

UFRRJ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E ESTRATÉGIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E ESTRATÉGIA - MPGE

DISSERTAÇÃO

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE LOGÍSTICA REVERSA
DE BATERIA PÓS-CONSUMO DE VEÍCULOS LEVES ELÉTRICOS NA
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

CAROLINE KILL DA CRUZ



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E ESTRATÉGIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E ESTRATÉGIA**

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE LOGÍSTICA REVERSA
DE BATERIA PÓS-CONSUMO DE VEÍCULOS LEVES ELÉTRICOS NA
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

CAROLINE KILL DA CRUZ

Sob a Orientação da Professora

Dra. Roberta Dalvo Pereira da Conceição

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Curso de Mestrado Profissional em Gestão e Estratégia do Programa de Pós-Graduação em Gestão e Estratégia da UFRRJ.

**Seropédica, RJ
Brasil 2025**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C955p Cruz, Caroline Kill da, 1995-
PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE LOGÍSTICA
REVERSA DE BATERIA PÓS-CONSUMO DE VEÍCULOS LEVES
ELÉTRICOS NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA / Caroline Kill da
Cruz. - Rio de Janeiro, 2025.
138 f.: il.

Orientadora: Roberta Dalvo Pereira da Conceição.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, MPGE, 2025.

1. Logística Reversa. 2. Veículos. 3. baterias . 4.
Triple Bottom Line. 5. eletroeletrônicos. I. Conceição,
Roberta Dalvo Pereira da , 1978-, orient. II
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. MPGE
III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E ESTRATÉGIA

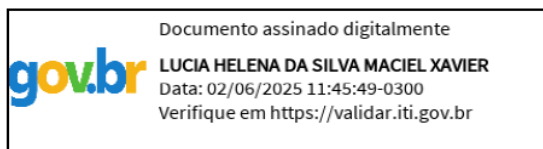
CAROLINE KILL DA CRUZ

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre(a), no Programa de PósGraduação em Gestão e Estratégia, Área de Concentração em Gestão e Estratégia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 23/05/2025.

Prof(a). Dr(a). Roberta Dalvo Pereira da Conceição
Presidente da Banca/Orientador(a)
Membro Interno
UFRRJ

Prof(a). Dr(a). Alessandra Cassol
Membro Interno
UFRRJ



Prof(a). Dr(a). Lúcia Helena da Silva Maciel Xavier
Membro Externo
CETEM



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
SISTEMA INTEGRADO DE PATRIMÔNIO, ADMINISTRAÇÃO E
CONTRA

FOLHA DE ASSINATURAS

TERMO N° 402/2025 - PPGE (12.28.01.00.00.00.05)

(N° do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 03/06/2025 11:12)

ALESSANDRA CASSOL

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DeptCA (12.28.01.00.00.00.07)

###127#3

(Assinado digitalmente em 02/06/2025 15:06)

ROBERTA DALVO PEREIRA DA CONCEIÇÃO

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.487-## Matrícula:

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/documentos/> informando seu número: **402**, ano: **2025**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **02/06/2025** e o código de verificação: **45f63d6589**

Agradecimentos

Expresso minha profunda gratidão a Deus em primeiro lugar, por me proporcionar a oportunidade de realizar este trabalho acadêmico. Também gostaria de estender meus agradecimentos aos meus familiares - minha mãe, irmãos e namorado - pelo apoio constante, incentivo e compreensão ao longo desta jornada. Suas palavras de encorajamento e apoio foram uma fonte de força e inspiração, e sou profundamente grata por tê-los ao meu lado durante este período desafiador.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão pela orientação da Professora Dr. Roberta Dalvo durante todo o processo de elaboração da dissertação. Sua orientação cuidadosa e suas sugestões valiosas foram fundamentais para validar várias etapas do trabalho. Sua dedicação e comprometimento foram inestimáveis, e estou imensamente grata por sua orientação.

Além disso, gostaria de agradecer aos demais professores que contribuíram com suas ideias e insights para melhorar os resultados obtidos nesta dissertação. Suas perspectivas enriqueceram significativamente o trabalho, fornecendo uma visão abrangente e ajudando a refinar os aspectos-chave do meu estudo. Agradeço sinceramente por sua colaboração e apoio ao longo deste processo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A Logística Reversa vem sendo pesquisada como alternativa para reduzir o impacto ambiental causado pela cultura consumista da população. Com o intuito de melhorar o cenário ambiental, este trabalho apresenta por objetivo propor a implantação de um sistema de logística reversa de bateria pós-consumo de veículos leves elétricos na indústria automotiva, visando o desenvolvimento da empresa com viés sustentável. Pensar em fluxos sustentáveis para as baterias de lítio é uma preocupação que vai de encontro com a necessidade das organizações de práticas de processos sustentáveis, visto que veículos elétricos têm se tornado cada vez mais comuns no cotidiano do brasileiro; além da necessidade de estarem dentro da lei.

Como procedimentos metodológicos, utilizou-se uma pesquisa qualitativa por meio de pesquisas aplicadas nas bases científicas sobre o levantamento das práticas de logística reversa no mercado automotivo no Brasil e no exterior. Além de identificar regulamentações e barreiras para implementação da logística reversa no mercado automotivo no Brasil. Para a coleta de dados, foram utilizados a pesquisa documental na empresa estudada e uma pesquisa de campo na modalidade de entrevista semiestruturada que foi utilizada para entrevistar o pessoal responsável pelo projeto. Para análise dos dados foi utilizada a técnica de análise de conteúdo de Bardin. A pesquisa identificou a falta de triagem, padronização e regulamentação específicas, além da necessidade de articulação entre os diversos atores da cadeia produtiva. Como solução, propõe-se a criação de um Centro Nacional de Remanufatura, com análise técnica, classificação de baterias e rastreabilidade, incorporando boas práticas como o passaporte digital de produtos. O modelo é classificado como produto técnico-tecnológico de alta complexidade e relevante impacto ambiental, econômico e social.

Palavras-chave: Veículos elétricos, Baterias de Lítio, Resíduos eletroeletrônicos, e logística reversa de baterias eletroeletrônicos.

ABSTRACT

Reverse Logistics has been studied as an alternative to reduce the environmental impact caused by the consumerist culture of the population. In order to improve the environmental scenario, this work aims to propose the implementation of a reverse logistics system for post-consumer lithium batteries from light electric vehicles within the automotive industry, seeking the sustainable development of the company. Designing sustainable flows for lithium batteries aligns with the growing need for organizations to adopt sustainable process practices, especially as electric vehicles are becoming increasingly common in the daily lives of Brazilians, in addition to the need for compliance with legal regulations.

As methodological procedures, a qualitative research approach was adopted, through applied research using scientific databases to survey reverse logistics practices in the automotive market both in Brazil and abroad. The study also aimed to identify regulations and barriers related to the implementation of reverse logistics in the Brazilian automotive sector. For data collection, documentary research within the studied company was carried out, along with field research using semi-structured interviews with the personnel responsible for the project. Data analysis was conducted using Bardin's content analysis technique.

The research identified the lack of sorting processes, standardization, and specific regulations, in addition to the need for coordination among the various actors in the production chain. As a solution, the creation of a National Remanufacturing Center is proposed, including technical assessment, battery classification, and traceability, incorporating best practices such as a digital product passport. The proposed model is classified as a high-complexity technical-technological product with significant environmental, economic, and social impacts.

Keywords: Electric vehicles; Lithium batteries; Electronic waste; Reverse logistics of electronic batteries.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comparativo dos emplacements de veículos eletrificados por tecnologia 1º Trimestre/24 X 1º Trimestre/23.....	23
Figura 2. Os três estágios da produção da bateria do veículo elétrico	36
Figura 3. Composição de material de Bateria de Lítio	37
Figura 4. A estrutura de uma célula de bateria de íon de lítio	38
Figura 5. Resposta dos convidados para a etapa de entrevista	55
Figura 6. Perfil dos entrevistados	57
Figura 7. Esquematização da proposta de logística reversa para baterias de veículos elétricos no Brasil	73
Figura 8. Modelo atual vs Modelo Proposto	69
Figura 9. Imagem do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para os entrevistados	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Resumo das informações sobre os sistemas de logística reversa implantados	31
Quadro 2. Geração, armazenamento e destinação e resíduos sólidos perigosos por ano	33
Quadro 3. Classificação dos entrevistados.....	55
Quadro 4. Categorização temática segundo Bardin (2016).....	58
Quadro 5. Roteiro de Entrevista Semiestruturada e sua relação com os objetivos específicos e o referencial teórico	123
Quadro 6. Questões adicionais emergentes durante as entrevistas	127
Quadro 7. Panorama geral das entrevistas	131
Quadro 8. Contribuições dos entrevistados a partir das perguntas complementares	135

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
REEE	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
SINIR	Sistema Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos
USITC	United States International Trade Commission
ABVE	Associação Brasileira De Veículo Elétrico
VE /EV	Veículo Elétrico
GEEs	Gases de Efeito Estufa
CNT	Confederação Nacional do Transporte
IEA	Agência Internacional de Energia
PHEV	Veículo elétricos híbridos Plug-in
HEV	Veículos elétricos híbridos
MHEV	Veículos elétricos híbridos leves
BEV	Veículos elétricos a bateria
XXX	Nome fictício para a empresa automotiva estudada
ZZZ	Nome fictício para a Empresa parceira de reciclagem
YYY	Nome fictício da empresa automotiva líder no mercado de vendas de veículos BEV no Brasil
RRR	Nome fictício para o fornecedor de bateria e representante das baterias BEV inteiras fornecidas para a XXX

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	APRESENTAÇÃO DO TEMA.....	14
1.2	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.2.1	Objetivo principal	19
1.2.2	Objetivos intermediários	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1	TECNOLOGIA EM VEÍCULOS LEVES ELÉTRICOS COM SEU IMPACTO MINIMIZADOR DE POLUENTES AO MEIO AMBIENTE	21
2.2	GERAÇÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS (REEE).....	26
2.3	LOGÍSTICA REVERSA DE ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL E EXTERIOR.....	28
2.4	COMPOSIÇÃO E RISCOS DA BATERIA DE FOSFATO DE FERRO LÍTIO	35
2.5	LOGÍSTICA REVERSA AUTOMOTIVA DA BATERIA DE FOSFATO DE FERRO LÍTIO.....	39
3	METODOLOGIA	43
3.1	APRESENTAÇÃO DO CAMPO DE PESQUISA	44
3.2	COLETA DE DADOS	45
3.3	PROCEDIMENTOS ÉTICOS OBSERVADOS AO REALIZAR A PESQUISA	47
4	ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS	49
4.1	RESULTADOS DA PESQUISA DOCUMENTAL	49
4.2	PERFIL DOS ENTREVISTADOS E JUSTIFICATIVA PARA ESCOLHA DO MÉTODO DE ANÁLISE.....	53
4.3	ANÁLISE DAS ENTREVISTAS	57
4.3.1	Práticas de logística reversa no Brasil e no exterior.....	58
4.3.2	Barreiras regulatórias e institucionais.....	60
4.3.3	Cadeia de logística direta das baterias.....	59
4.3.4	Cenário atual de logística reversa para baterias de veículos elétricos na empresa estudada.....	68

4.3.5	Proposta de logística reversa para baterias de veículos elétricos	70
5	PRODUTO TÉCNICO	79
6	CONCLUSÃO	103
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
	APÊNDICE A — Justificativa para dispensa do termo de anuência institucional.....	111
	APÊNDICE B – Termo de consentimento livre e esclarecido.....	118
	APÊNDICE C – Roteiro de Entrevista Semiestruturada	122
	APÊNDICE D – Transcrição das entrevistas	130

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

Na terceira década do século XXI é possível observar o crescente desenvolvimento da tecnologia em todos os mercados. Sendo assim, cada vez mais estudos tecnológicos e sua consequente aplicação prática com produtos inovadores tem sido ofertado no mercado para os consumidores, principalmente os produtos eletroeletrônicos. De acordo com o relatório do Centro de Tecnologia de Informação Aplicada da Escola de Administração de Empresas de São Paulo, divulgado pela Associação Brasileira Indústria Elétrica Eletrônica (ABINEE, 2023), o Brasil conta com 464 milhões de dispositivos digitais, abrangendo *smartphones*, computadores, *tablets* e *notebooks*.

Este número é significativo, especialmente se for considerado que cada dispositivo possui seu próprio ciclo de vida e se aproximam do término à medida que são substituídos por novas tecnologias. Este fato é reiterado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), cujo estudo de 2024 aponta que o Brasil tem 480 milhões de dispositivos digitais em uso, sendo 2,2 por habitante.

Diversos estudos têm abordado a relação entre obsolescência programada, consumismo e impactos ambientais, corroborando a visão de Cortella (2016). Por exemplo, Nascimento (2023) destaca que a rápida substituição de produtos tecnológicos, impulsionada por inovações constantes, motiva um consumo crescente que, embora beneficie o mercado e o desenvolvimento científico, prejudica o meio ambiente devido ao descarte inadequado de resíduos eletroeletrônicos. Além disso, a obsolescência programada é apontada como uma prática comercial antiética que engana consumidores e contribui para a degradação ambiental.

Outro estudo, conduzido por Souza e Medeiros (2024), revelou que a maioria dos moradores de Alto do Rodrigues/RN desconhece o conceito de obsolescência programada, embora reconheça os problemas decorrentes do descarte incorreto de resíduo eletrônico. A pesquisa sugere a implementação de iniciativas de educação ambiental para conscientizar a população sobre os riscos associados ao consumo excessivo e ao descarte inadequado de equipamentos eletroeletrônicos.

Essas análises recentes reforçam a crítica à cultura capitalista de consumo desenfreado, que valoriza a substituição constante de produtos em detrimento da reutilização e reparo, resultando em sérios impactos ambientais, como o aumento do resíduo eletrônico e a exploração intensiva de recursos naturais.

Com esse crescimento, é importante levar em consideração os impactos ambientais e sociais, uma vez que o resíduo eletrônico possui materiais potencialmente tóxicos para o meio ambiente e para a população. Somado a isso, o descarte destes materiais comumente é feito de forma inadequada (Santos; Deconte, 2022).

Compostos químicos como, por exemplo, cobre, zinco e chumbo, são amplamente encontrados em resíduos de equipamentos eletrônicos (REEE) (eCycle, 2023). Alguns estudos, como o de Lebbie *et al.* (2021) e Moi *et al.* (2014), apresentam alguns efeitos que o contato com estes compostos causam na saúde: Lebbie *et al.* (2021) apresenta esses efeitos na população africana e seu estudo mostra que em caso de contato do chumbo com crianças podem resultar em redução no coeficiente de inteligência (QI). Além de outras anormalidades no comportamento e aumento de frustrações, mesmo em um nível de exposição relativamente baixo. Já em casos de altas exposições, pode causar anemia, coma e até mesmo a morte. Em caso de contato ou inalação do Mercúrio, indivíduos sensíveis podem apresentar sintomas de falha renal e impacto no sistema nervoso central. O estudo de Moi *et al.* (2014) complementa que Zinco e o Cloreto de amônia podem propagar a contaminação por inalação causando asfixia, vômitos e problemas pulmonares, quando acumulados no organismo.

Uma forma de atenuar estes riscos seria a logística reversa (LR) tem sido fundamental na redução de REEE e pode ser aplicada em todos os segmentos industriais. A LR é o instrumento no qual ocorre a promoção do reuso dos recursos, abrangendo muitos setores e aspectos. Desde a devolução de produtos pessoais até o descarte de resíduos urbanos, entretanto, este termo só passou a ser reconhecido no final do século XX (Zhang *et al.*, 2022).

Ainda segundo Zhang *et al.*, (2022), este identificou e analisou sistematicamente 125 artigos sobre o design e a otimização de uma rede de LR de remanufatura (RRLO) para proporcionar uma compreensão clara do status da pesquisa nessa área e definir a direção para futuras investigações: o artigo concluiu que aspectos como o

comportamento do consumidor, a medição de desempenho, a pegada de carbono, as regulamentações governamentais e a LR receberam pouca atenção no passado, o que pode representar oportunidades de pesquisa futura atrelado com objetivos mais ecológicos, sustentáveis e ambientais.

A LR busca gerenciar de forma eficaz e eficiente os fluxos de materiais, informações e capital para recuperação máxima de valor de produtos. A remanufatura, por exemplo, é uma alternativa importante de recuperação de valor em um sistema de LR (Yu, 2022). Modelos de rede de remanufatura foram criados para uma variedade de produtos, proporcionando soluções para diferentes questões estratégicas, além de aprimorar todos os três pilares do desenvolvimento sustentável, pilar social, ambiental e econômico. Sendo assim, é necessária a conscientização de toda a sociedade na correta destinação dos resíduos sólidos e eletroeletrônicos para colaboração do meio ambiente (Yu, 2022; Zhang et al, 2022).

Ademais, a remanufatura exerce um papel significativo nas ações de sustentabilidade das empresas e indústrias fabricantes, uma vez que se apresenta como uma solução eficiente para mitigar os impactos gerados pelos próprios resíduos provenientes de seus processos produtivos. Essas indústrias estão ancoradas por legislações de produtos duráveis e normas ambientais, precisam cumprir seu papel de responsabilidade ambiental e social perante a sociedade (Huang *et al.*, 2024). No estudo de 2021, Hong e Huang relatam que a manutenção dos produtos e resíduos em reciclar recursos e/ou reutilizar peças, são questões de proteção ambiental, o que é enfatizado pelo governo e pelo poder público. Essa aplicação responsável da LR na indústria é realizada por meio de programas de *take back* de seus produtos após o fim de vida como afirmado por Leite (2019). Adicionalmente, a remanufatura pode ajudar a atingir uma redução de cerca de 50% do custo do produto ao passo em que potencializa os lucros, especialmente devido à sua relação com a diminuição das emissões de CO₂ (Yu, 2022; Fan, 2023).

Nesse contexto, o setor industrial automotivo também é altamente impactado com a necessidade de planejamento e lançamento de novos produtos concorrentes com o mercado, implicando na substituição de processos e produtos por alternativas mais avançadas tecnologicamente. Embora o primeiro veículo elétrico (VE) tenha sido criado há mais de 130 anos, em 1888, por Flocken Elektrowagen na Alemanha, conforme a IBERDROLA (2024), somente agora eles começam a ganhar relevância

na mobilidade urbana, devido aos seus benefícios sustentáveis e ecológicos. Com o crescimento da adoção desses veículos, aumenta também a demanda por baterias elétricas, e a LR desempenha um papel fundamental no retorno dessas baterias (Lemos, 2024). No entanto, a gestão dos resíduos das baterias de íons de lítio (LIB), utilizadas em VE, ainda é uma área carente de pesquisa. À medida que o consumo de VE se expande, essa questão se torna cada vez mais urgente, demandando uma análise aprofundada e soluções adequadas para garantir a sustentabilidade no ciclo de vida dessas baterias (Domingues, 2021; Domingues et al. 2024).

1.2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

A indústria automotiva tem se transformado significativamente em resposta ao crescente avanço da tecnologia e, assim, passou a buscar soluções sustentáveis para reduzir as emissões de gases poluentes. A descarbonização da economia é uma meta central, e, segundo a *International Energy Agency* (IEA, 2023), um dos principais objetivos é alcançar o Cenário de Emissões Zero de CO₂ até 2050, com uma redução de 75% nas emissões de metano provenientes de combustíveis fósseis até 2030.

Com o intuito sustentável de minimizar a zero os gases poluentes provenientes de veículos a base de combustível fóssil como a gasolina, as montadoras de veículos têm se adaptado tecnicamente a esse cenário e têm trazido uma variedade de veículos ao mercado, essa é uma movimentação da eletromobilidade como uma das rotas tecnológicas da descarbonização da economia (Associação Brasileira De Veículo Elétrico, ABVE, 2024). Diante deste cenário, pode ser observado o início desse desenvolvimento com o lançamento de VE a base bateria, porém ainda é necessária uma aceleração dessa indústria e o alcance do transporte de longa distância (Castro, 2022).

Apesar de o Brasil apresentar uma matriz energética relativamente mais limpa que a média global, o setor de transportes ainda representa o principal responsável pelas emissões de carbono no país. Enquanto, no cenário mundial, cerca de 95% da energia utilizada nos transportes é derivada de fontes fósseis, no Brasil esse índice é reduzido para 33%, graças à presença de biocombustíveis e eletricidade renovável. Ainda assim, o segmento de transportes lidera as emissões nacionais, lançando aproximadamente 217 milhões de toneladas de CO₂ equivalente em 2023, o que

representa mais da metade das emissões ligadas à matriz energética brasileira, estimadas em 428 milhões de toneladas no mesmo ano. Esse panorama evidencia a necessidade de medidas estruturantes e eficazes para descarbonizar a mobilidade, como a ampliação do uso de veículos elétricos e a consolidação de políticas que viabilizem sua adoção em larga escala, incluindo a LR adequada para seus componentes, especialmente as baterias de alta voltagem (Pedrozo, 2024).

A eletromobilidade, representada pelo uso VE, surge como uma das alternativas para mitigar os impactos ambientais, substituindo os motores movidos a combustíveis fósseis por soluções mais limpas e eficientes (Castro, 2022). Essa abordagem representa uma alternativa sustentável aos motores convencionais, impulsionada pela busca por soluções energéticas mais limpas. Sendo assim, essa transição não apenas ajuda a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), mas também marca o início de uma nova era de eficiência energética e inovação tecnológica (Mercosul Motores, 2023).

É importante destacar que essa transformação no cenário automotivo, se restringe apenas a veículos leves de passeio, mas também envolve veículos extrapesados, como caminhões, que emitem ainda mais CO₂ do que veículos leves, isso porque o diesel emite mais CO₂ do que gasolina comum ou etanol (ANTT, 2011). Além disso, a Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2022), aponta que os caminhões são a principal frota de transporte logístico brasileiro e destaca um aumento da frota em 58% em relação ao ano de 2021, enquanto houve uma queda de produção de locomotivas em 4,7% em comparação com o mesmo ano.

Diante dessa movimentação da eletromobilidade de modo geral, seja ela em veículos leves ou extrapesados, é requerido atenção aos seus desafios para consolidação de mercado. É importante que o governo continue dando sinalizações corretas para que o aprofundamento da eletromobilidade aconteça, resultando no desenvolvimento de uma ampla cadeia produtiva e industrial associada ao transporte elétrico no Brasil (ABVE, 2024).

Também é importante destacar o crescimento exponencial dos emplacamentos de veículos elétricos. Em março de 2024, houve 13.613 emplacamentos de VE, o que representa um crescimento de 127% sobre março de 2023. O consumidor brasileiro tendencia dar preferência aos produtos mais modernos e sustentáveis, conforme afirma o presidente da ABVE, Ricardo Bastos (ABVE, 2024). Somado a isso, as

vendas de VE cresceram 55% em 2022, chegando ao recorde maior de 10 milhões de veículos. Deste modo, a manufatura de capacidade de VE a base de baterias pela primeira vez é suficiente para preencher o esperado dos requerimentos do Cenário de Emissões de 2030 (IEA, 2023).

Apesar dos avanços, um dos principais desafios ainda pouco explorados globalmente é o fluxo de retorno de todas essas baterias pós-consumo. Em 2023, estimava-se que os componentes desses veículos em circulação no país somavam aproximadamente 34 mil toneladas, volume que tende a crescer exponencialmente com a expansão da adoção dos VE. Isso gera a necessidade urgente de se implementar um sistema eficaz de LR para o retorno e reaproveitamento dessas baterias pós-consumo (Machado, 2023).

Fiorillo (2022) relata como a principal contribuição de seu estudo, que há a necessidade da indústria automotiva em obedecer ao balizamento normativo estabelecido pelo direito ambiental constitucional, para que se obtenha uma fabricação satisfatória e lícita de veículos elétricos. Portanto, pode-se enxergar a LR de baterias como um dos maiores desafios enfrentados hoje nas indústrias automotivas e montadoras.

A fim de reduzir a quantidade de resíduo eletrônico no meio ambiente, é necessário o desenho de um fluxo de retorno bem consolidado levando em consideração todos os aspectos técnicos, assim como é a proposta do presente estudo. Se nenhuma ação for tomada até 2030, o país pode enfrentar o desafio de lidar com toneladas de baterias de VE como resíduos. O que apresenta um potencial risco ambiental, devido à presença de substâncias tóxicas e aumentando as chances de explosões e incêndios, segundo Machado, 2023.

Em suma, a tecnologia junto ao conceito de logística reversa colabora com a pergunta de pesquisa desse estudo, que é: Como implantar processos de logística reversa de bateria de alta voltagem pós-consumo de veículos elétricos na indústria automotiva?

1.2.1 Objetivo principal

Propor processos de logística reversa de bateria de veículos leves elétricos pós-consumo na indústria automotiva.

1.2.2 Objetivos intermediários

- a. Levantar as práticas de logística reversa de bateria pós-consumo de veículos elétricos, no mercado automotivo no Brasil e no exterior (pesquisa bibliográfica nas bases científicas);
- b. Identificar as regulamentações e barreiras para implementação da logística reversa de bateria de alta voltagem pós-consumo de veículos no mercado automotivo no Brasil (pesquisa bibliográfica nas bases científicas);
- c. Mapear a cadeia da logística direta das baterias de lítio de alta voltagem utilizadas na montagem dos veículos elétricos na empresa estudada;
- d. Propor processos de logística reversa de bateria de alta voltagem de veículos leves elétricos pós-consumo na empresa estudada;
- e. Apresentar um relatório técnico conclusivo que auxilie na implementação do processo de logística reserva das baterias de lítio.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TECNOLOGIA EM VEÍCULOS LEVES ELÉTRICOS COM SEU IMPACTO MINIMIZADOR DE POLUENTES AO MEIO AMBIENTE

Pode-se notar a evolução tecnológica não apenas em dispositivos digitais, mas também no setor industrial automotivo, que demanda lançamento de novos produtos periodicamente para que sejam competitivos no mercado. Esse cenário resulta na substituição de processos e produtos por alternativas tecnologicamente mais avançadas (Ferreira, 2022). No dia a dia da indústria automotiva, durante o desenvolvimento e lançamento de novos produtos, é comum a substituição de diversas peças para atender às novas exigências regulamentares e inovações do setor (Lima; Assis, 2024).

Essas substituições industriais ocorrem por alguns motivos, um deles é devido à obsolescência das peças fabricadas pelos fornecedores, que também estão se adaptando, gerando a necessidade da indústria automobilística em se adequar a essa nova peça e/ou tendência, e traçar todo um planejamento de ciclo de vida, testes funcionais para garantir a qualidade de seu funcionamento no veículo completo, ou até mesmo um *re-design* do layout da linha de produção, se necessário for. (Shen; P. Willem, 2012).

Outro motivo de substituição de peças, é devido as incompatibilidades em um projeto específico em sua fase de planejamento do projeto, isto é, antes da vida série do produto, onde é testado e feito adequações técnicas das peças e o amadurecimento da ferramentaria do processo de fabricação do fornecedor. Na gestão das indústrias de alta tecnologia, é comum que os produtos se tornem rapidamente obsoletos, com fornecimento de peças sobressalentes, o que torna a disponibilidade de peças de reposição inadequada devido à natureza em constante evolução das estruturas dos produtos (Güçdemir; TaşOğul, 2023).

Essas substituições e novos desenvolvimentos também ocorrem com a entrada dos VE no mercado atrelado a novas tecnologias, e a uma crescente procura no assunto, de forma que os VE têm se tornando uma alternativa viável para a transição energética (Lemos, 2024), apesar de Bansal, Pinto e Goyal (2021) informarem que esse assunto nos anos de 1900 não se costumava ter a atenção de pesquisadores.

Neste mesmo estudo, os autores ainda sugerem que essa procura tem possibilidade de ter tido um crescente interesse por pesquisadores e organizações no tema de VE, pois concomitantemente na mesma linha temporal teve-se uma crescente atenção da população às mudanças climáticas do uso de combustíveis fósseis que a população tem enfrentado.

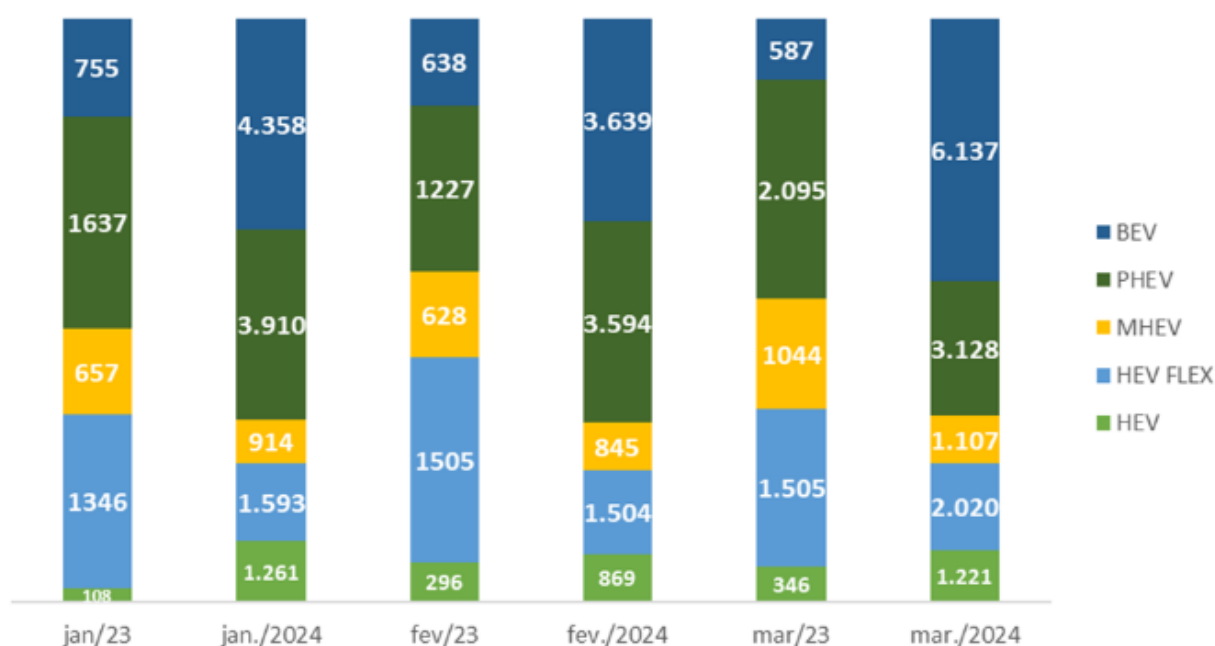
Os VE contribuem para a diminuição da poluição do meio ambiente, uma vez que reduz as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, estão alinhados com os desafios impostos pelo Acordo Setorial para a Logística Reversa de Eletroeletrônicos, sendo essencial o cumprimento das metas estabelecidas pelo decreto 14.240/2020, anunciado pelo governo federal. De acordo com a ABINEE (2023), esse compromisso também se relaciona com a meta global de redução das emissões de GEE e a transição para fontes de energias mais limpas, uma vez que o petróleo é uma fonte limitada e o aquecimento global continua a se intensificar. Segundo o Acordo de Paris, aprovado por 95 países, as emissões precisam ser reduzidas em 45% até 2030 e atingir 0% até 2050 (United Nations, 2023).

Conforme previamente mencionado, houve um aumento bastante significativo no número de emplacamento de VE. Contudo, é importante destacar os diferentes tipos de VE, de acordo com as suas tecnologias: Os *Hybrid Electric Vehicles* (HEV) combinam um motor de combustão interna a um motor elétrico, porém sua bateria é recarregada principalmente pela energia cinética gerada durante a desaceleração, não podendo ser recarregada externamente. Esta Categoria pode ser, ainda, subdivida de acordo com o grau de hibridização. Os *Plug-in Hybrid Electric Vehicles* (PHEV), que em português significam veículos elétricos híbridos Plug-in, também combinam um motor de combustão interna com um motor elétrico e uma bateria recarregável externamente. É um desenvolvimento adicional do HEV, pois aumenta a capacidade da bateria e pode ser carregado fora do veículo. Os *MildHybrid Electric Vehicles* (MHEV), por sua vez, são Veículos Híbridos Leves que apresentam uma bateria elétrica menor para suportar o motor de combustão interna e não podem operar apenas com energia elétrica (Chan; Bouscayrol; Chen, 2010; Cabezuelo et al, 2017; Setiawan, 2019; ABVE, 2024).

Já os *Battery Electric Vehicles* (BEV) são os veículos 100% elétricos, esses veículos são impulsionados exclusivamente por motores elétricos alimentados por baterias recarregáveis de grande capacidade (se comparados com HEV e PHEV), não

contendo um motor de combustão interna e, portanto, não produzindo emissões de escapamento. Os BEV são carregados através de uma fonte externa de eletricidade, como uma tomada elétrica ou uma estação de carregamento. Esse tipo de veículo geralmente tem uma autonomia que varia de acordo com o tamanho da bateria e a eficiência do veículo. A quilometragem em modo elétrico no BEV é geralmente muito maior do que no PHEV e, portanto, eles são uma opção cada vez mais popular devido aos benefícios ambientais e econômicos associados à sua utilização (Cabezuelo et al, 2017; Setiawan, 2019; ABVE, 2024). Na figura 1 pode-se ver uma análise de emplacamentos de veículos eletrificados, de acordo com os diferentes tipos de tecnologias.

Figura 1. Comparativo dos emplacamentos de veículos eletrificados por tecnologia 1º Trimestre/24 X 1º Trimestre/23



Fonte: Associação Brasileira de Veículo Elétrico, ABVE (2024).

Pode-se perceber o crescimento exponencial de emplacamentos de veículos leves elétricos entre os anos de 2023 e 2024, mostrando a tendência e aceitação da mobilidade elétrica no Brasil, com o aumento na aquisição de veículos eletrificados de modo geral, porém disparado em maior quantidade de aquisição, a dos veículos BEV, que são os 100% elétricos. Entretanto, embora os emplacamentos de veículos leves elétricos no Brasil estejam aumentando, eles ainda não dominam o mercado

automotivo. Enquanto a eletrificação não se torna predominante, a ANFAVEA (2023) recomenda o uso do etanol como a alternativa mais rápida e acessível para a descarbonização da mobilidade no país.

