclagem e pelas políticas públicas. A colaboração e a coordenação entre essas partes interessadas são essenciais para garantir uma gestão adequada e sustentável das baterias dos veículos elétricos.

De acordo com Nascimento et al. (2021), o uso dos Veículos Elétricos (VEs) ainda não é difundido no mercado brasileiro, principalmente devido à falta de infraestrutura, questões econômicas e políticas e, principalmente, ao alto custo. Segundo Nascimento, a baixa demanda pelos VEs no Brasil é influenciada pela falta de incentivos governamentais e pela falta de informação e educação dos consumidores em relação a essa nova tecnologia.

No entanto, o aumento da frota de VEs no Brasil exigirá uma quantidade crescente de oferta de energia nos próximos anos, o que tornará o uso da eletricidade no setor de transporte uma alternativa interessante em relação aos combustíveis convencionais atualmente utilizados, do ponto de vista estratégico e ambiental. De acordo com Gomes et al. (2021), o uso de VEs no Brasil pode ser vantajoso estrategicamente, uma vez que diversifica as fontes de energia para o setor de transportes.

As políticas fiscais se destacam como forma de aumentar a competitividade dessa inovação tecnológica. Nesse sentido, no Brasil, as Resoluções nº 116/2014 e nº 23/2016, da Câmara de Comércio Exterior

(CAMEX), isentaram ou reduziram a alíquota do Imposto de Importação de VEs. Na adoção de estratégias governamentais de apoio à eletromobilidade no Brasil, em julho de 2018, o Decreto Presidencial nº 9.442 alterou a alíquota do Imposto sobre Produtos Industrializados, com essa medida, a alíquota foi reduzida de 25% para 7% para os BEVs e de 25% para 20% para HEVs (1º Anuário Brasileiro de Mobilidade Elétrica, 2020).

Portanto, é fundamental que o governo brasileiro implemente programas de incentivo (subsídios) e isenções fiscais, investida no desenvolvimento dos VEs e na infraestrutura das estações de recarga, e principalmente, investida em programas de pesquisa e desenvolvimento para criar parcerias com as indústrias e incentivar a difusão dos VEs no país.

Nesse sentido, governos e formuladores de políticas são incentivados a assumir um papel de liderança na implementação de políticas, leis e recomendações que ajudem a superar os desafios das energias renováveis (Bishoge, Kombe e Mvile, 2020; Carwell, 2013).

4.5 Aspectos ambientais

Em relação aos aspectos ambientais da Gestão de reciclagem das baterias dos veículos elétricos, a ligação entre P1– Organizações das Nações e P2– Nações no *cluster* Nações tem um papel importante.

O desenvolvimento sustentável e o uso de tecnologias verdes têm estado na pauta das preocupações mundiais para possibilitar a preservação do meio ambiente. Além disso, muitas vezes têm sido associados ao processo de transição energética, caracterizado principalmente pela descarbonização das matrizes energéticas em resposta à questão das mudanças climáticas e à descentralização dos recursos energéticos (MME/EPE, 2020)

Do ponto de vista ambiental, a introdução de VEs reforça o uso de eletricidade, que no Brasil é gerada quase inteiramente a partir de fontes renováveis de energia e reduz o uso dos motores de combustão interna (ICEs), que são importantes contribuintes das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Além disso, segundo Paes et al. (2021), essa mudança pode contribuir para

umentar a eficiência energética, uma vez que a eficiência do motor elétrico é de 90% e a eficiência do ICE é de 40%.

Para promover a reciclagem de baterias de veículos, Ahuja Jyoti. et al (2020) propõe intervenções regulatórias e incentivos para alterar os direitos de propriedade dos veículos elétricos em relação às baterias automotivas. As baterias do veículo permanecem propriedade do fabricante; ou seja, os clientes podem comprar os seus veículos elétricos, mas apenas alugar a bateria para potenciar a circularidade e reciclagem deste material.

Em Reinhardt, Robert et al (2019), as principais perspectivas da tecnologia de segundo uso de baterias de veículos elétricos são discutidas como uma solução para o reaproveitamento de baterias de VEs degradadas. Os aplicativos de segundo uso têm o potencial de reduzir os primeiros impactos de custo dos VEs e, ao mesmo tempo, prolongar a vida útil da bateria.

O Brasil deu um importante passo no controle das emissões de CO₂ quando o Congresso Nacional ratificou o Acordo de Paris em 2016, que prevê a redução de 43% das emissões de gases de efeito estufa até 2030 em relação aos níveis de emissão de 2005. Segundo dados do Balanço Energético Nacional, da 2020, o Brasil emitiu 398,3 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera, 45% das quais provenientes do setor de transporte (EPE 2021).

O *cluster* de Clientes tem uma conexão importante entre P21 – Políticas Públicas e P23-Ambientalistas. A relação entre políticas públicas e ambientalismo é uma discussão importante e complexa, pois ambos os temas estão intimamente ligados ao bem-estar humano e à sustentabilidade do planeta. A partir dessa perspectiva, a análise do cluster de clientes pode ser uma importante ferramenta para entender como as políticas públicas e o ambientalismo podem estar conectados.

Segundo Almeida (2014), o cluster de clientes pode ser entendido como um grupo de consumidores com características semelhantes, que buscam produtos ou serviços específicos. Dessa forma, é possível identificar diferentes perfis de clientes e entender suas demandas e necessidades.

No contexto da relação entre políticas públicas e ambientalismo, é importante considerar a influência dos consumidores no processo de tomada de decisão das empresas e governos. Conforme destaca Marques et al. (2019), a pressão dos consumidores por práticas mais sustentáveis e responsáveis tem

sido uma das principais forças para a adoção de políticas públicas e empresariais que visam a proteção ambiental.

Nesse sentido, o cluster de clientes pode ser uma importante ferramenta para entender as demandas e expectativas dos consumidores em relação à sustentabilidade ambiental. Segundo Ferreira et al. (2017), a segmentação de mercado com base em critérios ambientais pode contribuir para a criação de estratégias de marketing mais eficazes e para a identificação de oportunidades de negócios relacionadas à sustentabilidade.

Por outro lado, é importante destacar que as políticas públicas têm um papel fundamental na promoção da sustentabilidade ambiental. Conforme destaca Soares (2018), as políticas públicas podem incentivar a adoção de práticas sustentáveis por parte das empresas, bem como promover a educação ambiental e a conscientização da população.

Em síntese, é possível entender a conexão entre o cluster de clientes e as políticas públicas e ambientalistas a partir da identificação das demandas dos consumidores por produtos e serviços mais sustentáveis. Essa análise pode ajudar a criar estratégias políticas mais eficazes que visem à proteção ambiental e à promoção da sustentabilidade. É importante ressaltar que as políticas públicas desempenham um papel crucial na conscientização da população e na promoção da sustentabilidade ambiental.

Assim, o estudo do cluster de clientes pode trazer informações valiosas sobre o comportamento do consumidor e suas preferências em relação à sustentabilidade. Com base nesses dados, as empresas e os governos podem implementar ações mais efetivas para atender às necessidades e demandas do público. Além disso, políticas públicas que visem à proteção do meio ambiente e à promoção da sustentabilidade são essenciais para sensibilizar e conscientizar a população sobre a importância da preservação ambiental.

4.6 Contribuições da RSL

Esta Revisão Sistemática de Literatura analisou a gestão de reciclagem das baterias dos veículos elétricos sob a perspectiva social, econômica, ambiental e tecnológica, com ênfase em políticas públicas e sustentabilidade. Os estudos evidenciam que a indústria automotiva tem investido em baterias mais

eficientes, seguras e sustentáveis, com maior durabilidade e menor impacto ambiental, a fim de garantir a competitividade e a satisfação dos consumidores.

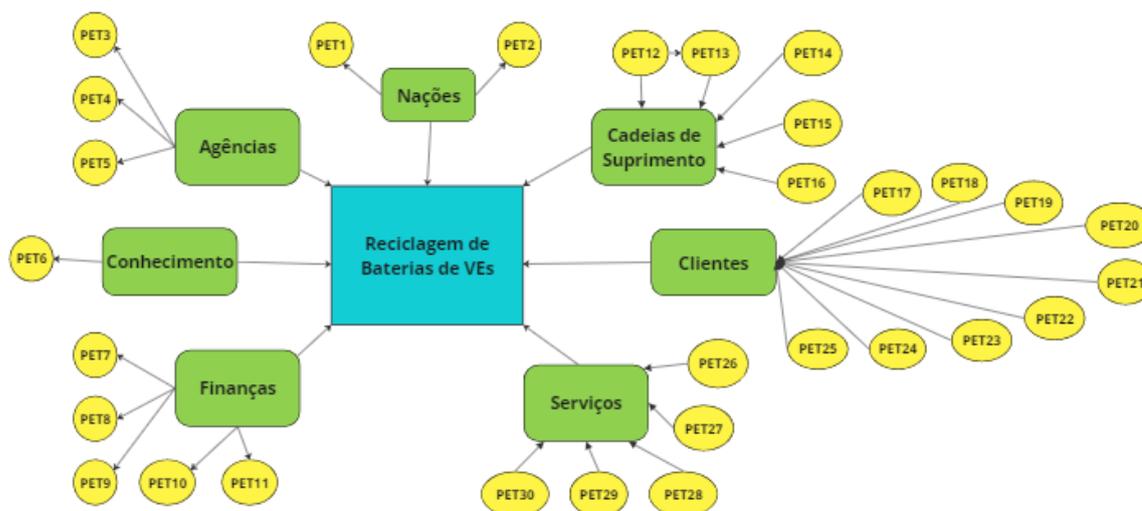
As políticas públicas têm sido essenciais para estimular a adoção de carros elétricos, incentivando a pesquisa e desenvolvimento de baterias ecológicas e a reciclagem de baterias usadas. A reciclagem de baterias se torna cada vez mais importante, pois pode reduzir o impacto ambiental do descarte inadequado, além de proporcionar uma fonte de matérias-primas valiosas.

Os estudos destacam também a importância de se considerar os aspectos sociais e econômicos na gestão de processos de reciclagem das baterias, visto que a cadeia produtiva envolvida impacta diversos setores da sociedade. Para garantir a sustentabilidade, é necessário que as políticas públicas sejam inclusivas e que envolvam toda a cadeia produtiva, desde a extração de matérias-primas até a disposição final dos resíduos.

A revisão sistemática de literatura realizada destaca a complexidade e multidisciplinaridade envolvidas na gestão de processos de reciclagem das baterias de carros elétricos. A temática exige uma abordagem holística que considere aspectos sociais, econômicos, ambientais e tecnológicos.

É importante destacar que, embora existam avanços significativos na área, ainda há uma necessidade crescente de pesquisas futuras que possam contribuir para a otimização da gestão do ciclo de vida das baterias de carros elétricos. Entre as áreas de pesquisa potenciais, podem-se citar o desenvolvimento de tecnologias inovadoras para reciclagem de baterias, a análise do impacto ambiental e social da produção e descarte dessas baterias, bem como a avaliação da viabilidade econômica de sistemas de reutilização de baterias.

Figura 10- Resumo RSL



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Dessa forma, a gestão de processos de reciclagem das baterias de carros elétricos é uma questão complexa que demanda uma abordagem interdisciplinar e contínua de pesquisa e desenvolvimento para alcançar soluções sustentáveis e eficientes.

A RLS também destacou que a reciclagem das baterias dos veículos elétricos envolve diversas etapas essenciais para o processo de recuperação de materiais valiosos e a gestão adequada de resíduos. Uma etapa inicial é a coleta e desmontagem, em que as baterias usadas são coletadas de forma adequada e transportadas para um local específico, onde são desmontadas em componentes, como células, módulos e outros materiais (Wang et al., 2020). Em seguida, ocorre a avaliação e classificação dos componentes, na qual são analisados quanto à qualidade, vida útil e potencial para reutilização ou reciclagem. Os componentes são classificados em categorias, como aqueles com potencial para reutilização, materiais recicláveis, materiais perigosos, entre outros, permitindo a tomada de decisões adequadas para cada componente (Bennett et al., 2018).

