

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação - Campus de Ourinhos

ANDRÉ LUÍS SAMOGIN DE ALMEIDA

**PROBLEMÁTICAS AMBIENTAIS LIGADAS À ELETRIFICAÇÃO AUTOMOTIVA:
UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA**

Ourinhos

2024

ANDRÉ LUÍS SAMOGIN DE ALMEIDA

**PROBLEMÁTICAS AMBIENTAIS LIGADAS À ELETRIFICAÇÃO AUTOMOTIVA:
UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação, Ourinhos, para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Orientador(a): Prof. Dr. Rodrigo Lilla
Manzione

Ourinhos

2024

A447p

Almeida, André Luís Samogin de

Problemáticas Ambientais Ligadas à Eletrificação Automotiva : Uma Revisão Bibliográfica Sistemática / André Luís Samogin de Almeida. -- Ourinhos, 2024
57 f. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação, Ourinhos

Orientador: Rodrigo Lilla Manzione

1. Produção de Energia. 2. Veículos Elétricos. 3. Baterias de Veículos Elétricos. 4. Impacto Ambiental. 5. Sustentabilidade. I. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta revisão visa catalogar e categorizar os principais estudos sobre as problemáticas ambientais relacionadas à eletrificação da frota automotiva mundial, com o objetivo de identificar os focos de pesquisa, os públicos-alvo e os países que mais têm contribuído para o tema. A análise permitirá descobrir lacunas na literatura existente, bem como destacar os aspectos que têm recebido maior atenção, como o ciclo de vida das baterias e as políticas públicas associadas. Essas informações são valiosas não apenas para acadêmicos e pesquisadores, mas também para formuladores de políticas e profissionais da indústria automotiva, pois oferecem uma compreensão aprofundada dos impactos ambientais da eletrificação. Ao ressaltar os países que lideram essas pesquisas, a revisão pode fomentar colaborações internacionais e promover a adoção de tecnologias sustentáveis, contribuindo assim para a conscientização e implementação de soluções mais limpas no setor automobilístico.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This review aims to catalog and categorize the key studies on the environmental issues related to the electrification of the global automotive fleet, with the goal of identifying research focal points, target audiences, and the countries that have contributed the most to the topic. The analysis will uncover gaps in existing literature while highlighting the aspects that have received the most attention, such as the life cycle of batteries and associated public policies. This information is valuable not only for academics and researchers but also for policymakers and industry professionals, as it provides a deeper understanding of the environmental impacts of electrification. By emphasizing the countries leading this research, the review can foster international collaborations and promote the adoption of sustainable technologies, thus contributing to awareness and the implementation of cleaner solutions in the automotive sector.

ANDRÉ LUÍS SAMOGIN DE ALMEIDA
PROBLEMÁTICAS AMBIENTAIS LIGADAS À ELETRIFICAÇÃO AUTOMOTIVA:
UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação, Ourinhos, para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Área de Concentração:

Data da defesa: 02/12/2024

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione
UNESP - Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação - Campus de Ourinhos

Dr. Julio Cesar Demarchi
UNESP - Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação - Campus de Ourinhos

Me. Jakson José Ferreira
UNESP - Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação - Campus de Ourinhos

Suplente Prof. Dr. Diogo Laércio Gonçalves
UNESP - Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação - Campus de Ourinhos

Dedico este trabalho à minha mãe, Maria
Amélia.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à minha família que esteve ao meu lado mesmo à distância segue me motivando a fazer o meu melhor, em especial, meus avós Cassiano e Luiza por toda ajuda para que eu conseguisse chegar até aqui, à minha irmã, Maria Luiza e minha mãe, Maria Amélia, a quem dedico esse trabalho, a ela não encontro palavras para definir minha gratidão por todo esforço que fez e faz para me proporcionar apoio mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço a todos os amigos, em especial, Pedro e Breno, meus irmãos de consideração, e também a todas as amizades que fiz durante essa jornada de graduação, sendo como uma segunda família, em especial a todos os Integrantes da República Parabrisa.

Ao professor Dr. Rodrigo Lilla Manzione agradeço não só por me orientar e se dedicar tanto à realização deste trabalho, mas também por ser a fonte de inspiração da pesquisa sobre esse tema e mais ainda por ser inspiração como modelo de profissional.

Por fim, agradeço à FCTE - UNESP e seus profissionais, professores e funcionários por tudo que aprendi e tudo que vivi durante a graduação.

“Em todo espaço há energia... é (só) uma questão de tempo até que os homens tenham êxito em associar seus mecanismos ao aproveitamento desta energia”.

(TESLA, Nikola, tradução nossa).

RESUMO

Atualmente, a agenda global prioriza a busca por fontes energéticas sustentáveis, visando mitigar os efeitos adversos das mudanças climáticas. Nesse contexto, os veículos híbridos e elétricos despontam como alternativas promissoras aos combustíveis fósseis, destacando-se pela sua crescente adoção em diversos países. Este estudo propõe-se a analisar, por meio de uma Revisão Bibliográfica Sistemática, os desdobramentos dentro do meio científico das diferentes abordagens para com essa temática. Pretende-se, assim, compreender os diversos aspectos dessa transição, desde seus impactos ambientais, sociais e econômicos, até os potenciais beneficiários dessa mudança estratégica no cenário automotivo global.

Palavras-chave: Produção de Energia; Veículos Elétricos; Baterias de Veículos Elétricos; Impacto Ambiental; Sustentabilidade

ABSTRACT

Nowadays, the global agenda prioritizes the search for sustainable energy sources, aiming to mitigate the adverse effects of climate change. In this context, hybrid and electric vehicles emerge as promising alternatives to fossil fuels, standing out due to their increasing adoption in various countries. This study aims to analyze, through a Systematic Literature Review, the developments within the scientific community regarding different approaches to this topic. The goal is to understand the various aspects of this transition, from its environmental, social, and economic impacts to the potential beneficiaries of this strategic shift in the global automotive scenario.

Keywords: Energy Production; Electric Vehicles; Electric Vehicle Batteries; Environmental Impact; Sustainability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resultados da Avaliação de Ciclo de Vida de uma bateria	28
Figura 2 – Top 10 países que utilizam energias renováveis na produção de eletricidade.	30
Figura 3 – Principal fonte de energia elétrica de cada estado do Brasil	31
Figura 4 – Modelo de string de busca editado para pesquisar na base de dados da Scopus.	40
Figura 5 – Nuvem de palavras-chave de cada artigo selecionado na RBS	53

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 – Número de Trabalhos por área de pesquisa	41
Gráfico 2 – Quantidade de trabalhos publicados por autor	42
Gráfico 3 – Quantidade de trabalhos produzidos por ano (2017 a 2024)	43
Gráfico 4 – Quantidade de trabalhos produzidos por país	44
Gráfico 5 – Número de artigos selecionados na RBS e os países que publicaram	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de trabalhos publicado por país em cada categoria de classificação	51
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Análise de Ciclo de Vida
GEE	Gases de Efeito Estufa
LDVs	Light-Duty Vehicles - Veículos Leves
MDVs	Medium-Duty Vehicles - Veículos Médios
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
RBS	Revisão Bibliográfica Sistemática
VEs/EVs	Veículos Elétricos/Eletric Vehicles
UHEs	Usinas Hidrelétricas

LISTA DE SÍMBOLOS

Cv	Cavalos - Unidade de medida de potência de motores automotivos
Kg	Quilogramas - Unidade de medida de massa
km/l	Quilômetros por Litro
MW	Megawatt - Unidade de medida de potência ligada à capacidade de geração de energia elétrica
kWh	Quilowatt-hora - Unidade de consumo de energia
Po ³	Polegadas cúbicas - Unidade de medida volumétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

1.2 Justificativa

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Contexto Histórico do reconhecimento dos Problemas Ambientais

2.2 Contexto Histórico dos motores à combustão até a era do “downsize”

2.3 Contexto Histórico dos Veículos Elétricos

2.4 Impactos ambientais da produção de veículos elétricos e ciclo de vida das baterias

2.5 Geração e distribuição de energia para carregamento e impacto ambiental

2.6 Comparação de emissões e desafios de infraestrutura para veículos elétricos e a combustão interna

3 METODOLOGIA

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados gerais da string de buscas na base de dados - SCOPUS

4.2 Políticas públicas, regulações e perspectivas futuras da eletrificação

4.3 Desafios da eletrificação e recomendações para soluções sustentáveis

5 CONCLUSÃO

REFERÊNCIAS

1 INTRODUÇÃO

A crescente eletrificação da frota automotiva tem se consolidado como uma das principais estratégias globais para mitigar os impactos ambientais associados às emissões de gases de efeito estufa e à dependência de combustíveis fósseis. Com a intensificação das mudanças climáticas e a busca por alternativas sustentáveis, os veículos elétricos (VEs) emergem como uma solução promissora para a descarbonização do setor de transporte. No entanto, ao mesmo tempo que promovem a redução de emissões na fase de uso, questões críticas persistem, especialmente no que diz respeito aos impactos ambientais associados à extração de matérias-primas, à produção, ao ciclo de vida das baterias e ao descarte de resíduos, assim como também na produção de energia elétrica em países que não utilizam fontes de energia renováveis.

Nesse contexto, a presente revisão bibliográfica sistemática tem como objetivo buscar, organizar e categorizar estudos relacionados às problemáticas ambientais da eletrificação automotiva. Além de identificar as principais abordagens adotadas em diferentes áreas do conhecimento, este trabalho visa mapear os países que têm se destacado nessa temática e compreender as tendências globais de pesquisa. A análise considera, de forma integrada, as dimensões ambiental e tecnológica, abordando tópicos como o consumo de recursos naturais, a pegada de carbono do ciclo produtivo, os desafios da infraestrutura de recarga, a eficiência energética e os impactos das políticas públicas e regulações em vigor. Para tanto, serão analisados dados recentes sobre as diferentes metodologias de produção de veículos elétricos e seus efeitos ao longo de toda a cadeia produtiva.

Um dos maiores desafios associados à eletrificação da frota automotiva é a sustentabilidade da cadeia de suprimento das matérias-primas utilizadas na fabricação das baterias. Elementos como lítio, cobalto, níquel e grafite são essenciais para a produção das baterias de íons de lítio, mas sua extração pode resultar em impactos ambientais significativos, como a degradação de ecossistemas, poluição das águas e condições de trabalho precárias. Além disso, a mineração desses recursos tende a concentrar-se em regiões específicas, gerando dependência de países que, muitas vezes, não possuem a infraestrutura necessária para lidar com os impactos ambientais de forma eficiente. Esse fenômeno levanta questões éticas e ambientais sobre a viabilidade do modelo de mobilidade elétrica,

que, por um lado, busca reduzir os impactos da queima de combustíveis fósseis, mas, por outro, pode gerar novos desafios ecológicos e sociais.

Outro aspecto crucial é a pegada de carbono associada ao ciclo de vida dos veículos elétricos, que inclui desde a extração e processamento das matérias-primas até a fabricação, uso e descarte. Embora a operação de um veículo elétrico produza emissões significativamente menores do que a de um veículo a combustão, o processo de produção das baterias, em particular, é altamente intensivo em energia e, conseqüentemente, gera uma pegada de carbono considerável. A eficiência energética da produção e o uso de fontes de energia renováveis durante esse processo são fatores determinantes para a avaliação do impacto ambiental total de um VE. No entanto, a análise de ciclo de vida (ACV) ainda carece de uma abordagem mais refinada, que contemple as especificidades dos sistemas de produção em diferentes partes do mundo.