A IEA (2023) destaca que a velocidade dessa transição energética é mais forte em alguns países do que em outros. Em 2022, 95% da venda de carros elétricos ocorreram na China, Estados Unidos e Europa. Além disso, 75% da capacidade da captura de carbono estava concentrada na Europa e na América do Norte. Para que essa evolução da eletromobilidade aconteça em todos os países na mesma velocidade é enfatizada a necessidade de uma cooperação mais forte internacionalmente e de políticas robustas de desenvolvimento (IEA, 2023).

Os Países Baixos, líderes em importações, anunciaram a proibição de todas as vendas de veículos com motores de combustão interna até 2030. Essa medida faz parte da estratégia do governo para desencorajar o uso de veículos tradicionais, ao mesmo tempo em que incentiva a aquisição de veículos leves elétricos. Como parte dessa estratégia, o governo aumentou os impostos sobre a gasolina, ao passo que concedeu isenções fiscais para a compra de VE. A Bélgica também segue a mesma conduta de incentivos de compra de VE e isenções fiscais. Além disso, várias empresas europeias têm investido na expansão de estações de carregamento de VE (United States International Trade Commission - USITC, 2021).

Desde 2009, o governo chinês tem incentivado significativamente a eletromobilidade. Nesse ano, foi estabelecido o "Programa Milhares de Veículos, Dezenas de Cidades" (TVTC) para a demonstração de HEV e BEV em frotas de veículos de serviço público, abrangendo ônibus e táxis (Elwert; Hua; Schneider, 2019).

Vale mencionar que além desse interesse social e sustentável serem razões para uma maior procura do assunto de VE, há também a razão do surgimento de inovações tecnológicas estar atrelada a esse aumento (Bansal, Pinto; Goyal; 2021; ABVE, 2024). Somado a isso, o aprimoramento tecnológico levou ao desenvolvimento das LIB, que têm uma maior durabilidade e alcance em quilometragem, e consequentemente ser a razão do impulsionamento dos VE de longa viagem (Bansal, Pinto; Goyal; 2021; ABVE, 2024).

Além disso, é importante considerar que, ao abordar o cenário dos VE, é necessário atentar para a gestão responsável dos REEE gerados por essas

tecnologias inovadoras. O aumento da demanda no uso de LIB, embora contribua para o avanço sustentável dos VE, também traz desafios relacionados à reciclagem e descarte adequado desses componentes, destacando a importância de abordar a cadeia produtiva e de consumo desse setor em constante evolução (Domingues et al., 2024).

A falta de incentivos governamentais é uma barreira para a implementação de automóveis elétricos no Brasil (Sinigaglia, 2023). A infraestrutura precisa ser construída pelo governo, incluindo a integração de novos conhecimentos, formação de mercados locais, estímulo à experimentação empresarial, além de processos estruturais e políticas públicas bem coordenadas (Foresta, 2021).

No estudo de Foresta (2021), foi realizada uma análise comparativa do conceito de Sistema Tecnológico de Inovação (STI) e sua relação com a implementação do automóvel elétrico. Embora as políticas possam atuar como mecanismos de indução à inovação, a análise revela uma infraestrutura institucional pouco alinhada ao STI específico para esse setor.

Diversos governos ao redor do mundo vêm adotando políticas de subsídios financeiros e incentivos fiscais com o objetivo de reduzir os custos de aquisição dos VE, facilitando seu acesso à população. Essas medidas têm se mostrado fundamentais para tornar os VE economicamente mais viáveis, contribuindo diretamente para a queda dos preços de mercado e promovendo uma adoção mais ampla e acelerada dessa tecnologia sustentável (Alfar, 2024). No entanto, a disponibilidade das estações de abastecimento para VE e seus preços, é um grande obstáculo a nível global (Sinigaglia, 2023). Essa infraestrutura em cada país é considerada pelo consumidor local, que também precisará se adequar nessa transição escolhendo ou não adotar VE ao invés de consumir combustíveis fósseis, e o governo e suas políticas fazem parte dessa gestão (Setiawan, 2019).

Essa transição para a mobilidade elétrica não envolve apenas a infraestrutura de abastecimento e as políticas governamentais, mas também traz desafios relacionados ao descarte e reciclagem dos componentes eletrônicos desses veículos. Com o aumento da demanda por baterias e outros dispositivos eletrônicos, cresce também a preocupação com a gestão dos REEE, tornando essencial a implementação de soluções sustentáveis para minimizar os impactos ambientais desse avanço tecnológico (Cabral-Neto, 2021).

2.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS (REEE)

Os REEE são oriundos da constante inovação tecnológica que tem tido um crescimento elevado nas últimas décadas, com o crescimento da modernização da tecnologia constante que gera a obsolescência dos bens e o aumento do poder de compra das pessoas. Essa obsolescência de produtos também é destacada devido a indústria já estar fabricando os materiais com o prazo de validade “programado”, diminuindo então o ciclo de vida do produto (Rossini; Napolini, 2017).

O avanço tecnológico tem influenciado globalmente a aquisição e fabricação de novos equipamentos eletroeletrônicos. Destaca-se o crescimento expressivo no Brasil de 43,5% na produção de pilhas e baterias, seguido da elevação de 4,3% nos equipamentos para distribuição e controle de energia elétrica, segundo a ABINEE, 2023. São considerados REEE como qualquer produto que utiliza energia elétrica e bateria como fonte de alimentação e já não possuem mais utilização, segundo Moraes *et al.*, 2022.

Lebbie *et al.* (2021) relata que o resíduo eletrônico é composto por plásticos, cerâmicas, metais, vidro e substâncias químicas tóxicas, como retardadores de chama orgânicos e bifenilos policlorados (PCB), além de outros materiais potencialmente perigosos. Corroborando, Lavez, Souza e Leite (2011), informa que o resíduo eletrônico, na maioria das vezes, contém diversas substâncias tóxicas que contaminam o meio ambiente, tais como mercúrio, cádmio e chumbo.

Reforçando essas informações, o estudo de Franco *et al.* (2021) destaca que os REEE contêm, além de chumbo, cádmio e mercúrio, elementos como arsênio, níquel e berílio, entre outros componentes altamente tóxicos. Essas substâncias representam sérios riscos à saúde humana, podendo afetar diversos sistemas do organismo, incluindo o respiratório, neurológico, digestório, hepático, cutâneo, hematológico, renal, cardiovascular e reprodutivo. Além disso, esses contaminantes estão associados a um maior potencial de desenvolvimento de câncer, especialmente câncer de pulmão.

Importante destacar que os minerais críticos e estratégicos, como lítio, níquel, cobre e cobalto, são essenciais para tecnologias avançadas de eletroeletrônicos, incluindo baterias de veículos elétricos, e a China possui a maior participação no processamento desses materiais que são componentes das células, isso a torna o

maior país fabricante de baterias, compondo-se em 56% das fabricantes de baterias de veículo elétrico, ela possui cerca de $\frac{3}{4}$ do lítio. (BISPO, 2023)

Reconhecendo a importância da extração e tratamento desses materiais no Brasil, o Projeto de Lei nº 2.780/2024, **ainda em tramitação**, propõe a criação da Política Nacional de Minerais Críticos e Estratégicos (PNMCE), que tem a proposta de fomentar a pesquisa, extração e transformação sustentável desses minerais, reconhecendo sua importância para a transição energética fortificação nacional e minimização da dependência externa, e principalmente garantindo o aproveitamento responsável dos recursos minerais essenciais.

O Brasil é o segundo maior gerador de REEE no continente americano e o quinto maior em escala global e destaca-se como um dos maiores geradores de resíduos eletrônicos entre os países emergentes, possivelmente por estar entre as maiores economias do mundo e com uma população de mais de 200 milhões de pessoas, refletindo diretamente no consumo de equipamentos eletrônicos (Rossini; Napolini, 2017; Moraes *et al.*, 2022).

Diante do progresso tecnológico global, do aumento na produção e consumo de dispositivos tecnológicos em escala mundial e diante do decreto acima, torna-se imprescindível desenvolver um plano para conter a variável global de gestão de REEE (UNITAR, 2024).

O MOVER, programa de mobilidade Verde e Inovação, é um incentivo fiscal que foi lançado pelo governo brasileiro em 2023, com o intuito de reduzir imposto de quem poluir menos e com isso ampliar as exigências de sustentabilidade da frota automotiva, estimulando assim a produção de novas tecnologias nas áreas de mobilidade e logística. Esse incentivo fiscal é uma das estratégias das indústrias automotivas, pois enquanto investem em descarbonização, estão tendo vantagem economia com o incentivo fiscal. É destacado que o Brasil foi o primeiro país a começar a usar o sistema do poço à roda para medir as emissões de carbono, esse sistema usa a métrica passando pela colheita, pelo processamento e pelo transporte. (Moreira, 2023)

O Plano de ação Nova indústria Brasil (NIB), foi lançado pelo governo brasileiro federal em janeiro de 2024, visando reunir ações para fortalecer a indústria nacional, aumentar a competitividade e gerar empregos qualificados, alinhando-se aos

princípios de sustentabilidade e inovação. Uma de suas metas é promover infraestrutura, saneamento, moradia e mobilidade sustentáveis

Nesse contexto, a gestão eficiente dos REEE demanda não apenas políticas públicas e planos de ação globais, mas também a adoção de estratégias operacionais específicas que possibilitem o reaproveitamento e o descarte adequado desses materiais. É nesse cenário que a LR surge como um instrumento essencial, oferecendo soluções para mitigar os impactos ambientais por meio de processos estruturados de retorno e reaproveitamento de produtos ao longo da cadeia produtiva (Leite, 2003; Yu, 2022).

2.3 LOGÍSTICA REVERSA DE ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL E EXTERIOR

A gestão da cadeia logística compreende a coordenação dos fluxos de materiais, informações e recursos financeiros ao longo dos diversos elos da rede de suprimentos, com o objetivo de atender à demanda de forma eficiente, responsiva e com o melhor balanceamento entre custos e nível de serviço. No contexto de campanhas promocionais, como o estudo de caso apresentado por Barroso e Oliveira, evidenciam-se desafios logísticos corriqueiros, como a baixa previsibilidade da demanda nos pontos de venda, os elevados custos fixos de reaprovisionamento de transporte e ou distribuição. Os mesmos atores também relatam as limitações físicas de armazenagem nos pontos de consumo. Tais fatores impõem a necessidade de estratégias logísticas coordenadas que considerem as restrições operacionais e comerciais. (Barroso & Oliveira, 2006).

As baterias exigem cuidados específicos que impactam desde o design do produto até o planejamento de transporte, reabastecimento e complexidade técnica com sua movimentação, exigindo soluções logísticas adaptadas. Dessa forma, a crescente demanda por baterias, aliada aos requisitos de gerenciamento avançado, reforça a urgência de desenvolver cadeias logísticas especializadas, que contemplem não apenas a distribuição eficiente, mas também aspectos técnicos e de segurança relacionados à natureza sensível desses componentes. (ITAGI et al, 2024)

Diferentemente da logística direta, a LR abrange a reutilização, reciclagem, remanufatura, descarte de resíduos e outras operações relacionadas a diferentes produtos residuais. Isso inclui também atividades logísticas como coleta,

armazenamento e transporte, que se caracterizam por sua alta complexidade, múltiplas interconexões e incertezas (Leite, 2003; Zhang *et al*, 2022)

No contexto da LR, a reciclagem de baterias envolve a recuperação de materiais valiosos, como metais, a partir de baterias usadas, por meio de coleta, triagem e tratamento. No Brasil, diversos grupos de pesquisa vêm direcionando seus esforços para o desenvolvimento de novos processos voltados à recuperação dos materiais presentes nas baterias, e dentre os métodos investigados, o processo hidrometalúrgico tem se destacado como o mais explorado (Mengue, 2024). É reiterado essa ação minimiza o descarte de resíduos perigosos, reduz impacto ambiental e prolonga o ciclo de vida das baterias, tornando-se possível sua realocação em novas baterias e ou com outras utilidades. Deste modo, a crescente demanda por reciclagem de baterias no mundo é impulsionada pelo aumento do uso desses dispositivos em eletrônicos portáteis, ferramentas elétricas e sistemas de armazenamento de energia renovável. Além disso, a maior conscientização ambiental tem incentivado indústrias e consumidores a adotarem métodos mais eficientes e sustentáveis para o descarte e reaproveitamento desses materiais (Market Research Future, 2023).

Diversos estudos, como o de Zhang *et al.* (2022) e de Yu (2022) associam a LR à remanufatura e destacam que os principais tratamentos utilizados na LR para produtos residuais são a reciclagem e o descarte. No entanto, as empresas muitas vezes não conseguem obter lucros significativos ao implementar esses processos, por demandar muito tempo e trabalho. Para aumentar a rentabilidade e a eficiência na reutilização de recursos, a remanufatura é proposta como uma alternativa viável para o tratamento de produtos residuais (Huang *et al.*, 2024).

Pesquisas sobre a otimização de redes de LR para a reciclagem de baterias de VE é relativamente limitada e ainda está em fase exploratória. Algumas literaturas relevantes apresentam perspectivas de pesquisa relativamente simples, como a falta de consideração sobre o impacto de múltiplas tecnologias de tratamento de regeneração nos benefícios econômicos e ambientais das redes de LR (Fan *et al.*, 2023).

O aumento da aplicação da LR em diversos setores está relacionado ao aumento de lucros empresariais e industriais, aumento da redução de custos e a redução de desperdício. Além de obter uma prática do conceito de desenvolvimento

sustentável e reduzir os próprios impactos ambientais. O tema está se tornando um assunto destaque, devido à introdução de políticas de neutralidade de carbono, que tem levado os países a prestar cada vez mais atenção à proteção ambiental (Gao, 2019).

Moraes *et al.* (2022) e Machado (2023) destacam o início da base jurídica para REEE com a Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos em 1989, influenciando políticas globais, incluindo o Brasil. Sob a orientação dessa convenção, o Brasil elaborou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que incorpora a LR, conforme estipulado no artigo nº 33 da lei 12.305/2010. Os autores ressaltam a obrigação de fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes em implementar a LR para REEE, conforme estabelecido pelo decreto nº 10.240/2020. Essa responsabilidade compartilhada persiste até o produto atingir o fim de seu ciclo de vida, tornando-se obsoleto, momento em que, de acordo com a PNRS, o produto é devolvido ao fornecedor para descarte adequado, reciclagem ou transformação em matéria-prima para reintrodução. Além disso, está prevista a entrada em vigor da Lei nº 15.088/2025, que reforça e atualiza as obrigações dos atores da cadeia de logística reversa, buscando maior sustentabilidade e eficiência no gerenciamento dos resíduos sólidos.(BRASIL, 2025)

Para compreender melhor como essa política é aplicada na prática, é essencial analisar os dados sobre os sistemas de LR no país, incluindo a quantidade de resíduos coletados, os pontos de entrega voluntária (PEVs) e a abrangência populacional atendida. O Quadro 1 apresenta um panorama detalhado desse cenário, evidenciando o impacto da LR em diferentes categorias de resíduos.

Quadro 1. Resumo das informações sobre os sistemas de logística reversa implantados

Sistema	Unidade	Resultado	Quantidade de PEVs	Quantidade de municípios atendidos	População atendida	Entidade Gestora/Responsável	Quantidade de empresas associadas
Baterias chumbo Ácido	t	275.250,00	49.919	4.456	-	Iber	166
Defensivos agrícolas, seus resíduos e embalagens	t	45.563,00	411	221	-	InPEV	112
Eletroeletrônicos e seus componentes	t	332,00	228	70	5.400.000	Green Eletron	59
Embalagens de aço	t	8.000,00	94	36	45.815.161	Prolata	52
Embalagens em geral	t	281.110,00	895	277	93.000.000	Coalizão	1.647
Embalagens plásticas de Óleo lubrificante	t	5.036,00	177	4.310	172.320.643	Instituto Jogue Limpo	45
Lâmpadas fluorescentes	t	644,16	1.930	429	170.219.171	Reciclus	91
Óleo lubrificante usado ou contaminado	litros	489.419.000,00	-	4.249	-	Instituto Jogue Limpo	-
Pilhas e Baterias	t	155,49	1.648	560	41.200.000	Green Eletron	27
Pneus Inservíveis	t	419.220,21	1.149	1	142.058.285	Reciclanip	12

Fonte: Sistema Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos, SINIR (2021).

Assim como o SINIR (2021) aponta, o trabalho de Machado (2023) alerta para a ausência de regulamentação específica para LIB no Brasil, um problema crítico, já que as primeiras baterias de VE no país estão chegando ao fim de sua vida útil. Sem essa regulamentação, a reciclagem e reinserção dessas baterias na economia circular tornam-se inviáveis, aumentando os riscos ambientais e à saúde humana. A principal solução tem sido a devolução aos fabricantes ou importadores, embora sem garantia de um gerenciamento adequado. Em contraste, países europeus já adotam o "passaporte da bateria", um sistema de rastreamento que assegura a fiscalização e incentiva a reciclagem, com previsão de obrigatoriedade até 2026, servindo como modelo para futuras políticas globais.

Como exemplo desta intensão global, o governo alemão investiu 8,2 milhões de euros para desenvolver o "passaporte da bateria", um projeto liderado por um consórcio de 11 empresas que abrange toda a cadeia de valor, desde montadoras como BMW e Volkswagen até indústrias químicas como BASF e Umicore,

responsáveis pelo desenvolvimento das baterias (Guerra, 2022; Brasil, 2023). O objetivo deste acordo entre estas montadoras é rastrear a pegada de carbono e o ciclo de vida dos produtos fabricados ou importados pela União Europeia (UE). Além de estabelecer uma classificação e padrões comuns para coleta e divulgação de dados, em conformidade com o novo regulamento de baterias da UE. Outro ponto a ser ressaltado está no fato de que a partir de 2031, serão previstas cotas adicionais de reciclagem, o que implica que uma quantidade mínima de chumbo, cobalto, lítio e níquel deve ser utilizada na produção (Guerra, 2022).

Estas ações podem atenuar preocupações descritas por Santos (2012) e Franco et al. (2021), como a correta destinação dos REEE, devido a possibilidade de conter elementos de modo geral pesados, tóxicos e químicos que gerariam muitos danos ao meio ambiente e a saúde humana se fossem descartados erroneamente. Além de desafios como captação do material em volume, a falta de familiaridade com os canais institucionais e as exigências burocráticas para se operar no comércio exterior, em caso de exportações.

Uma vez que a LR de REEE no Brasil vai além da questão físico-química ou logística, esta passa pela dimensão da contribuição da mentalidade socioambiental adequada à população quanto no posicionamento ambiental de uma atividade estratégica para o Brasil, principalmente por já haver uma conscientização com incentivos governamentais globais (Moraes et al., 2022).

Desta forma, destaca-se a importância da conscientização sobre a manipulação e o descarte adequados de REEE, reduzindo a exposição do meio ambiente a substâncias tóxicas e químicas (Santos; Deconte, 2022). Nesse contexto, a implementação do protocolo de gestão de REEE surge como uma medida essencial para garantir a destinação correta desses resíduos. Em Rondonópolis, Brasil, sua introdução demonstrou que a gestão eficaz pode ser estruturada em etapas como recebimento, classificação, separação, desmontagem, avaliação gravimétrica dos componentes e destinação final. Além de contribuir para a sustentabilidade, essa abordagem minimiza os riscos ambientais e ocupacionais, reforçando a necessidade de sua ampla adoção (Ickowczy et al., 2023).

A gestão desses resíduos tem evoluído ao longo dos anos, como evidenciado pelos dados de massa por fase apresentados no Quadro 2. Observa-se uma variação significativa na quantidade de resíduos gerados, armazenados e destinados entre

2012 e 2019, refletindo os avanços e desafios da LR. O volume gerado oscilou entre cerca de 15 milhões e 39 milhões de kg anuais, com destaque para os anos de 2016 e 2013, que apresentaram os maiores números. A quantidade destinada também seguiu essa tendência, indicando esforços para garantir a recuperação e o tratamento adequado desses materiais. Contudo, o volume armazenado variou consideravelmente, evidenciando períodos de maior acúmulo antes da destinação final (SINIR, 2021).

Quadro 2. Geração, armazenamento e destinação de resíduos sólidos perigosos por ano

Ano	Massa por Fase					
	Gerado		Armazenado		Destinado	
	kg	litros	kg	litros	kg	litros
2019	28.587.012,81	13.040.261	102.962,67	35.845	28.484.050,14	13.004.416
2018	16.325.284,12	1.413.109	370.904,33	16.798	15.954.379,79	1.396.311
2017	26.377.416,01	3.148.496	2.271.241,78	187.438	24.106.174,23	2.961.059
2016	39.485.534,94	1.482.546	256.334,30	57.110	39.229.200,64	1.425.436
2015	23.140.324,35	1.133.670	83.045,60	10.150	23.057.278,75	1.123.520
2014	15.773.273,18	21.916.601	554.702,75	25.443	15.218.570,43	21.891.158
2013	39.241.731,16	4.289.303	200.936,00	4.200	39.040.795,16	4.285.103
2012	19.152.899,57	99.001	-	-	19.152.899,57	99.001

■ Fonte: CTF-APP, RAPP

Fonte: Sistema Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos, SINIR (2021).

Além dos benefícios ambientais, a LR dos REEE apresenta um impacto socioeconômico significativo. A correta gestão desses resíduos não apenas reduz a contaminação ambiental, mas também gera oportunidades de emprego e movimenta a economia (Guaiume, 2023).

As discussões acerca da influência da logística reversa na dimensão social ainda são escassas, mas, quando presentes, trazem seu potencial de mitigação de impactos ambientais, especialmente no que se refere à redução da contaminação de ecossistemas, e benefícios com geração de emprego e renda por meio das atividades

de reciclagem, a promoção da saúde e segurança no trabalho. (BEZERRA; FREITAS, 2021)

Segundo Chakraborty *et al.* (2022), os metais, que correspondem a aproximadamente 60% da composição desses resíduos, possuem um alto valor de mercado, tornando sua recuperação uma estratégia viável para impulsionar a economia circular. Dessa forma, a implementação de políticas eficazes de LR não apenas atende às exigências ambientais, mas também fomenta o desenvolvimento econômico e social, ampliando as possibilidades de reutilização e reciclagem dos materiais descartados.

A implementação da política industrial verde e de incentivos desempenha um papel crucial no fortalecimento do setor tecnológico, possibilitando a atração de investimentos voltados à transição energética e a iniciativas sustentáveis. Allan, I. Lewis e Oatley (2021) destacam que essas políticas podem ser aplicadas por meio de subsídios diretos, estímulos à pesquisa e desenvolvimento, assistência ao crédito e incentivos para a logística reversa, especialmente na indústria elétrica e eletrônica. No entanto, para que essas estratégias sejam eficazes, é essencial que sejam contextualizadas dentro de uma análise ampla da economia política, considerando os impactos na transformação tecnológica, na política social e na geopolítica global.

A elaboração de políticas bem-sucedidas para as indústrias emergentes depende de dois fatores principais: a adoção de perspectivas científicas e a precisão na previsão dos impactos (Setiawan, 2019). No contexto dos REEE, Moraes *et al.*, 2022 indicam que por mais que já haja alguns programas federais com o intuito de gerir esses resíduos, eles não são suficientes para suprir as metas estipuladas, sendo assim uma barreira de implementação. Essa lacuna na gestão dos REEE torna-se ainda mais evidente quando se analisa o setor dos VE, que é um setor específico que está em plena expansão. Com a crescente demanda por esses automóveis, a necessidade de uma estrutura eficiente de LR para suas baterias se intensifica.

Arelado a isso tem-se o conceito do Triple Bottom Line (TBL), onde é considerado não apenas requisitos ambientais, mas também sociais e econômicos. Esse modelo torna-se fundamental para a compreensão da complexidade e dos impactos da gestão da cadeia logística, que surge como um elo vital para promover benefícios econômicos, sociais e ambientais, a fim de possibilitar a recuperação de valor, a geração de emprego, a proteção ambiental e a redução de riscos, ressaltando

a importância de estruturas logísticas que suportem práticas sustentáveis e inovadoras em todo o ciclo de vida dos produtos. (BEZERRA; FREITAS, 2017)

2.4 COMPOSIÇÃO E RISCOS DA BATERIA DE FOSFATO DE FERRO LÍTIO

De acordo com a USITC (2021), o aumento das vendas de VE consequentemente aumentou a demanda por baterias, visto que houve 85 novas fábricas de baterias ou expansões, aumentando a capacidade global para mais de 300 GWh. A China segue liderando a capacidade global de fabricação de baterias, além de que a cadeia de suprimentos da bateria é uma área relativamente nova e possui competição global (USITC, 2021).

Junto ao avanço tecnológico pode-se notar a vivência da transição de matriz energética acontecendo no mundo todo, visto que se tem a possibilidade de armazenamento de energia limpa dentro de baterias, tais como energia elétrica, eólica e solar (Elias, 2023). A quantidade de energia armazenada dentro da bateria determina o alcance em quilometragem do VE sem que seja necessário novas recargas das baterias. Isso é um ponto importante, uma vez que os consumidores tendem a se preocupar com esse fator na hora da aquisição, já que VE com maiores alcances significam longas viagens (Chakraborty et al, 2022).

As baterias com íons de lítio possuem uma capacidade energética superior, entregam mais potência e são mais leves quando comparadas às baterias de chumbo-ácido e níquel-cádmio (Bermúdez-Rodriguez; Consoni, 2020). Por isso, as LIB chegaram a representar aproximadamente 60% do mercado das baterias recarregáveis em 2022 (IEA, 2023).

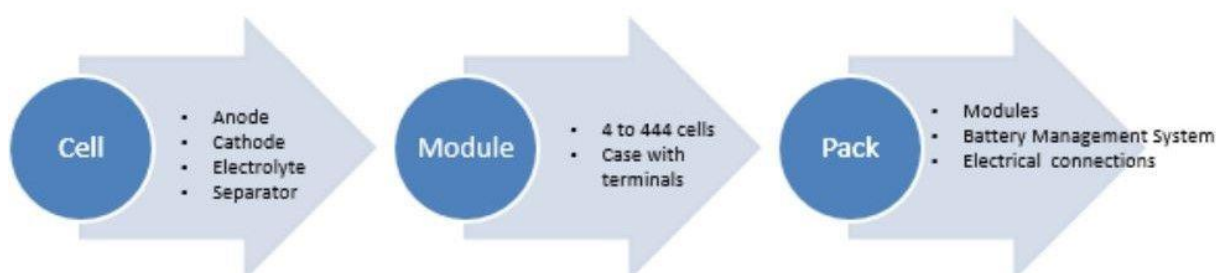
O lítio, considerado o combustível da revolução global dos VE, é um metal estratégico de extrema importância devido à sua leveza e baixa densidade. Conhecido como “ouro branco”, ele se tornou um recurso altamente disputado, com países como Bolívia, Argentina, Chile, Austrália, China e Brasil competindo pelo acesso e controle desse elemento essencial para a fabricação de baterias (Fiorillo, 2022).

O lítio, embora extremamente importante para a transição energética, também levanta preocupações quanto aos impactos ambientais de sua extração. Na América do Sul, especialmente em regiões como o chamado “Triângulo do Lítio” (Chile, Bolívia e Argentina), sua produção depende da evaporação de grandes volumes de água —

um recurso escasso nessas áreas. Estima-se que, para cada tonelada de lítio extraída, são necessários cerca de 2 milhões de litros de água, o que coloca em risco a subsistência das populações locais e o equilíbrio dos ecossistemas. Apesar desses desafios, as LIB apresentam vantagens significativas em relação a outras tecnologias, como o fato de não utilizarem cobalto em sua composição, um mineral cuja extração, sobretudo na República Democrática do Congo, é marcada por graves questões socioambientais. Assim, mesmo com os impactos associados à extração, o lítio segue sendo uma alternativa mais sustentável e ética dentro do contexto da mobilidade elétrica e da economia de baixo carbono (Rezende, 2024).

A cadeia de suprimentos das baterias segue uma estrutura composta por três principais etapas: a fabricação das células, a montagem dos módulos e, por fim, a produção e integração dos pacotes de baterias (Figura2). Essas etapas podem ser realizadas em um único local ou distribuídas em diferentes regiões, dependendo das estratégias adotadas para otimizar custos de transporte e produção.

Figura 2. Os três estágios da produção da bateria do veículo elétrico



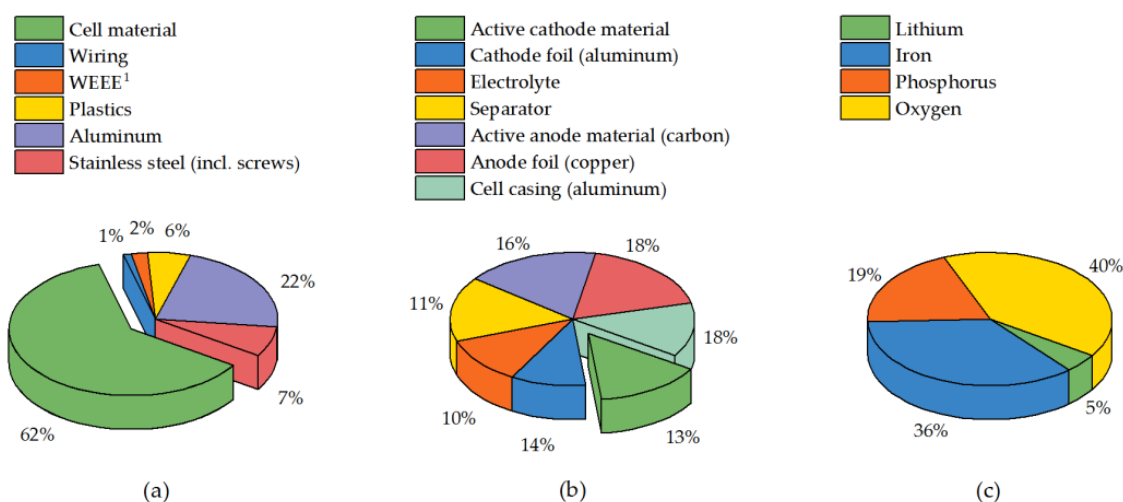
Fonte: Comissão de Comércio Internacional dos Estados Unidos (2021)

A Envision AESC, sediada em Sunderland, Inglaterra, exemplifica esse processo ao fabricar células, montar módulos e integrar pacotes de baterias para o Nissan Leaf. Além disso, a empresa exporta módulos para a Espanha, onde são acondicionados para vans elétricas. Da mesma forma, a Tesla, em Fremont, fabrica módulos e pacotes de baterias utilizando tanto células produzidas internamente quanto fornecidas pela Panasonic no Japão. Para reduzir os custos logísticos associados ao transporte de baterias volumosas e pesadas, a montagem final ocorre próxima às fábricas de veículos (USITC, 2021).

Essa dinâmica na fabricação e montagem das baterias reflete a complexidade da cadeia de suprimentos, na qual diferentes componentes são produzidos e

integrados estrategicamente para otimizar custos e eficiência logística. No entanto, além dos desafios na produção e distribuição, é essencial compreender a composição dos materiais que formam essas baterias, pois isso influencia diretamente os processos de reciclagem e a viabilidade da LR (Elwert; Hua; Schneider, 2019). A Figura 3 apresenta a análise da estrutura das LIB e fornece dados fundamentais para esse entendimento.

Figura 3. Composição de material de Bateria de Lítio

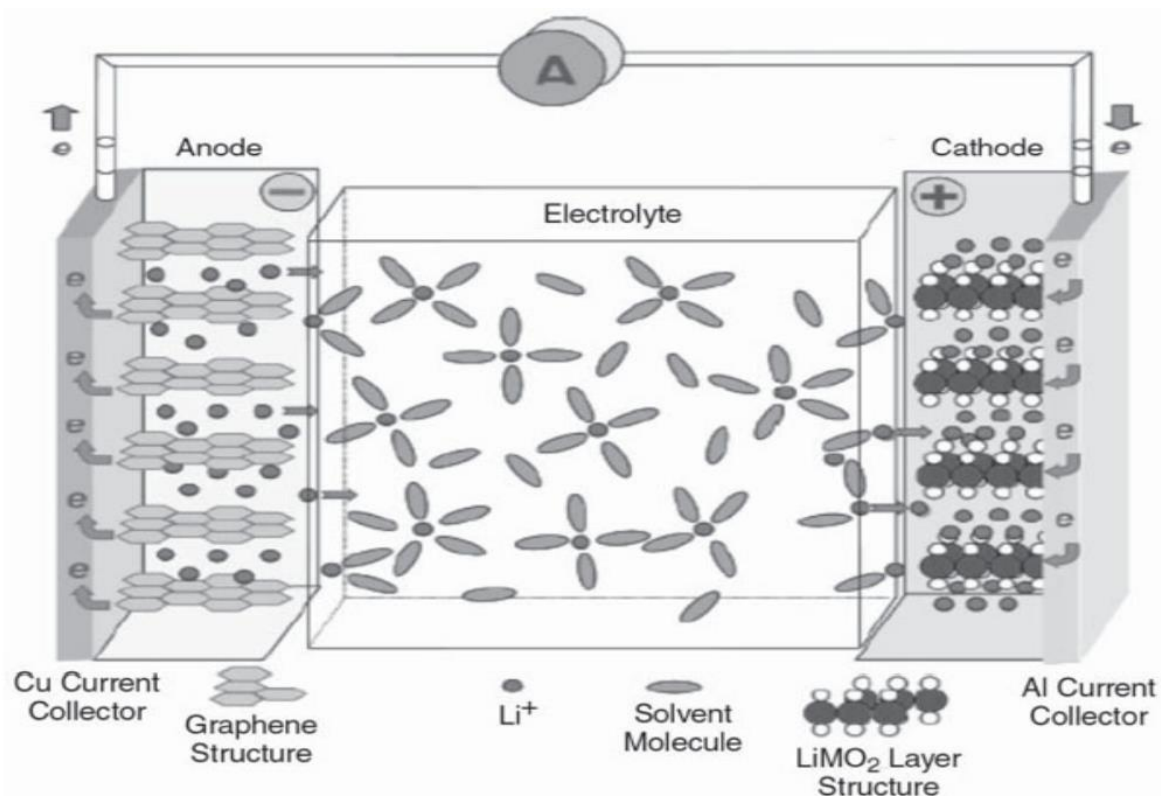


Fonte: Elwert; Hua; Schneider (2019).