A recuperação de materiais é um processo no qual os componentes das baterias, como cobalto, níquel, lítio e outros metais valiosos, são recuperados

por meio de técnicas como trituração, separação magnética e lixiviação (Li et al., 2021). Paralelamente, é de extrema importância o descarte adequado de materiais perigosos, como ácidos e eletrólitos, que são tratados seguindo as regulamentações ambientais e de segurança para evitar impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública (Zhang et al., 2021).

A reutilização de componentes é uma etapa significativa, na qual os componentes das baterias com vida útil restante são avaliados para serem utilizados em outras aplicações, como baterias remanufaturadas ou em segunda vida, além de servirem como peças de reposição (Wang et al., 2020).

O gerenciamento adequado de resíduos é essencial para garantir a conformidade com as regulamentações ambientais, direcionando os resíduos resultantes do processo de reciclagem para locais apropriados de disposição final, como aterros sanitários ou instalações de tratamento de resíduos (Shen et al., 2020; Zhang et al., 2021). O monitoramento e a rastreabilidade ao longo de todo o processo de reciclagem são fundamentais para registrar e documentar cada etapa, desde a coleta até a disposição final, garantindo a conformidade com os padrões ambientais e as regulamentações (Zhao et al., 2019; Shen et al., 2020).

Ao término da Revisão Sistemática de Literatura (RSL), destaca-se a oportunidade de validar as respostas para os questionamentos iniciais relacionados ao problema de pesquisa, abordando normas, aspectos e, principalmente, a viabilidade de concatenar e organizar esses elementos para contribuir na gestão dos processos de reciclagem de baterias de veículos elétricos.

5. ELABORAÇÃO DO FRAMEWORK

Após a compilação das respostas provenientes dos questionamentos quantitativos e qualitativos realizados na pesquisa junto aos especialistas, e em consonância com os resultados obtidos através da aplicação do Método de Análise de Utilidade Multicritério (MAUT), propõe-se a elaboração de um framework abrangente. Este framework tem por objetivo integrar os diversos aspectos inerentes aos domínios ambientais, socioeconômicos, técnicos e legais, visando aprimorar a gestão dos processos relacionados à reciclagem de sistemas de armazenamento de energia de veículos elétricos. Direcionado especificamente para a gestão de processos, o framework busca descrever de maneira sistemática as atividades e tarefas essenciais para a condução eficiente e eficaz desse processo específico. Ademais, busca-se proporcionar orientações precisas e destacar melhores práticas para a condução dessas atividades de maneira a otimizar os resultados alcançados.

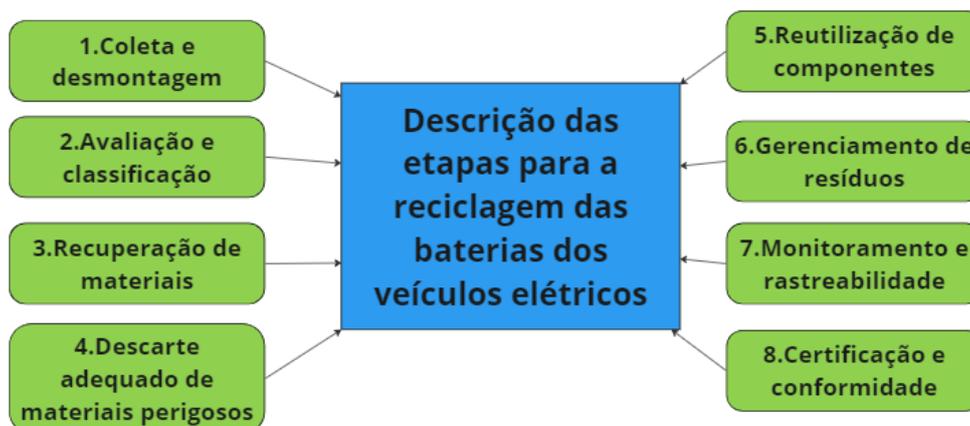


Figura 11-Figura inicial do Framework com a descrição das etapas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

No ciclo da figura 12 que compõe o framework, existem etapas a serem executadas. Foram listados elementos e atividades para que a maior parte dos itens de demanda fosse compreendida e aplicada desde o início da implementação. Os elementos e atividades descritos em cada uma das etapas estão de acordo com os conceitos apresentados pelos autores da Análise do Conteúdo da RSL e foram moldados através da participação dos especialistas na Survey, unindo o conhecimento teórico ao conhecimento tácito.

5.1 Atividades das Etapas do Framework

A descrição das atividades planejadas revela uma sequência lógica e integrada, envolvendo desde a coleta inicial até o descarte responsável de materiais perigosos. A ênfase em sensibilização, rastreamento em tempo real, recompensas e tecnologias inovadoras na etapa de Coleta e Desmontagem ressalta a importância da participação da comunidade e da eficiência operacional.

O destaque na Avaliação e Classificação para a análise de impacto ambiental, métodos não destrutivos e colaboração com especialistas reflete a busca por processos precisos e ambientalmente conscientes. Nas etapas subsequentes, como Recuperação de Materiais, Descarte Adequado de Materiais Perigosos e Reutilização de Componentes, a abordagem inovadora e sustentável é evidente, promovendo práticas avançadas e a economia circular. A integração de tecnologias emergentes, como blockchain, IoT e análises preditivas na etapa de Monitoramento e Rastreabilidade, destaca a busca por transparência e eficiência. Por fim, a importância atribuída à Certificação e Conformidade reforça o compromisso com padrões regulatórios e auditorias imparciais.

1. Coleta e Desmontagem:

Procedimento de Coleta:

- Estabelecer programas de sensibilização para incentivar os proprietários de veículos elétricos a participarem ativamente na entrega de baterias usadas.
- Utilizar tecnologias de rastreamento em tempo real para monitorar a localização das baterias usadas e otimizar rotas de coleta.
- Implementar um sistema de recompensas para incentivar a entrega de baterias usadas, promovendo a responsabilidade do consumidor.

Procedimento de Desmontagem:

- Realizar auditorias periódicas para garantir a conformidade com os procedimentos de desmontagem, identificando oportunidades de melhoria.
- Implementar tecnologias de realidade aumentada para auxiliar os trabalhadores durante a desmontagem, garantindo precisão e eficiência.

- Estabelecer parcerias com instituições de pesquisa para desenvolver constantemente novas técnicas seguras e eficientes de desmontagem.

2. Avaliação e Classificação:

Procedimento de Avaliação de Qualidade:

- Incorporar análise de impacto ambiental na avaliação de qualidade, considerando o ciclo de vida completo dos componentes.

- Desenvolver métodos de avaliação não destrutivos para componentes críticos, minimizando o desperdício durante os testes.

- Estabelecer protocolos de comunicação com fabricantes para atualizações em tempo real sobre novas tecnologias e padrões de qualidade.

Procedimento de Classificação:

- Implementar inteligência artificial na classificação para aumentar a precisão e eficiência do processo.

- Envolvimento de peritos ambientais na definição de critérios de classificação para garantir considerações ambientais adequadas.

- Realizar auditorias externas independentes para validar a precisão e consistência das classificações.

3. Recuperação de Materiais:

Procedimento de Trituração:

- Explorar tecnologias de separação por laser para aumentar a eficiência na identificação e separação de materiais.

- Desenvolver métodos de recuperação de eletrólitos para utilização em outros processos industriais.

- Investir em pesquisa para identificar alternativas mais sustentáveis aos métodos de trituração convencionais.

Procedimento de Separação Magnética:

- Utilizar inteligência artificial para otimizar automaticamente as configurações dos equipamentos de separação magnética.

- Implementar sensores de detecção de impurezas para aprimorar a precisão da separação magnética.

- Explorar parcerias com empresas de tecnologia para desenvolver equipamentos mais eficientes e sustentáveis.

4. Descarte Adequado de Materiais Perigosos:

Procedimento de Descarte Seguro:

- Realizar simulações regulares de emergência para treinar a equipe de descarte em situações de vazamento ou acidentes.
- Estabelecer uma linha direta de comunicação com órgãos ambientais para relatar incidentes e receber orientação imediata.
- Incorporar tecnologias de neutralização de resíduos perigosos no local de descarte para minimizar impactos ambientais.

Procedimento de Monitoramento Ambiental:

- Integrar sensores de monitoramento ambiental em tempo real para detectar alterações imediatas no ambiente.
- Utilizar drones equipados com sensores para monitorar áreas remotas e de difícil acesso.
- Colaborar com instituições acadêmicas para pesquisas contínuas sobre tecnologias avançadas de monitoramento ambiental.

5. Reutilização de Componentes:

Procedimento de Avaliação para Reutilização:

- Desenvolver parcerias com fabricantes para integrar componentes reutilizados em linhas de produção.
- Implementar um sistema de garantia estendida para componentes reutilizados, promovendo a confiança dos consumidores.
- Pesquisar constantemente novas aplicações e tecnologias para ampliar as oportunidades de reutilização.

Procedimento para Remanufatura:

- Estabelecer um programa de certificação para técnicos de remanufatura, garantindo habilidades e conhecimentos atualizados.
- Explorar oportunidades de automação na remanufatura para aumentar a eficiência e reduzir o tempo de processo.
- Colaborar com fabricantes para garantir a conformidade dos componentes remanufaturados com padrões de desempenho mais recentes.

6. Gerenciamento de Resíduos:

Procedimento de Triagem de Resíduos:

- Implementar tecnologias de identificação automatizada para acelerar o processo de triagem.
- Desenvolver parcerias com empresas de reciclagem para transformar resíduos em matérias-primas secundárias.
- Explorar a possibilidade de criar produtos derivados dos resíduos reciclados para fechar o ciclo de produção.

Procedimento de Embalagem e Rotulagem:

- Utilizar materiais de embalagem biodegradáveis ou recicláveis para reduzir o impacto ambiental.
- Implementar códigos de barras e tecnologias RFID para rastrear cada embalagem e facilitar auditorias.
- Educar os parceiros e fornecedores sobre as melhores práticas de embalagem e rotulagem, promovendo a sustentabilidade.

7. Monitoramento e Rastreabilidade:

Procedimento de Registro de Dados:

- Integrar blockchain na gestão de dados para garantir a segurança, transparência e imutabilidade das informações.
- Implementar análises preditivas nos registros para antecipar tendências e otimizar operações.
- Facilitar o acesso online aos registros para que partes interessadas possam monitorar o progresso e a conformidade em tempo real.

Procedimento de Identificação de Lotes:

- Utilizar tecnologias de marcação a laser para identificadores de lotes, eliminando o uso de materiais adicionais.
- Integrar sistemas de identificação automática e dispositivos IoT para agilizar a identificação e rastreamento de lotes.
- Colaborar com órgãos reguladores para estabelecer padrões de identificação de lotes a nível nacional ou internacional.

8. Certificação e Conformidade:

Procedimento de Implementação de Normas:

- Manter uma equipe dedicada à pesquisa contínua de novas normas e Regulamentações relevantes para atualização imediata dos procedimentos.
- Implementar uma cultura de responsabilidade ambiental através de programas de treinamento regulares para toda a equipe.
- Estabelecer parcerias com organizações certificadoras para garantir a conformidade contínua e acessar recursos especializados.

Procedimento de Auditoria Interna:

- Utilizar tecnologias de automação na condução de auditorias internas para eficiência e consistência.
- Envolvimento de partes externas em auditorias internas para garantir uma avaliação imparcial.

Considerando os elementos e atividades listados em cada uma das etapas do framework, foi possível incorporar na figura inicial do framework esses itens, deixando assim a figura mais completa e usual. A Figura 12 é o framework completo para a Gestão da Reciclagem de baterias de Veículos Elétricos.



Figura 12-Figura final do Framework

5.2 Avaliação do Framework

O framework proposto para a gestão da reciclagem de baterias de veículos elétricos demonstra uma abordagem abrangente e integrada, alinhada com as melhores práticas e considerações ambientais e sociais contemporâneas. A estrutura do ciclo, conforme apresentado na Figura 12, reflete uma sequência lógica de etapas, cada uma desenhada para endereçar aspectos específicos do processo de reciclagem.