No que diz respeito à infraestrutura de recarga, um dos principais desafios enfrentados pelos países que estão na vanguarda da eletrificação do transporte é a adequação e expansão da rede de pontos de recarga. Essa rede precisa ser estrategicamente distribuída e integrada com a rede elétrica local, garantindo que o abastecimento de energia seja eficiente e que o processo de recarga seja acessível a uma grande parte da população. Em muitos países, especialmente em regiões mais remotas, a infraestrutura de recarga ainda é insuficiente, o que pode comprometer a adoção em larga escala dos veículos elétricos. Além disso, o aumento da demanda por energia elétrica pode pressionar as redes existentes, especialmente em países onde a produção de eletricidade depende de fontes fósseis, o que pode reduzir as vantagens ambientais dos VEs.

A eficiência energética dos veículos elétricos também merece destaque. Embora, em termos absolutos, um VE seja muito mais eficiente do que um veículo movido a combustível fóssil, o desempenho energético do sistema depende fortemente de fatores como o tipo de bateria utilizada, a densidade energética e a eficiência do motor elétrico. No contexto de geração de energia elétrica, é imprescindível que as matrizes energéticas sejam de fontes renováveis, tal fato que ainda se encontra distante da realidade de grande parte dos países, sejam esses desenvolvidos economicamente ou não.

A busca por baterias de maior capacidade, mais duráveis e com menores impactos ambientais tem impulsionado inovações tecnológicas, como o

desenvolvimento de baterias de estado sólido, que prometem ser mais seguras, leves e com maior eficiência.

Em termos de políticas públicas e regulações, os governos desempenham um papel fundamental na aceleração da transição para uma mobilidade elétrica sustentável. A adoção de incentivos fiscais, subsídios à compra de veículos elétricos, a definição de normas para a emissão de poluentes e a criação de regulamentações para a reciclagem das baterias são algumas das estratégias que têm sido adotadas em diferentes países. Contudo, a falta de uma abordagem global integrada pode levar a desigualdades no desenvolvimento e na adoção dessas tecnologias. A criação de uma rede de colaboração internacional, aliada a uma governança eficaz, é essencial para que os benefícios da eletrificação do transporte possam ser plenamente alcançados.

A abordagem sistemática adotada é essencial para identificar lacunas no conhecimento científico, sintetizar as evidências existentes e promover uma visão crítica das iniciativas em curso. Esta revisão busca contribuir para o reconhecimento dessas lacunas no conhecimento científico e identificar as principais abordagens teórico-práticas, alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Nesse sentido, espera-se que os resultados desta análise sirvam de subsídio para o avanço das pesquisas acadêmicas, capazes de equilibrar inovação tecnológica e responsabilidade ambiental em direção a uma transição energética global e sustentável. O mapeamento das tendências globais de pesquisa, incluindo a identificação de países líderes e o estudo das melhores práticas adotadas por eles, pode fornecer insights valiosos para o desenvolvimento de novas estratégias, não apenas no setor automotivo, mas também em outras áreas da economia e de estudos ambientais onde a eletrificação e a eficiência energética desempenham papéis centrais.

Por tanto, é imprescindível considerar que a eletrificação da frota automotiva é apenas uma parte da solução para os desafios ambientais globais. O futuro da mobilidade sustentável dependerá de um esforço colaborativo entre governos, indústria e sociedade, que busque não apenas reduzir as emissões de carbono, mas também promover a justiça social, a equidade no acesso às tecnologias e a conservação ambiental.

1.1 Objetivos

Objetivo geral:

A motivação principal deste estudo reside na análise dos potenciais impactos ambientais decorrentes desse processo de transição da matriz energética. Assim, o presente estudo propõe-se a conduzir uma revisão bibliográfica sistemática com o intuito de sintetizar a literatura existente sobre as implicações ambientais associadas à eletrificação da frota automotiva.

Objetivos específicos:

- Verificar quais os principais países que pesquisam nesta área de problemáticas ambientais ligadas à eletrificação automotiva.
- Identificar os principais pesquisadores e áreas de pesquisa dedicados a estudar soluções tecnológicas e políticas públicas para mitigar os possíveis impactos ambientais desse processo de transição energética.
- Verificar as principais vertentes nos estudos sobre carros elétricos, baterias e reciclagem.

1.2 Justificativa

A eletrificação da frota de veículos consolidou-se como uma realidade em diversas regiões do globo, sendo amplamente reconhecida como uma medida estratégica para a mitigação das emissões de gases poluentes, especialmente nos centros urbanos. No cenário das cidades contemporâneas, a emissão de poluentes atmosféricos origina-se de várias fontes, destacando-se entre elas os automóveis e as indústrias, contribuindo para o que se denomina Impacto Ambiental Cumulativo. Ao eliminar ou reduzir significativamente uma dessas fontes, como os veículos movidos a combustão, observa-se uma expressiva diminuição nas emissões totais. Dessa forma, a presente Revisão Bibliográfica Sistemática visa categorizar e investigar questões fundamentais sobre os impactos positivos e negativos e a viabilidade da eletrificação automotiva. Identificar as principais vertentes de pesquisa, os países que mais investem nesse campo e as instituições acadêmicas de referência torna-se, assim, essenciais para promover colaborações científicas

estratégicas e orientar o desenvolvimento de uma mobilidade urbana cada vez mais sustentável. Para entender a atenção que a comunidade científica tem dado a esse assunto, essa RBS se propõe a tratar as seguintes questões:

- Quais os países que mais pesquisam nesta área?

Os países ou regiões que mais geram trabalhos voltados para essa área de pesquisa são indicadores de como o mundo enxerga essa mudança na indústria automotiva e com qual intuito essas pesquisas estão inseridas no mundo acadêmico.

- Quais os principais pesquisadores e universidades dedicados a estudar esse tema?

A identificação das principais instituições acadêmicas e pesquisadores dedicados ao estudo da transição dos veículos a combustão para os veículos elétricos é de suma importância para otimizar as oportunidades de colaboração, bem como para acessar recursos e especializações relevantes. Além disso, essa compreensão é fundamental para uma avaliação criteriosa da qualidade da pesquisa disponível e para embasar decisões estratégicas informadas diante do dinamismo característico desse campo de estudo em constante evolução.

- Quais as principais vertentes nos estudos sobre carros elétricos?

Esse último aspecto a ser trabalhado está relacionado a qual ou quais áreas de pesquisa mais produzem trabalhos sobre a eletrificação automotiva, pois, sabendo disso, saberá qual enfoque maior está sendo dado para o tema, desde a área Ambiental, Mecânica, Econômica, Social ou outras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Contexto Histórico do reconhecimento dos Problemas Ambientais

A preocupação em relação às problemáticas ambientais é um tema amplamente debatido por líderes globais desde a década de 1970 com a Conferência de Estocolmo, onde o contexto da época pautava questões como: A intensificação da cooperação científica na década de 1960, a ampliação da conscientização sobre os problemas ambientais e o ritmo acelerado do desenvolvimento econômico. Dessa conferência resultou o reconhecimento dos problemas ambientais, a criação da Declaração de Estocolmo (Declaração das

Nações Unidas sobre o Meio Ambiente). "Assim, nos restou uma escolha drástica: permitir que a disrupção climática mude tudo sobre o nosso mundo, ou mudar praticamente tudo sobre a nossa economia para evitar esse destino. Não há opções gradativas ou incrementais disponíveis agora." (KLEIN, 2014, p. 12).

Em 1992 a "Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento", elaborou o acordo denominado Agenda 21, assinado por 179 países. O documento possui 40 Capítulos dividido por grupos temáticos em 4 seções (Dimensões Sociais e Econômicas; Conservação e Gerenciamento dos Recursos para o Desenvolvimento; Fortalecimento do Papel dos Grupos Principais; Meios de Implementação), servindo como base para ações, objetivos, atividades e implementação de planos e programas direcionados à melhoria de qualidade de vida e desenvolvimento sustentável. "Ao apresentar a mudança climática como uma batalha entre o capitalismo e o planeta, não estou dizendo nada que já não saibamos. A batalha já está em andamento, mas, neste momento, o capitalismo está vencendo de forma clara." (KLEIN, 2014, p. 13)

Passando para o ano de 1997, ano em que o Protocolo de Kyoto é fechado em comum acordo por 84 países, sendo um tratado internacional para a redução da emissão de gases poluentes, tendo uma meta de redução de 5,2% em relação a 1990 e também estimulava a criação de formas de desenvolvimento sustentável.

Já em 2012, na Conferência Rio+20 (Conferência das Nações Unidas Sobre Desenvolvimento Sustentável), foram definidos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, divididos em 5 grandes áreas de abrangência: Pessoas, Planeta, Prosperidade, Paz e Parceria (INSTITUTO AURORA, 2024). Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável(ODS) da ONU, especialmente o ODS 12, que trata do consumo e da produção responsáveis, estão diretamente ligados às problemáticas ambientais associadas à eletrificação automotiva. Embora a transição para veículos elétricos seja considerada uma solução promissora para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a mitigação das mudanças climáticas (ODS 13), ela também impõe desafios ambientais significativos. A produção e o descarte das baterias de veículos elétricos, que envolvem o uso de metais raros e materiais tóxicos, podem gerar impactos negativos caso não sejam adequadamente gerenciados. Nesse contexto, a logística reversa, tema central deste trabalho, se destaca como uma estratégia essencial para assegurar que as baterias usadas

sejam recicladas de forma responsável, evitando a contaminação e promovendo a recuperação de recursos valiosos, conforme as metas do ODS 12. Além disso, a eletrificação automotiva exige uma análise criteriosa dos impactos ambientais decorrentes da mineração dos materiais necessários para a fabricação das baterias, de modo a alinhar a sustentabilidade da indústria automotiva com as diretrizes globais de preservação ambiental e uso eficiente dos recursos naturais.

2.2 Contexto Histórico dos motores à combustão até a era do “downsize”

Em 1886 Karl Benz criou um marco histórico ao patentear o primeiro carro no mundo e alguns anos depois Henry Ford mudou todo o cenário mundial, não só de certa forma popularizando os automóveis, mas definindo todo um modelo de produção industrial em escala global, o Fordismo "O sistema de produção em série de automóveis, desenvolvido por Henry Ford, permitiu que o preço final dos carros a gasolina ficasse entre US\$ 500 e US\$ 1.000, o que correspondia à metade do preço pago pelos elétricos" (BARAN; LEGEY, 2011, p. 212) Porém, para este trabalho o enfoque se dá apenas em uma parte específica dos automóveis, o motor.

O motor de combustão interna que se tem hoje em dia, ainda possui, com as mesmas premissas dos motores do começo do século 20, queima de combustível para gerar força, porém, é que desde a Crise do Petróleo na década de 1970, a necessidade de combustíveis alternativos aos oriundos do Petróleo (Diesel e Gasolina principalmente) levaram à políticas tais como o Próalcool no Brasil, a explorar alternativas para manter uma frota automotiva nacional de forma mais barata. "Estamos “parados em uma encruzilhada energética. Um sinal aponta para um futuro alimentado pela extração de fósseis do solo e pela sua queima. O outro aponta para energias renováveis. Você não pode ir em ambas as direções ao mesmo tempo. Subsidiar a infraestrutura de um cria desincentivos para o outro." (KLEIN, 2014, p. 82).