A reação mencionada acima é mais claramente explicada na Figura 4, onde se destaca o componente menor, porém crucial, das LIB: a célula eletroquímica. Essa célula é composta por três partes principais — um cátodo, um ânodo, separados fisicamente e conectados eletricamente por um eletrólito, localizado no centro da Figura 4. A descarga da bateria ocorre pela difusão de íons de lítio do ânodo para o cátodo através do eletrólito. O ânodo é geralmente de grafite, o eletrólito contém solventes de carbonato orgânico. Um separador fino e poroso isola fisicamente o ânodo do cátodo, permitindo a permeação do eletrólito líquido (Bhandari, 2024).

As LIB apresentam diversas vantagens, incluindo alta estabilidade térmica devido à estabilidade do cátodo ativo, não toxicidade e menor custo de matéria-prima em comparação com óxidos que contêm cobalto e níquel. Além disso, o Lítio Ferro Fosfato (LFP) desintercalado oferece um alto nível de segurança, pois a forte ligação covalente P-O impede a liberação de oxigênio, reduzindo significativamente o risco de incêndios (Wabeto; Nigusa; Deja, 2023).

Figura 4. A estrutura de uma célula de bateria de íon de lítio



Fonte: United States International Trade Commission - USITC (2021).

As células desempenham um papel intermediário no processo global de montagem de baterias. Diferentes fabricantes utilizam especificações e componentes levemente distintos na montagem das células, mas as ideias gerais permanecem consistentes. A Tesla, por exemplo, opta por células cilíndricas Panasonic 18650 e 2170 de pequeno formato, semelhantes às de laptops, visando redução de custos. Já outros fabricantes de veículos colaboram com fornecedores para criar células prismáticas maiores de "nível automotivo", buscando simplificar e aumentar a confiabilidade. Essas células são categorizadas sob o código estatístico nº. 8507.90.8000 (peças de baterias) no Sistema Harmonizado de Tarifas dos Estados Unidos (HTS) (USITC, 2021).

Durante o carregamento de uma bateria de íon de lítio, os íons de lítio se deslocam do cátodo para o ânodo através do eletrólito, armazenando energia na bateria. Em contraste, durante o descarregamento, esses íons retornam do ânodo para o cátodo, liberando a energia armazenada para alimentar o veículo elétrico (GME, 2023). Dentro deste processo, acredita-se que aproximadamente 1 milhão de

toneladas de resíduos de baterias de tração entrarão no mercado de reciclagem global até 2025. Deste total, cerca de 0,75 milhão de toneladas consistem em baterias LFP, principalmente provenientes da RPC. Antecipa-se que os fluxos anuais de retorno de LFP aumentem de 130 milhões de toneladas em 2017 para 310.000 milhões de toneladas em 2025 (Elwert; Hua; Schneider, 2019).

2.5 LOGÍSTICA REVERSA AUTOMOTIVA DA BATERIA DE FOSFATO DE FERRO LÍTIO

Os resíduos de LIB presentes nos REEE representam uma fonte significativa de materiais valiosos que, se reciclados adequadamente, podem ser reintegrados às cadeias produtivas, trazendo benefícios ambientais, sociais e econômicos. A reciclagem eficiente das LIB reduz a necessidade de extração de metais primários e minimiza os impactos ambientais do descarte inadequado (Domingues, 2021).

A escolha das tecnologias mais adequadas para a reciclagem de LIB ainda enfrenta incertezas, especialmente devido à compreensão incompleta dos impactos ambientais associados aos processos disponíveis. Santos, Alves e Ferreira (2025) destacam que os metais pesados liberados de baterias no final de sua vida útil podem levar à poluição do solo, água e ar, representando riscos à saúde humana. Além disso, Melchor-Martínez et al. (2021) apontam em seu estudo que o impacto completo de compostos emergentes nas baterias sobre o meio ambiente ainda é incerto, o que pode dificultar os esforços de reciclagem e contenção. Essas incertezas ressaltam a necessidade de desenvolver tecnologias de reciclagem que minimizem os impactos ambientais e garantam a sustentabilidade no gerenciamento de resíduos de LIB. Apesar disso, algumas iniciativas estão em andamento, e regulamentos começam a ser implementados, exigindo que os fabricantes de baterias financiem a coleta, tratamento e reciclagem dos resíduos (Elwert; Hua; Schneider, 2019).

Internacionalmente, a regulamentação da reciclagem de baterias de íons de lítio (LIB) apresenta variações significativas entre regiões. Nos Estados Unidos, os requisitos são menos rigorosos em comparação com a União Europeia, uma vez que não há uma legislação federal específica para esse tipo de resíduo. Em vez disso, o tema é tratado por normas estaduais e locais, o que pode gerar lacunas regulatórias e facilitar a flexibilização ou o não cumprimento das diretrizes ambientais (Bird et al.

2023). Estados como Califórnia, Nova York e Minnesota implementaram regulamentações que proíbem o descarte de baterias recarregáveis, incluindo as de íons de lítio, em aterros sanitários, incentivando sua reciclagem. Na Califórnia, por exemplo, a legislação exige que os fabricantes de baterias desenvolvam programas de coleta e reciclagem aprovados pelo estado. Em Nova York é ilegal descartar baterias recarregáveis como resíduos sólidos e os fabricantes são responsáveis por desenvolver programas de reciclagem aprovados pelo Estado. Minnesota também proíbe o descarte de baterias junto com o resíduo comum devido aos seus componentes nocivos (Call2Recycle, 2025). Essas iniciativas refletem um esforço para promover a reciclagem e minimizar os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de baterias. Deste modo, essa abordagem não apenas contribui para a sustentabilidade, mas também impulsiona a economia ao possibilitar a reutilização de materiais valiosos, estimulando a industrialização do setor de reciclagem e a atração de novos investimentos (Elwert; Hua; Schneider, 2019; Domingues, 2021).

A análise do mercado global de reciclagem de LIB prevê uma expansão da infraestrutura de reciclagem e o aumento da colaboração entre os participantes do setor no período de 2023-2030. Esse mercado, que se concentra na coleta, processamento e reutilização dessas baterias em fim de vida, está em ascensão e deve alcançar US\$ 26.56 bilhões até 2032, impulsionado pela crescente demanda por soluções sustentáveis e pela conscientização ambiental (Globe Newswire, 2023). O segmento de "material ativo" lidera esse crescimento, dada sua importância na composição das baterias, sendo responsável pelo armazenamento e liberação de energia, o que reforça a necessidade de desenvolver tecnologias eficientes para sua recuperação e reaproveitamento (Data Bridge Market Research, 2022).

Esse avanço no mercado de reciclagem de LIB não se limita apenas a políticas e infraestrutura, mas também se reflete nas iniciativas de grandes empresas do setor automotivo, que têm investido em processos de recuperação e reaproveitamento desses materiais. A empresa Tesla divulga que as baterias de íons de lítio utilizadas em seus veículos são recuperadas e recicladas, informa que a partir de 2022 começou a recuperar as baterias de lítio e divulga o resultado de 300 toneladas métricas em 2022 e 329 toneladas métricas em 2023 da matéria-prima. Além disso, informa sua constante pesquisa de estudo na redução do uso de metais pesados nas baterias

(GME, 2023). Já a empresa BYD Blade Battery, que também utiliza baterias de lítio em seus veículos, divulga a empresa FinDreams como fabricante de suas baterias. A fabricante que informa atender 107 países, menciona ter dominado a tecnologia completa de reciclagem de suas baterias, o que possibilita a industrialização do processo de reciclagem, abrangendo desmonte mecânico, decomposição física e hidrometalurgia (FinDreams, 2023).

De acordo com o Relatório Especial 15/2023 do Tribunal de Contas Europeu (ECA, 2023), a política industrial da União Europeia para baterias enfatiza a criação de um mercado único para resíduos e reciclagem, visando impulsionar a reciclagem de baterias e reduzir a dependência de matérias-primas virgens. Portanto, é notável que a União Europeia tem implementado regulamentações rigorosas para garantir o descarte seguro e ambientalmente responsável de baterias, com destaque para as de íon-lítio em VE. Somado a isso, o relatório *Battery Recycling* (Market Research Report, 2023) analisa o mercado com base na química das baterias, materiais recicláveis, aplicações e regiões, destacando a relevância de metais, plásticos e eletrólitos, além do uso em dispositivos eletrônicos, armazenamento de energia renovável e transporte.

O crescimento dos VE tem impulsionado a demanda por circuitos integrados de carregadores de LIB, com a América do Norte liderando esse avanço devido a investimentos estratégicos, como os da *Albemarle Corporation*. Empresas como *Microchip Technology Inc*, *ON Semiconductor Corporation* e *Analog Devices Inc* desenvolvem tecnologias para otimizar eficiência e segurança desses circuitos, refletindo o impacto da eletrificação na expansão do mercado de reciclagem de baterias (Market Research Future, 2023).

Apesar do grande e crescente volume de baterias descartadas, como mencionado anteriormente, é importante frisar que existem limitações significativas no setor de LR no Brasil. Uma das principais dificuldades é a escassez de empresas especializadas na reciclagem de baterias de lítio, um desafio que restringe a capacidade de lidar com o crescente número de baterias descartadas, afinal a tecnologia para a reciclagem das baterias de lítio da forma correta e segura não estava disponível no Brasil até 2020, segundo a Green Eletron, 2023.

Esses desafios evidenciam a necessidade urgente de avanços na infraestrutura e na regulamentação para viabilizar a expansão do setor. Sem um esforço coordenado

para o desenvolvimento de soluções eficazes e a implementação de políticas que incentivem a reciclagem e o reaproveitamento das baterias de lítio, o Brasil corre o risco de transformar um potencial mercado sustentável em um problema ambiental crescente (NEXV, 2024). Diante desse cenário, este estudo avança para a etapa metodológica, onde serão detalhados os procedimentos adotados para investigar essa problemática e propor alternativas viáveis.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho tem como objetivo de propor processos para LR pós-consumo de bateria de alta voltagem, que são utilizados para montagem de VE, através de uma empresa do setor automotivo. Trata-se de uma pesquisa de-natureza aplicada, pois busca resoluções de problemas enfrentados na realidade das empresas automotivas no Brasil e no exterior. A problemática do retorno ou reciclagem da bateria pós-consumo representa uma questão central para todo o setor, especialmente diante do cenário de transição da mobilidade de combustíveis fósseis para elétricos.

A abordagem adotada nesta pesquisa foi qualitativa, uma vez que se busca compreender as relações entre as variáveis envolvidas e propor melhorias contínuas em práticas aplicáveis e viáveis para o retorno de baterias de íons de lítio, por meio da elaboração de um mapeamento estratégico. O objetivo é exploratório, pois parte de uma perspectiva de uma necessidade ambiental proporcionado pelo avanço da tecnologia, onde a indústria ainda em desenvolvimento está se adaptando às mudanças e há a intenção de se familiarizar ainda mais com o tema para crescimento de aplicações em diferentes empresas e países. Segundo Gil (2017), as pesquisas exploratórias tendem a ser mais flexíveis, pois consideram diversos aspectos do objeto estudado, além de proporcionar maior proximidade com o problema.

A pesquisa se baseou na tentativa de encontrar dados no período mais recente que contivessem informações pertinentes para que fosse possível obter um cenário mais próximo da atualidade de forma global, principalmente por se tratar de uma pesquisa exploratória, é importante que os dados sejam atuais.

A metodologia adotada neste estudo compreende procedimentos técnicos de natureza bibliográfica, documental e de campo, conforme delineado nos objetivos específicos. Inicialmente, por meio de pesquisa bibliográfica, foi aprofundado o tema da LR a partir da análise de trabalhos já publicados, assegurando-se a confiabilidade das fontes utilizadas. Gil (2017) destaca que a pesquisa bibliográfica permite uma cobertura mais ampla de informações em comparação com pesquisas diretas, desde que as fontes sejam criteriosa e criticamente selecionadas. De forma mais detalhada serão realizadas pesquisas bibliográficas nas bases científicas *Web of Science*, *Scielo* e *Google Acadêmico*, sobre as práticas de LR no mercado automotivo no Brasil e no exterior e suas barreiras para implementação no mercado automotivo no Brasil.

Após a obtenção do resultado da pesquisa bibliográfica, foi realizada uma pesquisa documental nos dados fornecidos de uma empresa automotiva dentre os últimos anos, de 2020 a 2024, obtendo acesso a informações mais recentes e documentos privados. Vale destacar que esta etapa da pesquisa não implicou em custos uma vez que o acesso aos materiais foi de forma gratuita. A coleta de dados pode ser visualizada de forma mais clara no item 3.1.

Após a coleta de dados, e respeitando todos os procedimentos éticos descritos no item 3.2, foi realizado um mapeamento do cenário atual de LR de baterias. Para tal, foi conduzido o trabalho de campo, que contribuiu com esse mapeamento da solução, por meio da realização de entrevistas e análise das respostas dos entrevistados.

Com essa metodologia apresentada, tem-se a intenção de chegar em conclusões satisfatórias mediante a implementação da logística reversa de baterias de lítio de alta voltagem na indústria automotiva brasileira, com potencial de aplicação em outras empresas que reconheçam os benefícios dessa pesquisa.

3.1 APRESENTAÇÃO DO CAMPO DE PESQUISA

O estudo foi conduzido no contexto de uma indústria automotiva, com foco específico na aplicação da LR de equipamentos eletroeletrônicos, especialmente voltada para as baterias de íon de lítio. As baterias de íons de lítio são responsáveis por armazenar a eletricidade necessária para impulsionar o VE e estão se tornando cada vez mais eficientes, apresentando densidades energéticas mais elevadas e possibilitando maior autonomia com tempos de recarga mais rápidos. Porém, ainda existem desafios a serem superados, questões como a reciclagem das baterias usadas e o desenvolvimento da infraestrutura de recarga são tópicos de pesquisa contínua (Mercosul Motores, 2023).

A LR emerge como um tema crucial para estudo, pois sua aplicação abrange diversos setores, contribui para a preservação ambiental, impulsiona a competitividade empresarial, reduz os resíduos sólidos e está alinhada com exigências legislativas que as empresas e indústrias devem atender.

Para Leite (2019) a LR representa um potencial papel econômico na sociedade, além de sua grande importância ao meio ambiente com a preservação de recursos. É encontrada nas operações logísticas das empresas em geral e pode ser implementada em muitos canais de distribuição.

3.2 COLETA DE DADOS

A pesquisa bibliográfica teve início em abril de 2023 e se estendeu até abril de 2025, devido à necessidade de atualização constante sobre o tema, acompanhando possíveis novidades ou alterações regulatórias ao longo do período. Para tal, foram utilizados artigos indexados em bases como *Web of Science*, *Scielo* e *Google Acadêmico*, e dissertações disponíveis nos periódicos da CAPES.

A escolha da empresa automotiva estudada, que está identificada como XXX, por questões de confiabilidade, se deu pela maior oportunidade de obter dados de maneira mais eficiente dentre as demais. A pesquisadora atua profissionalmente nessa empresa em questão utilizada para o estudo, o que facilita o acesso a informações relevantes e a interação com os processos internos, garantindo uma análise mais precisa e contextualizada. Dessa forma, a seleção da empresa XXX não reflete apenas uma escolha estratégica para a coleta de dados, mas também uma oportunidade de aprofundar a pesquisa em um cenário real, oferecendo uma melhor compreensão dos desafios e práticas adotadas pela empresa no contexto da LR de baterias e na real possibilidade de implementação da solução sugerida.

A primeira coleta de dados realizada é a pesquisa documental nos documentos internos da indústria automotiva. A pesquisa documental foi realizada entre abril de 2023 a novembro de 2024, um período considerável que permitiu uma busca abrangente com tranquilidade e precisão, além de conceder aos proprietários dos documentos tempo suficiente para recordarem todo o material que eu poderia necessitar. Para tal, Bardin (2016) relata que há alguns procedimentos de tratamento de dados que podem facilitar a análise de conteúdo aproximando o analista da diferenciação entre as especificidades do campo pesquisado, facilitando seu acesso ao máximo de informações pertinentes.

Essa coleta abrangeu uma ampla variedade de documentos gerais relacionados a diferentes veículos, áreas e históricos da empresa, com a tentativa

árdua de obter maiores informações específicas de diferentes fontes do objeto estudado, para então escolher quais são pertinentes e juntá-las em síntese. Conforme destaca Bardin (2016), esse processo de análise de dados contribui para a transformação de documentos primários — ou seja, dados brutos — em documentos secundários, que representam os originais de forma mais sintetizada, indexada ou classificada. Essa organização ocorre por meio da chamada análise categorial temática, na qual o pesquisador realiza um recorte das informações com base em categorias previamente definidas.

Em seguida, foi realizada a pesquisa de campo como técnica de coleta de dados, por meio de entrevistas com profissionais responsáveis pelo processo no período de novembro de 2024 a fevereiro de 2025. Para isso, utilizou-se um roteiro de entrevista semiestruturado, com as seguintes finalidades: a) O esclarecimento final do cenário atual; b) Esclarecimento da logística reversa existente na organização referente a correta destinação dos resíduos sólidos dos veículos elétricos em seu final de ciclo de vida; c) A logística direta da bateria de lítio, utilizada no processo produtivo dos veículos elétricos d) O mapeamento reverso da bateria de lítio utilizada na montagem dos veículos elétricos; e) Coletar possíveis sugestões de potenciais melhorias inovadoras para que a reintrodução na cadeia produtiva dessas baterias aconteça de forma eficaz. Em suma, uma viabilidade através de brainstorming com esses profissionais técnicos em prol de soluções.

Os participantes da pesquisa foram selecionados com o critério de serem profissionais da indústria automotiva estudada e serem altamente especializados e engajados em diversas áreas chave atreladas ao objetivo do projeto, isto é, trabalharem diretamente ou indiretamente com veículos elétricos, sustentabilidade empresarial, meio ambiente e qualidade. Além disso, devido à dificuldade de encontrar no organograma empresarial pessoas envolvidas com o tema de meio ambiente de forma clara, foi utilizada a técnica matemática chamada *Snowball sampling* que Goodman, L. A. (1961). Essa técnica possibilitou que, a partir de um único contato conhecido dentro da unidade industrial vinculada à pesquisadora, fossem indicados outros profissionais relevantes para a realização das entrevistas, promovendo um efeito em cadeia na identificação de participantes qualificados para a coleta de dados.

Outro ponto foi a estratégia de mesclar líderes responsáveis pela tomada de decisão da empresa, com pessoas de proficiência específica no assunto, tais como

engenheiros e analistas que atuam diretamente no ramo. Enquanto um irá corroborar na estratégia da gestão, custos e no alcance das propostas dessa pesquisa, o outro irá compor com o viés técnico e legislativo para ser implementado.

Entre eles estão líderes de projetos responsáveis por conduzir projetos de desenvolvimento de veículos elétricos, dedicados a aspectos técnicos avançados, há também especialistas de baterias, engenheiros elétricos, que desempenham um papel crucial e se concentram na concepção e aprimoramento das peças e projetos de veículos elétricos, buscando constantemente inovações tecnológicas. E também engenheiros e líderes do setor ambiental e economia circular. Por fim, a pesquisa também contou com a participação de gestores e diretores que desempenham um papel essencial, tanto direta quanto indiretamente, na promoção da sustentabilidade empresarial, na tomada de decisão e na gestão estratégica de recursos, moldando o futuro da indústria de forma responsável e consciente. Sendo assim, foram escolhidos participantes de diferentes áreas, setores e cargos, que tinham interface com os VE, para que houvesse *insights* de perspectivas diferentes e se obtivesse um melhor resultado em campo.

É importante destacar que, no que se refere à coleta de dados, todos os protocolos éticos foram rigorosamente seguidos, incluindo a devida autorização do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CCAE: 84470024.5.0000.0311; Número de comprovante 132297/2024).

3.3 PROCEDIMENTOS ÉTICOS OBSERVADOS AO REALIZAR A PESQUISA

Quanto a procedimentos éticos, é necessário que se tenha tanto do pesquisador quanto dos entrevistados transparência com o esclarecimento sobre a pesquisa a ser realizada, seus possíveis riscos, maneiras para mitigá-los e os benefícios, para que a sua participação seja livre e consciente. A clareza ao passar as informações ao entrevistado deve ser uma premissa, informando o intuito da pesquisa, sua natureza, como as respostas do mesmo serão utilizadas e o alcance desejado da pesquisa. Será em conjunto com essa fase a aplicação do termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) para que os participantes tenham o mais amplo esclarecimento do intuito da pesquisa (FioCruz, 2023), conforme indicado no Apêndice A.

É extremamente importante demonstrar respeito ao entrevistado em todo o tempo, inclusive quanto à estimativa de tempo proposta e realizada. Quanto às informações sigilosas das organizações, que podem representar um ponto sensível durante as entrevistas, é fundamental esclarecer que o pesquisador tem o compromisso ético de resguardar a confidencialidade dos dados obtidos, sendo vedado qualquer tipo de compartilhamento com fontes externas ou instituições alheias à pesquisa. A pesquisa será realizada com competência e livre de quaisquer preconceitos, onde o pesquisador se responsabiliza por não tomar partido social, não fazer perguntas tendenciosas e por interpretar respostas dos dados de forma honesta e completa sem omitir ou burlar informações relevantes para o benefício do resultado da própria pesquisa.

É reconhecida a importância dos procedimentos éticos de forma a evitar prejuízos à organização, ao resultado da pesquisa e à integridade do pesquisador e seu orientando. Para tal, é importante também destacar as intolerâncias ao plágio de todo e qualquer tipo. Além de todos os procedimentos éticos expostos aplicados, também será aplicado ao Comitê de Ética toda e qualquer pergunta a ser ainda definida antes da realização das entrevistas.

Para garantir a ética no processo das entrevistas de campo com indivíduos, foi necessário adotar um procedimento no qual a identidade dos entrevistados seja protegida, empregando-se dois métodos para preservar essas identidades tanto no piloto quanto nas entrevistas finais. O primeiro consiste na substituição dos nomes reais dos entrevistados por nomes fictícios criados pelo pesquisador e o segundo método envolve a omissão de partes muito pessoais das entrevistas que poderiam permitir ao leitor identificar o entrevistado de alguma forma.

4 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

Nesse capítulo, será apresentada a análise de dados do estudo que constitui parte fundamental da pesquisa. A abordagem utilizada para analisar os dados foi o método de Análise de Conteúdo, conforme proposto por Bardin (2016), que se caracteriza pela análise sistemática e objetiva de textos, visando identificar padrões, categorias e inferências relevantes. Esse método é amplamente utilizado em estudos qualitativos, sendo ideal para a compreensão de significados e para a interpretação dos dados obtidos a partir das entrevistas e documentos. A análise de conteúdo permite uma visão aprofundada dos elementos presentes nas fontes de dados, contribuindo para o entendimento das práticas e desafios enfrentados pela empresa no contexto da pesquisa.

A análise será dividida em três partes: 4.1 Análise Documental dos Dados Internos da Empresa; 4.2 do perfil dos colaboradores entrevistados; e 4.3 Análise dos Dados de Campo (Entrevistas realizadas em campo). Na seção 4.1, serão analisados documentos internos da empresa automotiva estudada, fornecendo uma visão detalhada sobre suas práticas, processos e estratégias oriundas de treinamentos, cursos e outras fontes.

Na seção 4.2, será apresentada uma explicação breve sobre a definição do número de entrevistados, bem como a justificativa para a escolha do método utilizado. E por fim, na seção 4.3, a análise das entrevistas realizadas em campo será explorada, utilizando a técnica de Bardin para identificar categorias e padrões que oriundos das conversas com os participantes, além de ser melhor detalhado casos, padrões e atributos que pôde-se levar em consideração a partir dos dados em campo.

4.1 RESULTADOS DA PESQUISA DOCUMENTAL

A pesquisa documental na base de dados da empresa teve êxito e permitiu a obtenção de diversas informações importantes para o tema pesquisado. Conteúdos documentais, incluindo materiais interativos com os colaboradores — como palestras, fóruns de discussão como a *Transformation Week* e cursos internos — são empregados como ferramentas de ensino, capacitação e conscientização acerca da

transformação da mobilidade elétrica, suas tecnologias associadas, impactos sustentáveis e demais aspectos relevantes.

Conforme Bardin (2016), documentos ou unidades de gênero como filmes, artigos, livro e relato, servem como unidade de registro. Para tal, essas palestras e cursos foram levados em consideração como base de dados da empresa pesquisada.

Dentre as palestras realizadas, destacou-se uma diretamente relacionada ao tema da pesquisa, abordando inovação e eletroquímica. Essa palestra evidenciou parcerias com instituições de ensino que desenvolvem estudos em diversas frentes — desde o desenvolvimento de supercapacitores voltados ao futuro da indústria de veículos elétricos até pesquisas aplicadas a testes em baterias de íon de lítio, considerando as atuais exigências de certificação e homologação. Além disso, discutiram-se os desafios envolvidos na nacionalização da produção de componentes das baterias, com o objetivo de fortalecer a cadeia de valor no Brasil.

Como desdobramento dessas parcerias, destacou-se o desenvolvimento de tecnologias que vão além das LIB, incluindo o uso de células a combustível e hidrogênio em estado sólido. Uma instituição de ensino brasileira reconhecida por sua atuação em formação técnica e aplicada à indústria apresentou projetos voltados à pesquisa de soluções tecnológicas para células a combustível e sistemas de armazenamento de hidrogênio. Esses estudos abrangem desde a produção de hidrogênio por eletrólise até alternativas baseadas em biometano e catálise, com o uso de tanques em estado sólido como forma segura e eficiente de abastecimento energético.

Além dessas frentes voltadas ao hidrogênio como vetor energético, a instituição também participa de iniciativas estratégicas relacionadas ao desenvolvimento de baterias de íons de lítio, buscando ampliar a soberania tecnológica nacional nesse campo. O projeto informa às empresas patrocinadoras, incluindo grandes nomes da indústria, sobre sua participação em uma iniciativa estruturante voltada para baterias de íons de lítio. O foco está no desenvolvimento de células nacionais em um ambiente pré-industrial, com o objetivo de promover a independência tecnológica do Brasil como estratégia de Estado. Além disso, o projeto detalha a cadeia de valor de minerais essenciais, como sulfato de níquel, sulfato de cobalto, carbonato de lítio, sulfato de manganês, grafite e nióbio.

No contexto do fortalecimento da autonomia tecnológica nacional em sistemas de armazenamento de energia, o projeto enfatiza a necessidade de consolidar uma infraestrutura robusta para o setor de baterias no Brasil. Essa estrutura deve abranger a montagem e o teste de baterias, a reciclagem dos materiais, o armazenamento e a distribuição, o aumento da confiabilidade, a redução da dependência de importações e, a longo prazo, a produção nacional de componentes críticos. Também se destaca a necessidade de investimentos em instalações para a produção, armazenamento, transporte e logística, bem como em centros de pesquisa e capacitação. Esses pontos reforçam as questões já abordadas nas pesquisas bibliográficas anteriormente analisadas.

Reforçando esses pontos, é essencial entender a aplicação dos sistemas de armazenamento de energia no contexto dos veículos eletrificados. Há diversos cursos sobre LR, processo de reciclagem e manufatura das baterias de lítio, sua caracterização, segunda vida e fundamentos. Por fim, os veículos com célula de combustível utilizam um reformador que gera eletricidade a partir de reações químicas, a qual é então utilizada para alimentar o motor elétrico.

É importante frisar que em meio a essas informações utilizou-se a exploração do material com seu devido tratamento dos resultados obtidos e interpretação. Já que, conforme Bardin (2016), o analista pode propor inferências e adiantar interpretações a propósito do objetivo previsto diante dos resultados significativos gerados após resultados brutos. O fluxo metodológico adotado seguiu as seguintes etapas: leitura exploratória inicial, seleção dos documentos e cursos com temáticas pertinentes ao objeto de estudo, preparação do material coletado, síntese e seleção dos resultados relevantes, e, por fim, utilização dos dados analisados com propósitos teóricos e/ou aplicados.

Para tal, foram consideradas informações dos cursos que indicam que a empresa foco deste estudo visa obter excelência operacional em escala com o seu portfólio de BEV, tendo alcançado a marca de 5 milhões de unidades vendidas globalmente. Além de afirmar que todos os novos lançamentos de veículos serão BEV até 2026 na Europa, a empresa também destaca seu compromisso com a economia circular, projetando gerar 2 bilhões de euros adicionais em receita até 2030 – um aumento de 10 vezes em relação à receita obtida com reciclagem em 2021.

Dentro desse modelo de economia circular e com base na estratégia dos 4Rs (reduzir, reutilizar, reparar e reciclar) aplicada ao design para economia circular, atividades como reparação de componentes, conservação de peças, reutilização de componentes, recondicionamento de veículos e remodelação de baterias são algumas das práticas que contribuirão para esse crescimento.

Foi possível identificar práticas LR realizadas na empresa estudada, como a criação de um centro tecnológico da bateria na Europa. Essa iniciativa explora como o desenvolvimento de baterias de longa duração e maior resistência impacta a necessidade e a eficiência da LR. Além disso, observa-se um movimento estratégico da empresa XXX em desenvolver baterias internamente, o que pode ter um reflexo de controle sobre o ciclo completo da bateria e minimizar custos. Esse centro de pesquisa minimiza barreiras técnicas, aproximando a empresa automotiva do cenário atual em ascensão, com o crescimento dos carros elétricos.

É importante destacar também que esse espaço criado é dedicado ao desenvolvimento e teste de baterias para VE, com capacidade de testar até 47 pacotes de baterias simultaneamente. A ênfase no teste de resistência e durabilidade das baterias pode impactar diretamente as estratégias de LR, visto que baterias mais robustas podem resultar em uma menor quantidade de descarte prematuro.

Também é possível associar essa criação e exploração em laboratório com uma estratégia de obter mais informações da bateria de alta tensão. Essa aproximação com o assunto de forma técnica vem de exigências regulatórias de diminuição de emissão de gás carbônico e consequentemente a seus maiores volumes fabricados pelas montadoras. Sendo assim, essa criação reflete a crescente importância da autossuficiência na cadeia de suprimentos de baterias para veículos elétricos.

Somado a isso, essa iniciativa pode reduzir a necessidade de substituição precoce, impactando positivamente o volume de baterias retornados ao ciclo produtivo e reduzindo o impacto da sustentabilidade nas operações, diminuindo, assim, a complexidade e risco do transporte dessas baterias a longas distâncias.

A estratégia de transição de "*Buy*" para "*Make*" evidencia o interesse da empresa estudada em controlar o processo de produção e desenvolvimento das baterias, visto que a intenção é ser seu próprio montador/fabricante de baterias, o que pode ter implicações diretas para a LR.

Por fim, isso não só contribuirá para um ciclo de LR mais eficiente, mas também pode ajudar a superar barreiras regulatórias e de infraestrutura, alinhando as operações da empresa automotiva estudada com as políticas ambientais globais e as exigências de sustentabilidade. Esse modelo de economia circular é fundamental para a viabilidade de um sistema de logística reversa, especialmente em um setor que enfrenta desafios complexos em termos de regulamentação e gestão de resíduos de baterias.

4.2 PERFIL DOS ENTREVISTADOS E JUSTIFICATIVA PARA ESCOLHA DO MÉTODO DE ANÁLISE

De acordo com Bardin, 2016 as fases de análise do conteúdo contemplam uma organização em três polos: a pré-análise, a exploração do material e o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

É crucial compreender que para tornar a informação acessível e utilizável, é necessário processá-la de maneira a condensá-la, realizar análises descritivas e explicativas do conteúdo, e fornecer informações suplementares relevantes para os objetivos do projeto. Para tal, Bardin (2016) explica que o início é identificar palavras idênticas e ou sinônimas ditas por diferentes sujeitos de pesquisa e compila-las. Após isso, é necessário reagrupá-las por inferências. Nesta fase se identificou as respostas similares por sinônimos de palavras. Algumas informações inicialmente obtidas em resposta a determinadas perguntas foram reagrupadas e realocadas como respostas a outras questões, por se mostrarem mais pertinentes ao contexto do novo tema abordado.

Além disso, foi utilizada a categoria de análise sequencial, sendo as perguntas organizadas de forma exclusiva para cada categoria. Desde a elaboração das perguntas, houve a intenção de abordar os assuntos de maneira sequencial. Por exemplo, o tema LR foi introduzido de forma geral e, gradualmente, afinado para o foco específico da pesquisa e suas particularidades técnicas.

Foram consideradas as especificidades de cada pesquisador e sua área de atuação e em qual área possui afinidade profissional dentre: Engenharia de veículos elétricos, logística reversa ambiental / sustentabilidade, qualidade de processos, resíduos eletroeletrônicos. Sendo assim, ao pesquisar pessoas dentro do

organograma da indústria automotiva estudada, identificou-se uma variedade de áreas dentro do setor de engenharia. No entanto, para uma análise mais aprofundada e alinhada ao objetivo da pesquisa, foram selecionados especificamente os setores relacionados a motores, com ênfase nas áreas de eletrificação e baterias.

Considerando que a indústria automotiva estudada é uma multinacional, há uma ampla rede de líderes globais envolvidos com as áreas de packs e células de baterias. No total, foram identificados 13 gerentes atuando exclusivamente nesse segmento. Na área de sistemas de armazenamento — que, de certa forma, também abrange baterias — localizou-se mais um gerente, além de dez especialistas. Especificamente no setor de eletrificação na América do Sul, obteve-se um retorno mais detalhado, com a identificação de um gerente e nove especialistas sob sua liderança. Adicionalmente, foi localizado um gerente dedicado à área de arquitetura de baterias.