Na etapa inicial, Coleta e Desmontagem, a ênfase em sensibilização, rastreamento em tempo real e recompensas para os proprietários destaca a importância da participação ativa da comunidade na gestão responsável de baterias usadas. A incorporação de tecnologias como rastreamento em tempo

real e realidade aumentada na etapa de Desmontagem revela uma abordagem inovadora visando eficiência e segurança.

A etapa de Avaliação e Classificação destaca a integração de análise de impacto ambiental e métodos não destrutivos, alinhando-se aos conceitos da Análise do Conteúdo da RSL. A inclusão de inteligência artificial e a colaboração com peritos ambientais refletem uma abordagem avançada para garantir precisão e considerações ambientais adequadas.

A opção pela reciclagem das baterias encerra o ciclo dos materiais, possibilitando a recuperação de metais preciosos, como níquel e cobalto. Esses metais desempenham um papel economicamente crucial no processo de reciclagem de baterias de íons de lítio (KASTANAKI; GIANNIS, 2023)

No âmbito da Recuperação de Materiais, os procedimentos de Trituração e Separação Magnética sugerem a exploração de tecnologias inovadoras para aumentar a eficiência e sustentabilidade do processo. A pesquisa contínua e a colaboração com empresas de tecnologia evidenciam o comprometimento com práticas de vanguarda.

Para isso, a promoção de práticas da economia circular para as baterias dos veículos elétricos em fim de vida exige um desenvolvimento e implementação de toda uma cadeia de abastecimento, juntamente com toda uma logística que conta com a coleta e triagem, recuperação e remanufaturamento de materiais, reutilização e o impulso de novos mercados para materiais reciclados e de baterias remanufaturadas (MALINAUSKAITE; ANGUILANO; RIVERA, 2021).

Tendo em vista que, em um cenário em que os recursos naturais estão se esgotando, a reciclagem de baterias de íons de lítio se apresenta como uma solução, isso ocorre porque a reciclagem de baterias tem o potencial de diminuir os danos ambientais causados por esses resíduos e criar novas fontes de suprimento para a esfera tecnológica, ou seja, transformar recursos em reservas tangíveis (AANNIR, et al., 2023).

Dessa forma a abordagem para o Descarte Adequado de Materiais Perigosos destaca a importância da segurança e resposta a emergências, incluindo simulações regulares e tecnologias de neutralização. A integração de sensores ambientais em tempo real na etapa de Monitoramento e Rastreabilidade reflete uma estratégia de gestão ambiental proativa.

A reutilização de baterias de íons de lítio (LIB) oferece a oportunidade de prolongar sua utilidade, o que pode contribuir para retardar o esgotamento de recursos, permitindo que as baterias tenham uma vida mais longa antes de serem finalmente recicladas para recuperar os materiais valiosos, concluindo assim o ciclo de forma sustentável (EMILSSON; DAHLLÖF, 2019).

Na etapa de Reutilização de Componentes, a busca por parcerias com fabricantes e garantias estendidas para componentes reutilizados realça o compromisso com a economia circular e a confiança do consumidor. O Gerenciamento de Resíduos evidencia a busca por soluções inovadoras, como a criação de produtos derivados de resíduos reciclados.

A incorporação de tecnologias como blockchain, análises preditivas e IoT na etapa de Monitoramento e Rastreabilidade demonstra uma abordagem tecnologicamente avançada. Por fim, a Certificação e Conformidade enfatiza a importância da atualização contínua, responsabilidade ambiental e auditorias imparciais.

O framework, com sua abordagem holística, reflete uma visão abrangente para a gestão sustentável da reciclagem de baterias de veículos elétricos, integrando conhecimento teórico e prático de especialistas, garantindo a conformidade com normas e regulamentações e promovendo práticas inovadoras para otimização do processo. Essas características são cruciais para atender às demandas crescentes por soluções ambientalmente responsáveis na gestão de resíduos eletrônicos.

6. Detalhamento da *Survey*

A *Survey* foi conduzida de forma abrangente, abordando os desafios relacionados à gestão de processos de reciclagem dos sistemas de armazenagem de energia dos veículos elétricos. Foram incluídas perguntas quantitativas para coleta de dados objetivos e mensuráveis, fornecendo informações relevantes sobre aspectos sociais, econômicos, ambientais, políticos e tecnológicos de acordo com o que fora preconizado na Revisão Sistemática de Literatura.

Os dados quantitativos foram coletados por meio de uma Escala de Likert, uma escala psicométrica amplamente utilizada em pesquisas de opinião e avaliação de atitudes. Os respondentes foram Professores, Pesquisadores, Gestores de Logística de empresas relacionadas a indústria automobilística que possuam *expertise* no tema proposto. A pesquisa de survey foi conduzida online, por meio da internet, e as opiniões coletadas foram relacionadas aos players elencados na Tabela 2 desta dissertação.

Inicialmente, durante a *Survey*, foram apresentadas aos especialistas as informações sobre o estudo em desenvolvimento. Em seguida, foram formuladas perguntas para a caracterização dos respondentes, abordando aspectos como área de atuação, nível de escolaridade e se possui ou pretende adquirir um veículo elétrico. Após essa fase, uma escala Likert foi empregada para avaliar o grau de importância dos elementos relacionados às atividades propostas no framework. Essa escala utilizada considerou de 1 - "nada importante" até 5 - "extremamente importante".

As perguntas foram organizadas em uma lista composta por 50 itens, distribuídos de acordo com os aspectos propostos na RLS, estando previamente alinhadas com as etapas do Framework proposto. Ao término do questionário, foram incluídas duas perguntas abertas, não obrigatórias, dando ao respondente a oportunidade de contribuir com itens adicionais que considerassem relevantes para o tema da pesquisa.

6.1 Caracterização dos Especialistas Respondentes

A *Survey* incluiu gestores especializados em diversas áreas da logística, bem como professores e pesquisadores especializados em sistemas de armazenamento de energia de veículos elétricos, além de gerentes vinculados às concessionárias de distintas montadoras. Foram enviados 50 questionários que resultaram em 30 respostas válidas.

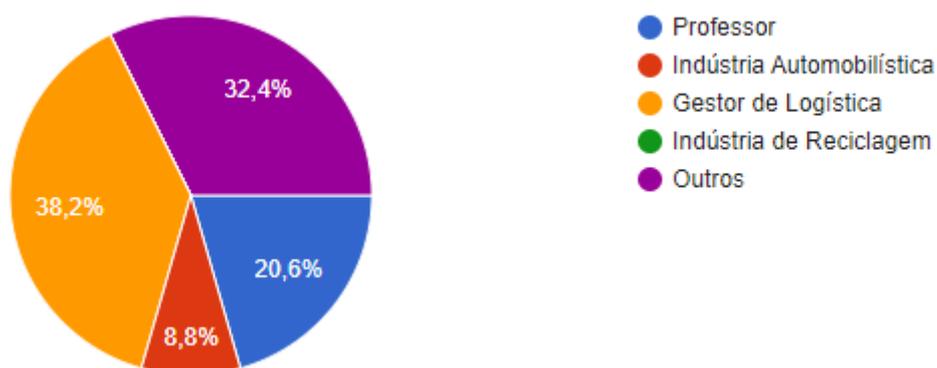


Figura 13: Caracterização dos Respondentes

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2023

6.2 Detalhamento da Hierarquia em formato de árvore de Decisão

O instrumento da pesquisa foi construído de forma alinhada às atividades das etapas do framework, foi viável estruturar uma hierarquia em formato de árvore de decisão. Essa configuração proporciona a organização das variáveis em diferentes níveis, possibilitando a obtenção de métricas comparáveis e facilitando a realização de cálculos essenciais para a análise de dados.

Para efetuar essa organização hierárquica em formato de árvore de decisão, procedeu-se à enumeração das atividades do framework, atribuindo-lhes siglas distintivas. As etapas do framework foram numeradas de 01 a 08, contribuindo para uma compreensão mais aprimorada do processo. A utilização de siglas e numeração promove uma visualização mais eficiente e simplifica a interpretação da estrutura hierárquica delineada.

Tabela 03: Siglas e Significados para a Árvore de Decisão

ETAPAS	SIGLAS	ATIVIDADES
ETAPA 01: COLETA E DESMONTAGEM	CO1	A eficiência na coleta e desmontagem de baterias de carros elétricos é crucial para minimizar impactos ambientais.
	CO2	A criação de oportunidades de emprego nas etapas de coleta e desmontagem contribui para o desenvolvimento socioeconômico local.
	CO3	A reciclagem de baterias pode gerar empregos locais e melhorar as condições de trabalho.
	CO4	O uso de "Smart Energy" pode otimizar a logística no transporte de baterias para reciclagem.
ETAPA 02: AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	AV1	A avaliação e classificação precisa dos componentes das baterias contribuem para uma gestão ambientalmente responsável.
	AV2	Empresas devem ser incentivadas a adotar práticas econômicas sustentáveis na reciclagem de baterias.
	AV3	A eficiência na cadeia de suprimentos de reciclagem é essencial para impactos positivos nos aspectos econômicos.
	AV4	A colaboração entre setor privado e governos é essencial para criar políticas eficazes de gestão de reciclagem.
	AV5	A implementação de tecnologias IoT pode fornecer informações em tempo real sobre o estado de carga e descarga das baterias a serem recicladas.
	AV6	A implementação de tecnologias de Inteligência Artificial (IA) na gestão de reciclagem pode aumentar a eficiência na identificação de materiais.
ETAPA 03: RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS	RE1	A recuperação eficiente de metais valiosos, como cobalto e lítio, é uma prioridade para a sustentabilidade ambiental.
	RE2	A reciclagem de baterias deve beneficiar todas as camadas da sociedade, não apenas setores específicos.
	RE3	O investimento em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de reciclagem de baterias é essencial para o crescimento econômico.
	RE4	Empresas envolvidas na reciclagem de baterias devem ter práticas sociais responsáveis.
	RE5	Programas de reciclagem de baterias devem garantir benefícios sociais para todas as camadas da sociedade.
	RE6	Empresas devem ter responsabilidade social na gestão de resíduos de baterias.
ETAPA 04: DESCARGA ADEQUADA DE MATERIAIS	DE1	Qual o seu grau de importância para as questões de sustentabilidade e práticas ambientais?
	DE2	No seu ponto de vista a reciclagem de baterias de carros elétricos é importante e essencial para a preservação do meio ambiente?
	DE3	O descarte adequado de materiais perigosos é fundamental para prevenir danos ambientais.
	DE4	Medidas sociais, como programas de conscientização, são cruciais para melhorar a gestão de resíduos de baterias.

	DE5	A utilização de sistemas automatizados na separação de materiais perigosos agrega segurança ao processo de descarte do material reciclado.
ETAPA 05: REUTILIZAÇÃO DE COMPONENTES	REU1	A reutilização de componentes contribui para a redução da demanda por novos materiais, promovendo a sustentabilidade.
	REU2	Em que medida você considera que investir em pesquisa para otimizar processos de reciclagem pode ser considerado um benefício econômico a longo prazo?
	REU3	A reciclagem de baterias pode reduzir os custos totais associados à produção de carros elétricos.
	REU4	Políticas que incentivam a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de reciclagem são essenciais.
	REU5	A priorização de investimentos em tecnologias como IoT, Smart Energy é fundamental para o avanço sustentável na reciclagem de baterias dos veículos elétricos.
ETAPA 06 : GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS	GE1	Em que medida você considera que a reciclagem adequada de baterias contribui significativamente para a redução da poluição.
	GE2	A conscientização pública sobre a importância da reciclagem de baterias deve ser intensificada.
	GE3	Em que medida você considera que o envolvimento de organizações não governamentais (ONGs) é essencial para o sucesso dos programas de reciclagem?
	GE4	Incentivos financeiros para empresas envolvidas na reciclagem de baterias são justificados.
	GE5	Em que medida você considera que a criação de mercados secundários para materiais reciclados de baterias é um fator econômico significativo?
	GE6	O impacto econômico da reciclagem de baterias nas comunidades locais é uma consideração importante.
	GE7	A eficácia das políticas governamentais atuais em relação à gestão de resíduos de baterias é percebida positivamente.
	GE8	A participação ativa de políticos na promoção de práticas sustentáveis de reciclagem é vista como crucial.
	GE9	A colaboração com órgãos reguladores na definição de padrões de certificação pode influenciar políticas futuras relacionadas à reciclagem de baterias de veículos elétricos.
	GE10	A utilização de sistemas de gestão baseados em nuvem (cloud) contribui para o acesso remoto e análise de dados em tempo real.
TAP A 07: MON ITOR	MO1	Um sistema de monitoramento e rastreabilidade do material reciclado, garantem a conformidade com padrões ambientais ao longo do processo de reciclagem .