No âmbito¹ da engenharia dos motores, começaram as reduções de tamanhos tanto dos veículos para reduzir peso, logo reduzir consumo, como também dos motores propriamente ditos, visto que na pré década de 1970 o normal eram motores com capacidades superiores à 302 pol³ (aprox. 5.0 litros de deslocamento)

¹ cv ou hp: Cavalos/Horse Power - Unidade de medida de potência para designar a força ou trabalho de um determinado motor a partir da fórmula 1cv = 75Kgf.m/s ou 735,4987 Watts.

que gerava por volta de 270 cv para chegar aos dias atuais com motores de 62 pol³ (1.0 litros de deslocamento) possuindo em média 100 cv, isso é o “downsize” dos motores, ou seja, uma redução em tamanho, mas uma maior eficiência em relação a materiais, peso e alimentação, que substitui o uso da força bruta mecânica dos motores antigos.

Tradicionalmente, os veículos são movidos por um motor a combustão interna, em geral a gasolina ou a diesel, em que uma mistura ar/combustível sofre compressão. A explosão resultante desse processo gera movimento. Esses motores têm níveis de eficiência que beiram os 40%, havendo grandes perdas em todo o processo, principalmente na forma de energia térmica. Além disso, a queima na câmara de combustão gera diversos gases nocivos, que são expelidos pelo escapamento (VAZ; BARROS; CASTRO, 2015, p. 296).

2.3 Contexto Histórico dos Veículos Elétricos

No final da década de 1820 o engenheiro húngaro Ányos Jedlik criou o primeiro motor elétrico, e na década seguinte o empresário e químico escocês Robert Anderson criou o primeiro protótipo de carro elétrico e depois disso muitos outros modelos foram criados porém sempre tendo a limitação de não existir baterias recarregáveis o que tornava o uso desses veículos pouco eficiente já que necessitavam estarem ligados à uma rede elétrica, até que em 1859, Gaston Planté inventou as baterias recarregáveis eliminando a necessidade dos veículos estarem plugados e dando assim uma maior mobilidade e com isso em 1888, o alemão Andreas Flocken criou o primeiro projeto de uma charrete com motor elétrico e usando uma bateria de chumbo-ácido de 100 Kg.

Já no início do século 20, em um contexto de descobertas de grandes reservas de petróleo e também no contexto da revolução no modelo produtivo já citado de Henry Ford, os motores à combustão dominam o mundo e são fundamentais no uso durante as duas grandes Guerras Mundiais que viriam acontecer. Passado o período da Segunda Guerra Mundial, há uma reintrodução dos veículos elétricos no mercado Francês e Japonês na década de 1940, mas foi somente quase 30 anos depois que a ideia de automóveis movidos à combustíveis alternativos ou elétricos voltou à tona, na década de 1970 com a já dita, Crise do Petróleo e também durante o contexto do Tratado de Estocolmo, onde alternativas para os crescentes problemas ambientais vindos desde a Revolução Industrial,

representaram uma abertura perfeita para que o tema de Veículos Elétricos viesse à tona.

Com um salto histórico de quase 40 anos, a empresa norte americana Tesla, começa a galgar espaço e popularizar ainda mais os veículos elétricos, principalmente dentro da bolha de mercado automotiva mais purista que existe, o mercado dos carros esportivos, em que motores à combustão sempre foram sinônimo de força e potência, e agora se deparam com um concorrente tão forte quanto e sem poluir diretamente a atmosfera com gases oriundos da queima de combustíveis.

Segundo Paulo Antunes em seu trabalho, “Veículos Elétricos, Funcionamento e seus Benefícios”:

Mesmo com a utilização de outras fontes de energia como as usinas termo elétricas concentraram a emissão de gases poluentes na fonte geradora. E, em caso de fontes renováveis, as vantagens são muito grandes. Outros benefícios são a melhor eficiência energética e menor custo com manutenção do veículo [...] (Antunes, 2018, p. 12).

Esse marco realizado pela Tesla foi seguida pela popularização no mercado europeu de pequenos e compactos carros elétricos para os pequenos espaços dos centros urbanos utilizando a lógica de custo vs. benefício dos Veículos Elétricos vs. À Combustão.

Vale ressaltar a importância da redução dos modos de transportes “particulares” (carros e motos), e o aumento de transportes coletivos, principalmente em grandes centros urbanos, mesmo não resultando na redução de gases poluentes na mesma taxa que seria eletrificando toda a frota automotiva, como identificam Lopes et al. (2017):

Certa condição de escolha modal significa maior número de veículos nas ruas. Já baixa proporção de veículos elétricos significa uma frota mais poluente, e tem como causa a “priorização dos modos de transporte privados” e aos níveis de “eficiência dos veículos”, que são característica da oferta do subsistema de transportes [...] (Lopes et al., 2017, p. 7).

2.4 Impactos ambientais da produção de veículos elétricos e ciclo de vida das baterias

O desenvolvimento das diversas tecnologias de baterias está intrinsecamente ligado à eficiência dos veículos elétricos. Atualmente, as baterias de células de íon-lítio são as mais comumente utilizadas nesses veículos devido à sua densidade de energia e confiabilidade. No entanto, a vida útil dessas baterias geralmente é estimada entre 5 a 8 anos ou aproximadamente 160.000 km (100.000 milhas), conforme discutido por Haram et al. (2021, apud Santos et al., 2023, p. 7).

A Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) por outro lado possui estudos avançados na aplicação de Nióbio e Grafeno em baterias, em seu recém inaugurado Laboratório Avançado de Baterias em Singapura (CA2DM), possibilitando essas ter um ciclo de vida estimado de 30 anos, além de rápida capacidade de recarga e aplicações em diversos produtos além dos VEs. Mesmo em fase de desenvolvimento, o primeiro protótipo de ônibus elétrico movido à bateria de íon de Lítio e Nióbio foi lançado no Brasil em 2024 com parcerias da Toshiba e a Volkswagen Caminhões e Ônibus. Esse lançamento além de um feito histórico e tecnológico colocando o cenário técnico-científico brasileiro em posição de destaque para o mundo, também pode trazer uma solução a médio prazo para as questões de durabilidade e eficiência para a frota automotiva elétrica em ascensão.

Para definir e analisar os impactos ambientais de uma cadeia produtiva ou de um produto propriamente dito, foi criada a ferramenta de ACV (Avaliação de Ciclo de Vida), que analisa toda a cadeia produtiva, desde os recursos extraídos para a produção, até os resíduos e materiais resultantes descartados ao final da vida útil (FREITAS; MARCHESINI, 2022).

Considerando o perfil médio de uso no Brasil, onde motoristas percorrem cerca de 13 mil km anualmente e mantêm o mesmo veículo entre 3 a 5 anos, é possível estimar um total de 39 a 65 mil km de utilização na vida útil do veículo para seu primeiro proprietário. Naturalmente, variações podem ocorrer dependendo do poder aquisitivo de cada indivíduo, mas essas médias representam um panorama comum de uso dos veículos elétricos no país.

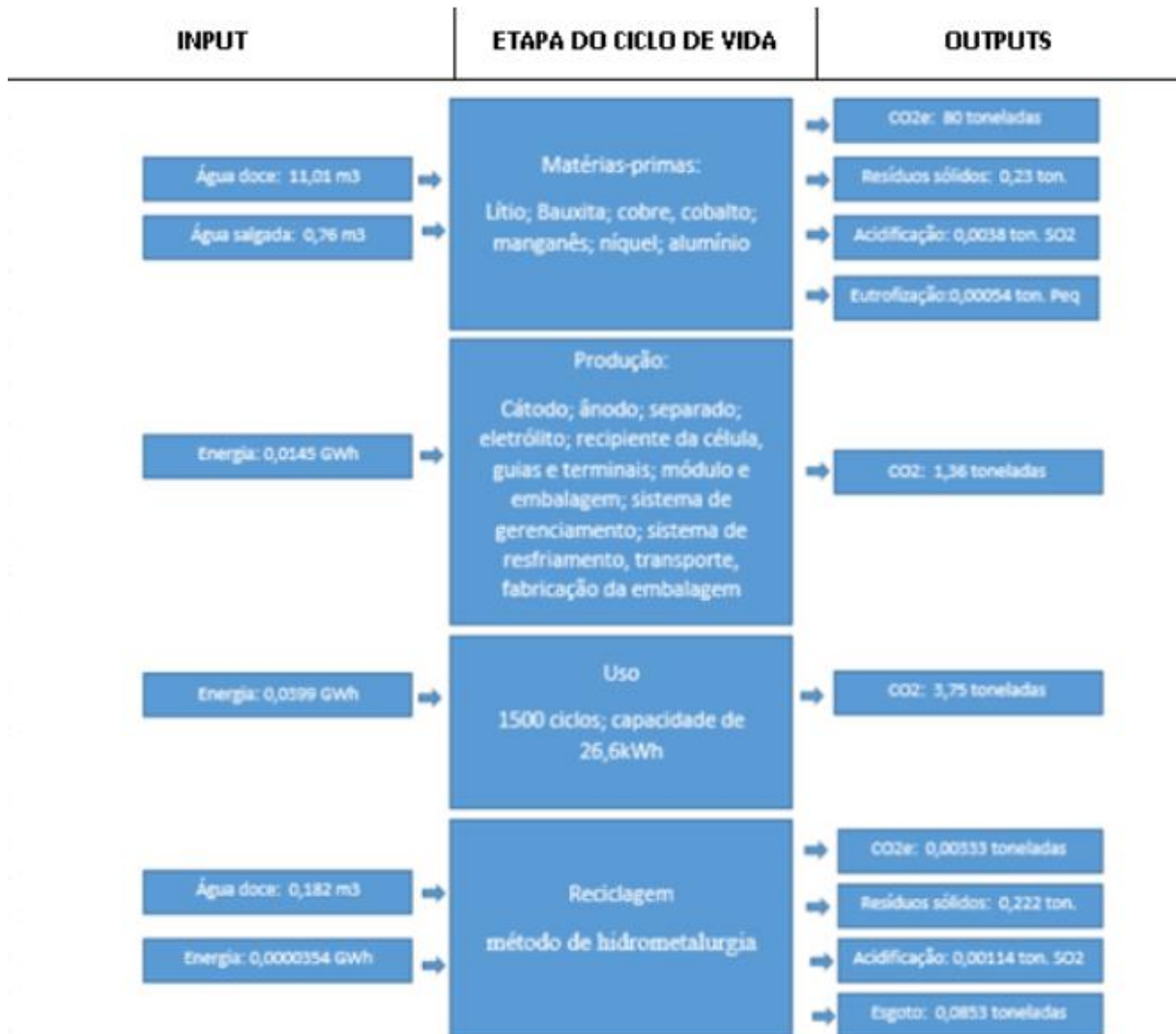
Esse resultado mostra que a partir do segundo proprietário em tese a bateria dos VEs devem ser trocadas e com base somente no ano de 2024 em que mais de 6 milhões de veículos seminovos ou usados foram vendidos segundo a Federação Nacional das Associações dos Revendedores de Veículos Automotores

(Fenauto), pode-se colocar em perspectiva que o consumo de baterias de VEs será um ponto crucial para se analisar em relação a consumo, custo e impacto econômico e principalmente ambiental.

Cada vez mais os veículos elétricos têm sido utilizados por conta dos seus inúmeros benefícios energéticos e ambientais, mostrando que são uma alternativa importante em comparação com os veículos convencionais. No entanto, estas baterias de veículos elétricos só são medidas sustentáveis e suficientes se toda sua cadeia de insumos e cadeia de valor alargada, com os atores filiados que contribuem com a reciclagem das baterias usadas, aplicações de segunda vida ou descarte forem, também, sustentáveis, resultando em um processo total de circularidade. (Santos et al., 2023, p. 9).