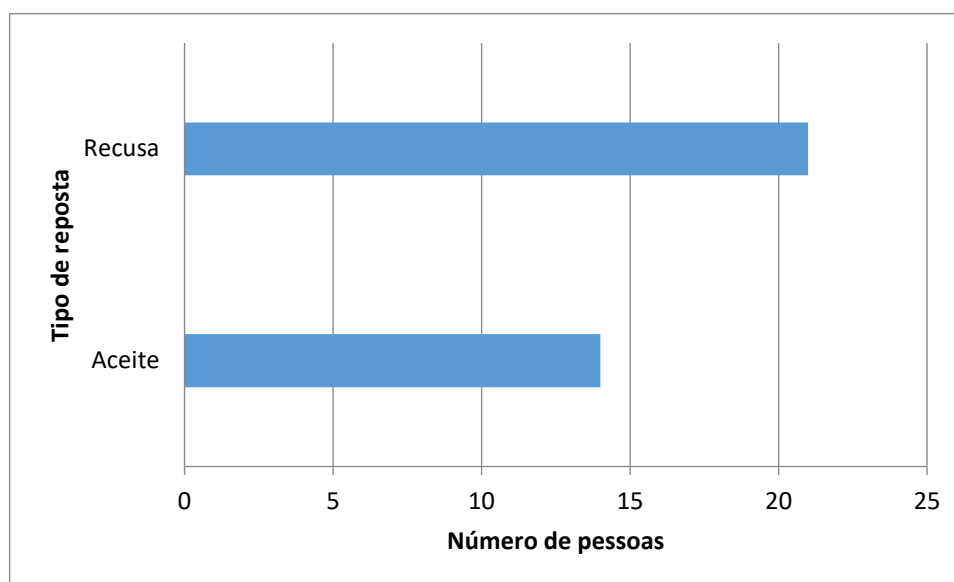
Resumidamente, identificou-se na área de engenharia um total de 15 gerentes e 19 especialistas com atuação direta ou indireta em temas relacionados a baterias para veículos elétricos. No que diz respeito à sustentabilidade, embora não exista uma área específica no organograma da empresa estudada, foi informado internamente que cada unidade conta com um especialista responsável pelas questões ambientais e de sustentabilidade global, atualmente alocados na área de manufatura.

A aplicação da técnica de *Snowball sampling* resultou em diversas indicações de colaboradores da área de economia circular da empresa XXX. Ao participarem da entrevista e entenderem melhor o tema, muitos direcionamentos a líderes responsáveis dentro da área de LR e afins foram realizados, para colaborar com a pesquisa.

Contudo, é importante destacar a expressiva taxa de recusas aos convites para participação, especialmente por parte desses líderes de economia circular. Muitos convidados, ao serem informados de que se tratava de uma pesquisa de cunho pessoal e acadêmico, ressaltaram questões relacionadas à ética corporativa e à confidencialidade da companhia (Figura 5). Alguns sugeriram que a pesquisadora solicitasse aprovação formal junto aos departamentos jurídico e de comunicação institucional para que pudessem se sentir mais à vontade em colaborar. Outros, por sua vez, recusaram prontamente, justificando que suas áreas estão diretamente

ligadas às estratégias da companhia, o que impossibilitaria a participação na pesquisa.

Figura 5. Resposta dos participantes para a etapa de entrevista



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Diante deste cenário foram enviados um total de 35 convites, dos quais, 14 obtiveram retorno positivo, o que correspondeu a 40% dos convites enviados para a etapa de entrevista e resultou na realização de 14 entrevistas. No entanto, duas dessas entrevistas foram realizadas em dupla e uma foi realizada em grupo com cinco pessoas, totalizando 20 entrevistados, conforme demonstrado no Quadro 3.

Quadro 3. Classificação dos entrevistados

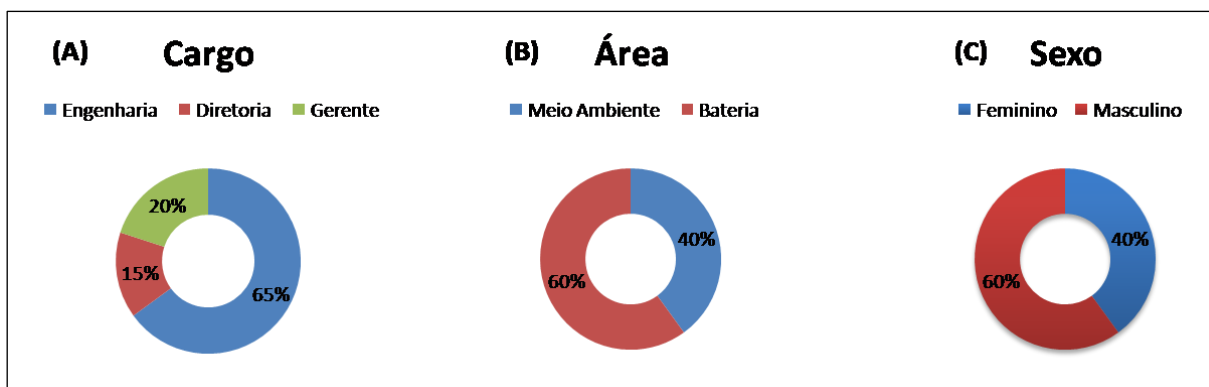
Índice	Tipo de Entrevista	Cargo	Área	Sexo
1	Individual	Engenharia	Meio Ambiente	Feminino
2	Individual	Diretoria	Bateria	Masculino
3	Individual	Engenharia	Meio Ambiente	Feminino
4	Individual	Gerente	Meio Ambiente	Feminino
5	Individual	Engenharia	Meio Ambiente	Masculino
6	Dupla	Engenharia	Meio Ambiente	Feminino

		Engenharia	Meio Ambiente	Feminino
7	Dupla	Gerente	Bateria	Masculino
		Engenharia	Bateria	Masculino
8	Individual	Engenharia	Bateria	Masculino
9	Individual	Diretoria	Bateria	Masculino
10	Individual	Diretoria	Meio Ambiente	Masculino
11	Individual	Engenharia	Bateria	Masculino
12	Individual	Engenharia	Bateria	Masculino
13	Grupo	Engenharia	Bateria	Feminino
		Engenharia	Bateria	Masculino
		Engenharia	Bateria	Masculino
		Engenharia	Bateria	Feminino
		Engenharia	Bateria	Feminino
14	Individual	Gerente	Meio Ambiente	Masculino

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A Figura 6 apresenta o perfil dos colaboradores da empresa que participaram da etapa de entrevista, distribuídos conforme cargo, área de atuação e sexo. No gráfico (A), observa-se que a maioria dos participantes ocupa cargos na Engenharia (65%), seguidos por Gerência (20%) e Diretoria (15%). No gráfico (B), referente à área de atuação, 60% atuam na área de Energia e 40% em Meio Ambiente. Já no gráfico (C), que aborda o sexo dos entrevistados, nota-se predominância do sexo masculino, representando 60% dos participantes, enquanto o sexo feminino corresponde a 40%. Esses dados oferecem uma visão geral do perfil dos colaboradores entrevistados, evidenciando uma maior representatividade de homens e profissionais da Engenharia que atuam na área de baterias.

Figura 6. Perfil dos entrevistados



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Com base na quantidade de entrevistas realizadas e no volume de dados obtidos, optou-se pela utilização da análise de conteúdo, conforme proposta por Bardin (2016), como estratégia metodológica para a análise qualitativa. Essa abordagem permitiu a categorização e organização eficiente das informações, otimizando o processo interpretativo das entrevistas. A análise dos dados foi conduzida por meio da comparação entre as respostas dos participantes e os referenciais teóricos discutidos, culminando nas considerações finais do estudo, que propõem a criação de um centro de remanufatura como forma de atender ao objetivo central do projeto.

4.3 ANÁLISE DAS ENTREVISTAS

A partir da aplicação da análise de conteúdo proposta por Bardin (2016), foi possível organizar os dados obtidos nas entrevistas em categorias temáticas que refletem os principais elementos relacionados à LR de baterias de veículos leves elétricos no Brasil. O processo de categorização emergiu da leitura aprofundada das transcrições e da identificação de unidades de sentido comuns entre os discursos dos participantes.

Essas categorias foram construídas com base na frequência e na relevância dos temas mencionados, e permitiram compreender, de maneira estruturada, as percepções, desafios, práticas e sugestões apontadas pelos colaboradores da indústria automotiva. Dessa forma, os resultados apresentados a seguir estão organizados de modo a responder diretamente aos objetivos específicos da pesquisa,

fornecendo subsídios práticos e teóricos para a construção de propostas aplicáveis à realidade brasileira.

No Quadro 4, estão descritas as cinco categorias temáticas identificadas, com destaque para os trechos mais representativos das entrevistas, acompanhados de análises críticas que relacionam os achados empíricos com a literatura da área.

Quadro 4. Categorização temática segundo Bardin (2016)

Categoria Temática	Objetivo relacionado
1. Práticas de logística reversa no Brasil e exterior	Objetivo 1.2.2.a
2. Barreiras regulatórias e institucionais	Objetivo 1.2.2.b
3. Cadeia logística direta das baterias	Objetivo 1.2.2.c
4. Cenário atual de logística reversa para baterias de veículos elétricos na empresa estudada	Objetivo 1.2.2.d; Objetivo geral
5. Proposta de logística reversa para baterias de veículos elétricos	Objetivo 1.2.2.d; Objetivo geral

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.3.1 Práticas de logística reversa no Brasil e no exterior

Os participantes revelaram uma percepção clara de que o Brasil ainda se encontra em uma fase incipiente no que tange à implementação de processos de LR para baterias veiculares. Houve relatos que as iniciativas são pontuais e não sistematizadas, sendo muitas vezes restritas a ações voluntárias de montadoras ou a exigências contratuais de empresas internacionais. A atuação concentra-se nas próprias montadoras, muitas vezes por iniciativas isoladas, conforme o relato de outro entrevistado *“ela não está desenhada no formato de logística reversa, por exemplo, a gente não está reportando os resultados, as metas, essas questões a gente não está fazendo ainda. [...] essas são as principais entidades gestoras aí de logística reversa. Então a gente não tem hoje, até esse momento a gente não está associada a essas entidades ainda”*.

Os pontos levantados pelos entrevistados convergem com a análise de Machado (2023), que destaca a ausência de uma regulamentação específica para a

LR das baterias de VE no Brasil como um risco ambiental significativo. Esse cenário evidencia a urgência de discutir e implementar uma estrutura nacional de logística reversa. Além disso, é importante notar que, apesar de o Brasil figurar entre os maiores produtores globais de REEE, o país ainda não adotou programas eficazes para a reciclagem e o descarte adequado desses resíduos (Rossini; Naspolini, 2017; Moraes et al., 2022; Santos; Deconte, 2022). Esse vazio regulatório pode acarretar impactos ambientais negativos, caso não haja uma gestão apropriada do descarte e reciclagem dessas baterias, sendo crucial garantir que o avanço tecnológico não comprometa a saúde do meio ambiente.

Em contrapartida, países como Alemanha, Estados Unidos e China foram citados como referências, com cadeias bem estabelecidas e regulamentações claras que obrigam fabricantes a recolher e tratar adequadamente as baterias. A Europa, especialmente a Alemanha, tem regulamentações claras e mecanismos obrigatórios de recolhimento e reciclagem. Na Alemanha, por exemplo, o “passaporte da bateria” foi implementado como uma ferramenta digital que centraliza dados fundamentais sobre a composição, origem dos materiais, desempenho, uso, manutenção e descarte das baterias. Essa iniciativa fortalece a rastreabilidade ao longo de todo o ciclo de vida do produto, facilitando seu reuso, reciclagem e descarte seguro. Ao mesmo tempo, promove práticas alinhadas à economia circular e atende às exigências de sustentabilidade e transparência estabelecidas pela União Europeia (Guerra, 2022; Brasil, 2023).

Estudos como o de Zeng, Li e Singh (2014) trazem uma perspectiva crítica sobre os avanços tecnológicos de reciclagem de baterias em países asiáticos, principalmente na China e na Coreia do Sul, e a sua relação com o modelo de economia circular. Aplicação do modelo de economia circular em países asiáticos tem permitido um reaproveitamento mais eficiente das baterias em fim de vida, seja por reciclagem, reuso ou recondicionamento.

As comparações feitas pelos entrevistados apontam para a lacuna regulatória e de incentivo no Brasil, especialmente em relação aos países desenvolvidos, conforme o trecho a seguir: “Aqui no Brasil acho que realmente não tem. Mas lá fora já tem alguma legislação disso”. Esses dados reforçam a existência de modelos consolidados de LR na Europa e na Ásia, principalmente voltados ao recondicionamento e à segunda vida das baterias. Apesar da falta de legislação sobre

a implantação das LR nas fábricas e montadoras brasileiras, algumas diretrizes Europeias têm influenciado algumas empresas nacionais (Lavez; Souza; Leite, 2011). No entanto, a discrepância entre a realidade brasileira e os modelos internacionais reforça a necessidade de políticas públicas integradas e da adaptação de boas práticas globais à realidade nacional.

4.3.2 Barreiras regulatórias e institucionais

As entrevistas realizadas revelaram um consenso entre os participantes: as barreiras regulatórias representam um dos principais entraves para o desenvolvimento da LR de baterias de alta voltagem no Brasil. A ausência de uma legislação específica para esse tipo de resíduo foi amplamente destacada como um problema central. A regulamentação vigente, como a Resolução CONAMA nº 401/2008, trata exclusivamente de pilhas e baterias de pequeno porte, sendo, portanto, insuficiente para lidar com os desafios técnicos, logísticos e ambientais que envolvem as baterias veiculares. Como observou um dos entrevistados *“A gente tem a instrução que é do Ibama e tem a resolução do Conama, lá é também informado sobre Política de baterias de lítio que hoje não são contempladas na resolução, esse tipo de modelo de lítio específico, mas que a gente, ainda assim, pela política nacional de resíduos sólidos a gente é obrigada a implementar a logística reversa”*.

Além da ausência de normativas específicas, os participantes indicaram uma desarticulação institucional significativa entre órgãos ambientais – como o CONAMA e o IBAMA –, agências reguladoras e empresas da cadeia produtiva. Essa falta de integração compromete o desenvolvimento de iniciativas conjuntas, bem como a construção de uma infraestrutura adequada para o manejo e reaproveitamento dessas baterias. Esse cenário é discutido por Moraes *et al.* (2022), que defendem a importância da regulamentação como instrumento fundamental para atrair investimentos e operacionalizar a responsabilidade compartilhada, conforme previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). A carência de incentivos fiscais e a ausência de mecanismos de fiscalização eficazes foram também apontadas como fatores que tornam a LR economicamente inviável para muitas empresas.

Os riscos associados ao manuseio inadequado das LIB também emergem como uma preocupação técnica e regulatória. A composição química dessas baterias envolve materiais potencialmente tóxicos e contaminantes. A troca de íons entre o ânodo e o cátodo, mediada por eletrólitos altamente reativos, pode gerar acidentes como incêndios e explosões, especialmente em situações de descarte ou transporte indevido. Esses riscos foram apontados tanto por Elwert, Hua e Schneider (2019), quanto pelos engenheiros entrevistados, que reforçaram o potencial de contaminação do solo e da água. Assim, torna-se evidente a necessidade de regulamentações robustas que contemplem não apenas a responsabilidade pelo descarte, mas também a segurança do processo.

Dentro desse contexto, uma alternativa sugerida na literatura é a adoção de passaportes de baterias, assegurando maior controle sobre descarte e reciclagem. Para Machado (2023), esse mecanismo poderia mitigar os riscos associados ao atual modelo de devolução ao fabricante, que, na ausência de protocolos padronizados e fiscalização eficaz, se mostra ineficiente e arriscado.

A insegurança jurídica decorrente da inexistência de normativas específicas compromete também a operação das empresas envolvidas. Muitos dos entrevistados relataram que, diante do vácuo legal, recorrem à legislação de baterias de chumbo por analogia ou seguem orientações genéricas de órgãos como IBAMA e CONAMA, que ainda não contemplam as especificidades das LIB. Um dos técnicos entrevistados destacou: *“Quanto as barreiras a primeira é uma definição de legislação, isso é um ponto chave pois esse tema é muito sensível. Então acaba que é importante você ter uma normativa, porque aí você consegue trabalhar melhor e pode construir um padrão. Até mesmo para termos argumento quando forem nos cobrar, já que sem a normativa fica muito solto. Então, a primeira barreira é a legislação. Entendo importante até se forem oficializar por exemplo que não vão mexer e pedindo para considerar igual a legislação existente de chumbo, sabe? Para considerar o mesmo fluxo, seria maravilhoso, pois é importante uma definição”*. No Brasil, já existe um sistema estruturado de LR para baterias de chumbo-ácido, amplamente utilizadas em veículos automotores. No entanto, ainda não há um modelo específico voltado para as LIB. Em razão dessa lacuna, as LIB acabam sendo incluídas no escopo de atuação da entidade gestora *Green Eletron*, responsável pela LR de pilhas, baterias, eletroeletrônicos e seus componentes em geral (SINIR, 2021).

Essa lacuna normativa tem impactos concretos sobre a cadeia de reciclagem. Atualmente, apenas uma empresa nacional é capaz de realizar a reciclagem completa de baterias de alta voltagem, gerando um gargalo logístico e aumentando significativamente os custos: *“Empresas precisam se especializar nisso. Está bem que ainda não tem volume e só a ZZZ faz, mas ela é nossa única parceira de reciclagem que eu já disse aqui na outra pergunta, com exceção dela, eu desconheço outra empresa no Brasil que faça isso. Entendo que para a bateria de chumbo você tem inúmeras empresas, não é? Então o que falta é a gente ter a demanda, porque as empresas só vão se organizar se elas identificarem demanda não existe a demanda ainda”*, relatou um dos entrevistados, enquanto outro entrevistado complementou *“Hoje, a gente deve gastar uns 4 mil reais por bateria pra levar até a ZZZ, ok? Então esse aqui é um custo que nós temos e a gente não recupera nada disso”*. A baixa demanda, por sua vez, contribui para a escassez de empresas especializadas, criando um ciclo vicioso em que a falta de regulamentação reduz os incentivos para a especialização, e a ausência de especialização dificulta a consolidação de práticas normativas.

Para além das barreiras legais e operacionais, a viabilidade de uma cadeia estruturada de LR está diretamente relacionada à expansão da frota de VE no Brasil. No entanto, segundo os entrevistados, a ausência de incentivos governamentais, aliada à incerteza sobre a estabilidade das políticas públicas, tem limitado o crescimento desse mercado. A experiência internacional mostra caminhos alternativos: a Alemanha, por exemplo, investiu 8,2 milhões de euros no desenvolvimento do “passaporte da bateria” (Guerra, 2022), promovendo a rastreabilidade e sustentabilidade do setor.

Em contraste, o cenário brasileiro é marcado por uma alta carga tributária, dificuldades históricas na manutenção de programas de incentivo, como ocorreu com o ProÁlcool, e falta de previsibilidade nas ações governamentais, conforme destaca um dos entrevistados *“Acho que como tudo aqui no país. Se a gente olhar para o Brasil como um todo, a hora que a gente olha para os impostos que tem no próprio motor a combustão, e aí você pode pegar como é que foi o projeto ProAlcool, onde o governo entrou e depois saiu também, um monte de gente ficou durante um período com dificuldade [...] então talvez se tiver algum interesse econômico em alavancar o carro elétrico, talvez o governo entre. Mas não consigo enxergar hoje algo que*

realmente faça esse subsídio e alavanque a eletricidade no país”. O mesmo entrevistador complementa “Provavelmente os impostos vão, em vez de ser para combustão, a gente pensando aí no futuro, vai ser na eletricidade. Vai só trocar. É para se pensar de onde vem, porque se você simplesmente trocar, você não pode falar assim, legal, vou subsidiar o carro elétrico, vou baixar a produção do carro a combustão e a arrecadação do governo cai. Hoje, na indústria automobilística, o imposto que o governo arrecada é um imposto considerável, é uma arrecadação grande. Então, não sei até que ponto que se conseguiria subsidiar para entrar com o carro elétrico. E amanhã depois, se você tira esse subsídio também, o carro elétrico pode se inviabilizar novamente. Principalmente aqui no país, a gente tem uma relação bastante difícil, uma equação bastante difícil para resolver”.

Embora a eletrificação total da frota ainda enfrente barreiras estruturais e de mercado no Brasil, a ANFAVEA (2023) defende que o etanol representa, no cenário atual, a alternativa mais rápida, acessível e eficaz para avançar na descarbonização da mobilidade, especialmente diante da infraestrutura já consolidada para sua produção e distribuição. Nesse contexto, alguns entrevistados indicaram que, considerando a infraestrutura nacional e a experiência consolidada com o uso de etanol, alternativas como os veículos híbridos (HEV e MHEV) poderiam representar uma transição mais viável e realista para o Brasil, conforme citado nas entrevistas *“uma estratégia nossa como indústria automotiva, e de muitas outras montadoras é a gente não eliminar 100% o motor térmico [...] a gente produz e já tem uma infraestrutura instalada e funcionando, que é o etanol. Entendeu? Então, a gente literalmente ir pro BEV 100%, não é uma realidade, pensando no mercado brasileiro”.*

No entanto, é consenso que a ausência de um plano estratégico nacional para a eletromobilidade não apenas dificulta a popularização dos VE, como também perpetua a baixa demanda por serviços de reciclagem e reaproveitamento de baterias, o que compromete o amadurecimento de todo o setor.

A transição para a mobilidade elétrica no Brasil esbarra em barreiras estruturais e institucionais que ainda não foram superadas, comprometendo sua viabilidade em larga escala. A ausência de incentivos governamentais claros e consistentes, como observa Sinigaglia (2023), tem sido um dos principais fatores que limitam a adesão aos VE, cenário agravado pela escassez de estações de recarga e pelos altos custos associados à infraestrutura de abastecimento. Foresta (2021) destaca que a

responsabilidade pela construção dessa infraestrutura recai majoritariamente sobre o Estado, que, apesar de dispor de instrumentos políticos capazes de estimular a inovação, ainda opera com uma estrutura institucional desalinhada às demandas específicas de ciência, tecnologia e inovação (STI) do setor automotivo sustentável.

Nesse contexto, a decisão do consumidor em migrar para os VEs também é diretamente influenciada pela percepção da infraestrutura local, como pontua Setiawan (2019), o que reforça o papel central das políticas públicas nesse processo de transição. Cabral-Neto (2021) amplia a discussão ao lembrar que a mobilidade elétrica não se limita ao desafio do abastecimento, mas envolve também a gestão dos REEE, especialmente o descarte e a reciclagem das baterias, exigindo uma abordagem sistêmica, integrada e regulatoriamente sólida para garantir os avanços reais na consolidação de uma economia verde.

Corroborando as informações trazidas neste estudo, o estudo de Arantes, Santos e Silva (2023) evidencia que a implementação da LR no Brasil enfrenta barreiras regulatórias e institucionais significativas, como a falta de clareza e uniformidade na legislação, a fragilidade dos mecanismos de fiscalização e controle, e a ausência de incentivos econômicos que estimulem a adesão do setor produtivo. Além disso, destaca-se a desarticulação entre os diferentes setores envolvidos, o que compromete a efetividade das políticas públicas voltadas à gestão de resíduos. Esses entraves dificultam a consolidação de sistemas de LR operacionais e sustentáveis, evidenciando a necessidade de um marco regulatório mais claro, integrado e estimulante.

Dessa forma, os dados empíricos e a literatura convergem para um diagnóstico claro: a inexistência de regulamentações específicas para baterias de íons de lítio representa um gargalo crítico para o avanço sustentável da eletromobilidade no Brasil. Superar esse desafio requer ações coordenadas entre Estado, setor produtivo e sociedade civil, com o estabelecimento de normas claras, incentivos econômicos e políticas públicas consistentes. Só assim será possível construir uma cadeia de LR capaz de garantir o reaproveitamento seguro e eficiente dessas baterias, assegurando a proteção ambiental e a viabilidade econômica do setor no país.

4.3.3 Cadeia de logística direta das baterias

As entrevistas realizadas com especialistas da área ambiental e representantes do setor industrial permitiram mapear aspectos relevantes da cadeia de logística direta das baterias de lítio destinadas a VE leves no Brasil. Um dado inicial que chama atenção é que, apesar de atuarem em temas relacionados à sustentabilidade, alguns dos profissionais entrevistados demonstraram desconhecimento sobre o funcionamento da cadeia logística, tanto direta quanto reversa, das baterias. Essa lacuna indica uma desconexão entre os discursos sobre transição energética e a compreensão técnico-operacional necessária para viabilizar esse processo de forma estruturada. Ainda assim, foi unânime entre os participantes o reconhecimento do papel dos VE na redução de emissões de CO₂ e na descarbonização do setor automotivo, conforme também apontado por estudos recentes (ABINEE, 2023), conforme citado por um dos entrevistados *“a importância do veículo elétrico na redução do CO₂, a comparação do veículo gasolina e do BEV [...] você vê que a emissão no processamento é mais alta do que no uso, né? No uso do veículo é que você vê a redução do CO₂”*.

No cenário empresarial, evidenciou-se que a LR das baterias ainda não está completamente estruturada. A empresa entrevistada relatou que utiliza os serviços de uma companhia terceirizada, especializada em reciclagem de baterias, identificada nas entrevistas como ZZZ, a qual atua a partir do recolhimento das baterias, com apoio das concessionárias, que fazem o armazenamento temporário dos materiais até o recolhimento pela transportadora. Durante o período das entrevistas, verificou-se que tanto as baterias oriundas de veículos fabricados no Brasil quanto as importadas estavam sendo encaminhadas para reciclagem. No entanto, no caso das baterias provenientes do exterior, apenas aquelas sem potencial para segunda vida ou remanufatura estavam sendo recicladas. Isso evidencia que, no Brasil, ainda não há uma abordagem estruturada voltada para o reaproveitamento dessas baterias por meio da remanufatura ou de aplicações em segunda vida, sendo a reciclagem tratada como destino único, mesmo quando outras alternativas seriam tecnicamente viáveis. Essa limitação no volume de descarte evidencia a incipiência do processo de retorno e reaproveitamento das baterias no país.

Do ponto de vista técnico, a cadeia logística direta foi descrita como fortemente dependente da importação de tecnologia e componentes, com baixos índices de nacionalização (AutoIndústria, 2023). Segundo os relatos, a maior parte dos *packs* de

baterias chega às montadoras como unidades prontas para uso, funcionando como componentes fechados e integrados. No entanto, há estudos e iniciativas que buscam reduzir a complexidade, os riscos e os altos custos envolvidos na importação desses packs completos. Uma das propostas em destaque é a adoção do modelo de montagem local, no qual os subcomponentes das baterias seriam importados separadamente e montados internamente na planta de destino. Essa estratégia permitiria maior flexibilidade logística, redução de custos e potencial desenvolvimento de competências técnicas nacionais, além de facilitar futuras etapas de manutenção, remanufatura ou desmontagem para fins de LR, conforme um dos entrevistados menciona *“A gente, dentro da planta, tem uma linha de montagem de bateria, e o pacote inteiro da bateria, que depois é a peça final [...] a gente recebe os sub-componentes, vai em uma linha específica, nesta linha específica monta o conjunto, e o conjunto vai para a linha de produção”*.

Essa configuração de *pack* inteiro dificulta o acesso a informações detalhadas sobre os sub-componentes e módulos, comprometendo a possibilidade mais factível de aplicação da LR pela indústria deter o conhecimento tanto da rastreabilidade dos produtos, quanto do processo de montagem dos sub-componentes do conjunto da bateria. Como consequência, limita-se a eficiência de qualquer sistema de LR, sobretudo no que se refere à separação, triagem e reaproveitamento dos componentes internos. A rastreabilidade digital na cadeia produtiva de baterias desde a origem até o descarte, como forma de facilitar o condicionamento, a desmontagem e o descarte ambientalmente adequados tem sido foco de diversas iniciativas e investimentos, visando aumentar a transparência e a sustentabilidade no setor (Trabbold, 2023). Além disso, a centralização global da produção de baterias em poucos países restringe a criação de infraestrutura local voltada ao tratamento e reaproveitamento desses materiais no Brasil (Garcia, 2024).

As entrevistas também revelaram um bom domínio técnico dos profissionais quanto às diferentes tecnologias de eletrificação veicular presentes no mercado nacional. Tais tecnologias variam conforme a arquitetura do sistema de propulsão e incluem os veículos híbridos convencionais (HEV), híbridos plug-in (PHEV), híbridos leves (MHEV) e os totalmente elétricos a bateria (BEV). Essa diferenciação, amplamente descrita pela ABVE (2024), é fundamental para o mapeamento da cadeia logística direta, já que cada categoria apresenta demandas específicas em relação ao

transporte, armazenamento, manutenção e substituição de baterias. Os entrevistados destacaram, em especial, os desafios logísticos associados aos BEV, que dependem exclusivamente da bateria para sua operação e, por isso, requerem cuidados redobrados devido ao maior volume e densidade energética desses componentes. Nesse sentido, o conhecimento técnico sobre a composição das células de bateria de íons de lítio surge como um elemento-chave para a estruturação logística eficiente e segura. Conforme descrito pela USITC (2021), cada célula é composta por três elementos principais: ânodo, cátodo e eletrólito, cuja interação se dá por meio da troca de íons de lítio durante os ciclos de carga e descarga. A natureza química desses elementos determina o desempenho da bateria e impõe exigências específicas ao seu manuseio. De acordo com os engenheiros entrevistados, o ânodo, geralmente à base de silício, é responsável por liberar os íons, enquanto o cátodo, frequentemente composto por fosfato de lítio, os recebe. A diferença entre esses materiais favorece uma eficiente transferência de carga, aspecto crucial para o desempenho energético do veículo.

Outro componente técnico de destaque é o separador, cuja função é impedir o contato direto entre ânodo e cátodo. Conforme ressaltado por Elwert, Hua e Schneider (2019), o rompimento ou falha nesse isolante pode resultar em reações químicas violentas, gerando calor excessivo e até incêndios. Essa preocupação foi corroborada pelos profissionais entrevistados, que enfatizaram a necessidade de protocolos rigorosos para transporte, armazenamento e integração dos *packs* de bateria, a fim de mitigar riscos à segurança e à integridade dos produtos.

Dessa forma, a compreensão aprofundada da cadeia de logística direta das baterias de lítio deve considerar não apenas o fluxo físico dos componentes, mas também os fatores técnicos, regulatórios e operacionais que condicionam sua eficiência. A dependência de tecnologia estrangeira, a limitada rastreabilidade e o conhecimento parcial sobre os processos logísticos constituem obstáculos importantes a serem superados. Ao mesmo tempo, o domínio sobre as tecnologias de propulsão e a estrutura interna das baterias representa um ponto de partida estratégico para o desenvolvimento de soluções logísticas mais seguras, integradas e sustentáveis.

4.3.4 Cenário atual de logística reversa para baterias de veículos elétricos na empresa estudada

No decorrer das entrevistas, os participantes trouxeram reflexões importantes sobre os desafios e potenciais caminhos para a estruturação da LR de LIB no Brasil. A partir da análise crítica dessas contribuições, foi possível compreender o cenário atual enfrentado pela empresa estudada no gerenciamento das LIB provenientes de VE leves.

Atualmente, o processo de substituição e encaminhamento dessas baterias não está uniformemente padronizado entre todas as unidades da empresa. Essa lacuna operacional se deve, em grande parte, à novidade do tema e à baixa recorrência de trocas, o que dificulta a consolidação de um fluxo logístico eficiente. Enquanto algumas unidades já operam com protocolos bem definidos, outras ainda estão em fase de estruturação. De modo geral, os procedimentos são conduzidos pela equipe de pós-vendas, responsável por registrar a solicitação de uma nova bateria quando um veículo com defeito é recebido na concessionária. Em algumas regiões, como no Sudeste, o sistema já está automatizado para notificar, de forma integrada, o responsável pela LR assim que a solicitação é feita. A embalagem da nova bateria é reaproveitada para acondicionar a unidade defeituosa, que é então enviada de forma segura ao seu destino final.

Apesar do compromisso com práticas ambientalmente responsáveis, a empresa enfrenta desafios significativos, especialmente relacionados aos custos de transporte até a unidade parceira de reciclagem. Outro ponto crítico é a ausência de um sistema interno de triagem ou avaliação técnica das baterias recebidas, o que impede a identificação de baterias com potencial de reaproveitamento. Dessa forma, todas as baterias, independentemente de sua condição, são encaminhadas diretamente para reciclagem. Essa falta de seletividade representa uma perda de oportunidade para otimizar recursos, reduzir desperdícios e ampliar o valor gerado ao longo do ciclo de vida do produto. Na prática, a ausência de um modelo mais eficiente e direcionado limita o impacto positivo que a LR poderia ter tanto nos resultados econômicos quanto nas metas ambientais da empresa.

Atualmente, todas as baterias recolhidas são enviadas para uma empresa parceira especializada em reciclagem, referida neste estudo como ZZZ. De acordo

com os relatos obtidos nas entrevistas, a reciclagem realizada pela ZZZ é completa, garantindo que 100% da composição das baterias encaminhadas pela empresa seja devidamente processada e reaproveitada, conforme um dos entrevistados aponta: *“Então eles fazem a junção desse volume nosso junto com a de outras empresas, precisam ter o volume desse material para poder mandar para outras empresas, como é em conjunto eles não informam para onde vai, mas pelo que eu entendi, hoje ela é 100% reciclada [...] ele me traz tantos metais metálicos, tantos foi metais ferrosos, tantos foi metais não ferrosos, tantos foi plásticos inertes e por aí vai. Então, à medida que aparece uma composição diferente ou não. Eles sempre colocam para gente a questão da quantidade e aí quando a gente soma, dá o total da bateria. Ou seja, realmente reciclam 100%”*. Esse relato reforça o compromisso com a destinação ambientalmente correta, mesmo diante da ausência de um processo logístico uniformemente padronizado em todas as unidades.