	MO2	A implementação de tecnologias sociais, como plataformas online, pode facilitar a participação da comunidade na reciclagem de baterias.
	MO3	A integração de tecnologias <i>IoT</i> (Internet das Coisas) na reciclagem de baterias pode proporcionar maior eficiência e rastreabilidade.
	MO4	Soluções de " <i>Smart Energy</i> ", como armazenamento de energia, podem contribuir para a sustentabilidade do processo de reciclagem.
	MO5	O uso de sistemas de rastreamento RFID na gestão de resíduos garante a localização precisa das baterias ao longo do processo de reciclagem.
ETAPA 08: CERTIFICAÇÃO E CONFORMIDADE	CE1	A busca por certificação e conformidade demonstra compromisso com práticas ambientais sustentáveis.
	CE2	A aplicação de tecnologias de autenticação digital é crucial para garantir a legitimidade dos certificados de materiais reciclados.
	CE3	A responsabilidade das empresas na conformidade com as regulamentações governamentais é vista como essencial.
	CE4	Desafios econômicos enfrentados pela indústria de reciclagem de baterias precisam ser abordados.
	CE5	A conformidade com normas e regulamentações facilita a obtenção de apoio financeiro e investimentos por parte de organizações e governos.
	CE6	O governo desempenha um papel crucial na regulamentação da reciclagem de baterias.
	CE7	Iniciativas políticas locais ou globais que promovam a reciclagem de baterias são importantes para práticas sustentáveis.
	CE8	A adesão a padrões internacionais de gestão de resíduos é uma prioridade para a conformidade política.
	CE9	A aderência a normas políticas relacionadas à reciclagem pode resultar em benefícios fiscais ou incentivos governamentais para empresas.

Fonte: Autor, 2023

As atividades do framework foram organizadas hierarquicamente, adotando uma estrutura de árvore de decisão com dois níveis de variáveis, seguindo a abordagem de similaridade entre os fatores. No primeiro patamar da hierarquia, encontram-se os 50 itens do framework, enquanto as 08 Etapas compõem o segundo nível da árvore de decisão.

Cada Etapa foi designada conforme sua natureza, a saber: Coleta e Desmontagem, Avaliação e Classificação, Recuperação de Materiais, Descarte adequado de Materiais Perigosos, Reutilização de Componentes, Gerenciamento de Resíduos, Monitoramento e Rastreabilidade e Certificação e Conformidade. A métrica de importância foi posicionada no ápice da árvore de decisão, proporcionando uma avaliação global apresentada para os itens do framework. Essa disposição estratégica permite uma análise abrangente, facilitando a compreensão da importância atribuída por especialistas a cada atividade.

A Figura 14 apresenta como ficou organizada a estrutura hierárquica em formato de árvore de decisão, considerando as 50 atividades do framework, subdivididos nas 8 Etapas, medindo assim o grau de importância de cada um e de uma forma geral.

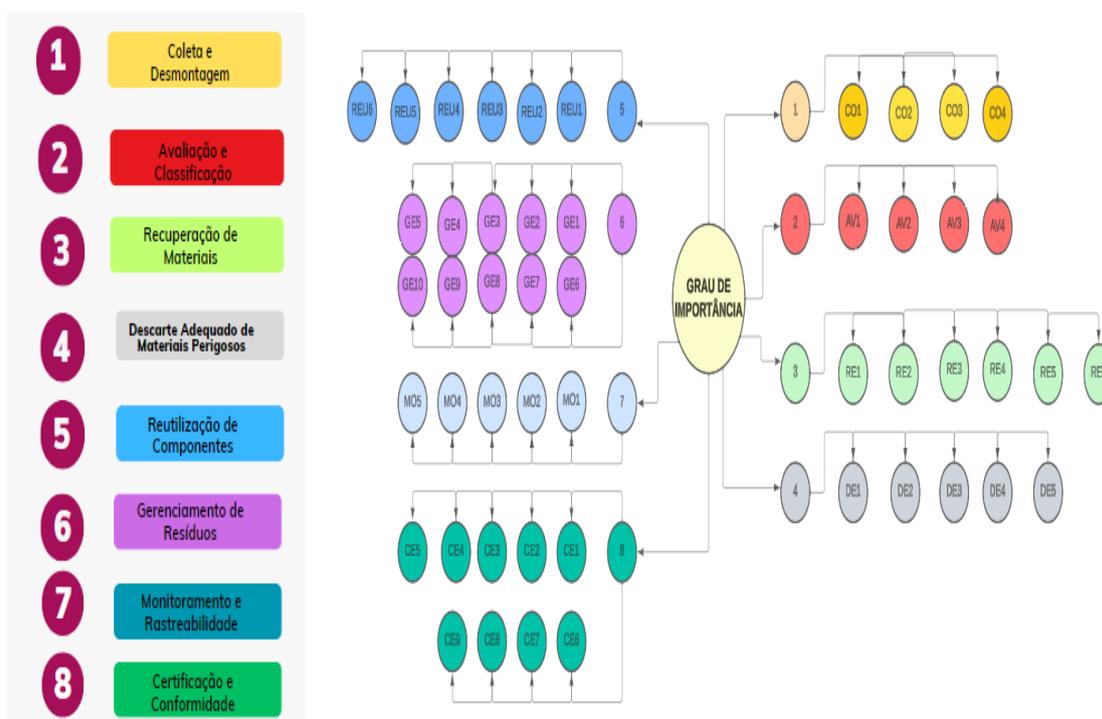


Figura 14-Estrutura Hierárquica em Formato de Árvore de Decisão.

Fonte: Autor 2023.

Com a estrutura hierárquica em formato de árvore de decisão e os dados coletados por meio das respostas da survey com especialistas, aplicou-se o método MAUT para avaliar os itens do framework e calcular o grau de importância de cada um em suas respectivas etapas.

6.3 Aplicação do Método MAUT

O Método de Análise de Utilidade Multicritério (MAUT) é uma abordagem na tomada de decisão que lida com múltiplos critérios, permitindo avaliar alternativas considerando as preferências dos decisores (Keeney, R. L., & Raiffa, 1993).

O MAUT utiliza os conceitos de modelagem de preferência, e são inseridos nas aplicações que partem do princípio de que toda decisão está concatenada a uma função de valor. Essa função é conhecida como função de utilidade, tem como parâmetros critérios e alternativas do problema de decisão convertidos em pesos (GOMES, ARAYA & CARIGNANO, 2004).

Cada uma das oito etapas do framework foi submetida à análise multifatorial do MAUT, considerando critérios específicos relacionados à sustentabilidade, eficiência e impacto ambiental. Essa análise auxilia na identificação de *trade-offs* e na priorização de ações em cada etapa, visando otimizar o processo de reciclagem das baterias dos veículos elétricos.

O MAUT, ao incorporar as preferências e pesos atribuídos a cada critério pelos especialistas, contribuiu para uma abordagem equilibrada, alinhando as práticas de reciclagem com objetivos ambientais e econômicos, sociais, políticos e tecnológicos. Essa integração do MAUT às oito etapas do framework não apenas aprimora a eficiência operacional do processo de reciclagem de baterias de veículos elétricos, mas também fornece uma estrutura de tomada de decisão que é adaptável a contextos dinâmicos e desafios emergentes.

Já o resultado é uma avaliação categorizada das alternativas que mostram as preferências ponderadas dos tomadores de decisão (ISHIZAKA e NEMERY, 2013).

A equação que representa a aditividade do método MAUT é a seguinte:

$$\sum_{j=1}^n U_j(f_j(a_i)) \cdot w_j \quad (1)$$

Variáveis:

j: número de critérios (de 1 a n);

U_j : contribuição de utilidade marginal de cada alternativa avaliada;

$f_j(a_i)$: avaliação da alternativa I no critério j;

w_j : peso do critério, onde a soma dos pesos desses deve ser igual a um.

A árvore de decisão desta pesquisa é composta por 2 níveis, com o método MAUT foi possível ordenar os subcritérios dos elementos e atividades do framework através das taxas de substituição (SCHAEFER, *et al.*, 2020). Dessa forma, ao usar as taxas de substituição para alternar entre os níveis da árvore de decisão, o resultado será uma avaliação comparável entre os elementos e atividades do framework e cada uma das 8 Etapas. Assim, as equações 2 a 6 foram usadas para calcular essas taxas de substituição locais e globais, bem como a taxa global do grau de importância:

$$TSL_{ea} = \frac{\sum_1^i EA}{j} * \frac{1}{k} \quad (2)$$

Variáveis:

TSL_{ea} : taxa de substituição local dos elementos e atividades do framework;

i: número de especialistas que responderam à pesquisa;

EA: valor das respostas dos elementos e atividades;

k: número de atividades dentro de cada Etapa do framework.

$$TSL_{Etapa} = \sum_1^j TSL_{EA} * \frac{w}{x} \quad (3)$$

Variáveis:

TSL_{Etapa} : taxa de substituição local da Etapa do framework;

j: número de elementos e atividades dentro de cada Etapa;

TSL_{EA} : taxa de substituição local dos elementos e atividades;

w: número de atividade dentro de cada Etapa;

x: refere-se ao número total de elementos e atividades.

$$TMI = \sum_1^m TSL_{Etapa} \quad (4)$$

A equação 4 tem como objetivo calcular o TMI, grau de importância do framework construído, considerando a avaliação dos especialistas. Nesta equação:

m: número de Etapas do framework;

TSL_{Etapa} : taxa de substituição local de cada Etapa.

$$TSG_A = TSL_A * TSL_{Etapa} \quad (5)$$

A equação 5 permite obter a taxa de substituição global de cada atividade do framework (TSG_A) e avaliar o impacto de cada atividade em cada uma das Etapas do framework. As variáveis dessa equação são:

TSL_A : taxa de substituição local das atividades;

TSL_{Etapa} : taxa de substituição local das atividades que fazem parte.

$$TSG_{Etapa} = \sum_1^k TSG_{EA} \quad (6)$$

A equação 6 permite obter a taxa de substituição global de cada Etapa do framework (TSG_{Etapa}), uma métrica para avaliar o grau de impacto de cada Etapa considerando os elementos e atividades propostos. Nesta equação:

k: número de elementos e atividades dentro das etapas;

TSG_{EA} : taxa de substituição global dos elementos e atividades.

Com os valores obtidos para a TMI e as TSGs, é possível avaliar o que os especialistas consideram importante nas atividades descritas no framework.

6.4. Resultados da Avaliação do Framework em Grau de Importância

Após a conclusão de todos os cálculos do método MAUT, os dados foram sistematizados em tabelas para proporcionar uma avaliação mais aprofundada dos resultados. A Taxa de Substituição Global (TSG) foi calculada como medida do grau de importância. Essa métrica, a TSG, viabiliza a comparação entre os distintos elementos e atividades do framework, expressando em percentuais a contribuição de cada um em relação ao conjunto completo do framework.