Na Figura 1, os quadros à esquerda representam os “inputs” ou seja, o recurso empregado para construir, ao centro é a etapa do ciclo de vida e à direita são os “outputs” ou seja, o que foi emitido de poluentes em cada etapa, na ACV realizada por Freitas e Marchesini, pode-se concluir que o ciclo total de uma bateria (no caso uma de 235 kg), é dividido em quatro fases: a extração de matérias primas, produção, uso e reciclagem. A título de comparação com essa bateria de 235 kg e capacidade de 26,6 kWh, pode-se citar os os mesmos dados com duas baterias de dois veículos de diferentes setores de mercado existente, o Chevrolet Bolt um hatch compacto com uma bateria com capacidade de 66 kWh e 430 kg e o Tesla Model S um sedan de luxo com uma bateria de 100 kWh e 540 kg segundo a ficha técnica de ambos os modelos. Isso aponta que a tendência dos valores de “inputs” e “outputs” em uma Avaliação do Ciclo de Vida serem relativamente maiores até dos que o do estudo, além do fato de ambos serem veículos com um grande número de unidades já rodando ao redor do mundo, e serem apenas dois exemplos dentre as centenas de outras marcas e modelos do mercado.

Figura 1 - Resultados da Avaliação de Ciclo de Vida de uma bateria



Fonte: Adaptado de Freitas e Marchesini (2022).

Outro ponto importante para ser considerado no ciclo de vida das baterias é aplicação da Logística Reversa, que consiste no processo de coleta, transporte, tratamento e reciclagem de produtos ao final da sua vida útil, com o objetivo de reaproveitar, reciclar ou descartar de forma ambientalmente correta. No contexto das baterias de veículos elétricos, a logística reversa é fundamental para garantir o manejo adequado dessas baterias, que contêm substâncias potencialmente prejudiciais ao meio ambiente, como lítio, cobalto e níquel. No Brasil, a crescente adoção de carros elétricos e híbridos torna a gestão desses resíduos cada vez mais relevante. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a responsabilidade sobre o destino das baterias é compartilhada entre

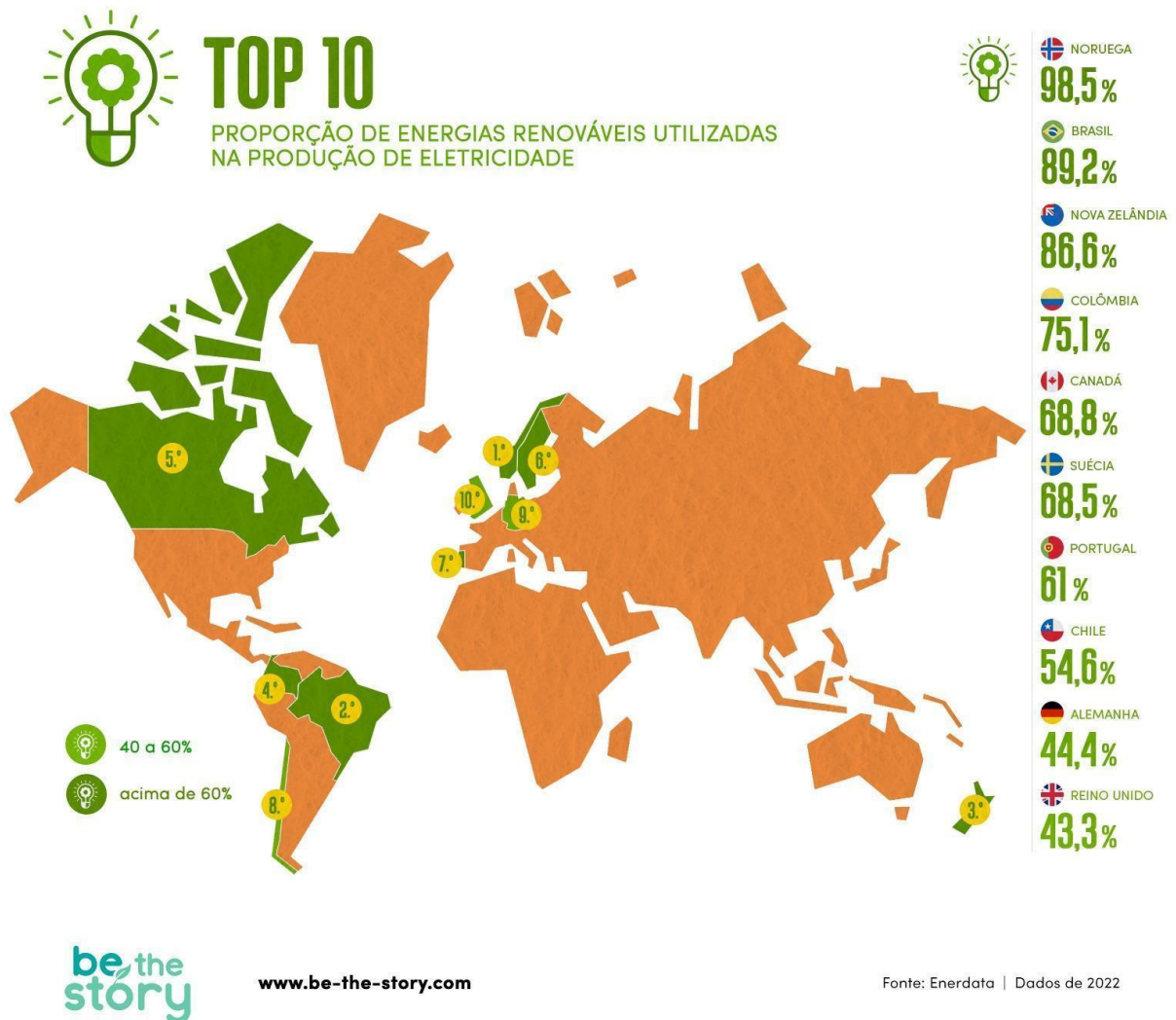
fabricantes, importadores, distribuidores e consumidores, os quais devem implementar soluções para garantir o correto descarte ou reciclagem desses componentes. Apesar dos desafios relacionados à infraestrutura de coleta e ao custo das tecnologias de reciclagem, o país tem avançado na regulamentação e no desenvolvimento de iniciativas sustentáveis.

2.5 Geração e distribuição de energia para carregamento e impacto ambiental

Desde e com a Revolução Industrial na Inglaterra no século XVIII a predominância do Carvão Mineral como combustível principal das Termelétricas, até a descoberta do Petróleo e seus derivados, que foi onde toda a questão de combustíveis mudou de rumo, e os motores a combustão ganharam o cenário como já descrito anteriormente. Mas o fato é que mais de 300 anos depois da Revolução Industrial, as Matrizes Energéticas de muitos países ao redor do mundo, principalmente na região da Europa e Ásia, ainda é baseada em Termelétricas a carvão mineral ou gás natural, o que coloca a abordagem de eletrificação automotiva sob uma crítica análise, afinal dentro do ciclo de vida do produto (o automóvel), pois se toda a cadeia produtiva que abrange o mesmo, desde a sua fabricação, a extração de minérios para as baterias, a produção das mesmas, e a geração de energia que irá carregá-las é oriunda de fontes poluentes, degradantes e não renováveis, que dizer que em partes, o objetivo de alguma forma iniciar uma recuperação ambiental ou no mínimo uma redução de emissão de gases poluentes na atmosfera não está sendo realizado de fato, se pensar que no produto final não emite gases poluentes, porém na fabricação de seus componentes, baterias e na geração da energia para mantê-los continua emitindo os mesmos gases poluentes, com alta tendência de crescimento, por conta da relação de oferta e demanda do produto.

De acordo com as Figuras 2 e 3 a seguir, verifica-se quais países ao redor do mundo utilizam e investem em fontes de Energia Renováveis e na questão do Brasil, quais são as principais matrizes energéticas utilizadas em cada estado.

Figura 2 - Top 10 países que utilizam energias renováveis na produção de eletricidade.



Fonte: ENEDATA, 2022. In: BE THE STORY. Disponível em: <https://www.be-the-story.com/pt/ambiente/os-paises-mais-limpos-quem-lidera-nas-energias-renovaveis/>. Acesso em: 3 nov. 2024.

Como se pode notar, o índice de países que adotam o uso majoritário de fontes renováveis de energia para gerar eletricidade ainda é muito baixo em comparação com os que não usam, e traçando um paralelo dos dois países que mais produzem e dominam a produção de VEs, Estados Unidos e China, pode-se dizer que gera uma falsa sensação de sustentabilidade, e diz mais sobre a disputa capitalista na “corrida” do desenvolvimento tecnológico e dominância de mercado do

que de fato uma real preocupação com as questões ambientais constantemente levantadas em reuniões de líderes globais.

Figura 3 - Principal fonte de energia elétrica de cada estado do Brasil.



Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 - EPE

Por sua vez, países que estão investindo em fontes renováveis de energia, sejam elas eólicas, hidrelétricas, e solar, como Noruega, Venezuela e Brasil, apresentam um potencial de sustentabilidade em relação ao meio ambiente muito mais robusto e até mais eficaz e assim de fato potencializando a adoção de uma frota automotiva elétrica.

Vale também por sua vez, pontuar e até desmistificar o conceito de “Energia Limpa”, pois é uma forma muito superficial e simplista de analisar a cadeia

de produção de energia, visto que toda forma de geração de energia está atrelada à impactos sociais, econômicos e ambientais negativos, seja pela construção do empreendimento, como por exemplo uma hidrelétrica, ocupação de territórios, como exemplo, territórios indígenas no Brasil, ou áreas com alta vulnerabilidade ambiental. No final o que define a escolha de uma matriz energética é a disponibilidade do recurso necessário para geração de energia, e o que a define como mais ou menos sustentável no ponto de vista ambiental é a proporção entre benefícios e os impactos gerados ao longo de todo o ciclo de produção do empreendimento, portanto, além da busca por fontes de energias sustentáveis, as mesmas devem ser utilizadas de forma diversificada garantindo assim a segurança energética do país.

Passando para uma análise em escala nacional, o Brasil, que se encontra em segundo lugar no ranking de países que mais utilizam de fontes renováveis em suas matrizes energéticas, também possui muitos pontos críticos que devem ser destacados, como o caso onde os estados do Amazonas, Roraima e Acre como apresentados no mapa ainda se utilizam de fontes energéticas não renováveis e extremamente poluentes, o que se torna um ponto preocupante, visto que no território desses três estados se encontra o maior patrimônio natural do país, e um dos principais reguladores climáticos globais, a Floresta Amazônica. Esses estados enfrentam dificuldades específicas, como isolamento geográfico, e a falta de infraestrutura adequada para expandir redes de energia renovável, e por mais que a Amazônia abrigue a maior bacia hidrográfica do mundo, a implementação de UHEs ou PCHs nesses rios possuem barreiras de relevo possui poucos trechos de desnível, assim sendo rios de muito volume mas pouca energia, e também o contexto dos impactos socioambientais relativos à implementação de hidrelétricas, como a ocupação de territórios indígenas demarcados, a necessidade de supressão de vegetação tanto pela construção do lago e barragem, quanto para a construção de infraestrutura de moradia para os trabalhadores tanto da obra quanto da usina em funcionamento.