Outro ponto-chave revelado durante as entrevistas foi a variação da garantia conforme o perfil de uso do cliente. Considerando a informação fornecida pelos entrevistados sobre o tempo de garantia das baterias, esse aspecto será determinante para a categorização das baterias no fluxo proposto, distinguindo diferentes situações de descarte e suas respectivas formas de destinação. Um dos entrevistados explica que a vida útil de uma bateria pode depender de alguns fatores: *“No manual dela que a bateria tem uma duração média, uma vida útil de 15 anos. Mas significa que a indústria automotiva vai colocar a garantia da bateria de 15 anos? Eu não sei. Entendeu? Mesmo porque, por exemplo, a garantia, a vida útil é uma coisa, garantia é outra, e ainda está atrelada a um perfil de uso do cliente.... Só que, igual o que falaram, isso vai variar do consumidor. Por exemplo, se o consumidor for um motorista de Uber, de táxi, essa garantia pode cair para cinco anos”*. No entanto, de modo geral, a bateria tem em média 8 anos de garantia, conforme citado por outros entrevistados *“eu entendo que geralmente a validade das baterias no mercado é de 8 anos”*; *“a bateria ela tem uma garantia de 8 anos ou 160.000 km”* ou *“a bateria tem oito anos. Dentro de 8 anos será trocada”*. Ou seja, embora a média de garantia seja de 8 anos, casos como o de motoristas de aplicativo ou táxi podem reduzir esse período consideravelmente.

Diante desse cenário, fica evidente a necessidade de modernização dos processos, de investimentos em infraestrutura e da criação de um modelo estruturado

de LR. Essa base servirá de suporte para a proposta desenvolvida neste trabalho, que visa à implementação de um fluxo mais eficiente, capaz de integrar etapas de reaproveitamento, remanufatura e reciclagem de forma estratégica, segura e alinhada às diretrizes de economia circular.

4.3.5 Proposta de logística reversa para baterias de veículos elétricos

A proposta deste trabalho é a criação de um centro de remanufatura no Brasil vinculado à empresa automotiva estudada para receber baterias de diferentes regiões. Essa iniciativa representa um avanço necessário para estruturar a LR de baterias e atenderia tanto à crescente demanda por soluções sustentáveis no país quanto à necessidade da própria empresa de reduzir custos com trocas em garantia, além de contribuir com o desenvolvimento tecnológico e industrial nacional. No entanto, a sua efetiva implementação depende diretamente da superação de desafios operacionais ainda presentes nas concessionárias.

Para fins deste estudo, optou-se pelo foco nos BEV, uma vez que são os únicos a operar 100% com eletricidade, sem qualquer dependência de combustíveis fósseis. Essa escolha está alinhada com as metas globais de neutralidade de carbono até 2030, pois apenas os BEV têm potencial real de zerar as emissões de GEE durante a operação. Somado a isso, os BEV apresentam maior complexidade logística, tanto durante o uso quanto no descarte de seus sistemas de armazenamento de energia. A partir dessa abordagem, busca-se estabelecer diretrizes aplicáveis inicialmente aos BEV, mas que possam futuramente ser adaptadas a outras categorias, como PHEV e HEV, cujas baterias são de menor porte.

Essa estratégia de atuação gradativa está alinhada com os objetivos de sustentabilidade e descarbonização do setor automotivo, ao passo que permite desenvolver soluções logísticas escaláveis a partir do cenário mais exigente. Compreender os desafios técnicos, operacionais e ambientais associados às baterias dos BEV é, portanto, essencial para a formulação de modelos eficientes de LR, com potencial de replicação e adaptação para outras tecnologias veiculares.

A etapa das entrevistas revelou importantes lacunas e preocupações envolvendo o manuseio e a gestão de LIB, especialmente no contexto de uma infraestrutura ainda incipiente no Brasil. Foi destacado que à época da introdução dos VE, não havia preparo técnico nem estrutural para lidar com essas baterias, o que incluía a ausência de soluções locais para reciclagem, armazenamento seguro (como o *Battery Storage*) e rede de assistência capacitada. Além disso, mencionou-se que, diante da falta de conhecimento técnico para reparo das baterias, a única solução adotada era a substituição completa, o que demandava estrutura de LR específica, incluindo estoque temporário e envio para reciclagem. Contudo, diante da falta de infraestrutura no Brasil, foi relatado que chegou a ser considerada a possibilidade de enviar as baterias usadas para a Europa, devido à escassez de reciclagem naquele momento e ausência de remanufatura no país ainda no cenário atual. Mas vale ressaltar que existem custos altos e riscos elevados para trabalhar com essa logística.

A análise do fluxo atual revelou também a necessidade de categorização das baterias pós-consumo, com base no tempo de uso e condição no momento da substituição. As entrevistas permitiram a definição de quatro perfis: (1) baterias em garantia com poucos meses de uso; (2) baterias em garantia com aproximadamente metade da vida útil; (3) baterias em garantia, porém no final do ciclo; e (4) baterias fora do período de garantia. Essa classificação é essencial para propor estratégias de destinação mais eficientes dentro do sistema de LR.

A variação da garantia conforme o perfil de uso do cliente reforça que não é possível estabelecer uma relação direta entre tempo de uso e a qualidade ou desempenho restante da bateria. Um dos entrevistados explica que *“depende totalmente de cada bateria. Cada bateria vai ser a sua. Mas o gráfico que eu teria para te mostrar é um gráfico de perda de saúde da bateria, em teoria, não é proporcional a recarga. Pode variar. Ou seja, eu tenho a curva de perda de saúde da bateria específica. Cada bateria, dependendo da clínica, as clínicas variam, tem muitos fatores. Então, cada bateria vai ter a sua. Vai ter uma curva. Essa bateria X, ela perde mais ou menos nessa curva. Agora, para você colocar isso em autonomia, não é só a bateria que é um fator. Tem outros fatores de consumo. Depende do cara, se ele pisa mais, se ele pisa menos. Depende do pneu. Depende de toda a mecânica do carro. Existem outras perdas. Isso aí vai ser do carro”*. Essa constatação reforça a

importância de avaliações técnicas individuais no processo de triagem para determinar o destino mais adequado a cada bateria.

Considerando que o tempo de uso não é um indicador confiável da condição real das LIB, propõe-se que todas as baterias pós-consumo, independentemente da quilometragem percorrida, do tempo de uso ou da classificação em garantia, sejam inicialmente enviadas para uma análise técnica detalhada. Essa etapa será realizada em um centro nacional de remanufatura, que deverá ser implantado no Brasil com infraestrutura adequada para esse tipo de operação. O fluxo padrão prevê que, ao ser retirada na concessionária, a bateria seja transportada diretamente até esse centro, seguindo um protocolo unificado aplicável a todas as lojas da rede.

A análise de bancada será o primeiro passo para determinar o destino mais apropriado para cada bateria. Nela temos os critérios que vão ser contemplados, exemplo dos indicadores: Caso a avaliação identifique que a capacidade da célula de carga está inferior a 80%, a bateria será destinada à remanufatura, seguindo o foco principal da proposta. Se a capacidade estiver entre 30% e 80%, e a bateria não apresentar danos estruturais relevantes, ela poderá ser aproveitada em aplicações de segunda vida, como sistemas de armazenamento de energia estacionária, sem a necessidade de substituição de células ou módulos. Já baterias com capacidade superior a 80% também poderão ser redirecionadas à segunda vida ou, em casos específicos, à reciclagem, conforme a demanda e acordos com fornecedores e parceiros estratégicos.

Importante destacar que há também a possibilidade da terceira vida ser aplicada com parceiros ou stakeholders, para casos de eventualidades estacionárias, como armazenamento de energia eólica, estabilização da rede elétrica ou até mesmo como estacionamentos com carregamento veicular.

Caso a bateria apresente rendimento da célula de carga abaixo de 30%, ela será considerada inapta tanto para remanufatura quanto para aplicação em segunda vida, devendo ser encaminhada diretamente para a reciclagem. Atualmente, esse processo é realizado pela empresa parceira identificada neste estudo como ZZZ. É importante ressaltar que a realização dessa triagem inicial no centro de remanufatura trará benefícios logísticos e econômicos significativos, pois evita o envio direto de baterias que ainda poderiam ser reaproveitadas, otimizando o uso de recursos e

reduzindo custos com transporte desnecessário. A Figura 7 exemplifica de forma visual a proposta do presente trabalho.

Figura 7. Esquematização da proposta de logística reversa para baterias de veículos elétricos no Brasil em uso



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A proposta apresentada neste estudo concentra-se principalmente nas baterias com capacidade de carga entre 30% e 80%, faixa em que é tecnicamente viável e ambientalmente vantajoso realizar a remanufatura. Esse processo, além de estender a vida útil do produto, também reduz a demanda por matéria-prima virgem e os impactos ambientais do ciclo produtivo.

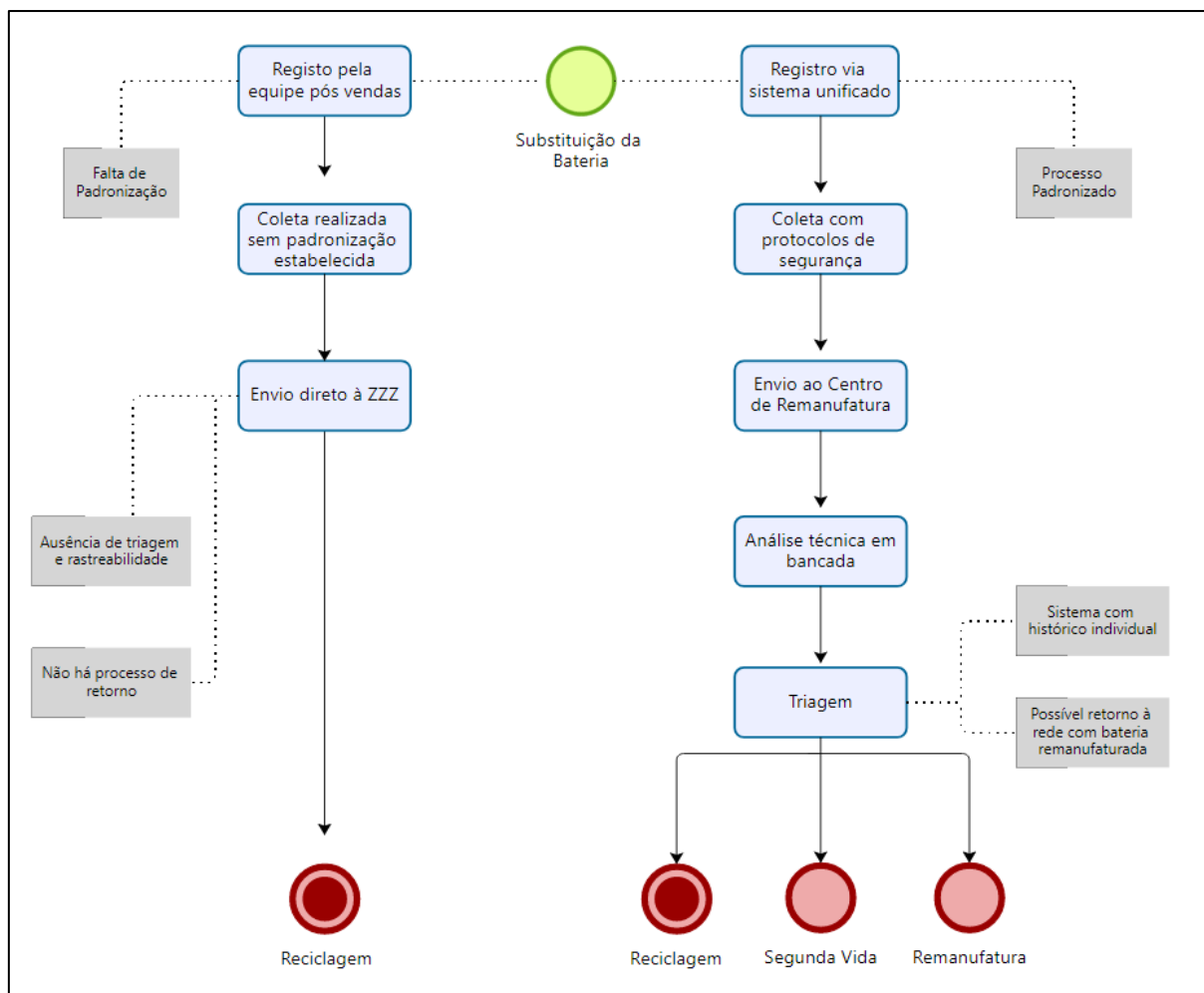
É importante destacar que, independentemente do destino intermediário da bateria, seja ela remanufaturada, ou reaproveitada em uma segunda ou terceira vida, conforme relata a Figura 7, o processo de reciclagem para a recuperação de materiais estratégicos continuam sendo sua etapa final e indispensável. Isso ocorre porque, o objetivo de extrair materiais críticos como lítio, cobalto, níquel e manganês, que são escassos e de alto valor reforça o compromisso com a sustentabilidade, reduz a dependência de extração mineral primária, e garante o reaproveitamento de recursos

essenciais para a fabricação de novas baterias, fechando o ciclo produtivo dentro dos princípios da economia circular.

Observa-se que as montadoras e empresas do setor automotivo têm intensificado os investimentos no aprimoramento das técnicas de remanufatura, com o objetivo de tornar esse processo mais eficiente, economicamente viável e operacionalmente escalável. Essa tendência está fortemente alinhada aos princípios da economia circular e à busca por uma cadeia de produção mais sustentável. É fundamental destacar que a ampliação dessas etapas não promove apenas benefícios ambientais, mas também apresenta um potencial significativo de contribuição ao modelo do *triple bottom line* que equilibra esse trabalho, pois considera os pilares ambiental, social e econômico juntos. Visto que além da redução do impacto ambiental, a remanufatura pode gerar novas oportunidades de emprego, fomentar capacitação profissional, estimular o desenvolvimento de tecnologias limpas e impulsionar a economia local, promovendo um ciclo virtuoso de inovação e sustentabilidade no setor automotivo.

Como parte essencial da proposta, o processo de análise em bancada não apenas define o destino da bateria pós-consumo com base em sua capacidade de carga, mas também incorpora um sistema de rastreabilidade. Esse mecanismo permite acompanhar o histórico de cada bateria que passa pelo centro de remanufatura, registrando quantas vezes ela foi reaproveitada, seu desempenho após cada intervenção e sua durabilidade média. Com essa rastreabilidade ativa, torna-se possível avaliar o número de ciclos em que uma bateria ainda apresenta condições adequadas para ser remanufaturada com segurança e eficiência. Tal acompanhamento é fundamental para garantir a confiabilidade do processo, otimizar o reaproveitamento e fornecer dados robustos para futuras decisões operacionais, econômicas e regulatórias. A Figura 8 demonstra uma representação gráfica em notação BPMN como um resumo comparativo entre o modelo atualmente utilizado na empresa estudada e o modelo proposto neste trabalho, destacando as principais diferenças e inovações.

Figura 8. Modelo atual vs Modelo Proposto



Fonte: Elaborado pela autora (2025), por meio da ferramenta de modelagem Bizagi®.

Além das diferenças estruturais entre o fluxo atual e o proposto, o tempo necessário para a coleta e a análise técnica das baterias também se destaca como um fator relevante na comparação de custos e eficiência. No modelo vigente, a coleta das baterias com defeito pode levar de uma a duas semanas, o que implica maior tempo de ociosidade e potenciais custos logísticos acumulados. Já no fluxo sugerido, estima-se que a coleta ocorra em um intervalo significativamente menor (entre um a dois dias) desde que as baterias estejam armazenadas em ambiente refrigerado adequado. Além disso, o tempo para análise técnica no centro de remanufatura previsto no novo fluxo pode variar em torno de 24 horas, a depender do volume de baterias recebidas e da distância entre a concessionária de origem e a unidade de triagem e reaproveitamento. Essas diferenças operacionais influenciam diretamente a

viabilidade econômica e a sustentabilidade do sistema, justificando a proposta de reformulação do fluxo logístico.

É importante destacar que a proposta de LR apresentada neste estudo é flexível e adaptável, abrangendo a bateria em sua forma convencional, onde é recebida inteira pelo fornecedor, quanto a bateria no cenário, ainda em desenvolvimento na indústria automotiva, que é a fabricação da sua própria bateria através de importação de seus subcomponentes. Essa prática busca reduzir os custos logísticos e a complexidade envolvida no transporte internacional de baterias BEV.

Embora a empresa já esteja operando iniciativas pontuais, como o fluxo atualmente em prática na unidade de Betim, ainda não há um processo padronizado entre todas as concessionárias no que diz respeito à substituição e encaminhamento das baterias de alta voltagem. Essa falta de uniformidade operacional, atribuída à novidade do tema e à baixa recorrência de trocas, representa uma lacuna crítica na consolidação de uma LR eficiente. Nesse sentido, a proposta de centralização da análise técnica em bancada, dentro de um Centro Nacional de Remanufatura, surge como uma alternativa estruturante para unificar os procedimentos. Ao oferecer um protocolo técnico único de triagem e destinação, a proposta permitiria adaptar o fluxo atual às particularidades de cada região de concessionária, sem perder o controle e a padronização da operação como um todo.

Atualmente, o volume de baterias recebidas para reciclagem é relativamente baixo, o que permite que a empresa parceira ZZZ consiga atender à demanda de forma pontual. No entanto, com base na tendência de crescimento da frota de VE no Brasil, como evidenciado por KedGlobal (2021). De acordo com esse autor, o mercado de reciclagem de baterias de VE deve crescer cerca de 74 bilhões de dólares até 2040, marcas globais da indústria automotiva não apenas disputam entre si a liderança no emergente mercado de reciclagem de baterias, como também têm estabelecido alianças estratégicas por meio de parcerias, visando consolidar sua presença nesse setor promissor. Deste modo, é possível projetar um aumento significativo no fluxo de baterias em fim de vida nos próximos anos. Diante disso, torna-se urgente a implementação e o fortalecimento da infraestrutura de remanufatura nacional, de modo que esse centro proposto esteja preparado para receber volumes cada vez mais expressivos. Essa antecipação garante escalabilidade

ao modelo e em conjunto com a padronização proposta entre regiões evita gargalos futuros no sistema de LR.

Embora já existam centros especializados no exterior, o alto custo e os riscos logísticos associados ao transporte internacional de LIB tornam inviável depender apenas dessas estruturas fora do país. Inicialmente, a proposta contempla a implantação de uma única unidade, estrategicamente localizada, com possibilidade de expansão conforme o aumento do volume de baterias pós-consumo, que, atualmente, ainda é baixo. O sucesso da operação dependerá também do investimento em capacitação técnica e da criação de uma estrutura adequada para testes e diagnósticos nas mesas de bancada.

A justificativa para a instalação desse centro no Brasil é reforçada pelos relatos colhidos nas entrevistas com especialistas da área, que destacam o alto custo do transporte: *“O transporte de bateria tem um custo extremamente elevado”*. Outro entrevistado foi ainda mais fundo no relato: *“O transporte dessas baterias, inclusive a gente teve que fazer, é caríssimo, o transporte de uma bateria, entendeu, dos Estados Unidos ou da Europa para o Brasil, então a bateria desse porte é muito, muito cara. Então, assim, eu estive lá e até transporte terrestre é caro, entendeu? Por exemplo, lá na Europa, tem uns caixas de produção lá, tem um problema na concessionária, os caras trocam a bateria, pegam essa, aí na Europa como tudo, eles têm que pegar essa bateria lá da Itália e mandar para um centro de remanufatura de diagnose lá na Alemanha. Uma bateria, se dar Itália para a Alemanha, beira 8 mil dólares uma bateria. E terrestre ein... Dentro da Europa. É muito, muito caro”*.

Conforme apontado por Zhang et al. (2022), a LR envolve uma série de operações interligadas, como reutilização, reciclagem, remanufatura, descarte e o gerenciamento de resíduos pós-consumo. Com base nesse referencial teórico, a proposta apresentada neste estudo se alinha diretamente à lógica da LR, ao focar na aplicação prática desses conceitos às baterias de alta voltagem provenientes de VD. A solução sugerida contempla de forma integrada os principais eixos dessa cadeia: desde a triagem técnica até a definição de rotas para reaproveitamento, remanufatura ou reciclagem, conforme o estado das baterias analisadas.

A proposta vai além do conceito e apresenta um cenário operacional viável, com possibilidades concretas de aplicação tanto para a reciclagem quanto para a reutilização, sendo a remanufatura o foco principal do modelo. Para exemplificar o

escopo técnico do que será realizado nesse Centro de Remanufatura, destacam-se a seguir trechos extraídos das entrevistas que descrevem, com base na experiência de campo, algumas das atividades e etapas envolvidas no processo: *“O básico é trocar o módulo. Que são as composições da célula”* ou ainda *“Tudo dá para ser reparado, mas a saúde da célula não tem como. Você não repara”*

A atual configuração da bateria, que é adquirida inteira, implica que a responsabilidade pelo ciclo de vida do produto é compartilhada entre o fornecedor e a empresa XXX. Entretanto, caso a empresa consiga desenvolver a capacidade de fabricar suas próprias baterias, surgiriam novas complexidades na planta, mas com a vantagem de uma redução significativa nos custos de produção. Nesse novo cenário, a responsabilidade deixaria de ser compartilhada, passando a ser integralmente da empresa XXX, que, embora ainda utilizasse subcomponentes importados, fabricaria as baterias dentro de sua própria planta para uso exclusivo nos seus VE.

Atualmente, o custo do transporte para a reciclagem das baterias é embutido no valor fornecido pelas baterias inteiras que chegam da fornecedora externa. Ao serem enviadas para a recicladora, é emitida uma nota fiscal de destino final, a qual formaliza a entrega da bateria usada à unidade de reciclagem. Como destacado por um dos entrevistados *“é uma nota fiscal de destino final onde ela recicla, mas tem a responsabilidade de dar um laudo de reciclagem completo”*. Esse laudo técnico é um documento essencial para assegurar a rastreabilidade do processo, pois detalha os materiais recuperados, os percentuais reciclados e o destino ambientalmente correto dos resíduos. No entanto, se a empresa passar a fabricar as baterias internamente, surgirá um custo adicional relacionado ao envio dessas baterias para a reciclagem, o que precisará ser contabilizado. Embora o custo adicional do transporte possa ser uma consideração importante, ainda assim seria vantajoso em termos financeiros, devido à redução de custos proporcionada pela fabricação interna.

É importante frisar que independentemente de a bateria ser fornecida inteiramente por um fornecedor externo ou fabricada pela empresa, ambas as opções estão dentro da proposta do processo de LR da criação de um centro de remanufatura, que visa a sustentabilidade e o reaproveitamento adequado das baterias.

Esse centro de remanufatura será um benefício que abrangerá as baterias pós-consumo em todas as suas classificações, sejam elas ainda em garantia com poucos meses de uso, com meia vida, no final de vida, ou as fora da garantia. As que ainda

estão em garantia, a minimização do custo em garantia será para a empresa estudada, e as fora de garantia será um benefício para os clientes em pagar mais barato em uma nova. Porém, no caso das baterias ainda dentro do período de garantia, é fundamental considerar a legislação brasileira, especialmente o Código de Defesa do Consumidor, que assegura ao cliente o direito de exigir a substituição do produto em caso de defeito. Isso significa que, ao identificar uma falha em uma bateria garantida, o consumidor pode legalmente exigir um produto novo ou a sua própria bateria reparada, o que impõe um desafio adicional à proposta de remanufatura. Essa informação é reiterada por um entrevistado *“Na Europa pode trocar por uma remanufaturada, mas não no BR devido à legislação não pode, essa legislação que serve para qualquer peça trocada em garantia. Ele só precisaria assinar um termo de anuência por opção dele mesmo em não querer esperar reparar e pela concessionária não ter uma nova”* e reforçada por outro *“não pode ser usada em veículos de venda novo. Porém pode ser utilizado em veículos projeto e clientes fora de garantia. Na Europa já devem fazer, hoje aqui só é feito como reciclagem”*. Sendo assim, é importante que sejam implementadas estratégias de comunicação e consentimento claras para viabilizar a adoção de baterias remanufaturadas como alternativa viável e segura.

Para os casos em que o cliente opte pelo reparo da própria bateria, é importante considerar que esse processo pode demandar um tempo significativo, especialmente devido à complexidade das etapas envolvidas. Diante dessa possível demora, somada ao elevado custo de aquisição de uma bateria nova para a empresa XXX, a concessionária poderá oferecer como alternativa a substituição por uma bateria remanufaturada. No entanto para que esse procedimento seja realizado será necessário que o cliente assine um Termo de Consentimento, formalizando a aceitação da bateria remanufaturada e reconhecendo as condições específicas dessa modalidade de troca. Essa medida visa garantir transparência no processo e segurança jurídica para ambas as partes.

Diferentemente do que ocorre na Europa, onde a substituição por baterias remanufaturadas já é uma prática consolidada e integrada ao fluxo de pós-venda, no Brasil essa solução ainda está em estágio inicial. Como explicado por um dos entrevistados, *“Na Europa pode trocar por uma remanufaturada, porém no Brasil, devido à legislação não pode. O que serve para qualquer peça trocada em garantia.*

Ele só precisaria assinar um termo de anuência por opção dele mesmo em não querer esperar reparar e pela concessionária não ter uma nova". Em seguida, o mesmo entrevistado complementa *"existe um convênio de garantia que fala que não podemos trocar uma peça de um veículo dentro do período de garantia por uma remanufaturada. Existe essa limitação, só é válido quando o cliente dá o aceite dele para isso, mas dentro do período de garantia de 8 anos [...] a lei permite que eu repare a bateria do mesmo cliente e devolva para ele, porém ele precisaria esperar o processo finalizar. A lei não permite eu ter um estoque de remanufaturadas e trocar automaticamente, isso o cliente precisaria autorizar"*. Essas considerações ressaltam tanto as limitações legais existentes no país quanto a necessidade de amadurecimento institucional para viabilizar práticas mais eficientes e sustentáveis no fluxo de LR.

É importante ressaltar que as baterias remanufaturadas não são destinadas nessa proposta à aplicação em veículos novos, uma vez que essa prática não atende às exigências técnicas e regulatórias do setor automotivo para a primeira montagem. A proposta de criação do centro de remanufatura está focada no reaproveitamento de baterias substituídas em veículos em uso, que ainda possuem potencial de segunda vida ou retorno ao ciclo produtivo de pós-venda. Por isso, reforça-se que o reaproveitamento será direcionado exclusivamente ao contexto de substituição em garantia, mediante assinatura de termo de consentimento, como já discutido anteriormente, ou de clientes fora de garantia que optarem por obter o produto como uma forma mais econômica.

Embora a exigência da assinatura de um Termo de Consentimento para a aceitação de baterias remanufaturadas represente uma barreira inicial à proposta, essa estratégia se mostra como o caminho mais viável do ponto de vista empresarial. Isso porque, ao invés de substituir todas as baterias por unidades novas, como é feito no modelo atual, a empresa poderá reduzir significativamente seus custos ao reaproveitar baterias por meio da remanufatura. Considerando que o custo da substituição de uma ou mais células é substancialmente inferior ao valor de uma bateria nova completa, a adoção desse modelo não apenas otimiza recursos, como também contribui para a sustentabilidade da cadeia e fortalece o compromisso com a economia circular.

Além disso, é importante que as baterias remanufaturadas em estoque, tenham a garantia de que o produto atenderá à expectativa de qualidade. Os relatos dos especialistas entrevistados reforçam que a remanufatura de baterias é uma alternativa tecnicamente segura e eficiente, capaz de restaurar completamente a funcionalidade do componente. Um dos profissionais afirmou: *“A remanufatura você devolve à bateria as condições iniciais, como se elas fossem novas. Então, você vai trocar algumas peças que são necessárias, alguma coisa, e a bateria como nova. Isso é a remanufatura”*. Outro especialista destacou que, embora o uso de baterias remanufaturadas em veículos ainda sob garantia possa ser um tema sensível, a equivalência em termos de desempenho é inquestionável: *“A remanufaturada tem exatamente as mesmas condições de uma bateria nova, a mesma garantia. Então, certamente não há nenhum problema”*. Esses depoimentos demonstram que, com os devidos cuidados técnicos e validações, a remanufatura é não apenas viável, mas uma estratégia recomendada para equilibrar sustentabilidade e redução de custos no processo de logística reversa.

Outro ponto importante a ser levado em consideração que salienta ainda mais a necessidade de aplicação da proposta de criação de um centro de remanufatura no Brasil é que não é possível a importação de baterias remanufaturadas em fronteiras de países da América do Sul, conforme trecho a seguir de um dos entrevistados: *“Não podemos atravessar fronteiras com peças remanufaturadas. No Chile foi quase 8MIL euros só para ser descartado do Chile para Europa por navio com container refrigerado. Eu posso exportar uma peça de segunda vida, mas não posso importar”*.

No entanto, para que a aplicação da remanufatura ocorra com êxito, é essencial que algumas premissas sejam rigorosamente cumpridas. Entre elas, destaca-se o atendimento integral às normas de segurança, uma vez que o manuseio de LIB envolve riscos elevados, como incêndios e exposição a materiais tóxicos. A implementação de um protocolo robusto de gestão de REEE é indispensável, garantindo o direcionamento ambientalmente adequado desses resíduos. Conforme apontado por Ickowczy et al. (2023), esse tipo de gestão é fundamental para mitigar riscos tanto ambientais quanto ocupacionais, especialmente em ambientes industriais onde a manipulação de baterias é realizada. Essa necessidade foi amplamente corroborada nas entrevistas em campo, como aponta um dos profissionais: *“Tem de contaminação, porque estamos falando de materiais que são pesados, né? A gente*

tem ali o lítio, o níquel, o cádmio e o cobre, então assim, são coisas que podem contaminar de fato o solo, a água". Outro entrevistado acrescenta: *"Acho que o principal que mais se fala é esse risco da explosão, né, porque o lítio em contato com o oxigênio, o fogo propaga [...] com dificuldade de apagar"*.

Além dos riscos de incêndio e contaminação, também foram apontados fatores estruturais e de durabilidade das baterias, especialmente no contexto brasileiro. Um especialista mencionou: *"As baterias são montadas embaixo do veículo, o que pode ser um agravante no Brasil, especialmente com estradas com buracos [...] Se a bateria for danificada, a solução poderia ser devolver a bateria danificada e vender uma remanufaturada com desconto"*. Também foi reforçada a necessidade de um tratamento técnico específico, devido à presença de materiais diversos e potencialmente perigosos, como alumínio, grafite, cobre e polipropileno: *"Tem risco de difusão, risco de pegar fogo, oxidação, toxicidade, radioatividade"*. Outro entrevistado ainda destacou que, embora envolvam componentes agressivos, as baterias possuem alto potencial de reaproveitamento: *"Isso aqui é 100% reutilizado para outros tipos de materiais. E pode ir para o mercado normalmente"*. Tais depoimentos evidenciam que, apesar dos riscos, o desenvolvimento de soluções técnicas adequadas pode transformar um resíduo crítico em uma oportunidade de valorização dentro da economia circular.

Conforme Ickowzcy et al. (2023), a criação de um centro de remanufatura deve ser acompanhada de uma gestão estruturada e orientada por etapas bem definidas, a fim de garantir eficiência, rastreabilidade e segurança no processo. Entre essas etapas, destacam-se o recebimento das baterias, a classificação quanto ao seu estado e potencial de reaproveitamento, a separação e desmontagem dos componentes, a avaliação gravimétrica dos materiais reaproveitáveis e, por fim, o encaminhamento adequado ao destino final, que pode ser remanufatura, segunda vida ou reciclagem. Essa abordagem sistematizada é essencial para assegurar um fluxo operacional sustentável e em conformidade com as exigências ambientais e técnicas.

Para que a proposta de criação de um centro de remanufatura no Brasil alcance seu pleno potencial, é imprescindível que seja inspirada nas normas, premissas e boas práticas já consolidadas em unidades similares em operação na Europa. Isso inclui, de forma prioritária, a capacitação técnica e contínua dos colaboradores que

atuam diretamente com as baterias. Além disso, deve-se considerar a necessidade de importação de equipamentos específicos e tecnologicamente adequados para garantir a segurança, a precisão e a eficiência dos processos. Investir em estrutura, conhecimento técnico e rigor operacional será decisivo para transformar a remanufatura de baterias de alta voltagem em uma solução economicamente viável, ambientalmente responsável e estrategicamente vantajosa para o setor automotivo nacional.

Além de representar uma estratégia economicamente viável para o setor automotivo, a remanufatura de baterias também se insere em um contexto mais amplo de ganhos ambientais ao longo do ciclo de vida dos VE. Ainda que a fabricação inicial das baterias envolva impactos significativos, como o uso intensivo de recursos naturais, esses efeitos são amplamente compensados durante a operação dos veículos, que não emitem GEE. Para além do transporte, as LIB também abrem possibilidades em outras frentes sustentáveis, como o armazenamento de energia proveniente de fontes renováveis, que é considerada uma solução eficaz para contornar a intermitência natural da energia solar e eólica e reduzir a dependência de geradores a diesel ou gás natural.

As baterias podem ainda ser empregadas para suprimento de carga em períodos de pico, ajudando a estabilizar o sistema elétrico, e em aplicações ferroviárias, onde locomotivas modernas vêm adotando fontes elétricas ou renováveis como substituição aos combustíveis fósseis. Essas possibilidades mostram que a LR, aliada à remanufatura e ao reaproveitamento estratégico das baterias, contribui não apenas para a circularidade da cadeia produtiva, mas também para um modelo energético mais limpo, resiliente e alinhado às metas globais de descarbonização. Com isso, a proposta aqui apresentada não se limita a uma solução técnica pontual, mas integra uma visão sistêmica e sustentável para o futuro da mobilidade elétrica no Brasil.

Essas possibilidades mostram que a LR, aliada à remanufatura e ao reaproveitamento estratégico das baterias, contribui não apenas para a circularidade da cadeia produtiva, mas também para um modelo energético mais limpo, resiliente e alinhado às metas globais de descarbonização. Com isso, a proposta aqui apresentada não se limita a uma solução técnica pontual, mas integra uma visão sistêmica e sustentável para o futuro da mobilidade elétrica no Brasil. Cabe destacar,

no entanto, que uma das limitações deste estudo foi a indisponibilidade de dados precisos sobre os custos atualmente envolvidos no processo de logística reversa. Embora o alto custo tenha sido apontado por diversos entrevistados (especialmente relacionado às etapas de importação e exportação), não foram fornecidos valores objetivos ou detalhados. Além disso, também não foi realizado um levantamento financeiro para estimar os investimentos necessários à implementação da proposta aqui apresentada, o que incluiria obras de infraestrutura, aquisição de equipamentos especializados e capacitação técnica. Essas lacunas evidenciam a necessidade de estudos complementares que aprofundem a viabilidade econômica da solução sugerida.