POSIÇÃO	ATIVIDADES	TSG IMPORTÂNCIA	POSIÇÃO	ATIVIDADES	TSG IMPORTÂNCIA
1	DE3	2,51%	26	CE1	2,05%
2	DE2	2,44%	27	CO2	2,03%
3	DE5	2,30%	28	CO3	2,03%
4	DE1	2,27%	29	AV6	2,03%
5	REU1	2,26%	30	RE4	2,00%
6	CO1	2,24%	31	MO2	1,99%
7	REU2	2,19%	32	CE7	1,98%
8	MO4	2,18%	33	CE4	1,98%
9	AV1	2,17%	34	RE3	1,97%
10	MO3	2,16%	35	GE1	1,96%

11	REU4	2,16%	36	GE2	1,92%
12	MO1	2,16%	37	CE2	1,88%
13	CO4	2,15%	38	CE8	1,88%
14	AV2	2,14%	39	RE5	1,85%
15	DE4	2,14%	40	GE9	1,83%
16	REU3	2,14%	41	GE10	1,82%
17	CE5	2,11%	42	CE9	1,82%
18	REU5	2,11%	43	CE6	1,80%
19	AV3	2,11%	44	MO1	2,24%
20	AV5	2,09%	45	RE2	1,75%
21	RE6	2,08%	46	GE5	1,73%
22	MO5	2,08%	47	GE6	1,67%
23	CE3	2,06%	48	GE4	1,66%
24	AV4	2,06%	49	GE8	1,45%
25	RE1	2,06%	50	GE3	1,21%

Tabela 4 - *Ranking* Geral do Grau de Importância das Atividades do Framework

Ao examinar a classificação geral do grau de importância das atividades, destaca-se que os elementos relacionados à Etapa 4 - Descarte Adequado de Materiais Perigosos são os que recebem maior destaque na perspectiva dos especialistas. Contudo, ao seguir a sequência dos itens com maior grau de importância, percebe-se uma diversificação considerável, sem que uma etapa específica se destaque tão expressivamente quanto a Etapa 4. Por outro lado, ao analisar a parte final desse mesmo ranking, notamos uma caracterização marcante nas últimas quatro atividades, que estão intrinsecamente ligadas à Etapa 6 - Gerenciamento de Resíduos.

Em síntese, a análise do grau de importância das atividades revela que a Etapa 4 - Descarte Adequado de Materiais Perigosos é claramente priorizada pelos especialistas. No entanto, ao percorrer a sequência dos itens mais relevantes, destaca-se uma significativa diversidade, sem que uma etapa específica se destaque de maneira tão pronunciada quanto a Etapa 4.

A caracterização distintiva nas últimas quatro atividades, todas vinculadas à Etapa 6 - Gerenciamento de Resíduos, ressalta a relevância desse estágio específico no contexto global da avaliação de importância das atividades do framework. Essa análise fornece insights valiosos para orientar estratégias

futuras e otimizar esforços, considerando as nuances específicas que emergem ao longo do ranking de importância.

Na sequência, os elementos e atividades foram analisados, conforme seu grau da importância, dentro de suas etapas do framework. A Tabela 5 apresenta a classificação de cada item por etapa do framework, mostrando os mais importantes dentro de cada uma, além de mostrar a importância das etapas, de acordo com as respostas dos especialistas.

IMPORTÂNCIA								
POSICÃO ITENS	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5	ETAPA 6	ETAPA 7	ETAPA 8
1	CO1	AV1	RE6	DE3	REU1	GE1	MO4	CE5
2	CO4	AV2	RE1	DE2	REU2	GE2	MO1	CE3
3	CO3	AV3	RE4	DE5	REU4	GE9	MO3	CE1
4	CO2	AV5	RE3	DE1	REU3	GE10	MO5	CE4
5		AV4	RE5	DE4	REU5	GE5	MO2	CE7
6		AV6	RE2			GE6		CE8
7						GE4		CE2
8						GE7		CE9
9						GE8		CE9
10						GE3		
TSG ABSOLUTO	8,46%	12,59%	11,71%	11,66%	10,86%	16,59%	10,57%	17,56%
POSICÃO ETAPAS	8	3	4	5	6	2	7	1
TSG MÉDIO	2,11%	2,10%	1,95%	2,33%	2,17%	1,62%	2,11%	1,95
POSICÃO ETAPAS	4	5	6	1	2	8	3	7

Tabela 5 - *Ranking* por Etapa do Grau de Importância das Atividades do Framework.

Fonte: Autor, 2023.

Considerando o *ranking* da importância por etapas do framework, ao organizar em ordem crescente o TSG absoluto e o TSG médio das etapas, pode-se verificar que existe uma mudança na posição das etapas. Avaliando o TSG absoluto da importância das etapas, observamos o seguinte *ranking*:

- 1º Etapa 8 Certificação e Conformidade
- 2º Etapa 6 Gerenciamento de Resíduos
- 3º Etapa 2 Avaliação e Classificação

- 4°Etapa 3 Recuperação de Materiais
- 5°Etapa 4 Descarte adequado de Materiais Perigoso
- 6°Etapa 5 Reutilização de Componentes
- 7°Etapa 7 Monitoramento e Rastreabilidade
- 8°Etapa 1 Coleta e Desmontagem.

Já avaliando o TSG médio da importância das etapas, verifica-se seguinte *ranking*:

- 1°Etapa 4 Descarte adequado de Materiais Perigoso
- 2°Etapa 5 Reutilização de Componentes
- 3°Etapa 7 Monitoramento e Rastreabilidade
- 4°Etapa 1 Coleta e Desmontagem
- 5°Etapa 2 Avaliação e Classificação
- 6°Etapa 3 Recuperação de Materiais
- 7°Etapa 8 Certificação e Conformidade
- 8°Etapa 6 Gerenciamento de Resíduos

O TSG absoluto é um reflexo da quantidade de itens que cada etapa possui e das avaliações dadas pelos especialistas, quanto mais itens e melhor as avaliações, maior será o absoluto. Já o TSG médio é comparável entre si, pois, reflete a importância dos itens em si. Então, a interpretação que pode ser obtida a partir do TSG absoluto pode ser focada nas etapas enquanto que a interpretação dos TSGs médios pode ser focada nos itens das etapas.

Considerando o TSG médio e seguindo as etapas do framework, observamos na Etapa 1 - Coleta e Desmontagem que a atividade **CO1** (eficiência nos procedimentos de coleta e desmontagem é fator preponderante para mitigar os impactos ambientais) é a que possui o maior grau de importância, sendo destacada pelos especialistas, seguida pela atividade **CO4** (uso de "Smart Energy" para otimizar a logística de transporte de baterias para reciclagem).

Essa hierarquização delineada pelos especialistas indica não apenas a centralidade desses elementos na abordagem ambientalmente consciente do framework, mas também fornece direcionamentos valiosos para estratégias futuras, destacando áreas-chave que demandam especial atenção na gestão e implementação do processo de reciclagem de baterias.

Por outro lado, a atividade **CO2**, (destacada pela criação de oportunidades de emprego nas etapas de coleta e desmontagem), revelou-se a menos relevante no contexto analisado, evidenciando, assim, uma área com oportunidade de melhoria a ser explorada. Nesse sentido, torna-se necessário direcionar esforços para identificar estratégias que maximizem o impacto socioeconômico positivo, alinhando-o de maneira mais efetiva aos objetivos propostos.

Na Etapa 2 - Avaliação e Classificação, percebemos a centralidade atribuída à atividade **AV1**, onde a exatidão na avaliação e classificação emerge como a de maior importância, destacando-se como um alicerce essencial para a gestão ambiental responsável, conforme identificado pelos especialistas. Paralelamente, o item **AV2**, que versa sobre o incentivo para empresas adotarem práticas sustentáveis, também figura como elemento significativo nesse estágio do framework. Nesse contexto, evidencia-se a contínua ênfase dos especialistas na questão ambiental, uma vez que ambos os aspectos, **AV1** e **AV2**, são apontados como os mais relevantes nessa etapa, reforçando a relevância do fator ambiental como um pilar fundamental ao longo do processo avaliativo.

Já a atividade **AV6** foi a menos relevante (A implementação de tecnologias de Inteligência Artificial (IA) na gestão de reciclagem pode aumentar a eficiência na identificação de materiais). O reconhecimento dessa etapa como menos relevante não apenas sugere uma oportunidade para melhorias específicas, mas também destaca a necessidade de uma abordagem equilibrada e integrada ao incorporar tecnologias de ponta.

Na Etapa 3 - Recuperação de Materiais, destaca-se a priorização atribuída pelos especialistas, que colocam a atividade **RE6**, enfocando a responsabilidade social das empresas na gestão de resíduos, como a de maior importância. Em segundo lugar, surge a atividade **RE1**, ressaltando a recuperação de metais valiosos, como lítio e cobalto, como uma prioridade para a sustentabilidade ambiental. Nessa fase do framework, estabelece-se uma conexão evidente entre a responsabilidade social das empresas e a valorização dos metais preciosos, destacando a sinergia essencial entre práticas sustentáveis e a recuperação eficiente de materiais valiosos. Essa conexão destaca a complexidade ambiental e enfatiza a importância de abordagens integradas na gestão de resíduos e na promoção da sustentabilidade.

Na análise desta etapa, destaca-se a atividade **RE3** como a menos relevante, que versa sobre o investimento em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias para a reciclagem de baterias, considerado essencial para o crescimento econômico. No entanto, é importante enfatizar que mesmo sendo classificada como menos relevante nesta avaliação específica, a atividade **RE3** é de suma importância no contexto mais amplo da gestão sustentável de resíduos e apresenta oportunidade de melhoria com um investimento maior em pesquisa e desenvolvimento

Na Etapa 4 - Descarte Adequado de Materiais Perigosos, destaca-se o item mais votado, **DE3**, que enfatiza a prevenção de danos ambientais por meio de um descarte apropriado. Em segundo lugar, os especialistas elegeram o item **DE2**, sublinhando a essencialidade da reciclagem de baterias de veículos elétricos para a preservação do ambiente. Neste ponto específico do framework, evidencia-se uma conexão inequívoca entre as preocupações ambientais dos especialistas e a imperatividade de adotar práticas de descarte e reciclagem que tenham como foco a preservação do meio ambiente. Essa ligação direta enfatiza a crucial importância de abordagens ambientalmente responsáveis na gestão de materiais perigosos, contribuindo assim para a conscientização e a promoção efetiva da preservação ambiental. A atividade **DE4** (Medidas sociais, como programas de conscientização, são cruciais para melhorar a gestão de resíduos de baterias) foi menos pontuada pelos especialistas. Embora tenha sido menos enfatizada nesse contexto específico, a implementação de medidas sociais desempenha um papel essencial e multifacetado na gestão de resíduos de baterias e surge como um ponto de melhoria a ser explorado

Na Etapa 5 - Reutilização de Componentes, observa-se a proeminência do item mais votado, **REU1**, que enfatiza como a reutilização de componentes reduz a demanda por novos materiais, promovendo, assim, a sustentabilidade. Em segundo lugar, os especialistas escolheram o item **REU2**, destacando como o investimento em pesquisa em processos de reciclagem de baterias pode representar um benefício econômico a longo prazo. Neste ponto do framework, é evidente como as práticas de reutilização, sustentabilidade e possíveis benefícios econômicos estão interligadas. Essa relação direta destaca a importância de estratégias que não só favoreçam a reutilização de componentes, mas também considerem as implicações econômicas a longo prazo. Nessa

etapa a atividade **REU5**(Empresas devem ter responsabilidade social na gestão de resíduos de baterias) foi a que obteve a menor pontuação.

A baixa pontuação atribuída à atividade **REU5** não diminui a relevância da responsabilidade social das empresas na gestão de resíduos de baterias. Ao contrário, destaca a necessidade de promover e destacar a importância dessa dimensão na busca contínua por melhores práticas, mais responsáveis e eficazes na gestão de resíduos.

Na Etapa 6 - Gerenciamento de Resíduos, ressalta-se a relevância do item mais votado, **GE1**, que destaca como a reciclagem de baterias pode efetivamente reduzir a poluição. Em segundo lugar, os especialistas escolheram o item **GE2**, indicando a necessidade de intensificar a conscientização pública sobre a importância da reciclagem de baterias.

As interconexões entre a prática de reciclagem, a redução da poluição e o papel essencial da conscientização pública são nitidamente delineadas. Essa relação direta ressalta a importância de abordagens que não apenas incentivem a reciclagem de baterias, mas também reconheçam a urgência da conscientização para otimizar os benefícios ambientais dessa prática. Esses elementos inter-relacionados destacam a complexidade e a necessidade de uma gestão de resíduos abrangente, ressaltando o papel central do envolvimento público na promoção da sustentabilidade.