Tais discussões sobre a implementação de Usinas Hidrelétricas em território da Floresta Amazônica já é alvo de discussões desde a expansão populacional para a região Norte durante a ditadura militar nas décadas de 1960 à 1980, tendo como um dos maiores marcos de fracasso ligado à implementação de tais empreendimentos a construção da UHE-Balbina, situada no Rio Uatamã em Presidente Figueiredo/AM, durante a década de 1980. O ponto a ser analisado na

realização desta obra, é fato de que ocorreu nela um dos maiores desastres ambientais do país, por conta da não supressão de vegetação na área do reservatório, e assim, com a decomposição da matéria orgânica submersa, começou-se a produzir altos índices de Metano e outros gases poluentes para gerar aproximadamente 135 MW e em comparação, acaba por emitir mais Gases do efeito estufa do que a maioria das termelétricas a carvão, além do fato de ter sido construída dentro do território do povo Waimiri-Atroari, como descreve Baldisseri no trecho do artigo publicado no Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina – 20 a 26 de março de 2005 – Universidade de São Paulo.

O reservatório da UHE Balbina pode ser comparado, em tamanho, ao de Tucuruí, cuja capacidade nominal é de 8 mil MW, o que significa que Balbina sacrificou 31 vezes mais floresta por MW de capacidade de geração instalada quando comparada àquele. (BALDISSERI, 2005, p. 1435)

Outro aspecto que vale ser citado dos dados da Figura 3, é a Biomassa sendo a principal matriz energética no estado do Mato Grosso do Sul, pois mesmo que seja obtida a energia através da queima de matéria orgânica, a mesma representa uma fonte de energia renovável. A biomassa possui um ciclo de carbono relativamente neutro, uma vez que o CO₂ liberado pela queima tende a ser reabsorvido no processo de crescimento de novas plantas. Também o uso da biomassa como matriz energética possibilita para o aproveitamento de resíduos agroindustriais, como por exemplo o uso da biomassa de Cana de Açúcar em Usinas de Açúcar e Álcool, reduzindo assim o uso e dependência de combustíveis fósseis e promovendo uma economia circular no setor energético.

Por outro lado, vale ressaltar que a sustentabilidade da biomassa depende da gestão responsável dos recursos naturais e do equilíbrio do uso e ocupação da terra, mitigando assim o máximo de impactos negativos, tanto pelo desmatamento, quanto pelo uso extensivo de insumos agrícolas, em específico, agrotóxicos.

Assim, pode-se observar que gerar energia tem um custo para o meio ambiente, e diversificar as matrizes energéticas de acordo com o potencial do território é o caminho mais sensato para a sustentabilidade, acima de apenas modificar o modal de transporte.

2.6 Comparação de emissões e desafios de infraestrutura para veículos elétricos e a combustão interna

Como já demonstrado nos tópicos anteriores, a implementação de uma frota automotiva elétrica adotada em países que possuem matrizes energéticas renováveis apresentam uma vantagem de sustentabilidade mais clara, mas também outro aspecto que é essencial considerar é que para a eletrificação total ou majoritária da frota automotiva de um país, a infraestrutura elétrica deve ser robusta e eficiente para atender a crescente demanda por VEs sem comprometer a estabilidade do sistema. Essa transição impõe um aumento no consumo de energia, o que demanda uma rede capaz de suportar essa carga adicional.

Países como Noruega e Suécia que possuem políticas estabelecidas para a eletrificação automotiva a curto e médio prazo possuem uma infraestrutura para energias renováveis como hidrelétricas e eólicas e uma rede elétrica mais robusta e um fator populacional utilizando essa demanda significativamente menor do que países superpopulosos e/ou em desenvolvimento, onde a infraestrutura por muitas vezes não suporta nem o uso convencional da população, além de casos como apresentado anteriormente, no Brasil, onde há ainda um déficit de distribuição energética em estados principalmente na região Norte, além de contar com uma das maiores metrópoles do mundo, São Paulo com mais de 20 milhões de habitantes contando com sua região metropolitana segundo dados da Prefeitura Municipal, e uma rede elétrica que apresenta constantemente instabilidades, quedas de energia e má distribuição no município.

Além da distribuição e robustez da rede elétrica, mais um fator deve ser analisado, os pontos de recarga. Veículos a combustão tendem a possuir uma autonomia de rodagem significativamente maior do que os atuais elétricos. Citando um dos modelos mais vendidos no Brasil, o Chevrolet Onix possui autônominas declaradas pelo fabricante utilizando Etanol que se trata de um combustível de origem renovável, de 9,3 km/l rodando na cidade e 11,4 km/l na estrada o que por tanque, cuja a capacidade desse modelo é de 44 Litros

resulta em autônominas de 409,2 e 501,6 Km respectivamente, e esses números sobem significativamente quando mesmo modelo é abastecido com Gasolina, podendo chegar a rodar mais de 700 Km, comprando o Hatch a combustão com um de seus principais concorrentes de mercado no Brasil, o já citado, BYD Dolphin EV, o modelo possui declarado pela montadora uma

autonomia por recarga de 291 Km e esse comparativo vai além considerando o fator de tempo de recarga versus tempo de abastecimento, onde para se abastecer completamente um tanque de 44 Litros se leva em média de 2 a 5 minutos, para carregar completamente as baterias do hatch elétrico leva em média 7 horas, segundo dados da revista automotiva Quatro Rodas. A partir deste comparativo e também considerando o valor de recarga das baterias versus o abastecimento de combustíveis convencionais, que são significativamente mais caros, tendo como base de valores o segundo semestre de 2024 onde o Etanol está R\$ 4,04 o litro e a Gasolina R\$ 6,07 o litro, variando de acordo com a região e posto, tendo assim um valor por tanque de R\$177,76 e R\$267,08 respectivamente, enquanto o custo por recarga de bateria no mesmo período está em torno de R\$25 possibilita chegar no resultado de que o veículo a combustão possui uma autonomia maior porém de custo mais alto e tempo de abastecimento mais rápido, contudo em sua cadeia produtiva e em todo o ciclo de vida do automóvel há constante emissão de gases poluentes além de todos os impactos ambientais ligados à extração do Petróleo ou ligadas ao cultivo extensivo da Cana de Açúcar na produção do Etanol, enquanto o veículo elétrico possui uma autonomia menor, porém de custo sendo quase 10% do total do veículo a combustão porém com tempo de carregamento significativamente maior, e os impactos ambientais ligados à sua cadeia produtiva estão baseados na mineração para extração de Lítio para fabricação das baterias, no descarte ou reciclagem das baterias e nos casos de países que não fazem uso de matrizes energéticas renováveis na produção de energia.

3 METODOLOGIA

Este trabalho usará do modelo de Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), organizado através do software PARSIFAL e com a base de dados da Scopus para organizar, categorizar e analisar dados dos estudos selecionados.

O primeiro passo foi definir um objetivo de busca, no caso, descrito por “Determinar os principais impactos da eletrificação da frota automotiva global”, esse é um objetivo genérico e mais abrangente, para ser refinado ao decorrer da pesquisa.

O segundo passo foi a estruturação da metodologia PICOC, um acrônimo em inglês onde cada letra corresponde à um elemento essencial que ajuda a

estruturar a questão de pesquisa - Population (População), Intervention (Intervenção), Comparison (Comparação), Outcome (Resultado), Context (Contexto) - assim, para esta revisão o PICOC foi definido da seguinte forma:

- População: Artigos publicados em jornais acadêmicos ou apresentados em conferências.
- Intervenção: Análise e identificação dos danos ambientais que podem ser causados pela eletrificação da frota automóvel, considerando fatores como a produção de baterias e o impacto da procura de energia.
- Comparação: Comparação entre os danos ambientais associados à eletrificação da frota automóvel e os danos ambientais associados aos veículos com motores de combustão interna.
- Resultado: Identificar e quantificar danos ambientais específicos relacionados com a eletrificação da frota e avaliar se esses danos superam os benefícios ambientais previstos.
- Contexto: O estudo será realizado com uma perspectiva global, considerando a infraestrutura de carregamento em diferentes países, as regulamentações ambientais internacionais e a matriz energética global.

O terceiro passo são as Perguntas de Pesquisa, ou seja, o que a revisão está questionando e buscando responder, e para o trabalho, as questões pesquisa foram inseridas.

O quarto passo foi definir palavras-chave, estas foram escolhidas de forma a conseguir além de abranger muitos campos de estudos e cada uma indexada a um elemento do PICOC. Também conseguir unir as duas principais áreas de pesquisas em que este trabalho está pautado, o contexto técnico da engenharia e produção dos VEs e as áreas de estudos ambientais, mais especificamente no caso, a Geografia, tendo essas palavras-chave definidas então

foi criada uma “string” de buscas utilizadas para filtrar trabalhos na base de dados escolhida, e também foram utilizadas como um dos critérios principais na segunda filtragem de dados como critério de aceitação ou rejeição, no caso de o trabalho não possuir nenhuma das palavras-chave definidas. Sendo assim, foram definidas as seguintes palavras chave para a busca:

- Eletrificação Automotiva (Automotive Electrification)
- Pegada de Carbono (Carbon Footprint)
- Infraestrutura de Carregamento (Charging Infrastructure)
- Baterias de Veículos Elétricos (Electric Vehicle Batteries)
- Eficiência Energética (Energy Efficiency)
- Produção de Energia (Energy Production)
- Impacto Ambiental (Environmental Impact)
- Regulamentações Ambientais (Environmental Regulations)
- Emissões de Gases (Gas Emissions)
- Recursos Naturais (Natural Resources)
- Poluição (Pollution)
- Energia Renovável (Renewable Energy)
- Mineração de Recursos (Resource Mining)
- Cadeia de Suprimentos (Supply Chain)

- Sustentabilidade (Sustainability)
- Descarte de Resíduos (Waste Disposal)

O quinto passo é a definição dos critérios de seleção, esses critérios irão direcionar a pesquisa incluindo ou excluindo trabalhos da busca, dessa forma se consegue obter resultados mais refinados para que na sequência a seleção dos estudos seja feita de forma mais eficaz. Os critérios são divididos no software entre Critérios de Inclusão e Exclusão, e ficaram formulados da seguinte forma:

Critérios de Inclusão:

- Artigos acadêmicos revisados por pares, relatórios técnicos, estudos de caso, e documentos de políticas públicas.
- Dados empíricos, teóricos e analíticos sobre impactos ambientais, eficiência dos veículos elétricos, e comparação com veículos de combustão.
- Estudos com metodologias claras e rigorosas, incluindo análises quantitativas e qualitativas robustas.
- Estudos em inglês e português.
- Estudos que abordam tanto contextos globais quanto locais, considerando a variabilidade dos impactos ambientais em diferentes regiões.
- Fontes secundárias relevantes, como revisões de literatura e metanálises.
- Publicações recentes (por exemplo, dos últimos 10 anos) para garantir que as informações estejam atualizadas com as mais recentes tecnologias e práticas.

- Fontes secundárias relevantes, como revisões de literatura e metanálises.
- Publicações recentes (por exemplo, dos últimos 10 anos) para garantir que as informações estejam atualizadas com as mais recentes tecnologias e práticas.
- Relevância Temática.

Crterios de Exclusão:

- Estudos que não abordam diretamente os impactos ambientais da eletrificao da frota automotiva, como pesquisas focadas apenas em aspectos financeiros ou comerciais sem considerao ambiental.
- Fontes no acadêmicas ou no revisadas por pares, como blogs, opinioes e artigos de imprensa no especializados.
- Publicaoes muito antigas (por exemplo, mais de 10 anos) que podem no refletir os avanos recentes na tecnologia de veiculos elétricos e políticas ambientais.