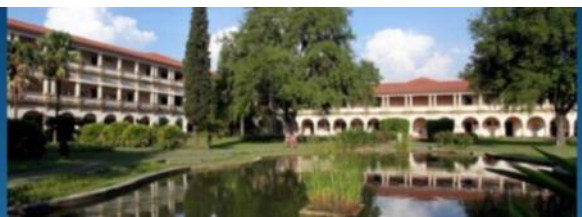


5 **RELATÓRIO** **TÉCNICO** **CONCLUSIVO** **(RTC)**

Relatório técnico é uma elaboração do pesquisador no final de seu trabalho para registrar informações obtidas e realizar a devida divulgação. Nele compreende-se de forma mais compilada todos os importantes processos, métodos e análises pesquisadas ao decorrer da pesquisa. Para essa pesquisa foi elaborado um relatório técnico considerando a cadeia de logística, a logística direta, reversa atrelada ao modelo *Triple Bottom Line* viabilizando soluções não somente ambientais mas sociais e econômicas, contendo um fluxo mapeado para a implantação de logística reversa das baterias de lítio pós-consumo utilizadas para a montagem de veículos leves elétricos em uma empresa do setor automotivo no Brasil.

Esse foi o produto técnico escolhido com o objetivo de ter uma apresentação mais prática e dinâmica aos gestores, diretores e membros da diretoria executiva da indústria automotiva estudada. Tendo em vista a rotina dinâmica do ambiente corporativo, o presente produto foi estruturado de forma objetiva, enxuta e diretamente orientada à resolução da problemática proposta, que é a realidade de muitas montadoras. Sua construção prioriza a fácil aplicação no contexto analisado, permitindo que os usuários assimilem de maneira rápida as etapas essenciais do processo. Além disso, o modelo adotado possui alta aplicabilidade, visto que foi implementado em outra unidade da empresa estudada e pode-se ter facilidade no ambiente-alvo nacional, além de apresentar característica escalável, podendo ser replicado em outros contextos organizacionais que enfrentem desafios similares.

PPGE
Programa de Pós-Graduação em
GESTÃO E ESTRATÉGIA



RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO

Caroline Kill da Cruz
Roberta Dalvo Pereira da Conceição

ABRIL, 2025



Este relatório está em conformidade com a metodologia de avaliação da Produção Técnica e Tecnológica proposta pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), relacionado à Avaliação Quadrienal 2029 (período 2025-2028).

Organização: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ.

Discente: Caroline Kill da Cruz

Docente orientadora: Profa. Dra. Roberta Dalvo Pereira da Conceição.

Dissertação: Proposta de implantação do sistema de logística reversa de bateria pós-consumo de veículos leves elétricos na indústria automotiva.

Data da defesa: 23/05/2025.

Setor beneficiado com o projeto de pesquisa, realizado no âmbito do programa de mestrado: Indústrias automotivas no Brasil.

Descrição da finalidade:

O produto tecnológico desenvolvido consiste em um Relatório Técnico Conclusivo (RTC) que visa propor rotas de direcionamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) com base no conceito de logística reversa (LR) e na base teórica do conceito de administração com o uso do Triple Bottom Line (TBL), apresentando informações que permitam aos gestores dos setores envolvidos nos processos de desfazimento de REEE entenderem que a integração de diversos intervenientes da cadeia reversa, aliada à implementação de processos eficientes de LR, pode contribuir significativamente para a redução dos impactos ambientais dos REEE e para a promoção da sustentabilidade na indústria automotiva.

Avanços tecnológicos/grau de novidade:

A pesquisa realizada permitiu propor rotas de direcionamento de REEE estabelecendo diretrizes embasadas no conceito de LR e TBL, podendo contribuir significativamente para a redução dos impactos ambientais dos REEE e para a promoção da sustentabilidade na indústria automotiva.

() Produção com alto teor inovativo: Desenvolvimento com base em conhecimento inédito;

(X) Produção com médio teor inovativo: Combinação de conhecimentos pré-estabelecidos;

() Produção com baixo teor inovativo: Adaptação de conhecimento existente;



() Produção sem inovação aparente: Produção técnica.

A produção é resultado do trabalho realizado pelo programa de pós-graduação.

Docentes Autores:

Nome: Roberta Dalvo Pereira da Conceição (X) Permanente; () Colaborador

Discentes Autores:

Nome: Caroline Kill da Cruz () Mest. Acad.; (X) Mest. Prof.; () Doutorado

Conexão com a Pesquisa:

Projeto de Pesquisa vinculado à produção: Gestão ambiental e sustentabilidade.

Linha de Pesquisa vinculada à produção: Linha 2 – Gestão Ambiental e Gerenciamento de Resíduos de Gestão.

() Projeto isolado, sem vínculo com o Programa de Pós-graduação

Artigos: A RELAÇÃO ENTRE A GERAÇÃO RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS E O E SEUS IMPACTOS NO PRODUTO INTERNO BRUTO GLOBAL- GDP: UMA ANÁLISE COM REGRESSÃO LINEAR SIMPLES NO E-VIEWS DE 2020 A 2022 - ISSN: 2359-1048 - Novembro 2023

Link: <https://engemausp.submissao.com.br/25/anais/arquivos/699.pdf?v=1745885099>

Aplicabilidade da Produção Tecnológica:

O modelo proposto de LR de LIB de alta voltagem em conjunto com o TBL em seu conceito de administração apresentam elevada aplicabilidade no contexto da indústria automotiva brasileira, especialmente considerando o cenário emergente da eletromobilidade no país. A proposta foi construída com base em práticas já identificadas no setor e em entrevistas com especialistas, o que garante sua aderência à realidade operacional das concessionárias e montadoras. Além disso, o processo foi estruturado de forma a permitir sua implementação gradual e adaptação conforme o aumento do volume de VE e, conseqüentemente, de baterias em fim de vida útil.

A padronização do fluxo logístico, desde a retirada da bateria até a análise técnica em bancada no Centro de Remanufatura, oferece clareza operacional e pode ser replicada em diferentes regiões do Brasil. A flexibilidade do modelo permite que ele seja utilizado tanto para baterias prontas recebidas de fornecedores como CATL ou Moura, quanto para aquelas montadas localmente, com subcomponentes importados. Essa abrangência amplia seu potencial de aplicação em diversas plantas industriais automotivas.



Além disso, a proposta se alinha aos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e aos princípios da economia circular, o que facilita sua adoção por empresas que buscam atender exigências legais e metas de sustentabilidade. Com o crescimento do mercado de VE no país, a estruturação de um fluxo claro e replicável de LR torna-se não apenas viável, mas urgente. A experiência inicial com um único centro nacional permite o aprendizado e a correção de rotas, o que viabiliza futuras expansões ou regionalizações conforme a demanda.

Descrição da Abrangência realizada:

Este PTT descreve o produto final associado à dissertação de mestrado profissional, que teve como objetivo a proposição de um modelo técnico-operacional para a LR de LIB de alta voltagem de VE no Brasil, alinhado aos princípios do conceito do Triple Bottom Line (TBL). As análises integradas revelaram que a abrangência realizada se concentrou na adaptação do modelo a uma empresa automotiva que já opera com VE no país. Foram diagnosticados gargalos logísticos, operacionais e regulatórios que fundamentaram o desenho de um fluxo técnico e padronizado, viável para a aplicação nacional. A abordagem considerou as condições reais de infraestrutura, capacitação e regulamentação identificadas durante as investigações.

Descrição da Abrangência potencial:

Com base nos dados obtidos nas três frentes de pesquisa, constatou-se que o modelo possui abrangência potencial para aplicação em todo o território brasileiro, com possibilidade de expansão para centros regionais de remanufatura e triagem. A padronização de procedimentos e o uso de ferramentas de rastreabilidade viabilizam a replicação do modelo por diferentes montadoras, concessionárias e operadores logísticos, independentemente da localização ou do tipo de fornecedor de baterias.

Descrição da Replicabilidade:

As análises evidenciaram que o modelo desenvolvido é altamente replicável, tanto em função da modularidade de suas etapas quanto pela aderência a boas práticas internacionais observadas na pesquisa bibliográfica. A estruturação clara das fases, desde a coleta, transporte, análise técnica até a destinação final das baterias, permite sua adoção por diferentes agentes do setor automotivo e facilita sua adaptação para outras indústrias que necessitem de logística reversa de resíduos eletroeletrônicos.

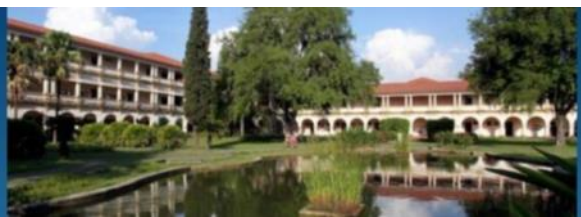
A produção necessita estar no repositório? Sim

Documentos Anexados (em PDF):

(x) Justificativa para a dispensa do termo de anuência institucional

PPGE
Programa de Pós-Graduação em
GESTÃO E ESTRATÉGIA





Resumo:

A Logística Reversa (LR) vem sendo pesquisada como alternativa para reduzir o impacto ambiental causado pela cultura consumista da população. A indústria automotiva vive uma transição rumo à descarbonização, com foco nos VE como solução sustentável. Embora o Brasil possua matriz energética mais limpa, o setor de transportes ainda lidera as emissões de CO₂. O crescimento na adoção de VE exige políticas públicas, incentivos e infraestrutura, incluindo a gestão dos resíduos eletroeletrônicos. Um dos maiores desafios atuais é a LR de baterias de alta voltagem, essencial para viabilizar a eletromobilidade com responsabilidade ambiental, social e econômica conforme equilíbrio proposto pelo modelo *Triple Bottom Line*. Como procedimentos metodológicos, este estudo adotou uma abordagem aplicada, com base em pesquisas nas principais bases científicas, visando mapear práticas de LR no setor automotivo, tanto no Brasil quanto no exterior. Também foram identificadas regulamentações e barreiras à implementação dessa logística no contexto nacional. A coleta de dados incluiu pesquisa documental interna na empresa analisada, além de entrevistas semiestruturadas conduzidas com profissionais envolvidos no projeto. Para a análise dos dados obtidos, empregou-se a técnica de análise de conteúdo proposta por Bardin. Como Produto Técnico-Tecnológico (PTT), este relatório propõe a criação de um centro de remanufatura de baterias de íons de lítio (LIB) no Brasil, visando solucionar desafios logísticos e ambientais da eletromobilidade. Baseado em entrevistas e dados técnicos, o estudo destaca a falta de padronização, a ausência de triagem e os altos custos de transporte como barreiras atuais. A proposta se alinha à economia circular e promove sustentabilidade, inovação e potencial impacto industrial, ambiental e político.



Sumário

1. APRESENTAÇÃO.....	87
2. PRINCIPAIS PONTOS A SEREM ENFRENTADOS.....	88
2.1 Ausência de Triagem Técnica das Baterias	89
2.2 Inconsistência nos Procedimentos Operacionais.....	89
2.3 Deficiência de Infraestrutura e Capacitação Técnica.....	89
2.4 Lacunas Regulatórias.....	90
2.5 Elevados Custos Logísticos.....	90
2.6 Complexidade do Projeto.....	90
3. PROPOSTA DE ENFRENTAMENTO DOS PROBLEMAS ENCONTRADOS.....	91
3.1 Padronização de Procedimentos Técnicos.....	91
3.2 Avanço Regulatório e Segurança Jurídica.....	92
3.3 Desenvolvimento de Infraestrutura Especializada.....	92
3.4 Capacitação Técnica Especializada.....	92
3.5 Implementação de Sistemas de Rastreabilidade.....	93
3.6 Inovação do Produto Técnico-Tecnológico.....	93
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS DA PESQUISA.....	94
REFERÊNCIAS.....	96



1. APRESENTAÇÃO

A crescente demanda global por soluções sustentáveis no setor automotivo tem impulsionado a transição da mobilidade baseada em combustíveis fósseis para alternativas mais limpas, como os veículos elétricos (VE). Essa transformação está diretamente associada aos compromissos internacionais de redução das emissões de gases de efeito estufa, especialmente no contexto do Acordo de Paris e das metas de descarbonização estabelecidas por órgãos como a *International Energy Agency* (IEA, 2023). No Brasil, embora a matriz energética seja predominantemente renovável, o setor de transportes ainda é o maior responsável pelas emissões de CO₂, com cerca de 217 milhões de toneladas lançadas na atmosfera apenas em 2023, segundo Pedrozo (2024).

A eletromobilidade, portanto, representa uma oportunidade estratégica para mitigar os impactos ambientais do transporte, ao substituir motores a combustão por soluções energéticas mais eficientes e menos poluentes. Entretanto, a rápida difusão de VE impõe um novo desafio: a gestão adequada dos resíduos eletroeletrônicos (REEE) gerados por essas tecnologias, especialmente as baterias de íons de lítio (LIB), que acumulam riscos ambientais e ocupacionais quando descartadas de forma inadequada (Machado, 2023; Domingues, 2024).

Neste cenário, a logística reversa (LR) surge como uma ferramenta essencial para garantir a destinação ambientalmente correta dessas baterias, por meio de processos como remanufatura, reuso e reciclagem (Zhang et al., 2022). Contudo, apesar dos avanços na comercialização de VE no país, ainda não há um fluxo estruturado para a LR desses componentes, o que, segundo Fiorillo (2022), evidencia o descompasso entre a inovação tecnológica da eletromobilidade e o necessário atendimento às normas ambientais que garantiriam seu desenvolvimento sustentável. Esse cenário evidencia uma lacuna entre o avanço das tecnologias veiculares e a sustentabilidade operacional necessária, como ressalta Pedrozo (2024), ao apontar a



urgência de medidas estruturantes para acompanhar a transição energética no setor de transportes.

A proposta deste trabalho técnico-tecnológico é a implementação nacional do centro de remanufatura europeu e assim, contribuir com a estruturação de um modelo viável de LR para baterias de LIB de alta voltagem no Brasil, tendo como foco a realidade brasileira e, em particular, uma empresa do setor automotivo que já comercializa VE no país. A partir da análise de campo, de documentos internos da empresa e da literatura especializada, busca-se propor um fluxo técnico-operacional sustentável, seguro e replicável, com base em boas práticas internacionais e alinhado aos princípios da economia circular.

2. PRINCIPAIS PONTOS A SEREM ENFRENTADOS

O desenvolvimento deste Produto Técnico-Tecnológico (PTT) parte da identificação de um problema real enfrentado por empresas do setor automotivo: a ausência de um fluxo estruturado e padronizado de LR para LIB de alta voltagem, provenientes de VE pós-consumo. Embora o Brasil venha apresentando avanços na comercialização de veículos eletrificados, a gestão de suas baterias ainda carece de diretrizes técnicas, operacionais e regulatórias claras. Apesar dos avanços na comercialização de veículos eletrificados (VE), ainda persiste a ausência de um fluxo estruturado, padronizado e eficiente para a gestão das baterias pós-consumo. As dificuldades encontradas envolvem questões técnicas, operacionais, regulatórias e econômicas, que precisam ser superadas para viabilizar uma cadeia de valor sustentável para as LIB.

A partir dessa lacuna, o desenvolvimento do PTT foi orientado por uma abordagem qualitativa, baseada na triangulação de três eixos principais: (1) revisão da literatura científica e técnica sobre eletromobilidade, sustentabilidade e LR, com foco em experiências nacionais e internacionais; (2) pesquisa documental em uma empresa automotiva que já comercializa VE no Brasil; e (3) pesquisa de campo, com



entrevistas semiestruturadas realizadas com profissionais estratégicos envolvidos no processo logístico e ambiental da empresa.

A análise dos dados coletados foi conduzida com base na técnica de Análise de Conteúdo, conforme proposta por Bardin (2016), permitindo a categorização das informações em dimensões críticas como: infraestrutura logística, classificação técnica das baterias, riscos ambientais e operacionais, barreiras regulatórias, alternativas de reaproveitamento (remanufatura e segunda vida) e custos envolvidos.

2.1. Ausência de Triagem Técnica das Baterias:

Identificou-se que, no modelo atual, todas as baterias de alta voltagem são encaminhadas diretamente para processos de reciclagem, sem a realização de triagem técnica prévia para avaliação de seu potencial de reaproveitamento ou remanufatura. Essa prática gera desperdício de recursos que poderiam ser reincorporados na cadeia produtiva, aumentando os custos operacionais e reduzindo a eficiência ambiental do processo.

2.2. Inconsistência nos Procedimentos Operacionais:

Verificou-se uma inconsistência significativa entre as unidades operacionais no que se refere aos procedimentos de substituição e destinação das baterias pós-consumo. A ausência de um fluxo padronizado dificulta a gestão eficiente, aumenta o risco de manejo inadequado dos resíduos e compromete a rastreabilidade e a segurança das operações.

2.3. Deficiências de Infraestrutura e Capacitação Técnica:

A falta de infraestrutura adequada para a triagem, avaliação e reaproveitamento das baterias foi evidenciada como um obstáculo crítico. Além disso, a ausência de programas de capacitação contínua para técnicos e operadores envolvidos no



manuseio de LIB de alta voltagem limita a capacidade das organizações de atender aos requisitos de segurança e eficiência no processo de logística reversa.

2.4. Lacunas Regulatórias:

Constatou-se a inexistência de regulamentações específicas no Brasil que normatizem o transporte, armazenamento, avaliação e remanufatura de baterias de alta voltagem pós-consumo. A ausência de diretrizes claras gera insegurança jurídica para as empresas e dificulta a articulação entre os diversos agentes envolvidos na cadeia de logística reversa.

2.5. Elevados Custos Logísticos:

A falta de triagem técnica e a necessidade de envio imediato das baterias para recicladoras, muitas vezes localizadas em outros estados ou países, elevam substancialmente os custos logísticos. Esses custos comprometem a viabilidade econômica da operação de logística reversa e dificultam a adoção de práticas sustentáveis pelas empresas do setor automotivo.

2.6. Complexidade do Projeto:

O desenvolvimento e a proposta de implementação de um modelo de logística reversa (LR) para baterias de íons de lítio (LIB) de alta voltagem no setor automotivo brasileiro envolvem um elevado grau de complexidade, decorrente da multiplicidade de atores envolvidos e da natureza técnica, regulatória, ambiental, social, econômica e operacional da solução.

O projeto exige a articulação entre diferentes elos da cadeia produtiva e pós-consumo, incluindo conceitos de logística reversa equilibrados com *Triple Bottom Line* e com stakeholders como montadoras, concessionárias, fornecedores de baterias,



operadores logísticos, centros de remanufatura, recicladoras e órgãos reguladores. Cada ator possui funções específicas e diferentes níveis de conhecimento técnico, tornando fundamental o alinhamento de protocolos, padrões e responsabilidades para garantir a segurança e eficiência do fluxo proposto.

Do ponto de vista técnico, a complexidade decorre da composição química das LIB, que utilizam elementos altamente reativos como lítio, níquel e cobalto. Isso demanda protocolos rigorosos de segurança no transporte, armazenamento, desmontagem e reaproveitamento das baterias. Além disso, a necessidade de análise técnica de bancada requer equipamentos especializados e mão de obra qualificada, ainda escassa no Brasil.

O cenário regulatório também apresenta desafios, considerando a ausência de normas específicas para a logística reversa de LIB no país. Isso exige a adoção de medidas preventivas pelas empresas e o desenvolvimento de diretrizes internas até que regulamentações públicas sejam consolidadas. Ainda, a implementação de um modelo de rastreabilidade nacional demanda a construção de uma infraestrutura logística capaz de operar com elevados padrões de controle de qualidade, aumentando a complexidade do projeto.

Assim, o modelo proposto é classificado como um produto técnico-tecnológico de alta complexidade e alto potencial de impacto nos eixos econômico, ambiental e social.

3. PROPOSTAS DE ENFRENTAMENTO DOS PROBLEMAS ENCONTRADOS

Com base nas análises realizadas a partir da pesquisa bibliográfica, documental e de campo, foram identificados diversos desafios que limitam a estruturação eficiente da logística reversa (LR) de baterias de íons de lítio (LIB) no Brasil. A seguir, apresentam-se as propostas de enfrentamento para os principais problemas diagnosticados.

3.1. Padronização de Procedimentos Técnicos:



Para solucionar a ausência de padronização nas operações de logística reversa, propõe-se o desenvolvimento e a implementação de protocolos técnicos padronizados, abrangendo coleta, transporte, triagem e destinação final das baterias pós-consumo. Esses protocolos deverão ser elaborados com base em boas práticas internacionais, adaptadas à realidade operacional brasileira, e devem contemplar manuais operacionais claros para todas as etapas do fluxo reverso.

3.2. Avanço Regulatório e Segurança Jurídica:

Visando superar as barreiras regulatórias, recomenda-se a articulação setorial para a criação de uma regulamentação específica voltada à logística reversa de LIB de alta voltagem. Essa regulamentação deve normatizar práticas de transporte, armazenamento seguro, triagem técnica e remanufatura, garantindo segurança jurídica às operações e incentivando o fortalecimento de uma cadeia nacional de reaproveitamento de baterias.

3.3. Desenvolvimento de Infraestrutura Especializada:

Para enfrentar a carência de infraestrutura, propõe-se a criação de um Centro Nacional de Remanufatura e Triagem de Baterias de Alta Voltagem. Esse centro será responsável pela análise técnica, classificação e destinação adequada das baterias pós-consumo, considerando sua condição (em garantia, fora da garantia, com ou sem possibilidade de reaproveitamento). A estrutura proposta deve incluir laboratórios técnicos equipados para diagnóstico de bancada, áreas de armazenamento apropriadas para resíduos eletroeletrônicos e sistemas de rastreabilidade.

3.4. Capacitação Técnica Especializada:



Para suprir a carência de mão de obra qualificada, propõe-se a criação de programas de capacitação voltados especificamente para o diagnóstico técnico de LIB, protocolos de segurança, processos de remanufatura e gestão de resíduos perigosos. Essa formação especializada será essencial para a segurança operacional e para o sucesso da implantação dos fluxos de logística reversa.

3.5.Redução de Custos Logísticos:

Com o objetivo de mitigar os altos custos de transporte e processamento das baterias, recomenda-se a criação de parcerias estratégicas entre montadoras, concessionárias e operadores logísticos. O compartilhamento de rotas, a consolidação de cargas e a otimização dos fluxos logísticos permitirão ganhos de escala e redução significativa dos custos operacionais envolvidos.

3.6.Implementação de Sistemas de Rastreabilidade:

Por fim, propõe-se a adoção de sistemas digitais de rastreabilidade baseados em tecnologias como blockchain ou plataformas integradas de gestão de ciclo de vida. Esses sistemas possibilitarão o monitoramento completo das baterias, desde sua fabricação até sua destinação final, promovendo maior transparência, segurança nas decisões técnicas e atendimento às futuras exigências regulatórias nacionais e internacionais.

3.7.Inovação do Produto Técnico-Tecnológico:

O produto proposto se caracteriza por elevado grau de inovação ao estruturar um modelo inédito de logística reversa aplicada a baterias de LIB de alta voltagem no contexto da indústria automotiva brasileira. Sua originalidade reside na construção de um fluxo operacional completo e viável, abrangendo desde a retirada da bateria na concessionária até sua destinação final — seja reciclagem, remanufatura ou



reaproveitamento em segunda vida —, com base em avaliação técnica especializada realizada em bancada.

O modelo propõe a implementação de um Centro Nacional de Remanufatura, destinado a centralizar as análises técnicas e triagens, utilizando critérios de desempenho da célula de carga para definir a melhor rota de reaproveitamento. A proposta contempla ainda a diferenciação entre categorias de baterias (em garantia, fora da garantia, meia-vida), o que amplia sua aplicabilidade prática e reflete a complexidade real do setor.

Essa abordagem representa um avanço em relação aos modelos atuais, que encaminham todas as baterias para reciclagem sem considerar o potencial de reaproveitamento técnico e econômico de seus componentes. O conhecimento produzido integra aspectos técnicos, legais, logísticos e operacionais, compondo uma solução sistêmica e multidisciplinar.

O PTT encontra-se classificado em nível de maturidade tecnológica TRL 5 (Technology Readiness Level), pois apresenta um modelo validado em ambiente simulado, baseado em dados reais e entrevistas com profissionais da área. A proposta está pronta para testes-piloto e ajustes operacionais, com alto potencial de replicação em escala nacional, especialmente no contexto da expansão da eletromobilidade no Brasil.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS DA PESQUISA

O relatório técnico desenvolvido neste trabalho apresenta um impacto significativo sob diferentes perspectivas — ambiental, social, econômico, institucional e político — com o potencial de transformar a forma como a indústria automotiva nacional lida com a destinação de baterias de íons de lítio de alta voltagem pós-consumo. A proposta de estruturação de um fluxo nacional de LR, centrado na criação de um Centro de Remanufatura Nacional, é um avanço prático e estratégico no enfrentamento de um dos maiores gargalos da transição energética no setor de transportes: o fim do ciclo de vida das baterias dos VE.



A partir do fluxo proposto — que começa com a retirada da bateria na concessionária e segue até sua análise técnica e destinação final —, é possível observar impactos concretos em várias dimensões. O processo inicia-se com a padronização do transporte das baterias até o centro de remanufatura, o que permite maior rastreabilidade, segurança no manejo e redução de custos operacionais com o envio indiscriminado das baterias diretamente à reciclagem. Essa racionalização representa uma melhoria operacional importante para as concessionárias, que atualmente operam sem fluxos uniformes ou protocolos técnicos estabelecidos.

No centro de remanufatura, a bateria passa por uma análise de bancada técnica que define sua condição de reaproveitamento a partir da avaliação da capacidade da célula de carga. A partir dessa triagem inicial, os impactos se diversificam conforme os possíveis destinos: baterias com desempenho inferior a 30% são direcionadas à reciclagem; entre 30% e 80% podem ser redirecionadas à segunda vida sem necessidade de intervenção técnica; e acima de 80%, podem ser realocadas para uso estacionário ou recicladas conforme a demanda e as parcerias estabelecidas com fornecedores e cooperativas. Já as baterias com danos irreversíveis são tratadas de forma segura por meio da cadeia de reciclagem especializada, como a empresa parceira ZZZ.

Do ponto de vista ambiental, a proposta contribui diretamente para a mitigação dos impactos negativos associados ao descarte inadequado de baterias, que são classificadas como resíduos perigosos. O redirecionamento das baterias com potencial de segunda vida ou remanufatura reduz significativamente o volume de resíduos enviados para reciclagem e os riscos de contaminação do solo, água e atmosfera. O uso continuado dessas baterias também evita a extração de novos recursos minerais, como lítio, cobalto e níquel, cuja produção está associada a altos impactos sociais e ambientais.

Em termos de impacto econômico, a proposta representa um alívio financeiro para as montadoras, especialmente no que se refere às baterias ainda em período de garantia. A remanufatura dessas unidades, com posterior realocação no mercado ou reuso em segunda vida, pode reduzir drasticamente os custos de substituição por



unidades novas, além de abrir novas frentes de negócios para empresas do setor. A existência de um centro nacional também reduz os custos logísticos com o transporte internacional de baterias para diagnóstico, reaproveitamento ou reciclagem, o que atualmente pode ultrapassar US\$ 8 mil por unidade, conforme relatado nas entrevistas.

No aspecto social e institucional, a criação de um centro nacional de remanufatura incentiva a formação e capacitação de profissionais especializados em novas tecnologias verdes, promovendo a geração de empregos qualificados e o fortalecimento da cadeia de valor da eletromobilidade no Brasil. Além disso, o centro pode servir como um modelo replicável para outras empresas ou regiões, estimulando a criação de polos de remanufatura regionais e o desenvolvimento de políticas públicas específicas voltadas à economia circular no setor automotivo.

No plano político e regulatório, o impacto do trabalho também é relevante. O relatório técnico serve como documento-base para orientar futuras regulamentações específicas sobre logística reversa de baterias de alta voltagem, colaborando com a consolidação de uma legislação alinhada aos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). Isso o posiciona como um PTT com impacto político potencial, ao fornecer subsídios técnicos e operacionais para decisões governamentais em nível federal e estadual.

O produto apresentado pode ser enquadrado como um PTT de impacto prático e socioambiental, com efeitos diretos na comunidade técnica e empresarial envolvida na eletromobilidade, e com benefícios ampliados para o meio ambiente e a sociedade brasileira como um todo. Portanto, a implementação do fluxo proposto neste estudo, embasado em dados reais e práticas de mercado, representa uma oportunidade estratégica para o Brasil se posicionar de forma competitiva e sustentável na transição energética do setor automotivo, consolidando uma cadeia de valor baseada em inovação, circularidade e responsabilidade socioambiental.

REFERÊNCIAS



BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. 1ª ed. São Paulo: Almedina Brasil, f. 141, 2016. 281 p.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm

DOMINGUES, Dalton; NAEGELE, Rafaela; SIMAS, Pablo; et al. **Desafios e oportunidades na logística reversa das baterias de veículos elétricos leves no Brasil: impactos ambientais e a necessidade de regulação**. [s.l.: s.n.], 2024

FIORILLO, Celso Antonio Pacheco. **Veículos elétricos ou veículos movidos a gasolina? A extração do lítio por partes das empresas transnacionais em face do direito ambiental constitucional brasileiro**: Electric vehicles or gasoline-fueled vehicles? lithium extraction by transnational companies in light of Brazilian constitutional environment law. NEJ - Novos Estudos Jurídicos. 2022. 25 p. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/nej/article/view/19062/10950>. Acesso em: 11 abr. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Tracking Clean Energy Progress 2023: Assessing critical energy technologies for global clean energy transitions**. IEA. [iea.org](https://www.iea.org), 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023>. Acesso em: 12 abr. 2024.

MACHADO, Nayara. **Sem logística reversa, baterias de carros elétricos podem virar toneladas de lixo perigoso até 2030**: Pesquisadores da Universidade Veiga de Almeida apontam que peso total dos componentes de VEs em circulação no país é de cerca de 34 mil toneladas. EPBR. epbr.com.br, 2023. Disponível em: <https://epbr.com.br/sem-logistica-reversa-baterias-de-carros-eletricos-podem-virar-toneladas-de-lixo-perigoso-ate-2030/>. Acesso em: 12 abr. 2024.

PEDROZO, Soraia Abreu. **Cresce consumo de biodiesel nos transportes e energia térmica renovável na indústria**. In: Seminário AutoData. [S. l.], 22 out. 2024. Disponível em: <https://www.autodata.com.br/noticias/2024/10/22/cresce-consumo-de-biodiesel-nos-transportes-e-energia-termica-renovavel-na-industria/79588/>. Acesso em: 9 abr. 2025.

ZHANG, X.; Zou, B.; Feng, Z.; Wang, Y.; Yan, W. **A Review on Remanufacturing Reverse Logistics Network Design and Model Optimization**. Processes 2022.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo principal propor processos para a logística reversa de bateria de veículos elétricos pós-consumo, e teve-se com sua conclusão um foco em um centro de remanufatura, a ser implementada no contexto da indústria automotiva brasileira. O estudo abrangeu desde a análise da cadeia logística e o levantamento das práticas de logística reversa no mercado automotivo global, até a conexão dessas práticas com o conceito do Triple Bottom Line, que busca equilibrar resultados ambientais, econômicos e sociais. Além disso, foram examinadas as regulamentações e barreiras existentes, culminando em uma proposta que visa não apenas a gestão eficiente das baterias de lítio, mas também o aprimoramento dos processos logísticos em relação ao fluxo atual.

No primeiro objetivo, a pesquisa levantou as práticas de logística reversa de baterias de veículos elétricos em diversos países, com destaque para a implementação de centros de remanufatura. A experiência internacional demonstrou a eficácia de modelos que integram remanufatura, reciclagem e reaproveitamento de baterias, processo ainda em desenvolvimento no Brasil. Esse objetivo inclusive fez a proposta central desse estudo, que é a criação de centros de remanufatura de baterias de veículos elétricos no Brasil, inspirados em modelos adotados em outros países como a Europa, visando reduzir custos e aumentar a eficiência do ciclo de vida dessas baterias.

Em relação às barreiras encontradas, foi identificado que as principais dificuldades no Brasil residem na ausência de uma legislação específica para as baterias de íon de lítio, apesar da existência de normas voltadas para reciclagem. Essa lacuna regulatória dificulta a implementação de um processo estruturado e seguro, tanto para as empresas quanto para os consumidores, e limita o avanço de práticas mais eficientes e sustentáveis. Além disso, a falta de infraestrutura adequada para o recebimento, armazenamento e processamento das baterias pós-consumo no Brasil também representa um obstáculo significativo, uma vez que não há centros de remanufatura no Brasil nem empresas de reciclagem suficientes com mão de obra especializada para lidar com o ciclo completo das baterias.

Outro ponto crítico são os riscos associados ao manuseio das baterias, que, se não forem adequadamente gerenciados, podem resultar em acidentes, como incêndios, explosões e contaminação, devido à natureza altamente volátil das baterias

de lítio. Esses riscos são amplificados pela falta de protocolos específicos de segurança e treinamento para os profissionais envolvidos. Além disso, as baterias de lítio contêm substâncias tóxicas, como cobalto e níquel, que, quando não são devidamente tratadas, podem causar sérios danos ambientais e à saúde pública. Essa barreira foi discutida tanto no ambiente teórico quanto em campo.

Uma barreira adicional que deve ser destacada é a questão governamental, especialmente a falta de um apoio mais robusto e políticas públicas direcionadas à logística reversa de baterias. A ausência de incentivos fiscais, financiamentos específicos e uma política clara para estimular a implementação de centros de remanufatura e reciclagem no país é um entrave significativo. Sem o apoio do governo para criar um ambiente favorável à infraestrutura necessária, será difícil avançar de maneira eficaz na gestão das baterias de veículos elétricos.