A atividade **GE3**, que aborda o envolvimento de organizações não governamentais (ONGs) no sucesso dos programas de reciclagem, foi identificada como a menos pontuada durante a avaliação. Esta constatação sugere uma oportunidade valiosa para aprimoramento estratégico destaca a necessidade de um esforço mais direcionado para comunicar e integrar efetivamente as ONGs nos programas de reciclagem. O envolvimento dessas organizações pode oferecer perspectivas valiosas, mobilizar recursos adicionais e fortalecer a conscientização pública.

Na Etapa 7 – Monitoramentos e Rastreabilidade, a atividade que se destacou significativamente aos especialistas foi a **MO4**, destacando o potencial de contribuição das "Soluções de Smart Energy", como o armazenamento de energia, para a sustentabilidade do processo de reciclagem. Em sequência, a segunda atividade mais votada foi a **MO1**, que aborda a implementação de um sistema de monitoramento e rastreabilidade do material reciclado, assegurando

a conformidade com padrões ambientais durante todas as fases do processo de reciclagem. A relevância de sistemas de monitoramento e rastreabilidade é enfatiza o compromisso com a conformidade ambiental e a qualidade do material reciclado. Essa abordagem integrada realça a importância de práticas tecnológicas e de controle para assegurar a eficácia e a sustentabilidade integral do processo de reciclagem.

A atividade **MO2**, que destaca a implementação de tecnologias sociais, como plataformas online, para facilitar a participação da comunidade na reciclagem de baterias, foi identificada como a menos pontuada durante a avaliação. Esse resultado indica uma oportunidade de melhoria na promoção da participação da comunidade nos esforços de reciclagem. Uma possível abordagem para otimizar essa atividade seria investir em campanhas educativas e estratégias de conscientização que enfatizem os benefícios ambientais, sociais e econômicos da reciclagem de baterias.

Na Etapa 8 – Certificação e Conformidade, destaca-se a atividade **CE5**, evidenciando a relevância da conformidade com normas e regulamentações para a obtenção de apoio financeiro e investimentos por parte de organizações e governos. A seguir, a atividade **CE3** emerge como a segunda mais apoiada, enfatizando a visão essencial da responsabilidade das empresas na conformidade com as regulamentações governamentais.

A atividade **CO9**, que aborda a aderência a normas políticas relacionadas à reciclagem e destaca a possibilidade de benefícios fiscais ou incentivos governamentais para empresas, foi identificada como a menos pontuada durante a avaliação.

A ênfase na obtenção de apoio financeiro e investimentos destaca a interligação entre conformidade e sustentabilidade financeira, enquanto a ênfase na responsabilidade das empresas destaca o papel ético e social associado à aderência às regulamentações governamentais. Neumann et al. (2020) ainda incrementa que as empresas devem buscar alianças e parcerias estratégicas com outras organizações, fornecedores e instituições acadêmicas, a fim de promover troca de conhecimento e de recursos.

Considerando o TSG absoluto, destaca-se que a oitava etapa do framework, Certificação e Conformidade, assume uma posição de liderança, apresentando um TSG de 17,56%. Em seguida, a sexta etapa, Gerenciamento

de Risco, conquista a segunda posição, exibindo um TSG absoluto de 16,59%. As demais etapas seguem em sequência, com a segunda etapa, Avaliação e Classificação, registrando um TSG de 12,59%, a terceira etapa, Recuperação de Materiais, com TSG de 11,71%, a quarta etapa, Descarte Adequado de Materiais Perigosos, com 11,66%, a quinta etapa, Reutilização de Componentes, com TSG de 10,86%, a sétima etapa, Monitoramento e Rastreabilidade, com TSG de 10,57% e, por último, a etapa inicial, Coleta e Desmontagem, com TSG de 8,46%.

Essa análise proporciona valiosas percepções sobre a distribuição hierárquica do grau de importância absoluto entre as diferentes etapas do framework, destacando aquelas que requerem maior atenção e priorização estratégica.

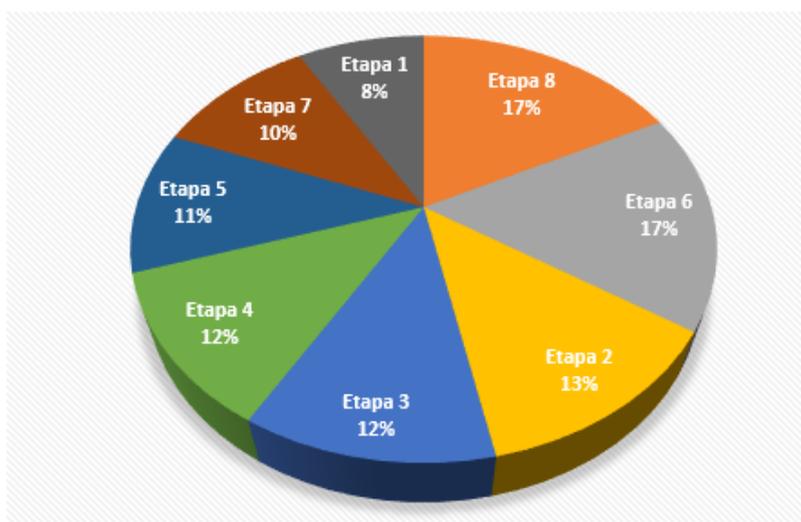


Figura 15 – TSG Absoluto das Etapas
Fonte: Autor, 2023

Com base na escala de avaliação de 1 a 5 e considerando as análises quantitativas realizadas, constata-se que o grau de importância atribuído pelos especialistas ao framework alcançou a pontuação média de 4,2733. Em termos percentuais, essa avaliação representa 85,46%. Tal resultado indica claramente que as atividades inerentes às diversas etapas do framework são percebidas como altamente relevantes pelos especialistas envolvidos na avaliação.

7. IMPLICAÇÕES DO PONTO DE VISTA ACADÊMICO E EMPRESARIAL

O desenvolvimento do framework para a gestão de reciclagem de baterias de veículos elétricos possui implicações multifacetadas tanto no âmbito acadêmico quanto empresarial, abordando aspectos econômicos, sociais, políticos, ambientais e tecnológicos. A sinergia entre estes domínios é evidente nas atividades específicas delineadas no framework, como a Reutilização de Componentes, Monitoramento e Rastreabilidade, Coleta e Desmontagem, Avaliação e Classificação, Recuperação de Materiais, Certificação e Conformidade, e Gerenciamento de Resíduos.

Nesse contexto, a reciclagem se revela como uma estratégia viável que oferece a oportunidade não apenas de ampliar o acesso a matérias-primas e reduzir a instabilidade nos preços, mas também de abordar preocupações ambientais decorrentes do descarte inadequado de resíduos (MAYYAS, et al., 2019).

Do ponto de vista econômico, a Reutilização de Componentes emerge como uma atividade estratégica, contribuindo para a redução de custos ao incorporar componentes recuperados em linhas de produção. Esta prática não apenas fomenta a sustentabilidade, mas também gera oportunidades de economia para as empresas, destacando a interseção positiva entre eficiência econômica e práticas ambientalmente responsáveis.

Segundo Kastanaki e Giannis (2023), potenciais usos em segunda vida englobam a utilização de baterias em sistemas de armazenamento de energia para apoiar a geração de eletricidade a partir de fontes renováveis, armazenamento residencial ou outras aplicações em micro ou veículos de mobilidade urbana (como iluminação pública, veículos refrigerados, empilhadeiras, etc.), tornando-se uma atividade vantajosa, pois adia o processo de reciclagem.

No aspecto social, atividades como a Coleta e Desmontagem têm implicações diretas na conscientização pública. Programas de sensibilização para incentivar a participação ativa dos proprietários de veículos elétricos na entrega de baterias usadas não só promovem a responsabilidade do consumidor, mas também engajam a comunidade na gestão adequada de resíduos, construindo uma relação mais consciente com o meio ambiente.

No âmbito político, a Certificação e Conformidade são atividades críticas para alinhar as práticas de reciclagem com regulamentações governamentais. O comprometimento com padrões e normativas demonstra a adesão a práticas ambientais responsáveis, promovendo uma relação de confiança com órgãos reguladores e reforçando a importância de diretrizes normativas no contexto da gestão de resíduos.

Em termos ambientais, a atividade de Monitoramento e Rastreabilidade desempenha um papel crucial. A implementação de tecnologias para rastreamento em tempo real não só otimiza as rotas de coleta, mas também contribui para a redução do impacto ambiental, minimizando o desperdício durante o processo de reciclagem.

No aspecto tecnológico, atividades como a Recuperação de Materiais e Avaliação e Classificação evidenciam a necessidade de inovação. O uso de tecnologias de separação por laser na Recuperação de Materiais, por exemplo, representa um avanço tecnológico que aumenta a eficiência na identificação e separação de materiais, destacando a importância da constante pesquisa e desenvolvimento para aprimorar as práticas de reciclagem.

Em resumo, o framework transcende a mera gestão de resíduos ao integrar de maneira estratégica atividades que abordam os desafios econômicos, sociais, políticos, ambientais e tecnológicos inerentes à reciclagem de baterias de veículos elétricos, promovendo um enfoque holístico e sustentável.

8. CONCLUSÃO

Conforme estabelecido no início da presente pesquisa, o objetivo principal desta dissertação é desenvolver um framework para a Gestão de Processos de Reciclagem de Baterias de Veículos Elétricos. Ao conectar as informações dos artigos na RLS e considerar as respostas na survey de avaliação do framework pelos especialistas, foi possível concatenar e organizar os aspectos propostos para auxiliar na gestão dos processos de reciclagem de baterias dos veículos elétricos, cumprindo assim o objetivo da pesquisa e solucionando o problema proposto.

O framework delineado apresentou uma abordagem inovadora e abrangente, integrando perspectivas econômicas, sociais, políticas, ambientais e tecnológicas. Uma contribuição significativa desta pesquisa foi a abordagem baseada nas regras de MAUT, onde cada etapa do framework passou por uma análise multifatorial, resultando na leitura do grau de importância de cada elemento. Os resultados obtidos indicaram uma pontuação média de avaliação percentual de 85,46%, evidenciando a alta relevância das etapas propostas conforme a avaliação dos especialistas.

Assim, a principal contribuição desta pesquisa foi apontar de forma clara os passos a serem tomados em cada ação referente à atividade de Gestão de Reciclagem de Sistema de Armazenamento de Energia. Além disso, a transparência e organização proporcionadas pelo framework têm o potencial de fortalecer parcerias entre organizações, comunidades locais e autoridades governamentais, facilitando a implementação de programas de coleta seletiva e outras iniciativas voltadas para a reciclagem de baterias. Desta forma, o framework não apenas impulsiona a conscientização individual, mas também cria um ambiente propício para a colaboração entre diferentes partes interessadas na promoção de práticas sustentáveis.

Quanto às contribuições práticas desta pesquisa, pode-se inferir que o Framework sobre a Gestão de Reciclagem de Sistemas de Armazenamento de Energia dos Veículos Elétricos poderá se tornar uma tendência em termos sociais, econômicos, ambientais, tecnológicos e políticos, proporcionando benefícios como empregabilidade, saúde pública, reaproveitamento de materiais, desenvolvimento da cadeia de valor, redução de resíduos,

conservação de recursos, inovação tecnológica, avanços na reciclagem e conformidade com legislação ambiental e metas de sustentabilidade.

Sob a perspectiva de contribuição acadêmica, destacam-se a análise do impacto econômico e mercadológico, a avaliação do papel das políticas públicas, a avaliação do potencial de reuso de componentes, a identificação de um ecossistema em fase inicial de desenvolvimento, o desenvolvimento de tecnologias de reciclagem eficientes, a possibilidade de fragmentação do framework por área de negócio e a viabilidade de implementação do framework em um software para gestão de negócios.