Por fim, após a todos os passos estarem completos, o software produz uma string de busca, (uma string de busca é uma seqüência de palavras ou termos específicos usada em ferramentas de pesquisa como mecanismos de busca, bancos de dados ou sistemas de recuperao de informaoes) para encontrar resultados relevantes em um vasto conjunto de informaoes. Em uma revisao bibliográfica sistemática, uma boa string de busca geralmente é construída com base em uma estrutura como PICOC, ajudando a refinar os resultados e garantir que sejam abrangentes e focados na questo de pesquisa.

Para maior precisao, as strings de busca geralmente usam operadores booleanos (AND, OR, NOT) para combinar diferentes palavras-chave, ajudando a incluir sinônimos e excluir informaoes no desejadas., entretanto, o software PARSIFAL, gera apenas uma string genérica, e para cada base de dados específica, a string

Figura 4 - Modelo de string de busca editado para pesquisar na base de dados da Scopus.

```
TITLE-ABS-KEY(("Environmental Impact") AND ("Automotive Electrification" OR "Electric Vehicles" OR "Hybrid Vehicles" OR "Carbon Footprint" OR "Electric Vehicle Batteries" OR "Energy Efficiency" OR "Energy Production" OR "Environmental Regulations" OR "Gas Emissions" OR "Natural Resources" OR "Pollution" OR "Renewable Energy" OR "Resource Mining" OR "Supply Chain" OR "Sustainability" OR "Waste Disposal") AND ("Charging Infrastructure"))
```

Fonte: Dados da pesquisa, 2024

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados gerais da string de buscas na base de dados - SCOPUS

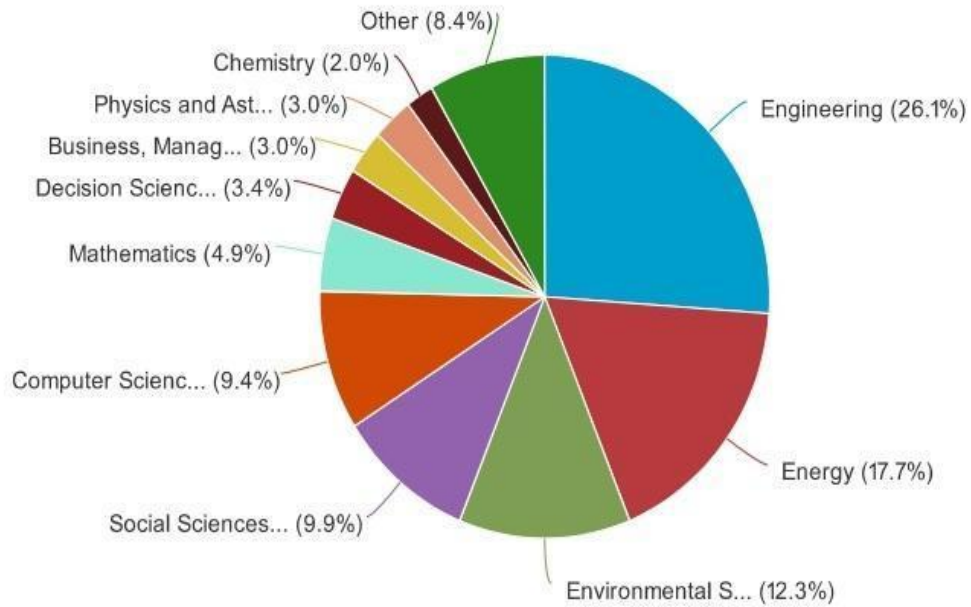
O resultado da busca encontrou um total de 87 trabalhos que possuem em seus Título, Resumo e/ou Palavras-chave, e dentro do site da base de dados já foi possível encontrar dividido por gráficos que serão apresentados a seguir, os dados de autores e a quantidade de trabalhos sobre esse tema que publicaram, quantidade de trabalhos publicados em cada ano, as Universidades a que cada autor está vinculado para publicação a quantidade de trabalhos publicados por cada país e a área de pesquisa de cada trabalho.

O Gráfico 1 apresenta uma predominância esperada da Engenharia como área de pesquisa, o que é esperado por se tratar de um tema de uma tecnologia em ascensão e o papel da Engenharia nesse processo é a busca por aprimoramento, e eficiência das novas tecnologias, ao mesmo tempo, nota-se que, por mais que ela se destaque, o tema é bem distribuído entre outras áreas de pesquisa., o que significa que o tema é um tópico multidisciplinar, e que vai além de um caráter técnico, mas também Econômico e Ambiental. Citando o caráter ambiental que é o tema deste trabalho, o mesmo se encontra na terceira posição na quantidade de trabalhos publicados em relação a área de pesquisa o que é um resultado satisfatório em relação aos procedimentos metodológicos aplicados foram eficazes em achar trabalhos que trazem o paralelo entre o desenvolvimento técnico e seus possíveis impactos ao meio ambiente.

O Gráfico 2 apresenta um cenário sobre autores que mais contribuíram com trabalhos e publicações sobre o tema da eletrificação automotiva em amplo aspecto.

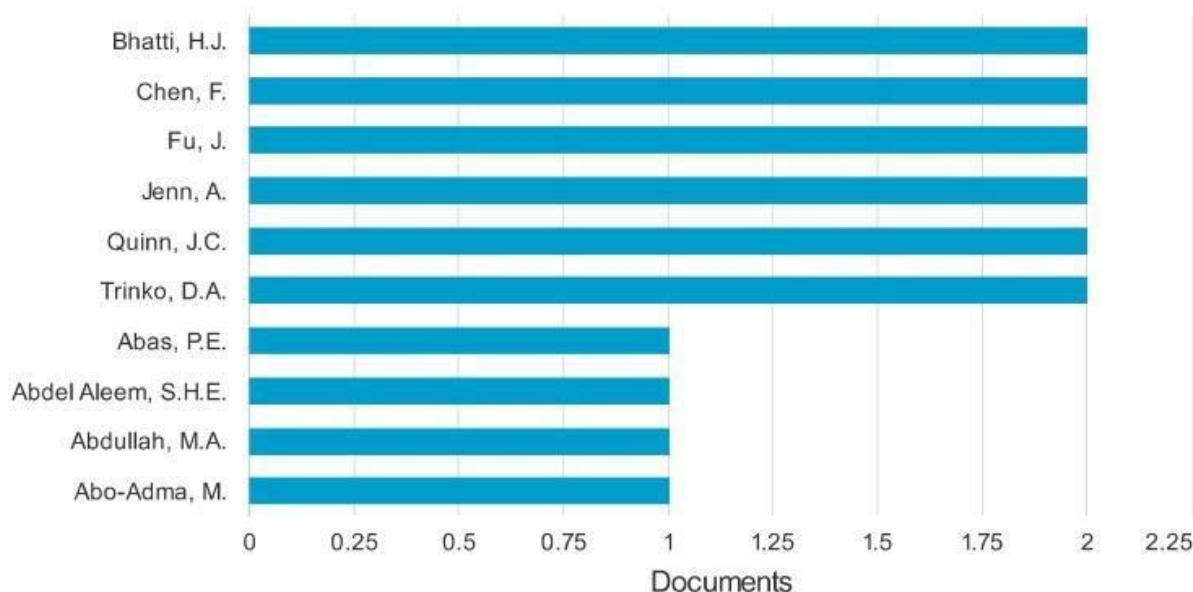
Gráfico 1 - Número de Trabalhos por área de pesquisa

Documents by subject area



Fonte: Dados da pesquisa, 2024

Gráfico 2 - Quantidade de trabalhos publicados por autor.



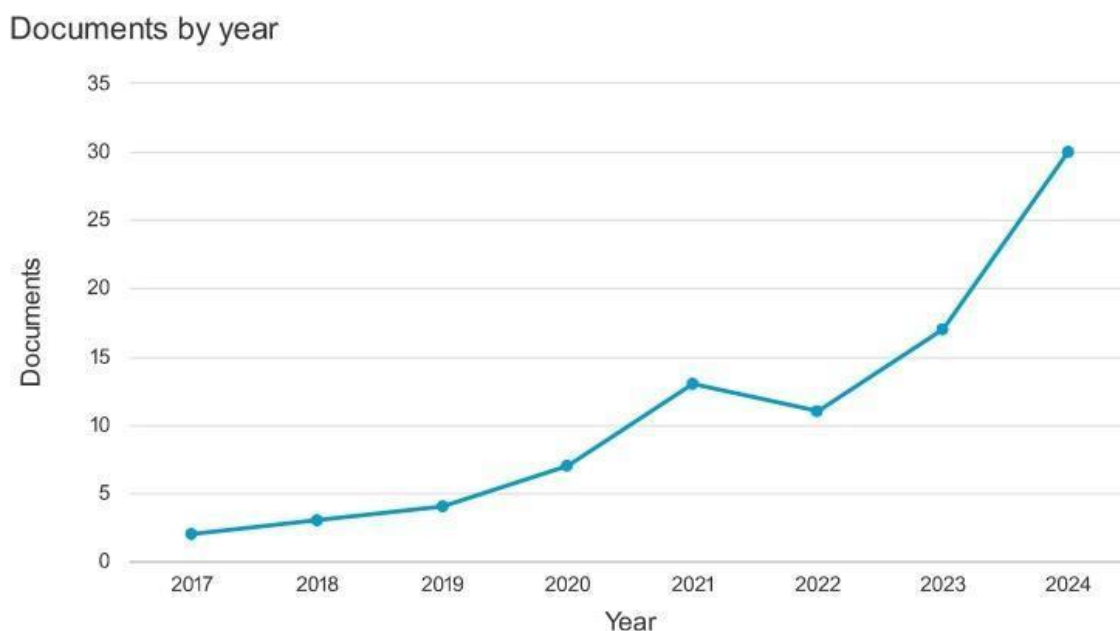
Fonte: Dados da pesquisa, 2024

Analisando os dados, observa-se que nenhum autor ultrapassou a marca de mais de dois trabalhos publicados, o que torna evidente o caráter emergente e de amplo espectro de abordagens do tema. Um fato que demonstra que a eletrificação da frota automotiva, mesmo em um recorte temporal utilizado de sete anos, ainda se encontra em fase inicial de desenvolvimento, onde não se tem um núcleo consolidado de pesquisadores.

Também, a natureza multidisciplinar do tema, já indicado no Gráfico 1, fortalece essa análise. Por mais que a Engenharia esteja a frente no envolvimento nas pesquisas sobre o tema, há contribuições relevantes oriundas de outras áreas, como Economia, Ciências Ambientais, Química e outras, esse aspecto, reflete a complexidade da construção de conhecimento sobre uma nova área de pesquisa, e uma complexidade particular na própria questão da eletrificação automotiva, que ultrapassam a barreira da metodologia técnica e tecnológica e adentra em questões ambientais, econômicas e sociais, exigindo assim, uma demanda por soluções que aborda essa temática não só com resultados tecnológicos, mas também com resultados de sustentabilidade, políticas públicas e em relação aos impactos econômicos, sociais e ambientais.