Quanto à cadeia direta de recebimento das baterias, foi observado que atualmente as baterias chegam diretamente dos fornecedores de forma íntegra, sem qualquer processo de triagem ou remanufatura. No entanto, foi identificado que estudos futuros podem ser implementados pela empresa XXX para a fabricação local das baterias, o que reduziria custos, porém aumentaria a responsabilidade da empresa estudada, deixando de ser compartilhada com o fornecedor e assumindo integralmente. Ambas as possibilidades – a triagem das baterias recebidas diretamente dos fornecedores e a montagem local das baterias – foram contempladas na proposta, permitindo uma maior flexibilidade e eficiência no processo de logística reversa.

A proposta de logística reversa abordou todas as baterias do processo produtivo da empresa analisada, sejam elas fora de garantia (por iniciativa do consumidor) ou dentro de garantia (independente do ano de uso). O processo de triagem inicial será crucial para determinar o destino adequado das baterias. Após a triagem, as baterias serão direcionadas para a segunda vida, em parceria com fornecedores especializados, para a reciclagem ou para o centro de remanufatura, dependendo da condição das baterias. Essa abordagem permitirá que as baterias sejam exploradas em toda a sua potencialidade, ao contrário do fluxo atual, onde muitas baterias são enviadas diretamente para a reciclagem sem uma análise mais aprofundada sobre seu potencial de reaproveitamento.

Ao comparar o processo proposto com o fluxo atual, fica evidente a melhoria significativa, pois as baterias terão uma triagem mais detalhada, o que resultará na

maximização do aproveitamento das baterias e na redução de desperdícios sendo encaminhados para reciclagem, sendo que podem ser reaproveitados de outras formas. Além disso, o foco em remanufatura e reutilização contribui para a diminuição do impacto ambiental, aumentando a sustentabilidade do setor automotivo.

Em suma, todos os objetivos estabelecidos foram alcançados com sucesso, e espera-se que a empresa XXX, ao adotar a proposta de logística reversa, conforme relatório técnico, implemente melhorias significativas em seus processos de gestão de baterias de veículos elétricos pós-consumo. A proposta não apenas facilita a transição para um modelo mais sustentável, mas também contribui para o desenvolvimento de um mercado mais eficiente e alinhado com as melhores práticas globais. Com a implementação de regulamentações específicas e o desenvolvimento de centros de remanufatura no Brasil, o país poderá se tornar desenvolvido na gestão sustentável de baterias de veículos elétricos, promovendo o avanço tecnológico e a preservação ambiental no setor automotivo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, ANTT. **1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários.**

2011. 68 p. Disponível em:

http://anuario.antt.gov.br/index.php/content/view/5632/1__Inventario_Nacional_de_Emissoes_Atmosfericas_por_Veiculos_Automotores_Rodoviaros.html. Acesso em: 4 out. 2023.

ALFAR, Gail. **Government Incentives and Policies for Electric Vehicles: What You Need to Know** (2024). Disponível em: <https://www.xcelerateauto.com/blog/ev-government-incentives-and-policies> Acesso em: 9 abr. 2025

ALLAN, Bentley; I. LEWIS, Joanna; OATLEY, Thomas. **Green Industrial Policy and the Global Transformation of Climate Politics:** Research Articles. Global Environmental Politics Massachusetts Institute of Technology. 2021. 19 p. Disponível em: <https://direct.mit.edu/glep/article/21/4/1/107853/Green-Industrial-Policy-and-the-Global>. Acesso em: 17 abr. 2024.

ANFAVEA. **Carta da Anfavea.** Anfavea. 2023. 13 p. Disponível em: <https://www.anfavea.com.br/cartas/carta448.pdf>. Acesso em: 12 set. 2023.

ARANTES, Fernanda Paes; SANTOS, Rosineide Araújo Dos; SILVA, André Ricardo Fonsêca Da. **Desafios para implantação da logística reversa. Direito e Desenvolvimento**, v. 14, n. 1, p. 06–22, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. ABINEE. São Paulo. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/abinee/decon/dados/siee.pdf>. Acesso em: 15 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE VEÍCULO ELÉTRICO, ABVE. **Eletrificados Crescem 145% No Trimestre.** 2024. Disponível em: <https://abve.org.br/eletrificados-crescem-145-no-trimestre-e-tem-segundo-melhores-da-historia/>. Acesso em: 12 abr. 2024.

AUTOINDÚSTRIA. **BorgWarner trabalha para ampliar nacionalização das baterias: Com planos de multiplicar por 20 o faturamento em cinco anos, empresa busca novos fornecedores no País.** [S. l.], 30 ago. 2023. Disponível em: <https://www.autoindustria.com.br/2023/08/30/borgwarner-trabalha-para-ampliar-nacionalizacao-das-baterias/>. Acesso em: 9 abr. 2025.

BANSAL, Hari Om; PINTO, Kevin; GOYAL, Praveen. **A comprehensive assessment of the techno-socio-economic research growth in electric vehicles using bibliometric analysis.** Alemanha, 2021 Trabalho de Disciplina - Environmental Science and Pollution Research.

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo.** 1ª ed. São Paulo: Almedina Brasil, f. 141, 2016. 281 p.

BARROSO, Ana Paula; OLIVEIRA, Rui. Um caso de estudo de gestão da cadeia logística: Revisão periódica e coordenação de encomendas, 2006.

BERMÚDEZ -RODRÍGUEZ, Tatiana; CONSONI, Flavia Luciane. Uma abordagem da dinâmica do desenvolvimento científico e tecnológico das baterias lítio-íon para veículos elétricos. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 19, p. e0200014, 2020.

BEZERRA, Adriana dos Santos; FREITAS, Lúcia Santana de. A logística reversa e o triple bottom line da sustentabilidade. *Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente (FAEMA)*, v. 12, n. 1, p. 105–118, jan./jun. 2017.

BIRD, Robert; ZACHARY, Baum J; YU, Xiang; MA, Jia. **The Regulatory Environment for Lithium-Ion Battery Recycling.** *ACS Energy Letters*. 2022 7 (2), 736-740. [https://doi: 10.1021/acsenergylett.1c02724](https://doi.org/10.1021/acsenergylett.1c02724)

BHANDARI, A.; DZIEDZIC J.; OWEN J. R.; KRAMER D.; SKYLARIS C.K. Mechanisms of Li deposition on graphite anodes: surface coverage and cluster growth. *J. Mater. Chem. A*, 2024, 12, 30073. <https://doi.org/10.1039/D4TA04834B>.

BRASIL, Milena. **Consórcio global lança primeiros modelos de passaporte de bateria.** [S. l.], 19 jan. 2023. Disponível em: <https://eixos.com.br/transicao-energetica/consorcio-global-lanca-primeiros-modelos-de-passaporte-de-bateria/>. Acesso em: 4 abr. 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

BRASIL. Lei nº 15.088, de 6 de janeiro de 2025. Altera a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, **para proibir a importação de resíduos sólidos e de rejeitos, com exceções específicas.** *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 6 jan. 2025.

BISPO, Scarlett Queen Almeida; CECHIN, Alícia. **Veículos elétricos: como a China está se preparando para se tornar a maior potência mundial do segmento?** Working Paper. ECONSTOR, 2023

CABEZUELO, D.; ANDREU, J.; KORTABARRIA, I.; et al. **Powertrain systems of electric, hybrid and fuel-cell vehicles: State of the technology.** In: 2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). Edinburgh, United Kingdom: IEEE, 2017, p. 1445–1450. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8001458/>>. Acesso em: 03 abr. 2025.

CABRAL-NETO, João Pinto. **ELETRIFICAÇÃO VEICULAR NO BRASIL: desafios e perspectivas.** 2021. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco, [S. l.], 2021. Disponível em:

<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/40173/1/TESE%20Jo%c3%a3o%20Pinto%20Cabral%20Neto.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2025.

CALL2RECYCLE. **Recycling Laws By State**. Disponível em: <https://www.call2recycle.org/recycling-laws-by-state/?srsltid=AfmBOop3ltG-yDRyQpzzcF4Z1S5g9QK3w7asMHX7H0OfyvZYTW6gAtCd&utm> Acesso em: 9 abr. 2025

CARVALHO, Enéas Gonçalves De. **Inovação tecnológica na indústria automobilística: características e evolução recente**. Economia e Sociedade, v. 17, n. 3, p. 429–461, 2008.

CASTRO, Nivalde José de. **A Mobilidade Elétrica na América Latina: Tendências, oportunidades e desafios**. RIO DE JANEIRO, RJ: Editora E-papers, 2022.

CAPES. Área de Avaliação – Administração Pública e de Empresas, Ciências Contábeis e Turismo. Brasília: **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, 2025**. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/assuntos/avaliacao/avaliacao-quadrienal/avaliacao-quadrienal-2029/areas-avaliacao/colegio-de-humanidades/ciencias-sociais-aplicadas/administracao-publica-e-de-empresas-ciencias-contabeis-e-turismo>. Acesso em: 1 jun. 2025.

CHAKRABORTY, S. C. ; QAMRUZZAMAN, M.; ZAMAN M.W.U, et al. (2022). **Metals in e-waste: Occurrence, fate, impacts and remediation technologies**. Process Safety and Environmental Protection. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.011>.

CHAKRABORTY, Prabuddha; PARKER, Robert; HOQUE, Tamzidul; et al. **Addressing the range anxiety of battery electric vehicles with charging en route**. Scientific Reports, v. 12, n. 1, p. 5588, 2022.

CHAN, C.C.; BOUSCAYROL, A.; CHEN, K. Electric, Hybrid, and Fuel-Cell Vehicles: Architectures and Modeling. IEEE Transactions on Vehicular Technology, v. 59, n. 2, p. 589–598, 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, CNT. **Estatísticas Consolidadas**. Anuário CNT do Transporte. 2022. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2022/Ferrovuario/2-1-/Principais-dados>. Acesso em: 10 out. 2023.

CORTELLA, Mario Sergio. **Por que fazemos o que fazemos?** 64ª ed. São Paulo: Editora Planeta do Brasil, v. 3, f. 42, 2016. 174 p.

DATA BRIDGE MARKET RESEARCH. **Mercado global de reciclagem de baterias de íons de lítio – Tendências do setor e previsão para 2030**. Data Bridge Market Research. 2022. 350 p. Disponível em:

<https://www.databridgemarketresearch.com/pt/reports/global-lithium-ion-battery-recycling-market>. Acesso em: 26 abr. 2024.

DOMINGUES, Dalton; NAEGELE, Rafaela; SIMAS, Pablo; et al. **DESAFIOS E OPORTUNIDADES NA LOGÍSTICA REVERSA DAS BATERIAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS LEVES NO BRASIL: IMPACTOS AMBIENTAIS E A NECESSIDADE DE REGULAÇÃO**. [s.l.: s.n.], 2024.

DOMINGUES, Ana Mariele. **Avaliação Do Ciclo De Vida De Cenários Para Reciclagem De Baterias De Íons De Lítio No Brasil**. Bauru, 2021. 172 p Trabalho de Conclusão de Curso (Programa De Pós-Graduação Em Engenharia De Produção) – UNESP Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2021.

ECYCLE. **Quais os componentes tóxicos do lixo eletrônico?** [S. l.], 2023. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/lixo-eletronico-componentes-toxicos/>>. Acesso em: 1 abr. 2025.

ELIAS, Juliana Bertrand. **Transição da matriz energética para fontes renováveis como meio de redução da pobreza energética no Brasil: um estudo sob a perspectiva do direito constitucional**. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharel em Direito do Centro Universitário Unidade de Ensino. São Luís: Centro Universitário UNDB, 2023. Disponível em <http://repositorio.undb.edu.br/bitstream/areas/1023/1/JULIANA%20BERTRAND%20ELIAS.pdf> Acesso em 8 abr. 2025.

ELWERT, Tobias; HUA, Qingsong; SCHNEIDER, Kirstin. **Recycling of Lithium Iron Phosphate Batteries: Prospects and Research Needs**. Materials Science Forum. Suíça, 2019. Disponível em: XXX Acesso em: 8 mai. 2024.

EUROPEAN COURT OF AUDITORS, ECA. **Special report 15/2023: The EU's industrial policy on batteries – New strategic impetus needed** 19/06/2023 Disponível em: <https://www.eca.europa.eu/en/publications/SR-2023-15?> Acesso em: 9 abr. 2025.

FAN, Z.; Luo, Y.; Liang, N.; Li, S. **A Novel Sustainable Reverse Logistics Network Design for Electric Vehicle Batteries Considering Multi-Kind and Multi-Technology**. Sustainability 2023.

FERREIRA, Eduardo Oscar Souza. **Re-processamento e reciclagem de baterias de íons de lítio**. Monografia sobre o estágio, apresentado à Banca Examinadora do Curso superior de Tecnologia em Gestão Ambiental da Universidade São Francisco como parte dos requisitos para a obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental. Bragança Paulista. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1616.pdf> Acesso em: 9 abr. 2025

FERREIRA, Elcio Alves. **Novos paradigmas tecnológicos e novos modelos de negócio na indústria automobilística: uma análise a partir do ciclo do valor**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Administração de Empresas da

Universidade Presbeteriana Mackenzie. 2023. Disponível em <https://adelpha-api.mackenzie.br/server/api/core/bitstreams/6a9c67bd-2613-40ab-8740-2a3778924eea/content>. Acesso em : 26 abr 2025.

FINDREAMS BATTERY. **FinDreams Battery 2023 Environmental, Social and Corporate Governance (ESG) Report**. Fdbatt.com, 2023. Disponível em: <https://www.fdbatt.com/>. Acesso em: 6 nov. 2024.

FIO CRUZ. **Termo De Consentimento Livre E Esclarecido.TCLE**. Disponível em: http://www.fiocruz.br/ioc/media/Termo_consentimento_livre_13.06.17.pdf. Acesso em: 12 set. 2023.

FIORILLO, Celso Antonio Pacheco. **Veículos elétricos ou veículos movidos a gasolina? A extração do lítio por partes das empresas transnacionais em face do direito ambiental constitucional brasileiro**: Electric vehiclesorgasoline-fueledvehicles? lithiumextraction by transnationalcompanies in light ofbrazilianconstitutionalenvironmentlaw. NEJ - Novos Estudos Jurídicos. 2022. 25 p. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/nej/article/view/19062/10950>. Acesso em: 11 abr. 2024.

FORESTA, Carlos Henrique de Brito. **A infraestrutura institucional e o bloqueio à inovação na mobilidade elétrica no Brasil**. Revista Brasileira de Inovação, v. 20, n. 1, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/rbi/a/BqBcTLYzvJK6KqbqK3xSrdL/>. Acesso em: 17 mar. 2025.

FRANCO, Adriana dos Santos *et al.* **Danos causados à saúde humana pelos metais tóxicos presentes no lixo eletrônico**. DiversitasJournal. 2021. 15 p. Disponível em: https://diversitas.emnuvens.com.br/diversitas_journal/article/view/1626/1367. Acesso em: 26 abr. 2024.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). **Pesquisa revela que Brasil tem 480 milhões de dispositivos digitais em uso, sendo 2,2 por habitante**. FGV, 27 jun. 2024. Disponível em: <https://portal.fgv.br/noticias/pesquisa-revela-brasil-tem-480-milhoes-dispositivos-digitais-uso-sendo-22-habitante>. Acesso em: 17 mar. 2025.

GAO, Xuehong. **A Novel Reverse Logistics Network Design Considering Multi-Level Investments for Facility Reconstruction with Environmental Considerations**. Sustainability, v. 11, n. 9, p. 2710, 2019.

GARCIA, Gabriel. **Monopólio chinês na produção de baterias gera riscos globais**. In: CNN Brasil. [S. l.], 20 maio 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/negocios/monopolio-chines-na-producao-de-baterias-gera-riscos-globais-diz-agencia/>. Acesso em: 9 abr. 2025.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa (5a. Ed.)**. São Paulo: Atlas, f. 101, 2017. 202 p.

GME, Gianni Mori Engineering S.r.l. **Tesla battery recycling: what happens to Tesla battery packs once they reach their end of life?**.Disponível em: <https://www.gme-recycling.com/tesla-battery-recycling-what-happens-to-tesla->

battery-packs-once-they-reach-their-end-of-life/#~:text=A%20Zero%2DWaste%20Commitment&text=The%20company%20ensures%20that%20100,impact%20associated%20with%20waste%20disposal.Acesso em : 04 nov.2024.

MOREIRA, Uallace. Mover: Programa de mobilidade verde é ançado. Disponível em :<https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2023/12/mover-novo-programa-amplia-acoes-para-mobilidade-verde-e-descarbonizacao>. Acesso em 11/06/2025.

GLOBAL EV Outlook 2023, IEA, Paris. **Battery demand for EVs continues to rise.** [S. I.], 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/trends-in-batteries>. Acesso em: 4 abr. 2025.

GLOBAL e-Waste Monitor 2024: **Electronic Waste Rising Five Times Faster than Documented E-waste Recycling.** [S. I.], 2024. Disponível em: <https://unitar.org/about/news-stories/press/global-e-waste-monitor-2024-electronic-waste-rising-five-times-faster-documented-e-waste-recycling>. Acesso em: 3 abr. 2025.

GLOBE NEWSWIRE. New York, United States, July 04, 2023. **The Global Lithium-Ion Battery Recycling Market Size is to grow from USD 5.25 billion in 2022 to USD 26.56 billion by 2032, at a Compound Annual Growth Rate (CAGR) of 17.6% during the forecast period.** Disponível em: <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2023/07/04/2698973/0/en/Global-Lithium-Ion-Battery-Recycling-Market-Size-To-Worth-USD-26-56-Billion-By-2032-CAGR-of-17-6.html> Acesso em: 10 abr. 2025

GOODMAN, LEO A. "SnowballSampling." Ann. Math. Statist. 32 (1) 148 -170, March, 1961.

GUAIUIME, SILVANA. **Reciclagem de lixo eletrônico pode gerar 40 mil empregos no Brasil.** Movimento circular, 02 mar. 2023. Disponível em: <https://movimentocircular.io/blog/reciclagem-de-lixo-eletronico-pode-gerar-40-mil-empregos-no-brasil>. Acesso em 26 abr. 2025.

GÜÇDEMİR, Hülya ;TAŞOĞLUA, Gökçeçiçek . **Part transformation-based spare parts inventory control model for the high-tech industries.** International Journal of Industrial Engineering Computations. 2023, p. 307-326. Disponível em: https://www.growingscience.com/ijiec/Vol15/IJIEC_2023_40.pdf. Acesso em: 11 abr. 2024.

GUERRA, Ana. **Consórcio planeja ‘passaporte de bateria’ na UE:** Governo alemão vai destinar 8,2 milhões de euros para desenvolvimento de uma classificação de sustentabilidade. EPBR. ebr.com.br, 2022. Disponível em: <https://epbr.com.br/consorcio-planeja-passaporte-de-bateria-na-ue/>. Acesso em: 12 abr. 2024.

HASSOUNA, Fady M. A.; AL-SAHILI, Khaled. **Future Energy and Environmental Implications of Electric Vehicles in Palestine.**Nablus P.O. Box 7, Palestine, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12145515>. Acesso em: 8 mai. 2024.

HONG, Shu-Quan; HUANG, Yue-Jun. **Relationship Among Reverse Logistics, Corporate Image, and Social Impact in Medical Device Industry**. Revista de Cercetare si Interventie Sociala. 2021. 14 p. Disponível em: <https://www-webofscience.ez30.periodicos.capes.gov.br/wos/woscc/full-record/WOS:000630221900007>. Acesso em: 12 abr. 2024.

HUANG, Hongfu; XU, Fei; WANG, Min; et al. **Remanufacturing in global supply chains: Self-operating or licensing?** Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, v. 190, p. 103708, 2024.

IBAMA, DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Instrução normativa nº8, de 3 de setembro de 2012**. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/IN0008-030912.PDF>. Acesso em: 11 set. 2023.

IBAMA, INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/residuos/pilhas-e-baterias>. Acesso em: 9 set. 2023.

IBERDROLA. **História do carro elétrico: O veículo elétrico: uma viagem por mais de 200 anos de história**. 2024 Disponível em <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/historia-carro-eletrico#:~:text=Em%201888%2C%20surgiu%20na%20Alemanha,chegar%20a%2015%20km%2Fh.>> Acesso em: 20 out. 2024.

ICKOWZCY, Gabriella et al. **Proposta de protocolo de gerenciamento de resíduos de equipamentos elétricos e eletroeletrônicos (REEE) para bens de perdimento judicial**. 6º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Foz do Iguaçu - PR, 2023. 5 p. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2023/XIII-012.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Tracking Clean Energy Progress 2023: Assessing critical energy technologies for global clean energy transitions**. IEA. [iea.org](https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023), 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023>. Acesso em: 12 abr. 2024.

ITAGI, Anupama R.; KALLIMANI, Rakhee; PAI, Krishna; IYER, Sridhar; LOPEZ, Onel L. A. *Cell Balancing for the Transportation Sector: Techniques, Challenges, and Future Research Directions*. arXiv, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2404.13890>. Acesso em: 11 jun. 2025.

KEDGLOBAL. **Battery recycling: a new era for the lithium-ion battery industry**. 2021. Disponível em: <https://www.kedglobal.com/battery-recycling/newsView/ked202108160002>. Acesso em: 10 mar. 2025.

LAVEZ, Natalie; SOUZA, Vivian Mansano de; LEITE, Paulo Roberto. O papel da logística reversa no reaproveitamento do "lixo eletrônico" – Um estudo no setor de computadores. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo, 2011.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística Reversa: Meio Ambiente e competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

LEITE, PAULO ROBERTO. **Logística Reversa: Sustentabilidade e competitividade**. Saraiva Educação S.A., v. 3, 2019.

LEMONS, Thiago Rodrigues; OURIQUES, Helton Ricardo; SILVA JÚNIOR, Gilson Geraldino; et al. **GEOGRAPHICAL CHANGES IN THE AUTOMOBILE INDUSTRY, A CASE STUDY OF BATTERYS FOR ELECTRICAL VEHICLES**. Mercator, v. 23, n. 2024, p. 1–17, 2024.

LIMA, Raphael Jonathas da Costa; ASSIS, João Dulci. **CORPORAÇÕES, ESTRATÉGIAS E INSTITUIÇÕES: uma análise da Nissan no Brasil**. Caderno CRH, v. 37, p. e024018, 2024.

MACHADO, Nayara. **Sem logística reversa, baterias de carros elétricos podem virar toneladas de lixo perigoso até 2030**: Pesquisadores da Universidade Veiga de Almeida apontam que peso total dos componentes de VEs em circulação no país é de cerca de 34 mil toneladas. EPBR. epbr.com.br, 2023. Disponível em: <https://epbr.com.br/sem-logistica-reversa-baterias-de-carros-eletricos-podem- virar-toneladas-de-lixo-perigoso-ate-2030/>. Acesso em: 12 abr. 2024.

MARKET RESEARCH. **US Lithium Battery Charger ICs Market Research Report Information By Charger Type** (Switching Battery Chargers, Linear Battery Chargers, μ Module Battery Chargers, Pulse Battery Chargers, SMBus/I2C/SPI Controlled Battery Chargers, Buck/Boost Battery Chargers), By Appliance (Power Tools, Vacuum Cleaners, Small Appliances, Gardening Tools, Others), By End-user (Consumer Electronics, Energy & Power, Automotive, Others) - Industry Size, Share and Forecast till 2030
Source: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/us-lithium-battery-charger-ics-market-one-12984>. MRFR Research Team. marketresearchfuture.com, 2023. Disponível em: Fonte: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/us-lithium-battery-charger-ics-market-one-12984>. Acesso em: 06 nov. 2024.

MENGUE-MODEL, José Cristiano. **Desenvolvimento de um processo híbrido mais sustentável para extração de lítio e cobalto de baterias de íons de lítio**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/274447/001199247.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 26 abr. 2025.

MELCHOR-MARTÍNEZ, Elda M.; MACIAS-GARBETT, Rodrigo; MALACARA-BECERRA, Alonso; et al. **Environmental impact of emerging contaminants from battery waste: A mini review**. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, v. 3, p. 100104, 2021.

MERCOSUL MOTORES. **Afinal, o que é Eletromobilidade?** Mercosul Motores. 2023. Disponível em: <https://mercosulmotores.com.br/pt-BR/noticias/afinal-o-que-e-eletromobilidade#:~:text=A%20eletromobilidade%20refere%2Dse%20ao,de%20solu%C3%A7%C3%B5es%20energ%C3%A9ticas%20mais%20limpas>. Acesso em: 23 abr. 2024.

MOI, Paula Cristina Pedroso *et al.* Lixo Eletrônico: Consequências e possíveis soluções. **ConnectionLine - Revista Eletrônica Do Univag**, 2014.

MORAES, Amanda Lourenço de *et al.* **Viabilidade e Desafios na Exportação de Resíduos Eletrônicos: Um Estudo de Caso**. FATECLOG. São Paulo, 2022. 11 p. Disponível em: <https://fateclog.com.br/anais/2022/401-698-1-RV.pdf>. Acesso em: 14 set. 2023.

NASCIMENTO, Maria L. F. Obsolescência programada dos produtos eletroeletrônicos e meio ambiente. 30 abr 2023. Disponível em: <https://editorajc.com.br/obsolescencia-programada-dos-produtos-eletroeletronicos-e-meio-ambiente/>. Acesso em 26 abr. 2025.

NEXV Blog. **A Regulamentação e Reciclagem de Baterias de Lítio**. [S. l.], 10 dez. 2024. Disponível em: <https://nexv.com.br/regulamentacao-e-reciclagem-baterias-litio/>. Acesso em: 5 abr. 2025.

PEDROZO, Soraia Abreu. **Cresce consumo de biodiesel nos transportes e energia térmica renovável na indústria**. In: Seminário AutoData. [S. l.], 22 out. 2024. Disponível em: <https://www.autodata.com.br/noticias/2024/10/22/cresce-consumo-de-biodiesel-nos-transportes-e-energia-termica-renovavel-na-industria/79588/>. Acesso em: 9 abr. 2025.

REZENDE, Helena Bernardes Sobreira Paixão. **ANÁLISE INTEGRADA DA IMPLEMENTAÇÃO DE BATERIAS EM ESTRATÉGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO CONSIDERANDO POSSIBILIDADES DE REUSO E IMPACTOS DO DESCARTE**. In: REZENDE. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Juiz de Fora, [S. l.], 2024.

ROSSINI, Valéria; NASPOLINI, Samyra Haydêe Dal Farra. **OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA E MEIO AMBIENTE: A GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS**. Revista de Direito e Sustentabilidade, [S. l.], p. 51-71, 18 jun. 2017. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/b618/a00eda1752b552862ff1fffc17b28e69bb72.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2025.

S. LEBBIE, Tamba, *et al.* **E-Waste in Africa: A Serious Threat to the Health of Children**. Int. J. Environ. Res. Public Health. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph18168488>. Acesso em: 11 abr. 2024.

SANTOS, Anna Luiza; ALVES, Wellington; FERREIRA, Paula. **Challenges Faced by Lithium-Ion Batteries in Effective Waste Management**. Sustainability, v. 17, n. 7, p. 2893, 2025.

SANTOS, Renata Rodrigues Silva; DECONTE, Simone Ramos. **LIXO ELETRÔNICO E MEIO AMBIENTE:: A IMPORTÂNCIA DA RECICLAGEM DO LIXO ELETRÔNICO**. In: Jornal da Faculdade no Itumbiara. Faculdade no Itumbiara, Goiás, 2022. Disponível em: <https://unifasc.edu.br/wp-content/uploads/2022/04/30-LIXO-ELETRONICO-E-MEIO-AMBIENTE1.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2025.

SETIAWAN, Indra Chandra. **Automotive Experiences**: Policy Simulation of Electricity-Based Vehicle Utilization in Indonesia (Electrified Vehicle -HEV, PHEV, BEV, and FCEV). JournalUnima. Indonésia, 2019. 8 p. Disponível em: <https://journal.unimma.ac.id/index.php/AutomotiveExperiences/article/view/2020/1423>. Acesso em: 16 abr. 2024.

SHEN, Yuelin; P. WILLEM, Sean. **Modelling sourcing strategies to mitigate part obsolescence**. European Journal of Operational Research, 2012, p. 522-533 Trabalho de Disciplina - Donghua University, Glorious Sun School of Business and Management, Shanghai 200051, People's Republic of China & Boston University, School of Management, Boston, Ma 02215, USA, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez30.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0377221714000460?via%3Dihub>. Acesso em: 11 abr. 2024.

SINIGAGLIA, Tiago. **ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DA TECNOLOGIA DOS VEÍCULOS COM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E DOS VEÍCULOS ELETRIFICADOS**. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, [S. l.], 2023. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/29081/TES_PPGEPP_2023_SINIGAGLIA_TIAGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 3 abr. 2025.

SOUZA, I. S. F; MEDEIROS, L. R., 2024. **Lixo eletrônico e obsolescência programada em município do interior do Rio Grande do Norte: um estudo de percepção ambiental**. Revista Tecnologia e Sociedade. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rt/article/view/15968?>. Acesso em 26 abr 2025.

SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, SINIR. **Relatório Nacional de Gestão de resíduos Sólidos**. Curupira Tecnologia. 2021. Disponível em: <https://sinir.gov.br/relatorios/nacional/>. Acesso em: 26 out. 2023.

TRABBOLD, Angela. **Cepetro vai desenvolver sistema para rastrear baterias**. Jornal da Unicamp, [s. l.], 7 nov. 2023. Disponível em: <https://jornal.unicamp.br/noticias/2023/11/07/cepetro-vai-desenvolver-sistema-para-rastrear-baterias/>. Acesso em: 9 abr. 2025.

UNITED NATIONS. **For a livable climate: Net-zero commitments must be backed by credible action**. 2023. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition>. Acesso em: 23 abr. 2024.

UNITED STATES INTERNATIONAL TRADE COMMISSION. **Supply Chain for EV Batteries: 2020 Trade and Value-added Update**. USITC. 2021. 28 p. Disponível em: https://www.usitc.gov/publications/332/working_papers/supply_chain_for_ev_batteries_2020_trade_and_value-added_010721-compliant.pdf. Acesso em: 26 dez. 2023.

VERGARA, Sylvia Constant. **Métodos de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, f. 144, 2007. 287 p.

WABETO, A. K.; NIGUSSA, K. N.; DEJA, L. D. DFT + U **Study of structural, electronic, optical and magnetic properties of LiFePO₄ Cathode materials for Lithium-Ion batteries**. 2023. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2305.11459>>. Acesso em: 4 abr. 2025.

YU, Hao. **Modeling a remanufacturing reverse logistics planning problem: some insights into disruptive technology adoption**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 123, n. 11–12, p. 4231–4249, 2022.

ZENG, X., Li, J., & SINGH, N. (2014). **Recycling of Spent Lithium-Ion Battery: A Critical Review**. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(10), 1129–1165. doi:10.1080/10643389.2013.763578

ZHANG, X.; Zou, B.; Feng, Z.; Wang, Y.; Yan, W. **A Review on Remanufacturing Reverse Logistics Network Design and Model Optimization**. Processes 2022

APÊNDICE A — Justificativa para dispensa do termo de anuência institucional

Título do Projeto: Proposta de implantação do sistema de logística reversa de bateria pós-consumo de veículos leves elétricos na indústria automotiva.

Pesquisadora responsável: Caroline kill da Cruz

Instituição: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Data: 04/11/2024.

Justificativa:

No presente projeto de pesquisa, serão coletados dados por meio de pesquisa documental e entrevistas com profissionais da indústria automotiva escolhida. Contudo, não utilizarei a divulgação do nome de nenhuma empresa automotiva, respeitando a confidencialidade das informações da empresa e dos entrevistados.

A coleta de dados será realizada de maneira a garantir o anonimato e a privacidade dos participantes. A dispensa do termo de anuência institucional se justifica pelos seguintes pontos:

1. A natureza da pesquisa é de caráter acadêmico e voltada para a análise, sem intenção de promover, criticar ou expor diretamente empresas específicas. Portanto, a identificação da empresa não é essencial para a análise e discussão dos resultados. O foco deve ser nas práticas e tendências do setor, e não em avaliações de desempenho de uma empresa específica.
2. A pesquisa protege a confidencialidade, já que as entrevistas e os dados documentais coletados não identificarão, em nenhuma fase da pesquisa, a empresa ou indivíduos envolvidos. Todos os dados serão apresentados de forma agregada, garantindo a não identificação dos participantes, bem como sua proteção da propriedade intelectual. Reitero que a não divulgação do nome da empresa evita possíveis repercussões negativas ou distorções na percepção de mercado que poderiam resultar da pesquisa, protegendo a reputação da empresa.
3. Consentimento dos Participantes: Todos os participantes serão informados sobre o caráter confidencial da pesquisa e seu direito de desistir a qualquer momento. O consentimento informado será obtido de forma clara e objetiva.

Diante do exposto, solicito a dispensa do termo de anuência institucional, considerando que a pesquisa não traz riscos à integridade das empresas ou indivíduos envolvidos.

APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Figura 9. Imagem do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para os entrevistados

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Campus Seropédica



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa intitulada **“Proposta de implantação do conceito de logística reversa em packs de bateria de veículos elétricos pós-consumo na indústria automotiva”**. O objetivo desta pesquisa é buscar reduzir o impacto ambiental das baterias de lítio, que estão se tornando mais comuns com o aumento dos veículos elétricos. Ela estuda formas de reciclar ou reutilizar essas baterias após seu consumo, com o objetivo de ajudar as empresas a seguirem práticas sustentáveis e cumprirem a logística reversa. Participar desta pesquisa pode trazer benefícios diretos ou indiretos ao participante, como a oportunidade de contribuir para o desenvolvimento de soluções ambientais mais eficientes e sustentáveis, além de participar de um processo que pode influenciar positivamente a adoção de práticas ecológicas no setor. A pesquisadora responsável por esta pesquisa é a Caroline Kill da Cruz, engenheira de produção e estudante do Mestrado de Gestão e Estratégia, PPGE da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Você receberá os esclarecimentos necessários antes, durante e após a finalização da pesquisa, e asseguro que o seu nome não será divulgado, sendo mantido o mais rigoroso sigilo, em favor de não identificá-lo(a), respeitando Resolução CNS 510/2016, Art. 9, V e Art. 17, IV sobre identificação dos participantes.