Em síntese, o framework não apenas oferece uma abordagem equilibrada e integrada, mas também representa uma contribuição valiosa para práticas mais sustentáveis na gestão de resíduos de baterias de veículos elétricos. Ao abordar aspectos econômicos, sociais, políticos, ambientais e tecnológicos, este framework emerge como uma ferramenta estratégica, alinhada com as exigências contemporâneas de uma sociedade comprometida com a preservação do meio ambiente e o avanço tecnológico.

8. REFERÊNCIAS

AANNIR, Marouane et al. **Towards a closed loop recycling process of end-of-life lithium-ion batteries: Recovery of critical metals and electrochemical performance evaluation of a regenerated LiCoO₂**. *Journal of Power Sources*, v. 580, p. 233341, 2023.

1º Anuário Brasileiro da Mobilidade Elétrica, 2020. Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica. Data da publicação: 15/03/2021. Disponível em: <https://www.pnme.org.br>. Acesso em: 28 nov. 2021.

1º ANUÁRIO BRASILEIRO DA MOBILIDADE ELÉTRICA. Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica. Data da publicação: 15/03/2021. Disponível em: <https://www.pnme.org.br>. Acesso em: 28/11/2021.

Agência Internacional de Energia. (2020). **Global EV Outlook 2020: Entregando em Direção a um Futuro de Mobilidade Sustentável**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>.

AGUIAR, M. S.; RODRIGUES, D. F.; CARVALHO, F. M. V. **Ciclo de Vida dos Veículos Elétricos: Impactos Ambientais e Desafios na Reciclagem de Baterias de Lítio**. *Revista Brasileira de Engenharia de Produção*, v. 11, n. 4, p. 108-122, 2021.

Aguiar, J. C., & Sena, A. L. S. (2020). **Rota 2030: Análise de Impacto Regulatório do Programa de Incentivo à Pesquisa e Desenvolvimento e Inovação no Setor Automobilístico Brasileiro**. *Revista de Administração Pública*, 54(1), 132-149.

ALMEIDA, C. et al. **Desafios e oportunidades do mercado de veículos elétricos no Brasil**. *Revista de Energia e Sustentabilidade*, v. 3, n. 1, p. 57-70, 2018.

Ahuja, J., Zhao, F., & Majeau-Bettez, G. (2020). **A circular economy for electric vehicle batteries: driving the change**. *Journal of Property, Planning and Environmental Law*, 14(3), 235-257.

AHUJA, Jyoti et al. **A circular economy for electric vehicle batteries: driving the change**. *Journal of Property, Planning and Environmental Law*, v. 12, n. 3, p. 301-313, 2020. ISSN: 2514-9407. DOI: 10.1108/JPPPEL-11-2019-0066.

AHUJA, Jyoti et al. **A circular economy for electric vehicle batteries: driving the change.** *Journal of Property, Planning and Environmental*, v. 1, n. 1, p. 1-17, 2020. ISSN: 2514-9407.

ALMEIDA, J. S. S. **Clusters de Clientes: um estudo aplicado ao mercado varejista de João Pessoa-PB.** *Revista de Administração Contemporânea*, v. 18, n. 4, p. 472-492, 2014.

ALVES, D. N. et al. **Gestão de resíduos de baterias de veículos elétricos: desafios e oportunidades.** *REMEA - Revista Eletrônica em Meio Ambiente*, v. 7, n. 1, p. 63-75, 2020.

ANDRADE, F. O., & FERREIRA, M. S. (2020). **A importância da gestão de ciclo de vida de baterias de veículos elétricos no contexto da economia circular.** *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 9(2), 280-298.

ANEEL. REN 1.000/2021. **Regulamentação sobre Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica.** Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução Normativa 1.000, Dec 7, 2021.

ANEEL. REN 819/2018. **Regulamentação sobre recarga de veículos elétricos.** Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução Normativa 819, Jun 19, 2018.

ANEEL. Resolução Normativa nº 1.000, de 07 de Dezembro de 2021. **Regulamentação sobre Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica.** Agência Nacional de Energia Elétrica.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 819, de 19 de Junho de 2018.** Regulamentação sobre recarga de veículos elétricos. Agência Nacional de Energia Elétrica.

APOSTOLOU, D.; XYDIS, G. (2019). **A literature review on hydrogen refuelling stations and infrastructure. Current status and future prospects.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS (ABVE). Available at: <https://www.abve.org.br/>. Access on: Nov 28, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS (ABVE). Disponível em: https://www.abve.org.br. Acesso em: 13 nov. 2022.

BARBOSA, A. L. O. **Perspectivas de negócios com a expansão dos veículos elétricos no Brasil.** *Revista de Empreendedorismo e Gestão de Pequenas Empresas*, v. 9, n. 2, p. 98-114, 2020.

BARAN, Maria Eduarda; FERNANDO, João Paulo. **A História dos Veículos Elétricos: Da Invenção à Atualidade**. *Revista de Engenharia Elétrica*, vol. 10, nº 2, 2017, pp. 45-58.

BARAN, Maria Eduarda; LEGEY, João Carlos. **História dos veículos elétricos: da invenção à atualidade**. *Revista Brasileira de Energia*, vol. 20, nº 2, 2011, pp. 85-98.

BRAJTERMAN, O. **Introdução de veículos elétricos e impactos sobre o setor energético brasileiro**. 154 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro-COPPE, Rio de Janeiro, 2016.

BECCALI, M.; CELLURA, M.; LO BRANO, V. **Review of the Life Cycle Assessment studies of renewable energy systems and technologies**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 107, p. 37-51, 2019.

BINGHAM, C., & NABOURS, R. K. (2018). **Electric vehicle battery recycling in the US: a review and analysis of emerging technologies and policy recommendations**. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 4(4), 495-511.

CASTRO, B.; FERREIRA, T. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. *BNDES Setorial*, n. 32, p. 267-310, 2010.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; SILVA, Roberto da. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. 162 p.

CLEMENTE, Isaac. **Bateria de íons de lítio**. InfoEscola. Disponível em: <https://www.infoescola.com/eletricidade/bateria-de-ions-de-litio/>. Acesso em: 13 nov. 2022.

COSTA, A. R. da et al. **Reciclagem de baterias de íons de lítio: estado atual e perspectivas no Brasil**. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 25, n. 1, p. 392-404, 2021.

CRABTREE, G. **The coming electric vehicle transformation**. *Science*, v. 366, p. 422-424, 2019. DOI: 10.1126/science.aax0704.

DECRETO Nº 9.442, de 5 de julho de 2018. **Altera as alíquotas do Imposto sobre Produtos Industrializados - IPI incidente sobre veículos equipados com motores híbridos e elétricos**. Brasília, DF: Presidência da República, 2018.

EMILSSON, Erik; DAHLLÖF, Lisbeth. **Lithium-ion vehicle battery production-status 2019 on energy use, CO2 emissions, use of metals, products environmental footprint, and recycling**. 2019.

E-AMRIT PORTAL. Types of electric vehicles. Disponível em: <https://e-amrit.niti.gov.in/types-of-electric-vehicles#>. Acesso em: [21/10/2022].

EKKO GREEN. **Bateria de carros elétricos**. Disponível em: <https://ekkogreen.com.br/bateria-de-carros-eletricos>. Acesso em: 02 abr. 2023.

EKKO GREEN. **Bateria de carros elétricos: como funciona e quanto tempo dura?** Disponível em: <https://ekkogreen.com.br/bateria-de-carros-eletricos/>. Acesso em: [22/09/2022].

EMBARCADOS. Disponível em: <https://embarcados.com.br>. Acesso em: 02 abr. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Relatório Síntese 2021** (Ano Base 2020). Balanço Energético Nacional. Acesso em 28/11/2021. Disponível em: <https://epe.gov.br>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Início. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/>. Acesso em: 17/01/2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/>. Acesso em: 02 abr. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório Síntese 2021** (Ano Base 2020). Balanço Energético Nacional. [S.l.]: EPE, [2021?] [citado em 28/11/2021]. Disponível em: <https://epe.gov.br>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Síntese 2021 (Ano Base 2020). **Balanço Energético Nacional**. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Available at: <https://epe.gov.br>. Access on: Nov 28, 2021.

ENSSLIN, Leonardo; MONTIBELLER NETO, Gilberto; NORONHA, Sandro Mac Donald. **Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001.

EUROMETAUX. **The Importance of Sustainable Battery Production and Recycling in Europe**. Brussels: EUROMETAUX, 2019. Disponível em:

EUROMETAUX. **The Importance of Sustainable Battery Production and Recycling in Europe**. Brussels: EUROMETAUX, 2019.

EUROPEAN COMMISSION. **Batteries: driving the transition to sustainable energy**. Brussels, Belgium: European Union, 2020.

EUROPEAN PARLIAMENT. Directive (EU) 2019/883 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019. Brussels, Belgium: European Union, 2019.

FLICK, Uwe. **Introdução à pesquisa qualitativa**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991. 159 p.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. XVI, 200 p.

GOVERNMENT OF INDIA. **Types of Electric Vehicles**. Disponível em: <https://e-amrit.niti.gov.in/types-of-electric-vehicles>. Acesso em: 02 abr. 2023.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. (2004): **TOMADA DE DECISÃO GERENCIAL – ENFOQUE MULTICRITÉRIO**. São Paulo, Atlas.

HOSSEINI, S. S.; BARAKAT, M. A.; LUND, P. D. **Battery recycling: a critical review**. 2016.

HOW STUFF WORKS. **How Lithium-ion Batteries Work**. Disponível em: <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/lithium-ion-battery>. Acesso em: 02 dez. 2022.

HOWSTUFFWORKS. **How Lithium-ion Batteries Work**. Disponível em: <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/lithium-ion-battery.htm>. Acesso em: [19/12/2022].

HU, Xiaosong; XU, Le; LIN, Xianke; PECHT, Michael. **Battery Lifetime Prognostics**. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128199424000083>. Acesso em: 13 nov. 2022.

HU, Z. et al. **Policy Pathways for the Circular Economy: The Case of Battery Waste Recycling in China**. 2021.

IEA. **Electric Vehicles**. IEA, Paris, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/electric-vehicles>. Acesso em: 08/01/2023.

IEA. **Electric Vehicles**. Paris: IEA, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/electric-vehicles>. Acesso em: 13 nov. 2022.

IEA. **Monthly sales of electric cars in major car markets, 2021 compared with 2020** [online]. Paris: IEA, 2021 [citado em 08/01/2023]. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/monthly-sales-of-electric-cars-in-major-car-markets-2021-compared-with-2020>.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **End-of-life management: Solar photovoltaic panels and wind turbines**. Abu Dhabi, United Arab Emirates: IRENA, 2019.

ISHIZAKA, A; NEMERY, P. **Multi-criteria decision analysis: methods and software**. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 2013.

JONES, B.; ELLIOTT, R. J. R.; NGUYEN-TIEN, V. **The EV revolution: the road ahead for critical raw materials demand**. *Applied Energy*, v. 280, p. 115072, 2020. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115072.

JONES, B.; ELLIOTT, R.J.R.; NGUYEN-TIEN, V. **The EV revolution: the road ahead for critical raw materials demand**. *Appl. Energy*, v. 280, p. 115072, 2020. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115072.

Kastanaki, E. and A. Giannis (2023), **Dynamic estimation of end-of-life electric vehicle batteries in the EU-27 considering reuse, remanufacturing and recycling options**, *Journal of Cleaner Production*, 393, 136349.

KALDELLIS, J. K.; ZAFIRAKIS, D. **A review of the vehicle-to-grid technology implementation progress**. *Energy*, v. 172, p. 1253-1271, 2019.

KEENEY, R.L. & Raiffa, H. (1993). **Decisions with Multiple Objectives-Preferences and Value Tradeoffs**. Wiley, New York.

KÖNIG, A. et al. **An Overview of Parameter and Cost for Battery Electric Vehicles**. *World Electric Vehicle Journal*, v. 12, n. 1, p. 21, Feb. 2021. DOI: 10.3390/wevj12010021.

KRISHNA, C. M. **Managing battery and supercapacitor resources for real-time sporadic workloads**. *IEEE Embedded Systems Letters*, v. 3, n. 1, p. 32-36, mar. 2011.