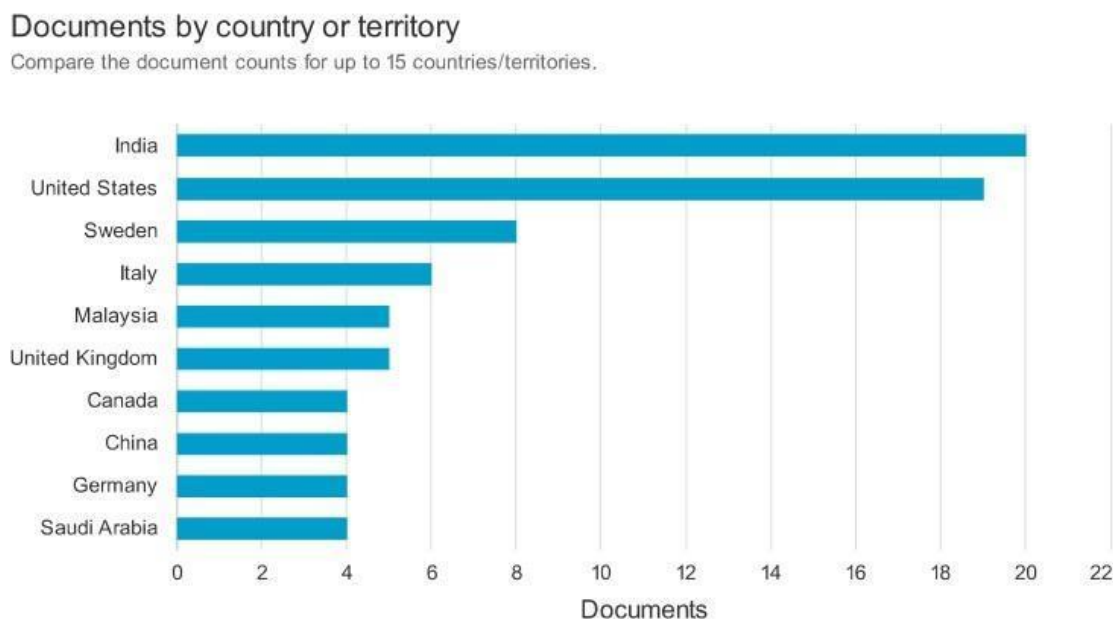
Os Gráficos 3 e 4 sintetizam uma visão complementar sobre a evolução das pesquisas no período entre 2017 e 2024 e sua distribuição por países que publicaram essas pesquisas. O Gráfico 3 evidencia uma tendência de crescimento de documentos publicados por ano, tendo um aumento maior a partir de 2020, isso sugere que o tema ganhou mais relevância nos últimos anos 4 anos, possivelmente ligado ao fato de países como a Noruega, Suécia e Dinamarca terem incentivos federais para eletrificação da sua frota automotiva, Estados Unidos e China por se destacarem no desenvolvimento e produção em massa de modelos elétricos, sendo o segundo, o atual maior mercado de automóveis elétricos e híbridos do mundo, com destaque a marcas como BYD (Build Your Dreams) que vêm galgando espaço significativo em vendas ao redor do mundo, com destaque no mercado brasileiro, onde já alcançou o topo da lista de modelo mais vendido com o compacto Dolphin e outros modelos de vários segmentos que somaram mais de 21 mil unidades emplacadas no país somente no ano de 2024, segundo a CNN Brasil. Esse crescimento exponencial de vendas em mercados emergentes como o Brasil e Índia, também sugere o porquê de o segundo possuir mais pesquisas publicadas.

Gráfico 3 - Quantidade de trabalhos produzidos por ano (2017 a 2024).



Fonte: Dados da pesquisa, 2024

Gráfico 4 - Quantidade de trabalhos produzidos por país.



Fonte: Dados da pesquisa, 2024

Outro ponto de análise dos gráficos, revela que embora o tema seja recente, vem ganhando força com rapidez, visto que nos primeiros anos do período analisado os dados ainda eram baixos, justo quando a ideia de eletrificação da frota automotiva e as questões de transições energéticas ainda estavam em estágio inicial de discussão e desenvolvimento. Contudo, o aumento constante das publicações reflete um amadurecimento do tema e a diversificação de abordagens, sugerindo que o tema está deixando de ser um tópico restrito à um nicho e está se consolidando como uma área relevante de pesquisas que tende no futuro ser uma área multidisciplinar muito referenciada.

Complementando a análise, o segundo gráfico aponta países diversos, o que também sugere uma representatividade e descentralização de pesquisa que normalmente tende a se localizar principalmente na Europa e América do Norte, trazendo uma grande expressividade da Ásia, que nos últimos anos vem se despontando e sendo um contraponto a então hegemonia Europeia/Norte Americana tanto em mercado, mas como visto, também em pesquisas científicas.

4.2 Políticas públicas, regulações e perspectivas futuras da eletrificação

O papel das políticas públicas e regulamentações é essencial para viabilizar a transição para uma frota automotiva elétrica e alcançar metas de sustentabilidade. Diversos países têm implementado uma série de incentivos econômicos para compra de VEs, políticas de eletrificação de transportes públicos, redução de impostos, assim, não só almejando a redução da pegada de carbono, mas também como forma de incentivar o desenvolvimento tecnológico sustentável.

Na análise dos dados obtidos através da RBS, os 36 trabalhos selecionados estão divididos em 13 países que os publicaram, segundo o Gráfico 5.

Gráfico 5 - Número de artigos selecionados na RBS e os países que publicaram



Fonte: Dados da pesquisa, 2024

Nota-se que os Estados Unidos lideram nessa lista dos trabalhos que se encaixam dentro desse tema, seguido da Índia e Malásia. Tendo isso em vista, a partir da base de dados da IEA (International Energy Agency), foram selecionadas as políticas públicas mais recentes de cada um dos três países que têm mais trabalhos selecionados na RBS e também foi feito um recorte das políticas públicas brasileira em relação à eletrificação da frota automotiva.

Para o cenário estadunidense em 2024 cinco novas legislações foram promulgadas:

- US\$131 milhões em financiamento para aprimorar a cadeia de suprimentos de baterias e a inovação de veículos elétricos.
- US\$46 milhões em financiamento para a melhoria da rede de carregamento de veículos elétricos.
- Revisão dos padrões existentes para reduzir as emissões de GEE de veículos pesados do ano modelo 2027 até 2032, reduções de 25% (cabine leito) a 60% (veículos vocacionais leves-pesados) em todos os segmentos (padrão de emissão de CO2 da Fase 3).
- Padrões revisados de economia de combustível para os anos modelo de 2027 em diante, com reduções projetadas nas emissões de CO2 de 50% para LDVs e 40% para MDVs em 2032, em comparação a 2027.
- A Estratégia Nacional do Corredor de Carga com Emissão Zero é uma abordagem em fases que começa com o estabelecimento de centros ferroviários, de carga e aeroportos, expandindo a rede e visando a cobertura completa entre 2035 e 2040.

Para o cenário Indiano as políticas mais recentes são do ano de 2023 contando com uma nova Legislação e duas Políticas Alvo:

- Legislação - Financiamento para infraestrutura de carregamento.
- Políticas Alvo - 750 estações de carregamento serão incentivadas pela política estadual de veículos elétricos e 30% do estoque de ônibus será elétrico até 2030.

Na Malásia tem-se como mais recente apenas uma nova Legislação promulgada em 2023 que define:

- Isenção de impostos para empresas que investem na fabricação de EVSE, bem como isenções de impostos de importação e vendas para EVs montados localmente até o final de 2027 e EVs importados até o final de 2025.

Por fim, traçando um recorte para o cenário brasileiro, ainda está atrás dos países anteriores, tendo apenas como mais recente, três Projetos de Lei no ano de 2023 que sugerem:

- O Programa Nacional de Mobilidade Verde e Inovação (“MOVER”), Medida Provisória 1.205/2023, estabelece novas diretrizes para o setor automotivo local, incluindo requisitos de sustentabilidade da frota e incentivos para a produção de novas tecnologias.
- A Resolução n.º 532/2023 do Comitê Executivo da Câmara de Comércio Exterior estabelece o retorno gradual do imposto de importação de veículos elétricos, híbridos e híbridos plug-in.
- O Projeto de Lei do Senado nº 392/2023 obriga os postos de abastecimento a terem carregadores de veículos elétricos.

Todos os dados apresentados condizem com o cenário apresentado nos resultados da RBS, tendo os Estados Unidos como líder na produção e com mais políticas instauradas e em vigência como aporte para a eletrificação da frota automotiva, a Índia por mais que tenha apenas uma única Legislação promulgada recentemente, possui Políticas Alvo que são o aporte para fomentar novos estudos sobre o tema em questão, passando para a Malásia, por mais que recentemente só tenha promulgado uma única Legislação com relação a VEs, possui Políticas Alvo sobre o tema desde 2017, que apenas não foram citadas por não serem as mais recentes, porém dão sentido à quantidade de estudos sobre o tema.

Por fim, dentro do cenário brasileiro nota-se uma certa deficiência ou atraso em relação à temática, visto que possui apenas Projetos de Lei, porém sem políticas concretas dentro da temática além do fato de discussão do assunto no âmbito político ser recente dentro dos registros da base de dados da IEA.

4.3 Desafios da eletrificação e recomendações para soluções sustentáveis

A partir de tudo o que foi apresentado, é evidente que a eletrificação automotiva apresenta um pilar estratégico para a redução de emissão de gases e resíduos poluentes no setor de transportes. No entanto, a efetivação dessa mudança requer que os desafios tecnológicos, ambientais e de infraestrutura sejam abordados de forma integrada.

O desenvolvimento de baterias mais eficientes e duráveis é crucial para que os VEs possam oferecer autonomias compatíveis com as demandas do mercado. Além disso, é necessário que os processos de fabricação e reciclagem das mesmas evoluam, de forma a minimizar os impactos ambientais e evitar a criação de um passivo de resíduos. Tecnologias de reciclagem avançada e o reaproveitamento de materiais críticos, como lítio, são fundamentais para que a eletrificação caminhe cada vez mais para um rumo realmente sustentável.

Outro ponto essencial é a adaptação das redes de distribuição de energia para suportar a demanda crescente de eletricidade gerada pelo aumento da frota elétrica. As políticas públicas devem focar na expansão e modernização das infraestruturas das redes elétricas, especialmente em regiões de concentração urbana, além disso, para que a transição todo o conjunto de fatores que envolve a eletrificação automotiva seja eficiente, é necessário destacar que as Matrizes Energéticas sejam cada vez mais de fontes renováveis, respeitando as especificidades de cada lugar e território, utilizando dos recursos, como caso das hidrelétricas de forma consciente para que a no final, os danos e impactos sempre sejam os menores possíveis.

No contexto dos grandes centros urbanos, a eletrificação deve ser complementada por políticas de incentivo ao uso de transportes coletivos e modais alternativos, como metrô, ônibus elétricos e até mesmo bicicletas. O investimento em transporte público sustentável além de reduzir a dependência de veículos particulares, garante também acessibilidade para com a população baixa renda que não possui recursos para ter um veículo e dessa forma, os governos federais, estaduais e municipais não só cumprirão para com seu papel de garantir um ambiente sustentável para a população, mas também acessível a essa população.

Por fim, a eletrificação automotiva é apenas uma das engrenagens de uma transição mais ampla para uma economia sustentável. Soluções sustentáveis exigem ações coordenadas e de esforço em múltiplas esferas, e a efetividade

dessas ações alinhadas ao compromisso do governo, das empresas e da sociedade que definirá o sucesso desta revolução em ascensão no setor de transportes ao redor do mundo.