As informações serão obtidas da seguinte forma: A pesquisa envolve duas etapas: uma de pesquisa bibliográfica e outra de coleta de dados, na qual os participantes de pesquisa estarão envolvidos. A coleta também será realizada por meio de entrevistas com técnicos e gestores envolvidos diretamente com veículos elétricos e/ou com logística reversa automotiva, de forma individual. Serão feitas perguntas sobre as baterias de lítio e sobre o tema da logística reversa na empresa. A entrevista individual terá uma sessão que durará de 25 a 60 minutos, com gravação de áudio, e sua participação será anônima. Após as entrevistas, faremos uma análise de conteúdo para entender como esses temas se relacionam com o tema estudado e enviarei a você a entrevista transcrita para vocês validarem. Seu envolvimento é essencial para contribuir com a melhoria dos processos das baterias de lítio dos veículos elétricos.

Para reduzir os riscos previstos, garantiremos que você, como participante, esteja confortável e tenha a liberdade de interromper ou parar a entrevista a qualquer momento. Serão fornecidas orientações gerais sobre os riscos e o que pode ser feito para minimizá-los, além de informar que você pode optar por não responder a perguntas que causarem desconforto. As informações serão mantidas em sigilo, e, caso sinta qualquer desconforto, você receberá suporte imediato para garantir sua segurança e bem-estar durante toda a pesquisa.

A sua participação envolve os seguintes riscos previsíveis: Riscos mínimos, como desconforto ao responder a perguntas sensíveis, constrangimento, ansiedade, e cansaço devido à duração da entrevista. Também existe um risco remoto de lesões relacionadas à postura durante entrevistas por videoconferência e ou reações alérgicas. Esforçamo-nos para minimizar esses riscos e você pode optar por não responder a qualquer pergunta ou interromper a entrevista a qualquer momento. Sua participação é voluntária e confidencial. Somente a pesquisadora e/ou equipe de pesquisa saberão de seus dados e será mantido em sigilo. A entrevista será gravada e transcrita de forma fidedigna para que não ocorram distorções de fala. Em qualquer momento, o participante poderá pedir informações adicionais sobre a pesquisa e, se houver algum desconforto durante a participação, você receberá apoio e orientação adequados para lidar com a situação. Sua segurança e bem-estar são prioridades durante todo o processo da pesquisa.

A sua participação pode ajudar pesquisadores a entender melhor sobre logística reversa empresarial e veículos elétricos, já que os resultados desta pesquisa serão utilizados para propor melhorias na aplicação da logística reversa de baterias de lítio pós-consumo na indústria automotiva. Com a intenção de influenciar positivamente outras indústrias automotivas e até mesmo ser aplicado em outros países.

SEROPEDICA

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, situado na BR 465, Km7, CEP 23.897-000, Seropédica, Rio de Janeiro/RJ, sala DCF/PROAF
Telefone: (21) 981194613 – e-mails: 20231001207@ufrrj.br / caroline_kill@hotmail.com

Rubrica do Pesquisador Principal	Rubrica do(a) Participante da Pesquisa

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Campus Seropédica



Além disso, a pesquisa beneficiará outras pessoas em cargos de liderança, ajudando a disseminar práticas eficientes de logística reversa.

Você está sendo consultado sobre seu interesse e disponibilidade de participar desta pesquisa. Você é livre para recusar-se a participar, retirar seu consentimento ou interromper sua participação a qualquer momento. A recusa em participar não acarretará penalidade alguma.

Você não será remunerado por ser participante da pesquisa. Se houver gastos com transporte ou alimentação, eles serão ressarcidos pelo pesquisador responsável. Todas as informações obtidas por meio de sua participação serão de uso exclusivo para esta pesquisa e ficarão sob a guarda da pesquisadora responsável. Caso a pesquisa resulte em dano pessoal, o ressarcimento e indenizações previstos em lei poderão ser requeridos pelo participante. Também poderemos compartilhar com você os resultados ao longo e no final da pesquisa.

Em caso de dúvidas sobre a pesquisa, você poderá entrar em contato com Caroline Kill da Cruz, pesquisadora responsável, nos telefones 21 981194613 celular, endereço Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, situado na BR 465, Km7, CEP 23.897-000, Seropédica, Rio de Janeiro/RJ, sala DCF/PROAF e e-mail 20231001207@ufrj.br ou caroline_kill@hotmail.com.

Este estudo foi analisado e aprovado por um Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) sob o registro CAAE (A preencher). O CEP é responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de pesquisas envolvendo seres humanos, visando garantir o bem-estar, a dignidade, os direitos e a segurança de participantes de pesquisa; bem como assegurando a participação do(a) pesquisador(a) sob os mesmos aspectos éticos.

Caso você tenha dúvidas e/ou perguntas sobre seus direitos como participante deste estudo, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, situada na BR 465, km 7, Seropédica, Rio de Janeiro, pelo telefone (21) 2681-4749 de segunda a sexta, das 09:00 às 16:00h, pelo e-mail: eticacep@ufrj.br ou pessoalmente às terças e quintas das 09:00 às 16:00h.

No caso de aceitar participar da pesquisa, você e o pesquisador devem rubricar todas as páginas e assinar as duas vias deste documento. Uma via é sua e a outra via ficará com a pesquisadora.

Para mais informações sobre os direitos dos participantes de pesquisa, leia a **Cartilha dos Direitos dos Participantes de Pesquisa** elaborada pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (Conep), disponível no site: http://conselho.saude.gov.br/images/comissoes/conep/img/boletins/Cartilha_Direitos_Participantes_de_Pesquisa_2020.pdf

Consentimento do participante²

Eu, abaixo assinado, entendi como é a pesquisa, tirei dúvidas com a pesquisadora e aceito participar, sabendo que posso desistir a qualquer momento, mesmo depois de iniciar a pesquisa. Autorizo a divulgação dos dados obtidos neste estudo, desde que mantida em sigilo minha identidade. Informo que recebi uma via deste documento com todas as páginas rubricadas e assinadas por mim e pelo Pesquisador Responsável.

Nome do(a) participante: _____

Assinatura: _____ local e data: _____

Declaração do pesquisador

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária, o Consentimento Livre e Esclarecido deste

SEROPEDICA
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, situado na BR 465, Km7, CEP 23.897-000, Seropédica, Rio de Janeiro/RJ, sala DCF/PROAF
Telefone: (21) 981194613 – e-mails: 20231001207@ufrj.br / caroline_kill@hotmail.com

Rubrica do Pesquisador Principal	Rubrica do(a) Participante da Pesquisa

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Campus Seropédica



participante (ou representante legal) para a participação neste estudo. Declaro ainda que me comprometo a cumprir todos os termos aqui descritos.

Nome da Pesquisadora: Caroline Kill da Cruz

Assinatura: _____ Local/data: _____

Nome do auxiliar de pesquisa/testemunha (Se houver): _____

Assinatura: _____ Local/data: _____

**Este termo foi elaborado a partir do modelo de TCLE do CEP/Unifesp e orientações do CEP/IFF/Fiocruz.*

SEROPEDICA
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, situado na BR 465, Km7, CEP 23.897-
000, Seropédica, Rio de Janeiro/RJ, sala DCF/PROAF
Telefone: (21) 981194613 – e-mails: 20231001207@ufrrj.br /
caroline_kill@hotmail.com

Rubrica do Pesquisador Principal	Rubrica do(a) Participante da Pesquisa
----------------------------------	--

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

APÊNDICE C – Roteiro de Entrevista

O Quadro 5 apresenta o roteiro de entrevista semi-estruturada utilizado como base para a condução das entrevistas, composto por um conjunto de perguntas formuladas previamente e aplicadas a todos os entrevistados. Cada pergunta foi formulada com base nos objetivos específicos previamente definidos, além de se apoiar em conceitos-chave do referencial teórico adotado. A estruturação do roteiro buscou garantir que os temas abordados nas entrevistas contribuíssem diretamente para a análise proposta, permitindo a identificação de percepções, práticas e desafios relacionados à LR de LIB de alta voltagem no contexto brasileiro. Dessa forma, o quadro explicita a articulação entre cada questão, o objetivo específico correspondente e ao referencial teórico apresentado neste trabalho que fundamentam teoricamente sua inclusão.

Já o Quadro 6 reúne perguntas adicionais que foram feitas de forma complementar, direcionadas apenas a alguns participantes, conforme o desenrolar da conversa e a pertinência temática de cada entrevista. Essa flexibilidade é característica do método qualitativo adotado, permitindo que o entrevistador explore aspectos emergentes e aprofunde determinadas questões com base nas contribuições específicas de cada respondente. Assim, embora o roteiro inicial tenha servido como guia, a entrevista não se restringiu rigidamente às perguntas previamente definidas.

Quadro 5. Roteiro de Entrevista Semiestruturada e sua relação com os objetivos específicos e o referencial teórico

Objetivo específicos	Referencial teórico	Perguntas
Levantar as práticas de logística reversa de bateria de veículos elétricos pós consumo, no mercado automotivo no Brasil e no exterior	LOGÍSTICA REVERSA DE ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL E EXTERIOR	1. Há algum processo de logística reversa na empresa automotiva? Em caso negativo: 2. A empresa tem alguma iniciativa específica para reduzir seu impacto ambiental? Em caso positivo: 2. Como é o processo? Há reciclagem ou remanufatura? 3. A LR existente, abrange resíduos eletroeletrônicos como a bateria do veículo elétrico? 4. Essa LR existente é inserida no próprio processo produtivo ou em outro? 5. Em qual processo é inserido e quais são as áreas envolvidas? 6. Quais são as lições aprendidas com o fluxo das empresas parceiras do exterior do mesmo grupo ou com ideias do exterior?
Mapear a cadeia da logística direta das baterias de lítio de alta voltagem utilizadas na montagem dos veículos elétricos	GERAÇÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS	7. Qual é o fluxo direto do recebimento das baterias de lítio, quais são as etapas? Por onde passa? 08. Quais são os atores envolvidos? Qual o custo?

Objetivo específicos	Referencial teórico	Perguntas
Identificar as regulamentações e barreiras para implementação da logística reversa de bateria de alta voltagem pós consumo de veículos no mercado automotivo no Brasil	LOGÍSTICA REVERSA DE ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL E EXTERIOR	09. Quais foram os principais objetivos do lançamento do veículo elétrico na sua opinião? 10. Com o lançamento do veículo elétrico, além da emissão zero, foi planejado alguma outra ação em pró ao meio ambiente? Se sim, quais? 11. Além de respeitar as normas legislativas de regulação, quais outras ações em prol do meio ambiente poderiam ser implementadas no projeto de veículos elétricos para um impacto menor do processo produtivo? 12. Há algum fluxo de retorno de alguma peça do veículo elétrico? Se sim, como funciona? Caso negativo: 13. A empresa tem alguma prática específica para a gestão e reciclagem de componentes de veículos elétricos no final de sua vida útil?
Identificar as regulamentações e barreiras para implementação da logística reversa de bateria de alta voltagem pós consumo	LOGÍSTICA REVERSA DE ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL E	Caso positivo: 14. Hoje há algum fluxo de retorno das baterias de lítio? Como funciona?

Objetivo específicos	Referencial teórico	Perguntas
de veículos no mercado automotivo no Brasil (continuação)	EXTERIOR (continuação)	15. Quais são as barreiras da empresa para a implementação da logística reversa das baterias de lítio? EXTRA: Sobre resp. compartilhada?
Levantar possíveis destinações e propor processos de logística reversa de bateria de alta voltagem de veículos elétricos pós consumo apesar de seus riscos Levantar possíveis destinações e propor processos de logística reversa de bateria de alta voltagem de veículos elétricos pós consumo apesar de seus riscos (continuação)	LOGÍSTICA REVERSA AUTOMOTIVA DA BATERIA DE FOSFATO DE FERRO LÍTIO E SUA COMPOSIÇÃO LOGÍSTICA REVERSA AUTOMOTIVA DA BATERIA DE FOSFATO DE FERRO LÍTIO E SUA COMPOSIÇÃO (continuação)	EXTRA: A bateria utilizada nos veículos elétricos é íon-lítio ou fosfato de ferro de lítio? 16. Quais são os riscos do manuseio/fabricação de resíduos eletroeletrônicos como a bateria de lítio? 17. Quais são as matérias-primas tóxicas nas baterias? 18. Qual é a validade da bateria utilizada no veículo elétrico? 19. Vocês vêm o retorno das baterias pós consumo dentro do processo industrial ou fora? Como você sugeriria que poderia ser esse fluxo? 20. Onde descartar? Dá para reciclá-la? Dá para recarregá-la e utilizar em carros ou em outro processo produtivo? 21. O que compõe na bateria que poderia ser reintroduzido novamente? Carcaça? 22. Alguma empresa a recebe inteira ou é melhor separar por componentes?

Objetivo específicos	Referencial teórico	Perguntas
		23. Para onde é enviado? Qual o custo? E em caso de não ter nada estruturado, tem alguma ação para ter?

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Quadro 6. Questões adicionais emergentes durante as entrevistas

Categoria	Pergunta
Garantia e Ciclo de Vida das Baterias	Quantos anos de garantia a XXX fornece ao cliente para essas baterias?
	Enquanto estiver na garantia, a substituição da bateria é feita por uma nova ou por uma remanufaturada/reparada?
	Pretendem vender essas baterias para clientes cujos veículos estão com baterias vencidas?
	Qual o plano de carro elétrico para o cliente após sua bateria perder seu ciclo de vida? [A Indústria automotiva pretende comprar o carro dos clientes, reembolsar consumidores que devolvem baterias, ou fazer algum tipo de ação que mitigue o prejuízo do veículo após ciclo de vida da bateria?]
Fluxo de Logística Reversa e Transporte	Como é o fluxo de retorno dessas baterias até chegarem até vocês? [Vem direto da concessionária? Há algum local especial na concessionária para armazená-las? Quais áreas o processo percorre?]
	Hoje vocês recebem baterias de quantas concessionárias?
	Quem financia o transporte e o armazenamento das baterias descartadas?
	Quais são os riscos do transporte entre países da bateria após-ciclo de vida e os custos?
	Quais foram os principais desafios para implementar a logística reversa na Europa?

Remanufatura e Destinação das Baterias	Toda bateria ruim vai direto para o <i>Refurbishment Center</i> ou há algum outro fluxo de reciclagem?
	Está nos planos criar um <i>Refurbishment Center</i> em cada país da XXX?
	Mesmo considerando os custos de transporte e reparo das baterias, o centro de remanufatura ainda apresenta um <i>business case</i> lucrativo?
	Para qual propósito essa remanufatura é realizada? [Para ser devolvida ao mesmo cliente reclamante / Para ser vendida para clientes com veículos com baterias vencidas / Para ser vendida para alguma empresa / Outro]?
	Vocês vendem alguma parte dessas baterias para outras empresas?
	Essas baterias são reintroduzidas no processo produtivo para testes ou outros fins?
Materiais e Segurança das Baterias	Quais são as matérias-primas tóxicas da bateria de íon de lítio nova e quais ficam ainda mais inseguras após usadas?
	Como garantir a estabilidade térmica e evitar riscos como superaquecimento ou curtos-circuitos?
Monitoramento e Rastreabilidade	Como avaliar a vida útil restante das baterias remanufaturadas?
	Existe um tratamento diferente entre baterias de meia-vida e pós-vida?
	Quantas vezes uma bateria pode ser remanufaturada? Há um limite?

	Há algum sistema de rastreabilidade implementado para controle em baterias novas ou remanufaturadas?
Infraestrutura e Novas Soluções	Quais são os principais desafios técnicos para integrar baterias em diferentes estados de uso em um sistema único?
	Como gerenciar a distribuição de carga entre várias baterias acopladas para otimizar o carregamento rápido?
	Como as baterias recondicionadas podem ser usadas para armazenar energia e apoiar a rede elétrica em pontos de recarga?
	Existem regulamentações brasileiras ou internacionais que impactam esse tipo de solução?

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

APÊNDICE D – Panorama geral das respostas dos entrevistados de acordo com as perguntas realizadas

O presente apêndice apresenta um panorama geral das entrevistas realizadas com profissionais da empresa automotiva estudada, com base no roteiro de perguntas semiestruturadas elaborado para este trabalho. As respostas foram analisadas segundo a técnica de análise de conteúdo, categorizadas conforme os eixos temáticos do roteiro, e sintetizadas neste apêndice em forma de resumos e citações representativas.

O Quadro 8 traz um panorama geral dos participantes entrevistados a partir das entrevistas semi-estruturadas de modo a contextualizar a relevância das respostas dos entrevistados a cada pergunta do roteiro. Em complemento, o Quadro 9 apresenta as respostas obtidas a partir das perguntas complementares, direcionadas de forma seletiva a alguns entrevistados conforme a condução individual de cada entrevista. Essa organização busca fornecer uma base clara para a análise qualitativa dos dados, respeitando a natureza flexível e exploratória da metodologia adotada.

Quadro 8. Panorama geral das entrevistas

Pergunta	Resumo da Resposta	Citação-Chave
1. Há algum processo de logística reversa na empresa automotiva?	Sim, existe um fluxo operacional que envolve a solicitação de substituição, transporte e envio à recicladora parceira.	<i>“Quando a bateria der problema, você tem que trocar ela na hora e aí levar para estocar, e depois você tinha que levar para reciclagem.”</i>
2. A empresa tem alguma iniciativa específica para reduzir seu impacto ambiental?	Sim, há compromissos com a destinação ambientalmente correta das baterias por meio de parceria com empresa recicladora.	<i>“A bateria vai para uma área de reciclagem, entendeu? Aí você tem que estocar ela em algum lugar, tem que ter um Armazém específico.”</i>
3. A LR existente, abrange resíduos eletroeletrônicos como a bateria do veículo elétrico?	Sim, porém apenas em volumes pontuais. As baterias ainda não passam por triagem técnica antes da reciclagem.	<i>“Hoje, no Brasil, existe um parceiro que faz a reciclagem completa da bateria, na empresa ZZZ.”</i>
10. Além da emissão zero, foi planejado alguma ação em prol ao meio ambiente?	As ações além da emissão zero envolvem iniciativas voltadas à reciclagem, logística reversa e sustentabilidade ambiental. A preocupação ambiental vem sendo inserida progressivamente, com foco na gestão do ciclo de vida do produto.	<i>“Tinha que ter um fornecedor local com uma solução para você reciclar a bateria [...] depois você tinha que levar para reciclagem.”</i>

11. Ações em prol do meio ambiente além das normas legislativas?	Os entrevistados apontam que ações proativas, como a implementação de centros de remanufatura e políticas internas para descarte consciente, são essenciais para ir além da legislação.	<i>“Até se forem oficializar, por exemplo, que não vão mexer e pedindo para considerar igual a legislação existente de chumbo”</i>
12. Há fluxo de retorno de alguma peça do VE?	Sim, há fluxo de retorno especialmente para as baterias com defeito, mesmo que ainda não estruturado. A substituição ocorre dentro da garantia e há envio para reciclagem.	<i>“Você tem que trocar ela na hora e aí levar para estocar, e depois você tinha que levar para reciclagem.”</i>
13. Prática de gestão de componentes elétricos no fim da vida útil?	Atualmente, a empresa encaminha todas as baterias à empresa ZZZ para reciclagem, sem distinção.	<i>“Hoje a gente não tem uma autorização para fazer esse tipo de desmontagem da bateria aqui dentro, então tem que ser externa. Já para o veículo, o veículo vai entrar com os outros demais processos internos que a gente já faz. Então assim, a gente já faz de plástico, de metal, e etc. Então hoje a gente já tem empresas que nos atendem nessa parte de descaracterização do veículo e faz a venda dessas partes.”</i>

14. Fluxo de retorno das baterias de lítio?	O retorno ocorre via pós-vendas, com envio à empresa ZZZ após substituição. O processo ainda não é padronizado.	<i>“O transporte dessas baterias é caríssimo... elas vão direto para a empresa ZZZ.”</i>
15. Barreiras para a logística reversa?	Foram mencionados barreiras regulatórias, ausência de legislação, falta de estrutura no Brasil de modo geral, inclusive de recarga, alto custo logístico para exportação, alto risco de contaminação, e ausência de padronização no fluxo de retorno entre diferentes regiões de concessionárias.	<i>“Quanto às barreiras a primeira é uma definição de legislação, isso é um ponto-chave, pois esse tema é muito sensível. Então acaba que é importante você ter uma normativa, porque aí você consegue trabalhar melhor e pode construir um padrão.”</i>
EXTRA: Responsabilidade compartilhada	Há reconhecimento da importância, mas falta clareza regulatória e operacional sobre como a responsabilidade é dividida entre fabricante, fornecedor e cliente.	<i>“Então, mesmo não tendo uma legislação específica e mesmo não tendo uma entidade definida para valores reversa de bateria é de veículo elétrico, eu concordo plenamente na corresponsabilidade da empresa no que tange aos descartes.”</i>
EXTRA: Tipo de bateria utilizada	A bateria mais comum utilizada é a de íon-lítio, mas também foram mencionadas outras químicas.	<i>“Geralmente encontramos no mercado baterias LFP (Lithium Iron Phosphate) e baterias NMC (Nickel Manganese Cobalt). Cada uma possuem vantagens que são exploradas pelos fabricantes.”</i>

		<i>Baterias LFP são mais vantajosas economicamente pois na sua composição encontramos ferro, material abundante no mundo.”</i>
16. Riscos do manuseio da bateria de lítio?	Foram apontados riscos de explosão, contaminação e incêndio, especialmente quando há danos físicos ou contato com oxigênio.	<i>“O lítio em contato com o oxigênio o fogo propaga, né, assim, com dificuldade de apagar, né. Então, eu acredito que esse seja o maior risco, que é o que todo mundo conhece, né.”</i>
17. Matérias-primas tóxicas nas baterias?	Foram citados lítio, níquel, cobalto, alumínio e cobre como elementos críticos e potencialmente contaminantes.	<i>“Tóxicas vão ser o Níquel, Lítio, o Cádmio, cobre, chumbo, alumínio.”</i>
18. Validade da bateria utilizada?	A validade média gira em torno de 8 anos ou 160.000 km, podendo variar de acordo com o uso.	<i>“A bateria tem uma garantia de 8 anos ou 160.000 km.”</i>
19. O retorno deve ocorrer dentro ou fora do processo industrial?	Há uma tendência de estruturar o retorno dentro do processo industrial, desde que haja centros de triagem e infraestrutura adequada.	<i>“O cliente não tem ainda é uma demanda pelo descartável da bateria de elétrica do veículo elétrico [...] as empresas têm que se organizar.”</i>
20. Onde descartar e se dá para reutilizar?	Atualmente todas vão para reciclagem, mas há potencial de reaproveitamento. A triagem técnica é necessária para avaliar.	<i>“Você poderia até pensar no power bank, por exemplo, para a energia solar também.”</i>

21. Componentes reaproveitáveis na bateria?	Carcaça, cobre, plásticos e metais são reaproveitáveis. A remanufatura permite reuso parcial.	<i>“Ele me traz tantos metais metálicos... tantos plásticos inertes.”</i>
22. A empresa recebe a bateria inteira ou separada?	A empresa ZZZ recebe o pack completo. Não há separação prévia por componente.	<i>“A gente manda a bateria compactada com a mesma embalagem que chegou.”</i>
23. Para onde é enviada e qual o custo?	As baterias são enviadas à empresa ZZZ. O custo de transporte está embutido no preço peça do fornecedor.	<i>“Pra envio para a Europa deve ser muito caro, beira 8 mil dólares uma bateria no terrestre... Dentro da Europa. É muito, muito caro. Mas no Brasil o preço está embutido no preço peça”</i>

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Quadro 7. Contribuições dos entrevistados a partir das perguntas complementares

Pergunta	Citação
Enquanto em timing de garantia, a substituição da bateria é feita por uma nova ou por essas remanufaturadas/ reparadas?	<i>“Na Europa pode trocar por uma remanufaturada, porém no Brasil, devido à legislação não pode, o que serve para qualquer peça trocada em garantia. Ele só precisaria assinar um termo de anuência por opção dele mesmo em não querer esperar reparar e pela concessionária não ter uma nova.”</i>
Pretendem vender essas baterias para clientes cujos veículos estão com baterias vencidas?	Sim.

Qual o plano de carro elétrico para o cliente após sua bateria perder seu ciclo de vida? [A Indústria automotiva pretende comprar o carro dos clientes, reembolsar consumidores que devolvem baterias, ou fazer algum tipo de ação que mitigue o prejuízo do veículo após ciclo de vida da bateria?]	<i>“A bateria tem oito anos. Dentro de 8 anos será trocada. A estratégia de veículo é híbrida e não de BEV. Mas eu entendo que depois de 8 anos o veículo elétrico já perdeu tanto o valor residual, mas não verá nenhum tipo de melhoria. A régua de troca é de 2-3 anos. O Grupo dará a oportunidade de um reparo ou uma compra de bateria remanufaturada globalmente. Quem comprar o valor de veículo elétrico tem que saber que ele não será recuperado o valor residual.”</i>
Quem financia o transporte e o armazenamento das baterias descartadas?	<i>“XXX para as 3 opções. Exceto para a opção que vai pro fornecedor como venda/troca. Após remanufatura precisará ter um armazém, porém na concessionária é inviável pois precisa logo seguir pra a bancada. Lá também precisaríamos viabilizar um armazém. O centro de bancada e centro de remanufatura será um só no Brasil inicialmente (Sudeste).”</i>
Quais são os riscos do transporte entre países da bateria após-ciclo de vida e os custos?	<i>“Não podemos atravessar fronteiras com peças remanufaturadas. No Chile foi quase 8MIL euros só para ser descartado do Chile para Europa por navio com container refrigerado. Eu posso exportar uma peça de segunda vida, mas não posso importar.”</i>
Toda bateria ruim vai direto para o Refurbishment Center ou há algum outro fluxo de reciclagem?	<i>“Hoje no Brasil só vai para reciclagem. Mas na Europa vai pra um centro de análise da XXX. (Tem 3 opções, remanufatura center, reciclagem, ou second life (nós enviamos para um fornecedor que não é o tear 1, o que faz a bateria, é outro forn, pegar com ele depois os produtos que são feitos de second life depois com ele. A bateria é nossa, nós vendemos para o fornecedor ele devolve para a gente como uma bateria</i>

	<i>estacionária por exemplo. Europa está estudando usar baterias estacionarias para recarregar veículos elétricos dentro da planta. Mas no Brasil nós nao temos volume suficiente para criar esse business. Seguir com remanufatura center pois gera um cost avoidance para seguir com os clientes em garantia.”</i>
É pretendido criar-se um Refurbishment Center em cada país da XXX?	<i>“Sim. Mas depende da escolha de representatividade do parque XXX.”</i>
Mesmo considerando os custos de transporte e reparo das baterias, o centro de remanufatura ainda apresenta um <i>business case</i> lucrativo?	<i>“Difícilmente não seria rentável. As vezes o lucro é do próprio cliente em ter um custo menor. 130mil reais o custo cheio de uma bateria. Uma remanufaturada seria pela metade.”</i>
Para qual propósito essa remanufatura é realizada? [Para ser devolvida ao mesmo cliente reclamante / Para ser vendida para clientes com veículos com baterias vencidas / Para ser vendida para alguma empresa / Outro]?	<i>“São duas ou três possibilidades. Estender a vida útil do produto e oferecer uma opção mais barata pro cliente. E também salvar recursos do meio ambiente. LCA é um dado público, uma peça remanufatura gasta na média menos 80% de matéria prima e emite 50% menos de CO₂. Nao estamos querendo reagir estamos esperando reagir na hora da reação. Remanufatura é dedicada aos nossos clientes. É só para utilizar ao uso original como tração só aí podemos usar como remanufatura. Para usar como estacionária ele não faz nenhum tipo de reparo. A célula é muito cara e não compensaria remanufaturar para usar como segunda vida. E a XXX não vê vantagem</i>

	<i>pegar ela depois de segunda vida para remanufaturar, pois existe uma métrica limite para isso. Nós nunca vamos saber a carga da bateria pelo ano de 4 ou 8 anos.”</i>
Vocês vendem alguma parte dessas baterias para outras empresas?	<i>“Hoje não. Nem a inteira é vendida, é uma NF de destino final onde ela recicla, mas tem a responsabilidade de dar um laudo de reciclagem completo.”</i>
Essas baterias são reintroduzidas no processo produtivo para testes ou outros fins?	<i>“Não, pois não pode ser usada em veículos de venda novo. Porem pode ser utilizado em veículos projeto e clientes fora de garantia. Na Europa já devem fazer, hoje aqui só é feito como reciclagem.”</i>
Quais são as matérias -primas tóxicas da bateria de íon de lítio nova e quais ficam ainda mais inseguras após usadas?	<i>“O nível de combustão dela é muito perigoso. Cobre, Lítio, manganês e o cobalto. A bateria em si tem um alto nível de contaminação. O risco é o mesmo, mas pelo dano que a bateria pode ter após uso pode ter um dano maior, mas isso é muito subjetivo.”</i>
Como garantir a estabilidade térmica e evitar riscos como superaquecimento ou curtos-circuitos?	<i>“Estabilidade térmica é do projeto da bateria. Não cabe para remanufatura, pois estamos trocando os módulos e não vamos alterar as características de projeto. Isso tem que ser garantido pelo projeto da bateria.”</i>
Como avaliar a vida útil restante das baterias remanufaturadas?	<i>“É difícil. A gente vai fazer a análise a nível de células de carga. Nós trocamos as células de cargas que estão retendo menos de 80%. Trocamos o Pack. Só dá pra ver numa bancada de reparo. Por mais que apareça o nível de vida de bateria no painel não conseguimos identificar qual está rendendo menos ou mais.”</i>

Existe um tratamento diferente entre baterias de meia-vida e pós-vida?	<i>“Não, todas passam pelo mesmo processo de análise.”</i>
Quantas vezes uma bateria pode ser remanufaturada? Há um limite?	<i>“O limite é aquela curva. Se ela chegar uma segunda vez e tiver dentro de 80 pode seguir para remanufaturar de novo. Ainda não temos o histórico na Europa. Mas é interessante analisar.”</i>
Há algum sistema de rastreabilidade implementado para controle em baterias novas ou remanufaturadas?	<i>“Uma bateria remanufaturada tem um novo PN, ela tem um limite para estar no nosso armazém. Conseguimos falar o lote e unitário da rastreabilidade da bateria remanufaturada.”</i>
Quais são os principais desafios técnicos para integrar baterias em diferentes estados de uso em um sistema único?	<i>“A maior dificuldade é o desenvolvimento eletrônico. BSM Battery System Management. Quando você faz uma bateria estacionária você precisa uma nova BSM, não pode usar a do veículo. Precisa de um desenvolvimento específico.”</i>
Como gerenciar a distribuição de carga entre várias baterias acopladas para otimizar o carregamento rápido?	<i>“BSM é responsável por monitoramento do estado da bateria (tensão, corrente, temperatura); Gerenciamento da carga e descarga para evitar sobrecarga ou descarga profunda; Balanceamento das células para garantir desempenho e longevidade da bateria; Proteção contra falhas (curto-circuito, superaquecimento, sobrecarga, etc.); Comunicação com outros sistemas do veículo, como o inversor e a unidade de controle do motor. Além disso, há a gestão térmica. Precisa de uma temperatura constante, nem muito frio, nem muito quente. Precisa ser constante. A UCB iria desenvolver sua própria BSM mas não evoluiu”</i>

Como as baterias recondicionadas podem ser usadas para armazenar energia e apoiar a rede elétrica em pontos de recarga?	<i>“Recondicionada é a peça usada, porém só com uma limpeza estática e reparos básicos, intervenção mínima. Troca de conector, ou uma peça metálica estrutural. Ele entende que no Brasil não atende trabalhar com baterias recondicionadas e sim só remanufaturas pois damos no mínimo 12 meses de garantia. Damos a garantia de 8 anos na bateria nova. Mas a bateria remanufaturada é mínimo de um ano ou máximo 2 anos. Mas também não é economicamente viável dar uma extensão maior do que esse período. Mas também temos que se adaptar ao mercado como ele vai aceitar esse tipo de coisa. Não vai ter uma bateria após 8 anos de uso que seja viável fazer remanufaturada. Ele entende que será de 0 a 8 anos.”</i>
Existem regulamentações brasileiras ou internacionais que impactam esse tipo de solução?	<i>“Existe um convênio de garantia que fala que não podemos trocar uma peça de um veículo dentro do período de garantia, por uma remanufaturada. Existe essa limitação, só é válido quando o cliente dá o aceite dele para isso. Mas dentro do período de garantia de 8 anos. Porém, se o cliente deu mau uso ou avaria ao chegar no centro de retorno o técnico avalia, se for detectado que foi mau uso. É detectado no caso de pancada. Existe o risco sim de bater em alguma coisa e entrar em combustão pegar fogo ali. A lei permite que eu repare a bateria do mesmo cliente e devolva para ele, porém ele precisaria esperar o processo finalizar. A lei não permite eu ter um estoque de remanufaturadas e trocar automaticamente, isso o cliente precisaria autorizar.”</i>

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

As informações aqui sistematizadas refletem a percepção dos profissionais envolvidos diretamente nos projetos de veículos elétricos, de forma técnica e estratégica na empresa, permitindo uma análise crítica sobre os desafios e potenciais caminhos para o aprimoramento da LR de LIB. Com isso, essas respostas fornecem um suporte empírico à proposta de estruturação de um modelo de LR para baterias de LIB de VE no Brasil. Para garantir a transparência metodológica e possibilitar consultas mais aprofundadas, o conjunto completo das transcrições das entrevistas pode ser solicitado através do email 20231001207@ufrj.br. Esse material complementa e reforça as análises e propostas apresentadas ao longo desta dissertação, constituindo um importante recurso para futuros estudos e aplicações práticas no setor automotivo e na gestão de REEE.