KRISHNA, C. M. **Managing battery and supercapacitor resources for real-time sporadic workloads**. *IEEE Embedded Syst. Lett.*, vol. 3, no

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia científica: ciência e conhecimento científico, métodos científicos, teoria, hipóteses e variáveis**. 5. ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 2007. 312 p.

LIBERATI, Alessandro; et al. **The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration.** PLoS medicine, vol. 6, nº 7, 2009, e1000100.

Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1993). **Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs.** Cambridge University Press..

MALINAUSKAITE, J.; ANGUILANO, L.; RIVERA, X. Schmidt. **Circular waste management of electric vehicle batteries: Legal and technical perspectives from the EU and the UK post Brexit.** International Journal of Thermofluids, v. 10, p. 100078, 2021.

MAYYAS, Ahmad; STEWARD, Darlene; MANN, Margaret. **The case for recycling: Overview and challenges in the material supply chain for automotive li-ion batteries.** Sustainable materials and technologies, v. 19, p. e00087, 2019.

MARQUES, L. F. M. et al. **Pressão de stakeholders para adoção de práticas ambientalmente responsáveis: uma análise exploratória em empresas brasileiras.** Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 10, n. 3, p. 86-104, 2016.

MALHOTRA, Naresh K.; ROCHA, Andréia; LAUDISIO, Maria Cecília. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada.** 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MEDORA, N. K.; KUSKO, A. **An enhanced dynamic battery model of lead-acid batteries using manufacturers' data.** In: IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC), 2006, Providence, RI. Proceedings... Providence: IEEE, 2006.

MEZZARROBA, Orides; MONTEIRO, Cláudia Servilha. **Manual de Metodologia da Pesquisa no Direito.** 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2004. p. 65.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2050.** Brasília: MME/EPE, 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Empresa de Pesquisa Energética.** Plano Nacional de Energia 2050. Brasília: MME/EPE, 2020.

MOGLAD, T. A. et al. **Recycling of Lithium-Ion Batteries: Recent Advances and Challenges Ahead.** 2020.

NASCIMENTO, R. C. B. et al. **A evolução dos sistemas de energia elétrica: de centralizados à geração distribuída**. In: 8º Encontro Nacional de Energia no Meio Rural, Anais..., Curitiba, 2016.

NASCIMENTO, R. C. B. et al. **A evolução dos sistemas de energia elétrica: de centralizados à geração distribuída**. In: 8º Encontro Nacional de Energia no Meio Rural, Anais..., Curitiba, 2016.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **Electric Drive Battery Recycling and Reuse**. Golden, CO, 2013.

NEOCHARGE. **Tudo sobre bateria de veículo elétrico**. Disponível em: <http://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/bateria-veiculo-eletrico>. Acesso em: [22/11/2022].

Neumann, W.P.; Winkelhaus, S.; Grosse, E.H.; Glock, C.H. **Industry 4.0 and the Human Factor A Systems Framework and Analysis Methodology for Successful Development**. Int. J. Prod. Econ. 2020, 20, 30341–30348. Doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107992

OICA. **Sales Statistics** | OICA. [S. I.], 2017. Disponível em: <http://www.oica.net/category/sales-statistics>. Acesso em: 08 jan. 2023.

OLIVEIRA, Yasmin Emily de Souza; OLIVEIRA, Denisson Queiroz; SAAVEDRA, Osvaldo R. **A review on challenges for the dissemination of battery electric vehicles in Brazilian market**. Journal of Energy Storage, v. 45, p. 103017, 2022.

PANDEY, B.; SINGH, S.; DWIVEDI, R. P. **Recycling of Lithium Ion Batteries - A Critical Review**. 2020.

PAY, S.; BAGHZOUZ, Y. **Effectiveness of battery-supercapacitor combination in electric vehicles**. In: IEEE Power Tech Conference Proceedings, 2003, Bologna, Italy. Proceedings... Bologna: IEEE, 2003.

PEREZ, Y. et al. Dynamic Energy Systems for Urban Transportation: **The Role of Electric Vehicles and Energy Storage**. Energies, v. 11, n. 2, p. 1-24, 2018. DOI: 10.3390/en11020347.

PEREZ, Y. et al. **Dynamic Energy Systems for Urban Transportation: The Role of Electric Vehicles and Energy Storage**. Energies, v. 11, n. 2, p. 1-24, 2018.

Plano Nacional de Energia 2050. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020.

PLATAFORMA NACIONAL DE MOBILIDADE ELÉTRICA. **1º Anuário Brasileiro da Mobilidade Elétrica, 2020**. Data da publicação: 15/03/2021. Disponível em: <https://www.pnme.org.br>.

POLLET, B. G. et al. **Current Status of Hybrid, Battery and Fuel Cell Electric Vehicles: From Electrochemistry to Market Prospects**. *Journal of Electrochimica Acta*, v. 84, p. 235-249, dez. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.03.172>.

POLLET, B. G. et al. **Current Status of Hybrid, Battery and Fuel Cell Electric Vehicles: From Electrochemistry to Market Prospects**. *Journal of Electrochimica Acta*, África do Sul, Dezembro, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.03.17>.

QUINN, C.; ZIMMERLE, D.; BRADLEY, T. H. **The effect of communication architecture on the availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric vehicle-to-grid ancillary services**. *Journal of Power Sources*, v. 195, n. 5, p. 1500-1509, 2010.

RAMÓN ROMERO, Juan; et al. **Veículos elétricos e híbridos: uma perspectiva para o futuro da mobilidade**. *Revista de Engenharia de Transportes*, vol. 12, nº 1, 2009, pp. 45-58.

Reinhardt, R., Christodoulou, I., Gassó-Domingo, S., & Amante García, B. (2019). **Towards sustainable business models for electric vehicle battery second use: a critical review**. *Journal of Environmental Management*, 245, 432-446.

REINHARDT, Robert et al. **Towards Sustainable Business Models for Electric Vehicle Battery Second Use: A Critical Review**. *Journal of Environmental Management*, v. 245, p. 432-446, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.05.058.

Relatório Síntese 2021 (Ano Base 2020). **Balanço Energético Nacional**. Empresa de Pesquisa Energética(EPE). Disponível em: <https://epe.gov.br>. Acesso em: 28 nov. 2021.

REUTERS. (2021). **Volkswagen, Northvolt form battery partnership to build factory in Germany**. Reuters. Recuperado em 02 de Abril de 2023, de <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/volkswagen-northvolt-form-battery-partnership-build-factory-germany-2021-06-14>.

ROBAYO, M. et al. **A Smart Energy Management System for Battery-Supercapacitor in Electric Vehicles based on the Discrete Wavelet Transform and Deep Learning**. In: 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 2020, pp. 9-14. DOI: 10.1109/ISIE45063.2020.9152559.

SILVA, A. P. **Panorama da mobilidade elétrica no Brasil**. *Revista de Tecnologia Aplicada*, v. 7, n. 2, p. 12-23, 2020.

SANTOS, J. P. et al. **An Overview of Dynamic Energy Systems for Urban Transportation**. *IEEE Access*, v. 8, p. 50633-50644, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2984544.

SERRAO, L.; CHEHAB, Z.; GUEZENNEC, Y.; RIZZONI, G. **An aging model of Ni-MH batteries for hybrid electric vehicles**. In: Proceedings of the 2005 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Chicago, IL, USA, 7 September 2005. p. 78-85.

SKINNER, D.; TAGG, C.; HOLLOWAY, J. **Managers and research: the pros and cons of qualitative approaches**. *Management Learning*, v. 31, n. 2, p. 163-179, 2000

SHAEFER, J. L. et al. **Management challenges and opportunities for energy cloud development and diffusion**. *Energies*, v. 13, n. 16, p. 4048, 2020.

SHAEFER, Jones Luís et al. **Permeability evaluation of Industry 4.0 technologies in cloud-based energy management systems environments-Energy Cloud**. *Production*, v. 31, 2021.

Souza, L. C. A., & Silva, R. B. (2019). **Os efeitos do Rota 2030 na indústria automobilística brasileira: uma análise sob a perspectiva da inovação**. *Revista Brasileira de Inovação*, 18(1), 109-134.

SOUZA, L. R. O. **Impactos econômicos e sociais da adoção de veículos elétricos no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

STEWART, D.; MAYYAS, A. e MANN, M., 2019, **“Economics and challenges of Li-ion battery recycling from end-of-life vehicles”**, *Procedia Manufacturing*, v. 33, pp. 272-279.

STAKE, Robert E. **A arte da pesquisa com estudos de caso**. 4ª ed. São Paulo: Penso, 2011.

STRØMMAN, A. S.; DAVIDSEN, E. H. **Electric vehicle battery recycling in the European Union**. 2019.

TESLA. (2022). **Tesla and Panasonic to Collaborate on Solar Panels**. Tesla. Recuperado em 02 de Abril de 2023, de <https://www.tesla.com/blog/tesla-and-panasonic-collaborate-solar-panels>.

TechRepublic. (2021). Battery recycling: A guide to disposing of EV batteries. Disponível em: <https://www.techrepublic.com/article/battery-recycling-a-guide-to-disposing-of-ev-batteries>.

THE EXPLORER. **Building a circular battery economy in Norway**. Disponível em: <https://www.theexplorer.no/stories/energy/building-a-circular-battery-economy-in-norway>. Acesso em: 02 abr. 2023.

TRAN, M.-K. et al. **A Review of Range Extenders in Battery Electric Vehicles: Current Progress and Future Perspectives**. World Electric Vehicle Journal, v. 12, n. 2, p. 54, Apr. 2021. DOI: 10.3390/wevj12020054.

TRAN, M.-K. et al. **A Review of Range Extenders in Battery Electric Vehicles: Current Progress and Future Perspectives**. World Electric Vehicle Journal, v. 12, n. 2, p. 54, Apr. 2021. DOI: 10.3390/wevj12020054.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Explaining electric, plug-in hybrid electric vehicles**. Disponível em: <https://www.epa.gov/greenvehicles/explaining-electric-plug-hybrid-electric-vehicles>. Acesso em: [21/10/2022].

UNITED NATIONS. **Sustainable Development Goals**. United Nations, 2020.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Explaining Electric Plug-In Hybrid Electric Vehicles**. Disponível em: <https://www.epa.gov/greenvehicles/explaining-electric-plug-hybrid-electric-vehicles>. Acesso em: 02 abr. 2023.

VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade ambiental**. ISO 14000. 5. ed. São Paulo: Editora Senac, 2004.

VELOSO, L. A. F. et al. **Baterias de íons de lítio: reciclagem e perspectivas de reutilização no Brasil**. Revista Virtual de Química, v. 12, n. 4, p. 1344-1364, 2020.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 14. ed. São Paulo: Atlas, 2013. 94 p.

WANG, S.; ZHANG, Q.; SUN, Y.; WANG, L. **Intelligent energy management of electric vehicles based on cloud computing and internet of things**. IEEE Access, v. 8, p. 23814-23826, 2020.

WEBSTER, Alice. **Design sustentável: integrando o destino dos materiais no processo de design de produtos e sistemas**. Revista de Design Sustentável, vol. 7, nº 2, 2015, pp. 123-136.

YANG, X. et al. **Overview of recycling technologies for end-of-life lithium-ion batteries**. Journal of Cleaner Production, v. 313, p. 127987, 2021.

ZAMBONI, R. et al. **Políticas Públicas e Inovações Regulatórias para Mobilidade Elétrica e a Eletrificação de Frotas Comerciais**. GESEL, Rio de Janeiro, UFRJ, 2021.

ZHANG, X.; WANG, L.; LIN, Y.; XU, Y. **A review of battery management systems for electric vehicles based on Internet of Things**. Journal of Cleaner Production, v. 268, p. 122227, 2020.

ZIVANCEV, M.; UBAVIN, D.; MARINKOVIC, T.; BEZANOVIC, V. e MILOVANOVIC, D., **“Possibilities for implementation of circular economy for lithiumion batteries in Serbia”**. 1st International Conference “The Holistic Approach to Environment”, Sisak, Croácia, 13-14 setembro 2018.