Finalizando a sequência de seleção e categorização dos estudos encontrados na base de dados, foram então categorizados os artigos selecionados em 6 classes de temas a partir de seus respectivos resumos. Essa categorização não serve para generalizar todos os assuntos abordados por cada autor, mas sim para classificar os trabalhos diante de uma ideia principal. Esse processo foi feito para garantir que os temas principais e objetivos de cada pesquisa fossem mantidos com precisão. Assim, as classes utilizadas foram as seguintes:

- Impactos Ambientais e Infraestrutura para VEs;

Nesta classe foram inseridos trabalhos que abordam efeitos ambientais da eletrificação automotiva e/ou trabalhos que examinam a infraestrutura necessária para apoiar essa transição, como instalação de estações de carregamento, robustez da rede elétrica e uso de fontes renováveis. Essa categoria engloba desde incentivos financeiros, até políticas de sustentabilidade que buscam estimular a adoção de VEs em diferentes contextos.

- Infraestrutura de Recarga e Tecnologias de Carregamento;

Nesta classe estão os trabalhos que abordam estudos que investigam os avanços e os desafios relacionados à implementação de uma infraestrutura eficiente para recarga de veículos elétricos (VEs). Os trabalhos abordam aspectos técnicos e logísticos, como a instalação de estações de recarga públicas e privadas, a evolução de tecnologias de carregamento rápido e sem fio, e a integração com redes inteligentes de energia.

- Políticas e incentivos para adoção de VEs;

Nesta classe estão os trabalhos que de alguma forma exploram o papel das políticas públicas e dos incentivos econômicos na promoção da eletrificação automotiva. Esses estudos consideram inovações em serviços de compartilhamento de veículos e uma mobilidade urbana mais eficiente e acessível.

- Veículos Automatizados e Modelo de Negócios para Transporte Urbano;

Esta classe inclui trabalhos que investigam o impacto dos veículos automatizados na mobilidade urbana e os novos modelos de negócio que podem surgir com essa tecnologia. Esses estudos também exploram a redistribuição de benefícios econômicos em função da eletrificação, especialmente em países em desenvolvimento.

- Impacto Socioeconômico da Mobilidade Elétrica;

Nesta classe, encontram-se estudos que examinam os efeitos da eletrificação automotiva no contexto social e econômico. Inclui análises sobre a criação de empregos, a transformação da indústria automotiva, os impactos nas comunidades locais e as mudanças no mercado de trabalho.

- Estudos de Caso Regionais.

Esta classe reúne os trabalhos que analisam estudos de caso de regiões específicas em relação à eletrificação automotiva.

Com os critérios das classes definidas, os textos foram numerados de acordo com a tabela no software PARSIFAL, e classificados. Após a classificação de temas, foram cruzados os dados com os dados de países que produziram esses trabalhos para se ter como resultado a temática principal trabalhada por cada um dos 13 países que possuem artigos selecionados. Esse cruzamento de dados permitiu uma análise mais completa de acordo com os objetivos iniciais dessa RBS, identificando as tendências globais por amostragem. O resultado dessa classificação e cruzamento de dados encontram-se expressos na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Número de trabalhos publicado por país em cada categoria de classificação.

País	Impacto Ambiental e Infraestrutura para Veículos Elétricos (VE) (Nº de Trabalhos)	Políticas e Incentivos para Adoção de VEs (Nº de Trabalhos)	Infraestrutura de Recarga e Tecnologias de Carregamento (Nº de Trabalhos)	Veículos Automatizados e Modelos de Negócios para Transporte Urbano (Nº de Trabalhos)	Impacto Socioeconômico da Mobilidade Elétrica (Nº de Trabalhos)	Estudos de Caso Regionais (Nº de Trabalhos)
Estados Unidos	3	1	2	2	2	0
Índia	0	2	1	1	1	2
Malásia	1	1	1	0	0	0
China	1	0	1	1	0	0
Suécia	0	1	1	0	1	0
Coréia do Sul	0	1	1	0	0	0
Inglaterra	1	0	0	0	1	0
Austrália	1	0	0	0	0	0
País de Gales	1	0	0	0	0	0
Canadá	0	1	0	0	0	0
Noruega	0	0	0	0	0	1
Itália	1	0	0	0	0	0
Espanha	0	0	1	0	0	0
TOTAL	9	7	8	4	5	3

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.

Como demonstrado, os temas de Impactos Ambientais, Políticas e Incentivos e Infraestrutura de Recarga dos VEs correspondem a 66,66% do total dos trabalhos selecionados, o que indica uma forte ênfase na análise dos efeitos ambientais e regulatórios da eletrificação automotiva, além de estudos com enfoque nos desafios associados à criação de uma infraestrutura de carregamento adequada, indicando que a preocupação em relação à sustentabilidade dentro do setor de transportes se encontra em análise mais ramificada e estruturada entre as

nações, o que é um dado positivo e essa tendência pode ser interpretada como um reflexo dos crescentes debates em conferências internacionais.

Outro aspecto a ser interpretado em relação aos dados obtidos é que além do fato dos Estados Unidos liderar o número de trabalhos publicados nesta seleção de dados, também mostra que o mesmo, assim como a Índia possui estudos em diferentes frentes de pesquisa, o que mostra que esses países estão abordando a temática por diferentes frentes de pesquisa, tal fato é fundamental para se obter resultados mais consistentes e precisos.

Em contrapartida, um dos principais países à frente da postura de eletrificação automotiva, a Noruega, dentro da base de dados apresentou apenas um trabalho publicado, sendo esse com abordagem e espectro regional, além disso, nos dados da IEA de políticas acerca da eletrificação automotiva o registro mais recente do país é uma Legislação promulgada em 2023 introduzindo imposto sobre valor agregado em compras de VEs de alto custo a partir de do mesmo ano, por mais que a taxaço de imposto é uma fonte importante para arrecadação do governo e manutenção dos respectivos setores, tal legislação e a falta de trabalhos publicados em relação ao tema pode ser compreendido como uma falha por parte do país.

Além dos resultados numéricos relacionados à seleção bibliográfica desta revisão, foi feita uma nuvem de palavras utilizando todas as palavras-chave de cada um dos trabalhos selecionados, apresentada na Figura 5 a seguir.

Impactos Ambientais e Infraestrutura para VEs, já que em relação à adoção e produção desses veículos, é um dos países líderes. Já em relação à Índia, nota-se um enfoque nos estudos em relação aos Impactos Socioeconômicos e Mobilidade Elétrica e Modelos de Negócios para Transporte Urbano, o que se alinha às políticas alvo do país e a relação de transporte com a superpopulação do local. Em relação aos pesquisadores, como já dito, não houve destaques, e as publicações sobre o tema estão pulverizadas e descentralizadas, principalmente por se tratar de temáticas novas e por mais que sejam de abordagens multidisciplinares, houve um destaque significativo da Engenharia, Energia e Ciências Ambientais como as principais áreas de pesquisa sobre a temática.

Após os aspectos analisados e descritos, a eletrificação da frota automotiva representa um tema com crescente relevância nas áreas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Mais do que um mero avanço comercial ou tecnológico isolado, estratégias de eletrificação estejam associadas a práticas de sustentabilidade e à diversificação das matrizes energéticas, principalmente com o uso de fontes renováveis.

Portanto, é fundamental adotar uma abordagem de desenvolvimento sustentável e estratégico, que respeite a complexidade das cadeias produtivas e minimize os danos ambientais. Isso significa buscar inovação nos processos de desenvolvimento de baterias com vida-útil maior, avanço tecnológico de baterias produzidas por matérias primas menos poluentes, até a questão dos descartes e reciclagem das mesmas, como também densificar o uso mundial de fontes renováveis de energia, para quem sabe no futuro extinguir ou reduzir drasticamente o uso de combustíveis fósseis e minerais na produção de energia elétrica e o mais importante, densificar e criar incentivos, principalmente políticos para o uso de transportes coletivos, afinal, dentre todas as soluções possíveis apresentadas neste trabalho, essa é sem dúvidas a que está de mais fácil alcance no âmbito de custo e político, além de ser utilizado pela maior parte da população, democratizando assim a mobilidade sustentável.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, P. D. R. Veículos elétricos: funcionamento e seus benefícios. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 2018.
- BARAN, R. A introdução de veículos elétricos no Brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade. 2012. Tese (Doutorado) – Programa de Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.
- BARAN, R; LEGEY, L, F, L,. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, mar. 2011.
- BALDISSERI, D. H. As transformações espaciais e os impactos ambientais na bacia do rio Uatumã – AM, Brasil. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 10., 2005, São Paulo. Proceedings... São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005. p. 20-26.
- BE THE STORY. Os países mais limpos: quem lidera nas energias renováveis. Disponível em: <https://www.be-the-story.com/pt/ambiente/os-paises-mais-limpos-quem-lidera-nas-energias-renovaveis/>. Acesso em: 31 out. 2024.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. *Trabalho apresentado em Gestão & Produção*, v. 8, p. 1-12, 2011.
- CBMM. CBMM. Disponível em: <https://cbmm.com/pt>. Acesso em: 15 dez. 2024.
- NOGUEIRA, R. R. S.; VARELLA, F. K. O. M. Transição energética do setor de transportes: políticas públicas e cenários. 2023.
- SANTOS, E. F. N.; VAZ, C. R.; MALDONADO, M. U. Análise da gestão das baterias em fim de vida dos veículos elétricos: uma revisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA, 13., 2023, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Anais... 29 nov. a 1 dez. 2023.

FREITAS, F. T.; MARCHESINI, M. M. P.. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) das baterias de lítio utilizadas nos veículos elétricos. *Produto & Produção*, v. 23, n. 3, p. 1-20, 2022.

iCARROS. Ficha técnica do BYD Dolphin. Disponível em: <https://www.icarros.com.br/byd/dolphin/ficha-tecnica>. Acesso em: 28 out. 2024.

iCARROS. Ficha técnica do Chevrolet Onix. Disponível em: <https://www.icarros.com.br/chevrolet/onix/ficha-tecnica/28798>. Acesso em: 28 out. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Disponível em: <https://www.iea.org/>. Acesso em: 3 nov. 2024

KLEIN, Naomi. *This changes everything: capitalism vs. the climate*. New York: Simon and Schuster, 2015.

LOPES, A. S.; MENEZES, E.; OLIVEIRA, J. A.; PINHEIRO, V. M.; COSTA, S. L. Identificação de problemas ambientais e levantamento de indicadores associados à eletrificação de frotas. In: XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2017. Anais... [S.l.: s.n.], 2017. p. 557-568.

PARSIFAL. Plataforma de Apoio à Revisão Sistemática. Disponível em: <https://parsif.al/>. Acesso em: 3 nov. 2024.

PORTAL DE PERIÓDICOS CAPES. Base de dados bibliográfica. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/>. Acesso em: 3 nov. 2024.

QUATRO RODAS. Quanto tempo demora para carregar um carro elétrico. Disponível em: https://quatrorodas.abril.com.br/carros-eletricos/quanto-tempo-demora-para-carregar-um-carro-eletrico#google_vignette. Acesso em: 1 nov. 2024.

SCOPUS. Base de dados bibliográfica. Disponível em: <https://www.scopus.com/>. Acesso em: 3 nov. 2024.

ULTIMATE SPECS. Ficha técnica do Tesla Model S Performance. Disponível em: <https://www.ultimatespecs.com/br/carros-ficha-tecnica/Tesla/116348/Tesla-Model-S-Performance.html>. Acesso em: 28 out. 2024.

VAZ, Luiz Felipe Hupsel; BARROS, Daniel Chiari; CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de. Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento. 2015.

WORDCLOUDS. Word clouds generator. Disponível em:
<https://classic.wordclouds.com/>. Acesso em: 28 out. 2024